

PN-ACA-659

# AFRICAGIS'95

TRAVAUX



DOCUMENTS

ABIDJAN, 6-10 MARS / MARCH 1995

# TABLE DES MATIERES

# TABLE OF CONTENTS

## SEANCES PLENIERES

### PLENARY SESSIONS

1.	ACQUIS DEPUIS AFRICAGIS'93 EXPERIENCES SINCE AFRICAGIS'93 .....	7
3.	AFRICAGIS'EXPO'95: PRESENTATIONS .....	13
4.	PROGRAMMES INTERNATIONAUX SUR SIG / SIE / SIIE INTERNATIONAL PROGRAMMES ON GIS / EIS / EIIS .....	41
5.	L'INTERNET ET L'INFORMATION GEOGRAPHIQUE INTERNET AND GEOGRAPHIC INFORMATION .....	57

## GROUPES DE TRAVAIL

### WORKING GROUPS

1.	DESERTIFICATION .....	75
2.	SYSTEMES D'ALERTE PRECOCES EARLY WARNING SYSTEMS .....	149
3.	DONNEES DATA .....	191
4.	TECHNOLOGIES RELATIVES AUX SIE EN AFRIQUE EIS TECHNOLOGIES IN AFRICA .....	269
5.	GESTION DES PÂTURAGES PASTORALISM .....	305
6.	AGRICULTURE .....	339

3

2



7.	GESTION DES RESSOURCES EN EAU BASIN MANAGEMENT .....	371
8.	GESTION DES FORÊTS ET DE LA BIODIVERSITE FOREST AND BIODIVERSITY .....	413
9.	SANTE HEALTH .....	493
10.	GESTION DES MILIEUX MARINS ET CÔTIERS MARINE AND COASTAL MANAGEMENT .....	559
11.	GESTION DU MILIEU URBAIN ET INFRASTRUCTURES URBAN MANAGEMENT AND INFRASTRUCTURES .....	567
12.	METEOROLOGIE ET CLIMATOLOGIE METEOROLOGY AND CLIMATOLOGY .....	615
13.	RÔLES ET ACQUIS DES COMITES NATIONAUX SIG / SIE ROLES AND EXPERIENCES OF NATIONAL COMMITTEES GIS / EIS .....	621
14.	PRIVATISATION DES ACTIVITES SIE EN AFRIQUE PRIVATIZATION OF EIS ACTIVITIES IN AFRICA .....	641
15.	APPUI POUR LES ACTIVITES DE FORMATION EN AFRIQUE SUPPORT FOR SUSTAINABLE TRAINING ACTIVITIES IN AFRICA .....	653
	TRAVAUX DIVERS VARIOUS PAPERS .....	689

	<b>LISTE DES PARTICIPANTS A AFRICAGIS'95</b>	
	<b>LIST OF PARTICIPANTS TO AFRICAGIS'95.....</b>	<b>693</b>

# **SEANCES PLENIERES**



**AFRICAGIS'95**

**PLENARY SESSIONS**

Séance plénière 1:	ACQUIS DEPUIS AFRICAGIS'93
Plenary Session 1:	EXPERIENCES SINCE AFRICAGIS'93

**PROGRAMME OSS - UNITAR SUR LES SYSTEMES D'INFORMATION INTEGRES  
SUR L'ENVIRONNEMENT. PRESENTATION, RESULTATS DEPUIS AFRICAGIS'93  
(Première phase: 1993 - 1994)**

Ch. NUTTALL .....9

✓

5

**PROGRAMME OSS - UNITAR SUR LES SYSTEMES D'INFORMATION  
INTEGRES SUR L'ENVIRONNEMENT.  
PRESENTATION, RESULTATS DEPUIS AFRICAGIS'93  
(Première phase: 1993 - 1994)**

**Ch. NUTTALL**

Administrateur du programme OSS/UNITAR, Genève, Suisse

**1. Introduction**

Objectifs de la première phase du programme

- \* identifier les acteurs et partenaires impliqués dans le développement et l'utilisation des nouveaux outils pour une meilleure gestion des ressources naturelles afin de les valoriser et les renforcer,
- \* analyser leurs problèmes et besoins afin d'y apporter des éléments de réponse,
- \* mettre en réseau technique et institutionnel les acteurs impliqués dans les SIE pour optimiser le partenariat et la coopération Sud-Sud et Nord-Sud.

**2. Genèse du programme**

Au vue des objectifs assignés, le programme SIE est mis en place conjointement par l'OSS et l'UNITAR et appuyé financièrement par la France et le BNUS a son origine.

Auxquels dont venus se joindre l'Allemagne (GTZ) et les Etats Unis d'Amérique (WRI / USAID).

**2.1. L'expression des besoins: AFRICAGIS'93 à Tunis**

Juin 1993 à Tunis, quelques 120 experts, à 80 % africains de la zone OSS ont débattu et émis des recommandations sur:

- les données,
- la modélisation et la prise de décision,
- la communication et les échanges d'information,
- les incidences organisationnelles,
- la formation,
- les moyens informatiques et la rentabilisation des systèmes.

Pendant trois jours quelques 12 ateliers de travail ont ainsi permis de fructueux échanges entre personnes et institutions qui ne se connaissaient pas. Ces ateliers ont donné lieu à une série de recommandations largement diffusées.

## **2.2. Le Programme défini à partir des besoins**

Quatre axes principaux:

- meilleur accès aux données  
sur le plan technique: compatibilité des formats, des données, réseau d'accès aux bases de données...,  
sur le plan institutionnel: priorité et règles d'échange des données, normalisation de l'information géographique...,
- programmes de formation plus nombreux et plus adaptés en coordonnant d'une part l'offre de formation pour la mettre en adéquation avec la demande dans le cadre notamment de programmes existants, et d'autre part en renforçant et valorisant les compétences du sud en la matière;
- disposer de forum d'échange et de communication ,,
- lancer des guides méthodologiques

## **3. Principales activités du programme**

### **3.1. l'échange d'informations**

- bulletin d'information "nouvelles AFRICAGIS".  
cf Amel Makhoulf OSS/UNITAR
- forum électronique nommé AFRICAGIS@RIO.ORG
- un guide de l'Internet en Afrique
- noeud internet TCP/IP au RCSSMRS au Kenya

### **3.2. la formation**

#### **3.2.1. Avec le Centre AGHRYMET**

- Un protocole d'accord a été signé entre le programme SIIE de l'UNITAR et de l'OSS et AGHRYMET dans le cadre du programme majeur formation de la phase IV du programme AGRHYMET.
- Un programme sur trois ans a été arrêté alternant sessions de formation régionales et nationales..
- Un cours de six semaines a été mené sur les Systèmes d'Information Intégrés sur l'Alerte précoce pour les neuf pays membres du CILSS
- Un cours de six mois va commencé pour la mise en place d'un Jeu de bases de données environnementales dans le cadre du SIE du Niger.
- Un manuel de formation a été rédigé avec l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne. Celui ci doit être complété par une publication des meilleures applications SIG en Afrique.

### 3.2.2. Avec le RCSSMRS

- un protocole d'accord a été signé entre le programme SIIE de l'OSS / UNITAR et le RCSSMRS, dont les modalités d'application sont en cours de négociation avec la GTZ, l'ITC et l'Université de Nairobi.

### 3.3. les bases de données

- Data Sample du WRI
- Harmonisation des données au niveau national (travaux entrepris au Niger et en Tanzanie)

### 3.4. Des études techniques

3.4.1. Intégration des données socio économiques dans un SIG

3.4.2. La veille technologique

cf Amel Makhoulf

### 3.5. la collaboration entre partenaires techniques, et institutionnels

Contacts plus rapprochés entre certaines agences des Nations Unies (BNUS, FAO, PNUE, Banque Mondiale ...), agences bilatérales de coopération (française, allemande, américaine, belge, canadienne, danoise ...) et centres régionaux et nationaux (Centre AGRHYMET, le RCSSMRS, le CRTEAN, le CSE, le CRTS, le CNT, le CNTIG...) ont été amorcé permettant même le rapprochement d'initiatives et programmes auparavant isolés.

### 3.6. La Convention des Nations Unies sur la Désertification

Une assistance lors des sessions inter- gouvernementales de négociation à Genève:

- liaison Internet avec le Niger pour la diffusion des produits d'alerte précoce du Centre AGRHYMET
- séances de démonstration de l'utilisation de la télédétection et des SIG pour les applications relatives à la sécheresse et la désertification

### 4. Bilan de la première phase du programme SIIE: 2 ans après le lancement

- une nouvelle dynamique d'échange et de coopération multi partite dans le domaine des SIG et SIIE en Afrique.
- avènement de l'Internet
- des guides ou manuels techniques sur des outils

**LE GEOMANAGEMENT, UN CONCEPT AU SERVICE DU DEVELOPPEMENT DURABLE**

O. COGELS .....15

**LE PROGRAMME D'OBSERVATION DE LA TERRE DU CNES**

J. GUERNIER-PUËCH .....21

**EAGLE VISION, AN INNOVATIVE REALISATION FOR SATELLITE DATA ACQUISITION AND PROCESSING**

M. GOSCIANSKI, Ph. M. REBILLARD .....32

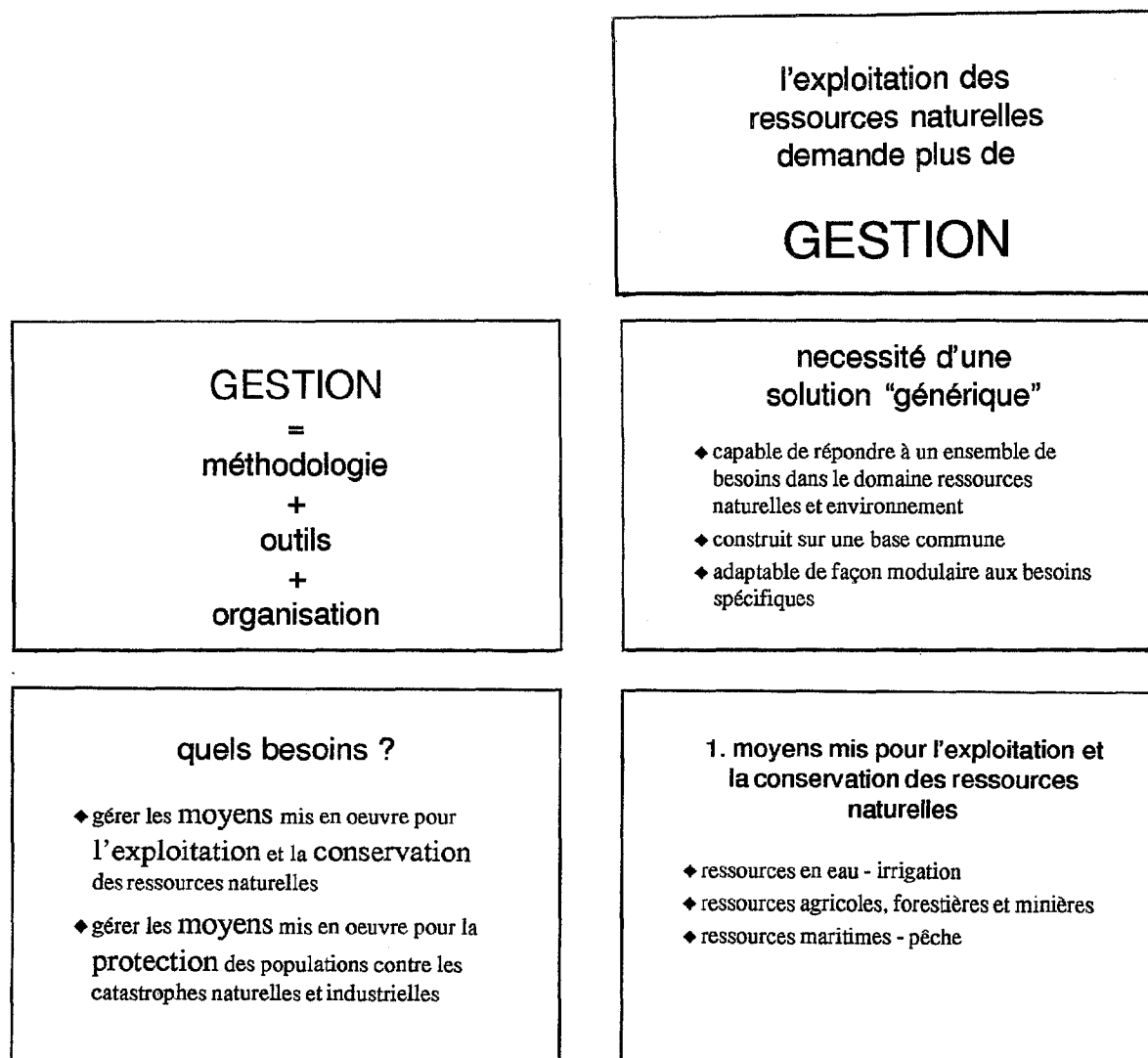
**ACCESS TO SPOT DATA IN AFRICA / L'ACCES AUX DONNEES SPOT EN AFRIQUE**

J.-C. RIVEREAU .....38

# LE GEOMANAGEMENT, UN CONCEPT AU SERVICE DU DEVELOPPEMENT DURABLE

## O. COGELS

Groupe de Géomanagement, da vinci Consulting S.A., Chaumont Gistoux, Belgique





**2. moyens pour la protection des populations contre les catastrophes naturelles et industrielles**

- ◆ inondations
- ◆ catastrophes climatiques
- ◆ catastrophes géologiques
- ◆ accidents industriels - pollution

**but:  
optimiser l'allocation de moyens**

- ◆ financiers: subsides, prêts, ...
- ◆ techniques: infrastructures, équipements,...
- ◆ légaux: permis, directives, ...
- ◆ humains: équipes, organisations,...

**une solution "générique"  
quel que soit le territoire**

- ◆ municipalités
- ◆ provinces ou districts
- ◆ entités régionales: bassins versants,...
- ◆ pays
- ◆ communautés internationales

**fonctions de base**

- ◆ accès à l'information
- ◆ intégration et agrégation d'information
- ◆ aide à la décision
- ◆ communication et concertation
- ◆ information du citoyen

**1. accès à de l'information  
multidisciplinaire, fiable et récente**

- ◆ climatique
- ◆ socio-économique
- ◆ légale
- ◆ géophysique, hydrologique, pédologique
- ◆ biotique

**2. intégration, agrégation et mise  
en cohérence**

- ◆ données sectorielles - production décentralisée
- ◆ diversité des formats et standards
- ◆ différents niveaux de compréhension

### 3. outils d'aide à la *décision* et à l'optimisation

- ◆ contrôle
- ◆ affectation de ressources techniques, financières et humaines
- ◆ attribution d'autorisations et permis
- ◆ réglementation et législation
- ◆ planification d'aménagements
- ◆ intervention en temps réel

### 4. moyens de *communication* et de concertation avec d'autres décideurs

- ◆ diffusion de supports d'information
- ◆ communication et concertation en temps réel entre partenaires

### 5. moyens d'*information* du citoyen

- ◆ prise de conscience et participation
- ◆ alertes

### problèmes à surmonter

- ◆ patrimoine d'information = dispersé et hétérogène
  - manque de standardisation des formats et outils de traitement
  - décentralisation sectorielle des unités de production
  - protectionisme: information = pouvoir
- ◆ ressources techniques et humaines = manque d'intégration et de coordination

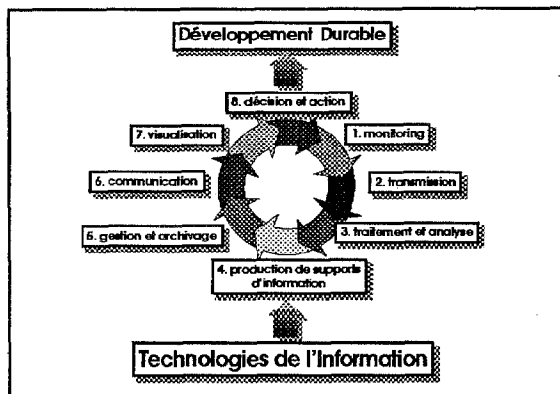
### solution générique

- ◆ méthodologie de gestion:  
**le Géomanagement**
- ◆ généralisation de l'outil:  
**intégration de plusieurs fonctions**
- ◆ organisation:  
**Centres de Geo-Information**

### Le Géomanagement

une méthodologie de gestion

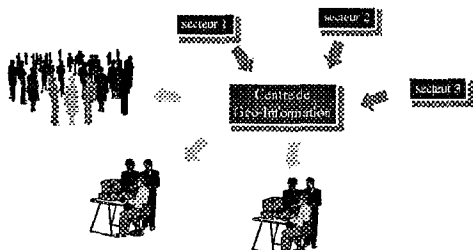
*le Géomanagement est l'art de co-gérer des ressources et activités dans un territoire, en exploitant un patrimoine d'information le plus souvent dispersé*  
*formation des décideurs*  
*formation des opérateurs*



## L'outil de Géomangement

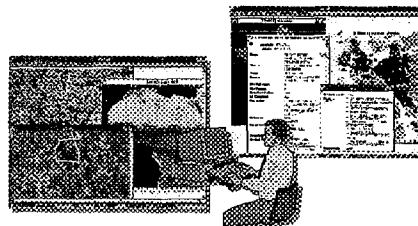
intégration d'une chaîne cohérente, depuis le monitoring jusqu'à la prise de décision et l'action

## Système intégré, capable d'amener l'information UTILE sur le bureau du décideur



## Tableau de bord de Géomangement

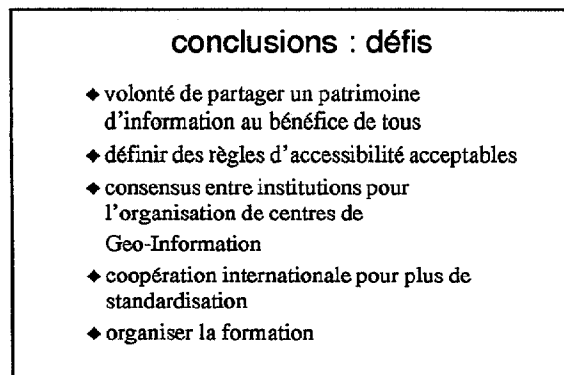
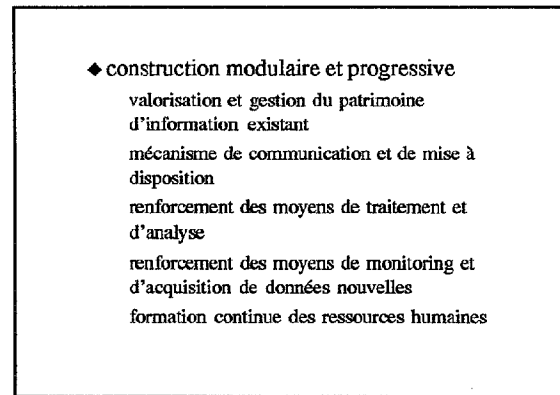
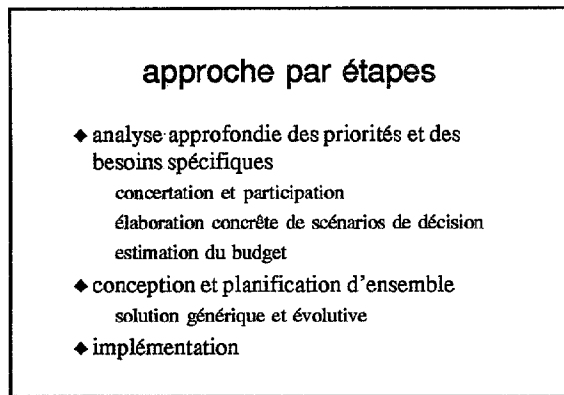
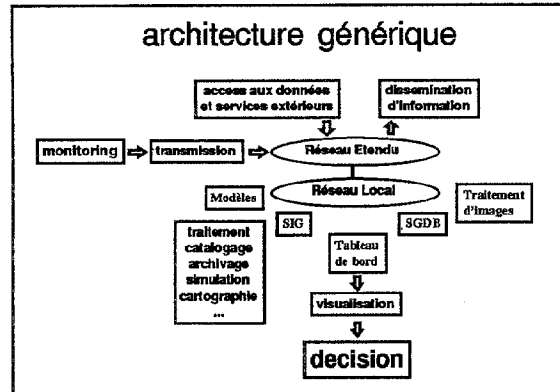
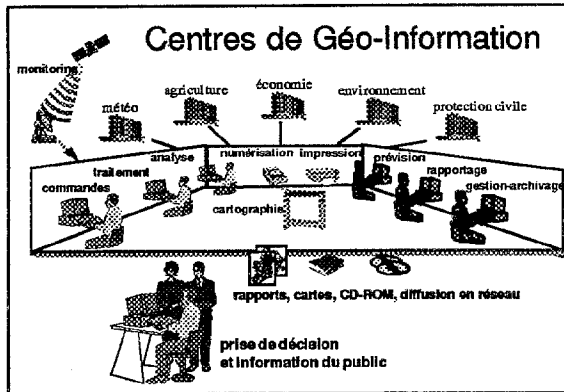
indicateurs et documents sur différents fonds de cartes



## ressources nécessaires

- ◆ ressources techniques: intégration d'outils informatiques
  - traitement d'image
  - Systèmes d'Information Géographiques SIG
  - modèles mathématiques de simulation
  - outils de cartographie et de production de rapports
  - outils de gestion documentaire et d'archivage
  - tableaux de bords de gestion
  - outils de diffusion

- ◆ ressources humaines
- ◆ ressources financières
  - acquisition de données de base
  - moyens de fonctionnement
- ◆ procédures et règles de fonctionnement



# LE PROGRAMME D'OBSERVATION DE LA TERRE DU CNES

**J. GUERNIER-PUËCH**

Centre National d'Etudes Spatiales, Direction des Relations Internationales, Paris, France

## INTRODUCTION GENERALE

Dès le début de l'exploration spatiale, les possibilités d'observation de la Terre, grâce à des équipements embarqués à bord de satellites, ont suscité de très grandes espérances pour mieux connaître la Terre, pour mieux en gérer les ressources, pour mieux aménager l'espace de vie.

Depuis quelques années, à ces préoccupations, qui sont toujours d'actualité, s'est imposée avec force l'idée que l'expérimentation spatiale pourrait, en outre, apporter une contribution fondamentale à la protection de notre environnement, de manière à ce que nous léguions à nos descendants une planète intacte et protégée.

L'étude du climat et le suivi de l'environnement global s'ajoutent désormais aux objectifs plus classiques de la télédétection des ressources naturelles.

Très tôt le CNES s'est investi dans tous ces aspects du programme Observation de la Terre tant au niveau national qu'au niveau des collaborations bilatérales ainsi que dans de très vastes programmes internationaux concernant la protection de la planète.

L'exposé comporte donc trois parties :

- la première est consacrée à la description du programme SPOT qui, grâce à sa filière bien stabilisée, assure la pérennité des observations jusqu'au début des années 2000,
- la seconde partie traite du programme radar qui permet une observation "tout temps" dont l'essentiel est conduit en coopération européenne ou bilatérale,
- la troisième partie enfin ébauche la participation française aux grands programmes internationaux sur le climat et l'environnement global dont la finalité est d'assurer à long terme la survie de notre planète.

## I. La filière SPOT

SPOT (Satellite Pour l'Observation de la Terre) est un système multi-missions d'imagerie à haute résolution spatiale conçu par le CNES et réalisé par la France, en coopération avec la Belgique et la Suède. L'objectif de ce programme, qui comporte aujourd'hui trois satellites en orbites (SPOT 1, 2 et 3) et trois satellites décidés en cours de réalisation (SPOT 4) ou d'étude (SPOT 5A et SPOT 5B), est le développement des applications de l'imagerie à haute résolution et des marchés correspondants. L'approche retenue pour réaliser cet objectif est le développement et le maintien d'une filière opérationnelle évolutive exploitée sur une base commerciale par une entité autonome de droit privé SPOTIMAGE.

Le programme repose sur deux principes essentiels :

- assurer la continuité du service auprès des utilisateurs,
- améliorer la qualité des données fournies et des services rendus selon l'évolution.

Le système SPOT est en fonctionnement opérationnel depuis 9 ans :  
SPOT 1 lancé le 22 février 1986,  
SPOT 2 lancé le 22 janvier 1990 et enfin,  
SPOT 3 lancé le 26 septembre 1993.

## 1. Rappel des caractéristiques de SPOT 3 (dernier né de la filière)

### ● L'orbite

L'orbite est **circulaire** mais avec quelques légères différences d'altitude entre les passages au-dessus des pôles et ceux au-dessus de l'équateur en raison de l'aplatissement terrestre. Elle est quasi polaire pour que, la Terre tournant sur elle-même à l'intérieur de cette orbite, le point subsatellite décrive sur la Terre des traces régulières.

Elle est **phasée** de manière, qu'au bout d'un certain temps, le satellite ait réalisé un nombre entier de révolutions sur son orbite et la terre un nombre entier de rotations.

Elle est **héliosynchrone** c'est-à-dire qu'elle fait un angle constant avec la direction du soleil (le survol d'un même lieu intervient à la même heure). Au total l'orbite de SPOT est circulaire (822 km à l'équateur) héliosynchrone (10h30), phasée à 26 jours et parcourue en 101,4 mn.

### ● La charge utile (identique pour SPOT 1, SPOT 2 et SPOT 3)

La charge utile est constituée par deux instruments optiques identiques HRV (Haute Résolution Visible) et d'un ensemble d'enregistrement des données et de transmission de ces données vers le sol.

Les caractéristiques de ces HRV sont :

- . Une **haute résolution** (10 m et 20 m) pour permettre des cartes au 1/50.000ème avec précision géométrique et des cartes thématiques au 1/25.000ème.
- . **4 voies image** distinctes correspondant chacune à une bande spectrale d'observation utilisée en 2 modes, multispectral (vert, rouge, IR) et panchromatique (noir et blanc).
- . La possibilité d'effectuer des **observations obliques** à  $\pm 27^\circ$  par rapport à la verticale du satellite, ce qui améliore la répétitivité de l'observation : ainsi une même région à l'équateur peut être visée 9 fois pendant les 26 jours du cycle orbital soit une moyenne de 2.9 jours (4 jours aux latitudes moyennes, France par exemple).
- . Les prises de vues et l'émission des données :  
le télescope a une taille de 2,5 m et l'image est constituée toutes les 1,5 millisecondes. Le long de l'orbite quatre cas se présentent :
  - a) le satellite est en visibilité d'une Station de Réception Directe (SRD). Les observations peuvent être envoyées en temps réel à cette station si celle-ci a été programmée.

- b) le satellite n'est pas en visibilité d'une station. Les données des images programmées sont stockées à bord sur les bandes magnétiques des enregistreurs embarqués.
- c) le satellite est en visibilité d'une station principale (Kiruna ou Toulouse). Il peut, suivant la programmation, soit envoyer des données directes (en temps réel), soit envoyer les données précédemment contenues dans l'enregistreur.
- d) le reste du temps, le satellite est en attente de prise de vue.

● Les passagers de SPOT 3

SPOT 3 emporte avec lui deux passagers :

- DORIS, instrument de radiolocalisation et de détermination très précise d'orbite développé par le CNES.
- POAM II (Polar Ozone and Aerosol Measurements), instrument américain de mesure de l'ozone au-dessus des pôles ; le principe est de mesurer l'affaiblissement du rayonnement solaire à travers les hautes couches de l'atmosphère au-dessus des pôles. L'appareil effectue des mesures à chaque transition orbitale nuit/jour et jour/nuit entre 10 et 40 km d'altitude. Il est, en particulier, destiné à fournir des informations sur les trous d'ozone.

**2. Description de l'exploitation de la filière SPOT 1, SPOT 2 et SPOT 3**

- SPOT 1, après 9 ans en orbite fournit des images de qualité toujours égale et constitue un satellite de secours, parfaitement utilisable sous quelques jours par toutes les stations de réception directe.

Pour limiter le coût de son maintien en orbite, le CNES a développé un mode de stockage automatique. Ainsi, des modifications ont été introduites dans le logiciel de vol et chaque lever de soleil constitue un événement d'initialisation pour l'ensemble du pilotage automatique. Le satellite envoie, sans intervention humaine, les paramètres essentiels décrivant son état (compteur d'anomalies, minimum et maximum) ceux-ci sont reçus une fois par jour par la station principale de Toulouse et une analyse simple et rapide permet d'être rassuré sur son état et d'enrichir la banque de données de toute cette expérience en orbite.

- SPOT 2, lancé en 1990, poursuit une activité opérationnelle sur les stations de réception directe, bien qu'une voie de télémétrie image soit en panne. Des expériences sont tentées, de manière à positionner SPOT 1 et SPOT 2 de façon rapprochée sur l'orbite, afin de réaliser des prises de vues stéréoscopiques à moins de 15 minutes d'intervalle sur certaines zones du globe.
- SPOT 3, lancé en septembre 1993, est équipé d'enregistreurs de deuxième génération plus fiables ; un ensemble d'analyses de missions complexes a permis de déterminer l'orbite optimale du satellite, de manière à réaliser le **phasage** souhaité des 3 satellites SPOT 1, SPOT 2 et SPOT 3.

Ainsi, SPOT 3 assure le rôle de satellite principal de cet ensemble et permet un surplus d'observation dans des périodes très exigeantes (comme le printemps en Europe) et une souplesse dans la programmation, avec une grande capacité d'images stéréoscopiques en quasi temps réel, en faisant appel aux possibilités de SPOT 1 ou de SPOT 2.

Le fonctionnement de SPOT 3 est prévu pour durer jusqu'en 1997 avec le relais par SPOT 4 dont la mise en orbite devrait intervenir à la mi-1997.

La flotte SPOT répond ainsi à la demande croissante des clients de SPOT Image.

### 3. SPOT 4

La construction de SPOT 4 est pratiquement achevée, son lancement pourrait, en principe, intervenir dès la fin 1995 (dans le cas d'indisponibilité des satellites SPOT 1, SPOT 2, SPOT 3) mais est normalement prévu pour la fin 1997.

SPOT 4 est une version améliorée des satellites actuels :

- la durée de **vie nominale** est portée à **5 ans** au lieu de 3 ans pour les satellites actuels,
- l'adjonction d'une **nouvelle bande** spectrale dans le moyen infrarouge (1,58 - 1,75  $\mu\text{m}$ ).  
Le choix de cette bande (MIR) a fait l'objet de nombreuses études, en particulier par rapport à l'intérêt de l'ajout, soit d'une bande thermique, soit d'une bande dans le bleu (0,5 - 0,6  $\mu\text{m}$ ). Le **moyen infrarouge a été considéré comme essentiel** pour faciliter l'interprétation de la végétation et pour permettre une évaluation de la teneur en eau des plantes et, à ce titre, porteur d'applications ayant un poids économique important (agriculture, occupation des sols, environnement).
- **évolution de la bande panchromatique** vers une bande plus étroite (0,61 - 0,68  $\mu\text{m}$ ) à la **résolution de 10 m**.
- meilleure **registration** à bord de la bande panchromatique (à 10 m de résolution) et des bandes de la voie multispectrale (à 20 m de résolution).
- meilleure **capacité d'enregistrement** étendue de 22 à **40 mn**.
- adjonction de **nouveaux instruments passagers** :
  - . le passager **DORIS**, déjà présent sur SPOT 2 et SPOT 3, devrait offrir, à titre expérimental, le calcul en temps réel de la localisation du satellite à quelques dizaines de mètres près.
  - En outre, seront embarqués : **Pastec** pour l'étude de l'environnement orbital, **Pastel** pour la transmission au sol des images avec le satellite relais de l'Agence Spatiale Européenne Artemis et enfin l'expérience **végétation**.
  - . le passager **végétation** complètera les instruments HRVIR (Haute Résolution Visible et InfraRouge) en fournissant des prises de vue dans les mêmes bandes spectrales avec une répétitivité beaucoup plus grande (quotidienne sur presque toute la surface du globe) grâce à une fauchée très large (2000 km). Ce programme est conduit en coopération avec l'Union Européenne, la Suède, la Belgique et l'Italie ; un groupe de travail "exploitation - végétation" se met actuellement en place pour préparer la phase d'exploitation, en tenant compte des recommandations du comité des utilisateurs.



#### 4. SPOT 5

Le programme SPOT 5, décidé en octobre 1994, traduit la volonté du Gouvernement français de pérenniser la filière SPOT au-delà de 2010 à une époque où le marché reste fragile et très diversifié et dont la maturité doit s'envisager sur le long terme. Ce programme comporte la réalisation de deux satellites SPOT 5A et SPOT 5B devant être prêts respectivement en 1999 et 2003 pour des lancements en 2002 et 2007.

Ces deux satellites, placés sur la même orbite que celle des satellites de la filière, assureront la continuité de fourniture des données (image du type de celles de SPOT 4 et offriront des capacités nouvelles : chacun des deux satellites devrait disposer de trois instruments de prises de vues permettant d'obtenir des images avec une résolution améliorée (10 m en multispectral visible au lieu de 20 m, 5 m en panchromatique au lieu de 10 m) et de disposer d'une capacité stéréoscopique le long de la trace plus facile à exploiter que la stéréoscopie perpendiculairement à la trace des satellites précédents.

#### SPOT nouvelle génération

Le projet dit "SPOT nouvelle génération" de satellite d'observation de la Terre devrait avoir des performances accrues et fonctionnerait quelle que soit la couverture nuageuse de la Terre, car il devrait être équipé d'un dispositif radar ; le choix des caractéristiques de cet équipement fait l'objet de nombreuses études scientifiques, techniques et industrielles.

#### 5. Perspectives du développement des applications des satellites SPOT

Un grand nombre d'applications de l'imagerie SPOT a été mis au point dès 1986 lors du lancement du premier modèle dont la mission était en partie probatoire. La maîtrise de l'outil, le développement des systèmes informatiques et l'effort promotionnel et commercial permettent d'imposer la technique de l'imagerie comme source opérationnelle de l'information.

Il est possible d'établir une liste des principaux volets de ces applications qui existent à l'heure actuelle ou qui sont prévisibles à court et moyen terme.

- la **cartographie** au sens large, représentée soit par l'élaboration de cartes topographiques classiques, soit par la réalisation de documents de type spatocartes "produits GEOSPOT" (qui couvrent des pays entiers au Moyen-Orient, en Afrique et en Asie ou de larges portions de territoires représentant des milliers de km<sup>2</sup>),
- la **gestion des ressources renouvelables**, en particulier en agriculture et en sylviculture, SPOT s'est imposé comme outil opérationnel dans de vastes programmes tels que l'action IV du projet MARS (Monitoring Agriculture with Remote Sensing) de l'Union Européenne qui fournit les statistiques annuelles sur les cultures dans les douze pays de l'Union. Directement liée aux activités agricoles, on doit citer l'émergence récente des applications dans le domaine de l'élaboration du cadastre rural.
- l'**aménagement** et la gestion des territoires : planification urbaine, infrastructure, grands travaux, etc. L'apparition des Systèmes d'information Géographique (SIG) et des banques de données est à l'origine

de ces applications, pour lesquelles SPOT possède des atouts décisifs : résolution, précision et troisième dimension.

Des segments de marchés nouveaux sont concernés comme les gestionnaires des collectivités locales ou régionales, les planificateurs, les bureaux d'études et d'ingénierie,

- la gestion des **ressources non renouvelables** : prospection minière et pétrolière, thèmes liés à la géologie comme l'érosion, la recherche en eau et la prévention des catastrophes naturelles,

Enfin deux autres secteurs d'application méritent d'être cités :

- le secteur du tourisme, du grand public et de l'édition, avec une vente de posters qui n'est pas négligeable,
- et, pour mémoire, le domaine de la défense.

Les modifications apportées sur **SPOT 4** permettront d'ouvrir davantage les **applications au domaine agricole**, en particulier grâce à l'amélioration de la discrimination des végétaux. Celles prévues sur **SPOT 5**, avec une meilleure résolution (5 m) et une stéréoscopie plus opérationnelle, permettront d'améliorer le marché dans le domaine de la **cartographie**, de l'**aménagement** et de l'**urbanisme**, de l'**environnement** et de la **géologie**.

## **II. LE PROGRAMME RADAR**

La complémentarité (et éventuellement l'avantage) des systèmes d'observation radar par rapport au système optique plus traditionnel est liée, d'une part, à la possibilité d'observation de la Terre tout temps et donc d'observations déterminées à l'avance et, d'autre part, par la nature même des phénomènes observés.

Dans ces conditions, le programme du CNES d'observation radar de la Terre se construit avec une double préoccupation, celle d'apporter une contribution à un système opérationnel dans le même esprit que la filière optique SPOT, mais celle aussi de contribuer à un domaine scientifique nouveau.

### **1. Utilisation d'un système radar à synthèse d'ouverture**

- Depuis 1987, le CNES étudie l'extension du programme SPOT à une filière opérationnelle commerciale supplémentaire de satellite RADAR à synthèse d'ouverture.

Le SAR (Synthetic Aperture Radar) de ERS1, mission de l'Agence Spatiale Européenne, peut être considéré comme le premier programme pré-opérationnel radar à synthèse d'ouverture. Il est rappelé que le CNES concourt à ce programme financé à 22,14 % par la France. Le CNES a financé et contribué au développement de l'instrument scientifique ATSRM/M (Along Track Scanning Radiometer / Microwave) qui comporte à la fois un radiomètre imageur infrarouge et un sondeur hyperfréquence. Ce sondeur hyperfréquence, développé par la France avec une participation du Danemark, permet de réaliser les corrections altimétriques du radar d'ERS1 essentielles à la mission océanique du satellite.

Le CNES et MATRA ont pris en charge le développement d'un système destiné aux stations de réception SPOT pour l'acquisition et le traitement des données Radar SAR de ERS1.

De plus, la France contribue au projet CERSAT (Centre ERS d'Archivage et de Traitement) dont la maîtrise d'oeuvre a été confiée à l'Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer avec le soutien du CNES et de Météo-France.

Enfin, il est rappelé que la plateforme du satellite ERS1 est dérivée du satellite SPOT.

La capacité radar de ERS1 complète bien, il faut le dire, les observations de SPOT dans le domaine du visible.

En ce qui concerne, ERS2, dont le lancement est prévu très prochainement, le CNES a participé au programme à hauteur de 22,30 %.

ERS a permis aux utilisateurs de développer de nouvelles techniques de traitement de données, d'analyse et d'interprétation. Il permet aussi d'acquérir une expérience qui sera très profitable pour les générations suivantes.

Le programme AVAL SAR du CNES, mis en place en 1991, a pour but de stimuler l'utilisation de données SAR afin de préparer les utilisateurs finals de la télédétection radar (seule ou couplée avec d'autres capteurs) à connaître, accepter, utiliser et intégrer les informations et produits SAR dans leurs travaux. D'ores et déjà, près de 60 projets réalisés par des laboratoires, des organismes publics et des sociétés de service, ont ainsi été soutenus par le CNES. Outre les données de ERS1, des données SEASAT, ALMAZ, J-ERS, SIR-C sont utilisées. Quelques applications peuvent d'ores et déjà être considérées comme pré-opérationnelles, principalement dans le domaine maritime.

#### ● RADARSAT 3

Le CNES étudie en coopération avec l'Agence Spatiale Canadienne (CSA) le projet futur Radarsat 3. Les deux premiers exemplaires du satellite Radarsat 1 et Radarsat 2 du CSA sont respectivement prévus d'être lancés en 1995 et 1998/99 ; ils devraient être identiques. Par contre le 3ème exemplaire, correspondant au projet Radarsat 3, devrait correspondre à une nouvelle génération : un SAR multi-fréquences (2 antennes). Son lancement est prévu pour 2004/2005.

Le Protocole d'Accord, signé en février 1992, couvre la phase initiale du projet, la phase 0 (Septembre 1993 à Avril 1995). Elle comprend la réalisation d'études économiques visant à évaluer les coûts et les bénéfices de la mission, la réalisation d'études comparatives et des "études systèmes" préliminaires de définition d'un concept de mission. Les études concernent, dans un premier temps, des études instrumentales. Dans un deuxième temps, elles seront relatives à tout le satellite et au segment sol.

- En coopération avec le British National Space Centre (BNSC), le CNES définit une mission SAR opérationnelle conjointe qui pourrait se situer dans le prolongement de la mission ENVISAT (A.SAR) de l'Agence Spatiale Européenne.
- Enfin, le Groupe d'experts Accès Tout Temps (GATT), travaille sur la définition des spécifications d'un radar spatial.

Les objectifs de ce groupe sont de traduire en spécifications "mission" les besoins des utilisateurs finals ainsi que les spécifications opérationnelles, en terme de produits, de fournitures, de répétitivité et précision des informations afin de préciser la mission du système.

Les moyens mis à disposition sont les suivants :

- Les travaux théoriques et/ou expérimentaux : ils constituent un support à des développements théoriques et de modélisation (modèles d'inversion...).
- Les campagnes aéroportées : des campagnes spécifiques sont régulièrement organisées en particulier par l'ESA et le CNES. Afin d'optimiser les moyens aéroportés actuels, il a été décidé d'élaborer un système SAR dérivé du capteur RAMSES développé à l'ONERA. Ce nouveau capteur du CNES sera embarqué sur l'ARAT (Avion de Recherches Atmosphériques et Télédétection). Son développement a débuté fin 1994, pour une première campagne fin 1995 (bande C), pour le cas mono-fréquence, et une mise à disposition du radar bi-fréquences fin 1996.
- Les ateliers d'experts : des réunions entre experts français et anglais ont déjà permis d'aboutir à différents concepts missions. Des réunions similaires se sont déroulées en février 1994 entre experts français et canadiens (avec le Centre Canadien de Télédétection).

## 2. La mission altimétrique radar TOPEX-POSEIDON

Cette mission, conçue et réalisée dans le cadre de la coopération entre le CNES et la NASA, a été entièrement optimisée pour répondre aux exigences de la communauté océanographique internationale et constitue l'élément de référence de la composante spatiale du système d'observation du programme WOCE (World Ocean Circulation Experiment) du Programme Mondial de Recherche sur le Climat (PMRC).

Les objectifs essentiels de la mission sont les suivants :

- l'étude du géoïde marin,
- l'étude de la circulation océanique à grande et moyenne échelles et de l'interaction Océan/Atmosphère,
- l'étude du niveau des mers et des marées,
- la compréhension du transport de chaleur dans l'océan,
- le calcul des tendances de variation du niveau de la mer à l'échelle globale (effet de serre).

Le lancement a eu lieu, avec succès, en août 1992, depuis le Centre Spatial Guyanais, au moyen d'une fusée Ariane 42P.

**L'orbite circulaire** de TOPEX POSEIDON est assez inhabituelle, 1336 km d'altitude, avec une inclinaison de 66° pour tenir compte de la zone à observer (90 % des océans mondiaux), du rythme des marées et de la nécessité du survol précis de deux sites d'étalonnage. La répétitivité est de 10 jours environ à 1 km près mais l'orbite n'étant pas héliosynchrone, il y a un décalage de 2 h par orbite.

**La charge utile** est constituée par six instruments, réalisés par les Etats-Unis et par la France.

L'instrument principal, fourni par le CNES, est l'altimètre POSEIDON qui opère à deux fréquences (13,6 et 5,3 GHz) et dont la précision est de 2,4 cm sur l'altitude.

En outre, le système DORIS (Détermination d'Orbite et Radiopositionnement Intégré par Satellite), fourni par le CNES, basé sur la mesure du décalage DOPPLER de fréquences émises par un réseau d'une cinquantaine de balises réparties sur toute la Terre, assure deux missions principales : la détermination de l'orbite et la localisation de points à la surface de la Terre.

L'altimètre POSEIDON fonctionne avec de très grandes performances :

un premier bilan scientifique a été établi lors d'une conférence internationale à Toulouse, en fin 1993, et c'est ainsi qu'on a pu mettre en évidence des variations saisonnières de quelques centimètres du niveau des océans, ce qui ouvre des perspectives nouvelles concernant la variabilité de la circulation océanique et du niveau des mers.

La précision subdécimétrique, grâce au système DORIS, constitue le système d'orbitographie de référence de la mission.

A titre d'exemple, le système DORIS permet de vérifier les déplacements relatifs des plaques tectoniques prévus par les modèles théoriques pour des périodes géologiques.

- Prolongement du programme TOPEX-POSEIDON

Le CNES étudie la mise en place d'une filière de mini-satellites altimétriques (TPFO), basée sur l'héritage et le succès mondial du programme Topex-Poséidon et développée dans le cadre d'une coopération équilibrée avec les Etats-Unis. Ainsi, pourrait être envisagé un programme continu des observations des variations du niveau moyen des mers, de la circulation océanique, de la vitesse du vent et, plus généralement, de prévision des anomalies climatiques, d'impact planétaire comme le phénomène EL NIÑO.

### **III. Le Programme pour l'Etude de l'Evolution du Climat et de l'Environnement global**

La planète Terre est le siège de variations temporelles dont les temps caractéristiques sont de l'ordre de l'heure ou de la journée pour les phénomènes météorologiques jusqu'au million d'années pour les transformations géologiques. Cette variabilité naturelle se traduit par des changements de climat sous l'effet de facteurs externes (position de la Terre sur son orbite autour du soleil, cycle solaire, modification séculaire de l'orbite terrestre, ...) à ces causes naturelles d'évolution, s'ajoutent, depuis un siècle, celles résultant des activités humaines qui peuvent affecter, parfois de manière irréversible, de nombreux éléments constitutifs du système climatique indispensables à l'équilibre de la planète : modification de la composition de l'atmosphère terrestre, réchauffement, perturbation des écosystèmes marins et continentaux, rejet des déchets dans les océans, etc.

Plusieurs analyses ont abordé ces questions, parfois dans un cadre formel et politique, par exemple, au sein de l'Organisation Météorologique Mondiale ou dans celui des Nations-Unies.

Un consensus existe désormais dans la Communauté scientifique sur les données à acquérir pour améliorer la compréhension dans la prévision et pour suggérer des mesures en faveur du respect à long terme de l'équilibre planétaire.

#### **1. Les orientations scientifiques**

Elles sont prises en concertation avec la Communauté scientifique nationale lors de séminaire de prospective, en prenant en compte les objectifs des programmes internationaux, en particulier le

Programme Mondial de Recherche sur le Climat (PMRC) et le Programme International Géosphère-Biosphère (PIGB/IGBP).

En simplifiant, les orientations essentielles du programme du CNES peuvent se résumer en deux objectifs :

- étude des facteurs physiques du climat, en mettant en priorité l'étude dynamique de l'océan et l'étude de l'atmosphère,
- dans le cadre du thème interaction biosphère/géosphère, étude de la chimie de l'atmosphère et de la dynamique des écosystèmes continentaux et marins.

Les priorités sont établies en tenant compte de la forte orientation du programme de l'Agence Spatiale Européenne vers les objectifs PIGB et de l'étude des échanges océan-atmosphère et se concentrent, pour l'essentiel, sur les objectifs du climat global (PMRC) le plus souvent en coopération bilatérale.

## 2. Les programmes en cours (indépendamment de l'utilisation de la filière SPOT et du programme TOPEX-POSEIDON précédemment décrits)

- Le **programme franco-russe SCARAB** (SCanner for RAdiation Budget) a pour objectif la surveillance à long terme (jusqu'à l'an 2000) du bilan radiatif terrestre au profit du programme mondial de recherche sur le climat. L'instrument SCARAB est un radiomètre à balayage perpendiculaire à la trace du satellite effectuant des mesures dans quatre bandes spectrales, ce qui permet d'une part la mesure du bilan radiatif dans le domaine d'ondes courtes (0,2 - 4  $\mu$ ) et d'ondes longues (4 - 50  $\mu$ ) et la caractérisation des scènes observées dans les fenêtres de transparence atmosphérique. Le programme comporte la réalisation de deux modèles de vol embarqués sur des satellites météorologiques russes de la série METEOR-3 ; le premier a été lancé le 25 janvier 1994 de Plessetsk par un lanceur ukrainien ZYKLOV et le lancement du second est prévu pour le premier semestre 1996. Le comportement mécanique, thermique et fonctionnel de l'instrument en orbite est nominal.
- Le **sondeur infrarouge à balayage IASI** (Infrared Atmospheric Sounding Interferometer) fait l'objet d'une étude de conception détaillée dans le cadre d'une coopération franco-italienne. Ses performances, notamment en termes de résolution spectrale et de bilan radiométrique, permettront d'observer les profils de température et d'humidité dans la troposphère avec une précision et une résolution verticale hors d'atteinte des sondeurs opérationnels actuels, et d'accéder à des mesures de contenus intégrés de l'ozone, du méthane et du monoxyde de carbone qui jouent un rôle clé dans la chimie de la troposphère et l'effet de serre additionnel. IASI est destiné à la mission météorologique polaire METOP, étudiée conjointement par l'ESA et EUMETSAT pour un lancement au début des années 2000. Il sert les besoins communs à la recherche sur le climat et à la prévision météorologique opérationnelle. Toutefois, pour des raisons financières, l'avenir de cette coopération pourrait être remis en cause.
- L'**instrument POLDER** (POLarization and Directionality of Earth Reflectances) est un radiomètre polarimètre imageur à grand champ de vue destiné à la mission japonaise ADEOS dont le lancement est prévu en février 1996. Cet instrument permettra la collecte systématique pendant au moins 3 ans, et sur la quasi totalité du globe, des observations du rayonnement visible, réfléchi par les nuages, les aérosols

24

et les surfaces marines ou continentales. Ces mesures qui rentrent dans le programme mondial de recherche sur le climat et du programme international géosphère-biosphère devraient permettre :

- d'étudier les interactions entre nuages, aérosols et rayonnement dans le contexte de l'accroissement des émissions de gaz à effet de serre,
- d'atteindre certaines caractéristiques physico-optiques des aérosols et d'étudier leur cycle dans la troposphère,
- de préciser le rôle du phytoplancton marin et de la biosphère continentale dans le cycle du carbone.

## CONCLUSION

Ce bref exposé tente de résumer l'effort spatial français dans le domaine de l'observation de la Terre ; cet effort est très riche mais se présente comme un patchwork d'opérations brillantes qui s'organisent en fonction de l'évolution des marchés, d'une part, et de l'intérêt de la communauté scientifique, d'autre part.

Ainsi, SPOT, conçu comme une mission probatoire, est devenu une véritable filière.

Il en est de même de l'observation géostationnaire à des fins de prévision du temps : parti d'une initiative du CNES, ce programme d'observation avait été très vite européenisé (METEOSAT), ce qui a engendré un service opérationnel dont la continuité est assurée par une structure intergouvernementale européenne (EUMETSAT) et dont le suivi est un élément d'un service public mondial auquel participent les Etats-Unis et le Japon.

Le domaine de la météorologie est d'évidence susceptible de généraliser un programme national, voire européen, car le phénomène majeur de notre époque est l'interaction globale entre l'humanité et la planète.

La Terre est un système naturel qui ne permet pas l'expérimentation. Son observation est donc la source obligée du progrès de la connaissance. Cette observation, pour être globale, doit donc être spatiale. Plus qu'une ambition, c'est une nécessité et c'est la raison pour laquelle dans la politique du CNES le programme d'observation de la Terre est prioritaire.

# EAGLE VISION, AN INNOVATIVE REALISATION FOR SATELLITE DATA ACQUISITION AND PROCESSING

**M. GOSCIANSKI, Ph. M. REBILLARD**  
MATRA CAP SYSTEMES, Vélizy-Villacoublay, France

## **1. ABSTRACT**

Matra Cap Systèmes developed a transportable station capable of tracking remote sensing satellites and acquiring and processing the SPOT telemetry.

The full station is C-130 transportable, easy to assemble and can be used for near real time data acquisition in disaster monitoring or lack of conventional station coverage.

This station consists of an Antenna Subsystem set on a trailer, connected to a Shelter Subsystem housing a Processing Subsystem and the in-door control and receiving equipments of the Antenna. The Processing Subsystem offers acquisition control, satellite programming, quick processing and nominal processing of satellite data up to standard levels.

### **1.1. TRANSPORTABLE**

Conventional Ground Receiving Stations are fixed and some areas of the world are not yet covered by them. A transportable system may be used during a limited period of time in order to record data over an area of interest, or when a conventional station can not proceed normally, a transportable system may be rapidly set up for disaster survey or crisis monitoring.

### **1.2. OBJECTIVES**

With the time of response in mind, the transportable station offers a Quick Processing of the data being recorded. It also features Programming Tools in order to help the Station Operators in selecting the data to be acquired.

Currently designed for SPOT, the transportable station can be upgraded to process Landsat data and for receiving ERS-1 data.

26



## 2. ANTENNA SUBSYSTEM

The X-band antenna is mounted on a 5.2 meter trailer and when stowed provides ample clearance for C-130 roll on/roll off. Two hours assembly for 4 people are sufficient to set up the antenna with no need of special tools.

The reflector is a shaped 3.6 meter, nine pieces lightweight honeycomb composite structure. The Antenna Subsystem achieves a factor of merit G/T of 26 dB/°K.

A track receiver, remotely controlled by the Ground Station Controller (GSC), provides track Amplitude Modulation and Automatic Ground Control to the Antenna Control Unit (ACU) for auto tracking.

Position and north alignment data is derived from a GPS receiver and a handheld fluxgate compass. A time code generator is used in conjunction with GPS to generate IRIG-A and B timing data.

The GSC is the system controller for all of the above units. It uses IEEE-488 and RS232 interfaces and permits automatic operation for the antenna system. It includes scheduling, complete station pre-pass setup, and satellite acquisition.

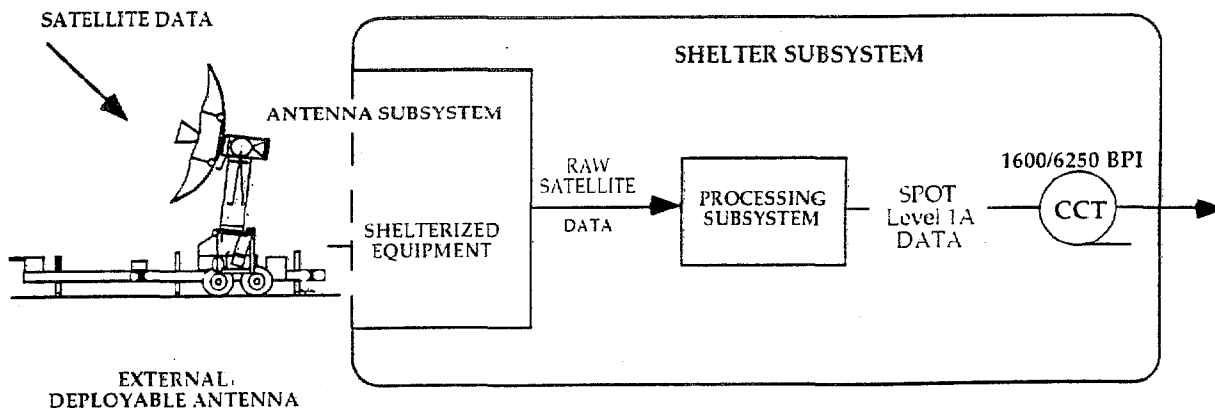


Fig. 1 : Transportable Receiving Station functional diagram

## 3. SHELTER SUBSYSTEM

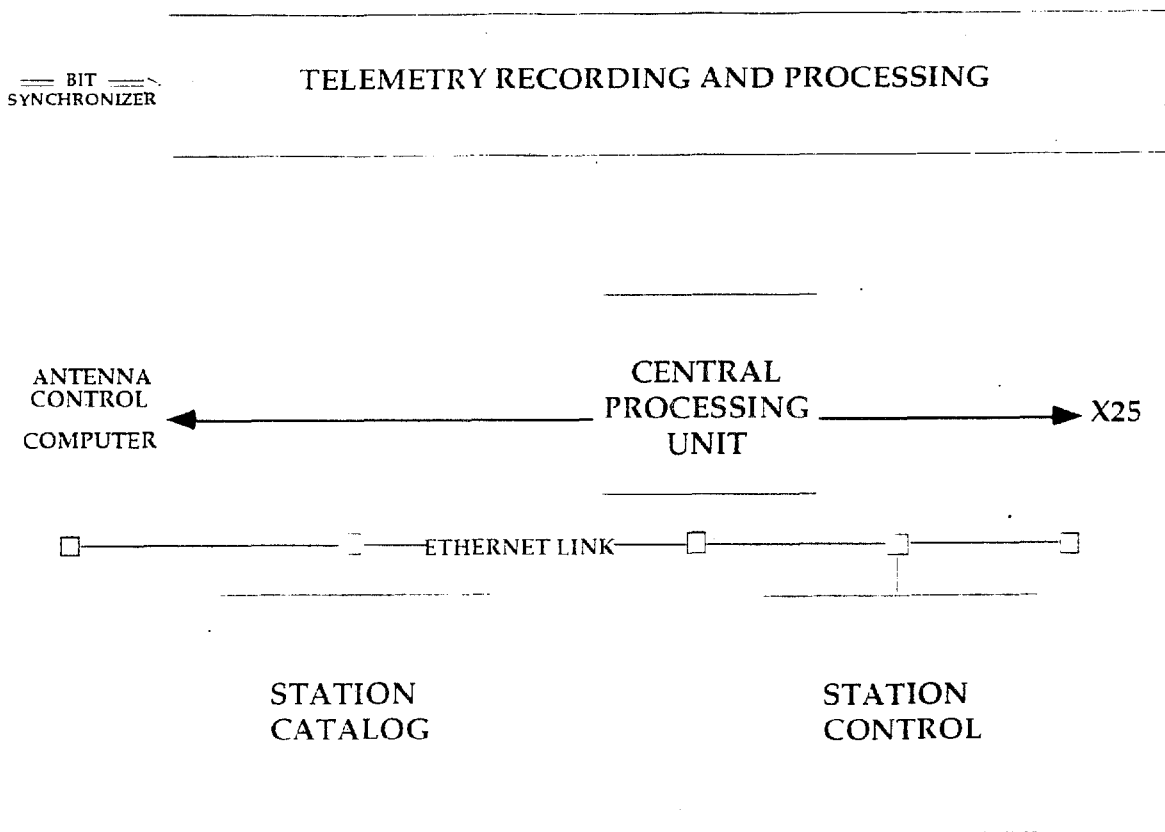
Connected to the antenna, the Shelter Subsystem is an ISO standard shelter (20'x8'x8') containing five self ventilated cabinets. It provides workspace for two operators and storage cabinets for HDDTs and CCTs.

The Shelter Subsystem houses all the hardware equipments dedicated to monitoring the antenna, receiving the satellite telemetry, and, processing and editing the data.

The shelter is equipped with an Uninterruptible Power Supply connected to a generator for the indoor equipments (110/200 volts, 50/60 Hz) and an air conditioning system allowing indoor operations.

**4. PROCESSING SUBSYSTEM**

The Processing Subsystem records the raw telemetry, processes it and produces SPOT 1A/1B images on CCT. This subsystem consists of a telemetry recording and processing unit, a station catalog, a station control unit and a VAX VMS Central Processing Unit hosting the support software and the processing software (Fig. 2).



**Fig. 2 : Processing Subsystem block diagram**

**4.1. TELEMETRY RECORDING AND PROCESSING**

The Telemetry Recording and Processing (Fig. 2) is made through one High Density Digital Recorder (HDDR), one Satellite Decommulator Demultiplexer Synchronizer (SDDS), one color Moving Window Display (MWD) and one parallel processor .

The High Density Digital Recorder is a linear data tape recorder used for 1) recording and monitoring the telemetry and time code data, and 2) reproducing these data for processing.

The HDDR is equipped with a clock generator in order to drive it in the reproduce mode, and a coaxial switch that allow to select the clock either from the clock generator (in the reproduce mode) or from the SPOT receiver bit synchronizer (in the recording mode).

28

The Satellite Decommulator, Demultiplexer and Synchronizer (SDDS) processes the input bit stream in order to deliver synchronized, descrambled, decommutated and demultiplexed data through a parallel VAX DMA interface.

The SDDS is connected to a color Moving Window Display where subsampled SPOT images are displayed in real time during the satellite acquisition. CAPRI software on VAX enables the application programs to control all the acquisition chain through the SDDS on an asynchronous basis.

The color MWD is based on a Personal Computer coupled to a powerful image graphic card. The MWD allows to display, on a high resolution 1024 x 768 screen, the processed telemetry in full color (24 bits), adjust the contrasts in real time and display histograms.

The Parallel Processor using a transputer network, in front of the host computer, performs radiometric "through processing", directly from the acquisition chain to the host computer.

## **4.2. STATION CATALOG**

The local Station Catalog (Fig. 2), issued from our developments made for SPOT IMAGE, is the main interface between the Station and the users. It allows to assess and archive all SPOT satellite passes received at the Station, in a local catalog that may further be interrogated by the users.

The cloud and snow coverages assessment is made by a Station Operator, using a Notation Function (NF). The file resulting from this work and the corresponding compressed subsampled image data are used to update the Station Catalog.

Query to the Catalog is made by the users using a Consultation Function (CF). The result of a catalog query is a quick-look hardcopy of a selected part of a SPOT segment.

Both NF and CF use the same hardware made of a Macintosh, a high quality display screen and a color printer.

## **4.3. STATION SUPPORT SOFTWARE**

The Station Support Software Functions, hosted by the Computing Power Unit, run all the Station activity through the EXECUTIVE, the Files Management Utilities and the Software Maintenance Utilities.

The Executive, activated from the Station Control Workstation, is the conductor of all Station activities and runs within a standard VMS environment. It receives user orders parameters, and makes available the necessary environment to process each request by controlling status and allocating system hardware and software resources. It may also save and restore context environment, thus allowing an automatic restart of the production.

The File Management Utilities facilitate the definition, inspection and documentation of the files required during the production phases. They comprise the Catalog Data Base interface libraries, the Image Management Service, the Technical File Management, the Auxiliary File Management, the Tape Management Interface library and the Station Control Interface library.

The Maintenance Software Utilities allow to :

- . generate and update the application software (compilation, link procedures),
- . backup the application software and restore backups utilities for the data base and for the technical files.

## **4.4. SPOT LEVEL 1A/1B PROCESSING AND CCT OUTPUT**

The SPOT level 1A/1B standard correction functions are devoted to the removal of the main radiometric and geometric defects by using only the informations provided on a system basis by the Satellite Operator.

29

During the level 1A correction, detector gains and offsets are computed and applied to the data. Synchronization losses and dead detectors (if any) are set to zero. Low and high saturation levels are processed.

During the level 1B correction, the same radiometric correction as level 1A is applied (but synchronization losses and dead detectors are not set to zero) and a geometric correction is performed (removal of Earth curvature and rotation, removal of nadir and latitude effects).

The disk to CCT function enables to generate level 1A or level 1B 9-track tapes following the SPOT IMAGE format standards.

## **5. STATION OPERATIONS OVERALL PRESENTATION**

### **5.1. STATION PROGRAMMING**

When dialoging with satellites operators and Mission Control Center through X25 or telex, programming tools help the Station Operator in:

- The selection of satellites and the schedule of the receiving activity. This step uses a Man/Machine interface allowing to define areas of interest on a map and to predict passes over these areas.
- The management of the interfaces with the Satellite Mission Control Centers and Central User Services with selection of the programming types, the latitude and the longitude of the centring point of the beginning of the segment, the imaging mode.
- The input of the Image Schedule Plan and the ephemeris data into the Station.

### **5.2. STATION ACQUISITION**

Pre-ephemeris data are sent to the Ground Station Controller (GSC) on a daily basis. GSC automatically computes antenna pointing angles and sets-up, prior satellite pass, the Antenna Subsystem for tracking, receipt and recording on HDDT loaded on HDDR.

Real time sub-sampled imagery is displayed in a waterfall mode on the Moving Window Display.

### **5.3. STATION PROCESSING**

The Station processing can be operated following two operational modes :

- **Quick Processing mode** : the downlinked SPOT telemetry is displayed in a waterfall mode with a possibility to select area of interest and to immediately process these selected scenes with formatting and products editing.
- **Nominal Processing mode** : the Station is operated with a systematic inventory of all telemetry received, catalog archiving, and data production upon request.

### **5.4. STATION OPERATOR INTERFACE**

The Station operations use three ergonomic workstations.

- The **Antenna Ground Station controller (GSC)** based on a IBM PC, incorporates a graphical user interface. It is used to :
  - . schedule the acquisition,
  - . set up complete antenna pre-pass,
  - . manage satellite acquisition,
  - . display antenna status,
  - . receive ephemeris data from the Station host computer.

- **The Station Control Workstation based on a X Window Terminal is used for :**

- . **the management of the processing activity (entering, selecting, driving the requests),**
- . **interactive tasks occurring during the life of the request,**
- . **the management of the Station (data backup),**
- . **quickly retrieve the scenes by use of data base on an Optical Digital Disk,**
- . **the introduction of technical and ephemeris data.**

- **The Programming and Catalog Station based on a Macintosh is used to :**

- . **display and select the orbits to be received,**
- . **help the user in programming his request,**
- . **display the automatic quality rating,**
- . **assess the cloud and snow coverages of each 1/8th of a scene,**
- . **compress the image data,**
- . **update the Station Catalog,**
- . **interrogate the Quick Look catalog in order to select an area (the catalog query is accompanied with cartographic overlay).**

## **6. CONCLUSION**

One has described a transportable receiving station capable of tracking, acquiring, processing, and delivering SPOT 1A and 1B data on CCT. This C-130 transportable station can be used for near real time data acquisition in disaster or crisis monitoring and when lacking conventional station coverage.

Made of an Antenna Subsystem, a Shelter Subsystem and a Processing Subsystem, one version of this station is currently used by the US Air Force under a Foreign Comparative Testing Program.

*BEST AVAILABLE COPY*

## ACCESS TO SPOT DATA IN AFRICA

**J.-C. RIVEREAU**

SPOT IMAGE, Toulouse, France

SPOT IMAGE keeps on improving services to facilitate access to SPOT 2 and SPOT 3 data. This improved access is based on 4 main issues,

- Data acquisition through direct receiving stations or on board recorders.
- Availability and easily accessible information.
- Rapidity of production and product line adapted to the diverse uses.
- Easy ordering process.

In Africa, data reception is made through 3 stations :Toulouse for North Africa, Mas Palomas for West Africa and Hartebeesthoek (South Africa) for the Southern part. If necessary, at SPOT IMAGE's request, the Saudi station can be activated over the North-Eastern part of the continent. In addition. In the near future, the Teleos station located at Nairobi will complement the coverage ;global coverage being obtained using the SPOT 3 recorders.

The direct access to the SPOT data bank information, through DALI system, provides image characteristics of the 4 millions scenes currently archived including digital quick looks for one million of scenes (since 1992). DALI can be accessed by ISDN, X25 or Internet transmission lines. The system will be soon coupled with DIVA (based on MAPINFO) to compile best SPOT coverage selections on graphic display. Regional specific retrievals will also be available on CD ROM.

Access to data has no meaning when time is not concerned. A large effort has been made at SPOT IMAGE for fast production. 75 % of standard products are dispatched within 5 days and rush orders in 48 hours. The production line has also been diversified and adapted to the market, particularly the GIS market. The SPOTView line of products proposes georeferenced data sets on CD ROM produced in the "load and go" Geospot-GIS format compatible with most of the GIS software. Next to come will be direct data transmission by dedicated lines. This procedure is already effective between the main SPOT data archives (Toulouse, Kiruna and Washington). Easy and simplified ordering process will also be implemented by E-MAIL or EDI.

In Africa, 22 countries are totally covered at least once with SPOT Images. and 26 countries have a coverage between 80 % and 100 %. Special conditions are offered to acquire these data through ,SPOT ALBUM collection, Stereospot or time sequence products.

## L'ACCES AUX DONNEES SPOT EN AFRIQUE

**J.-C. RIVIEREAU**

SPOT IMAGE, Toulouse, France

SPOT IMAGE continue à améliorer son service pour faciliter l'accès aux données des satellites SPOT 2 et SPOT 3. Cet accès aux données peut se décliner en quatre points:

- L'acquisition par les stations de réception directe ou les enregistreurs de bord.
- Une information disponible et facilement accessible.
- La rapidité de production avec des produits adaptés aux diverses utilisations.
- Des procédures de commande aisées.

Pour l'Afrique, la réception des données se fait par trois stations: Toulouse qui couvre l'Afrique du Nord, Mas Palomas pour l'Afrique de l'Ouest et Hartebeesthoek (Afrique du Sud) pour la zone méridionale. Eventuellement la station d'Arabie Saoudite peut recevoir sur la région Nord Est à la demande de SPOT IMAGE. La station Téléos qui sera prochainement installée à Nairobi au Kenya permettra de compléter une couverture presque totale du continent, cette couverture totale étant toujours possible en utilisant les enregistreurs SPOT 3.

L'information directement accessible c'est la liaison (ISDN, X25 ou internet) avec le système catalogue DALI qui contient 4 millions de scènes dont un million (depuis 1992) de quick looks numériques. Lorsque le système sera couplé à DIVA (sur base MAPINFO), on aura la possibilité d'extraire automatiquement les meilleures couvertures et de les visualiser graphiquement. Des collections régionales spécifiques sur CD ROM compléteront ce service.

L'accès à l'information a peu de sens sans la notion de temps et un effort particulier a été fait sur la production : 75 % de produits standards sont réalisés en 5 jours, les "Rush orders" en 48 heures. Le gamme des produits s'est adaptée aux exigences du marché, en particulier celui des SIG. La gamme SPOTView proposée dans le format GIS-Geospot permet d'utiliser directement dans la plupart des systèmes des données SPOT géo-référencées, la majeure partie (80 %) sur CD ROM à la demande des clients. Mais les transmissions par ligne se développent, elles sont déjà effectives par exemple entre les principales sources d'archives SPOT (Toulouse, Kiruna et Washington). Enfin les procédures de commande seront bientôt simplifiées par EMAIL ou EDI.

En Afrique 22 pays sont couverts au moins une fois à 100 % avec des données SPOT, et 26 à 80 %. Sur certains pays plusieurs dizaines de couvertures existent et des conditions particulières d'acquisition sont faites aux utilisateurs avec les produits SPOT ALBUM, et Stéréospot ou les séries multidates.

<b>Séance plénière 4:</b>	<b>PROGRAMMES INTERNATIONAUX SUR SIG / SIE / SIE</b>
<b>Plenary Session 4:</b>	<b>INTERNATIONAL PROGRAMMES ON GIS / EIS / EIS</b>

**LES ACTIVITES DE L'INSTITUT POUR LES APPLICATIONS DE LA TELEDETECTION  
(COMMISSION EUROPEENNE)**

**E. BARTHOLOME** .....43

**SUMMARY OF AFRICOVER PROJECT**

**M. BIED-CHARRETON** .....44

**REMOTE SENSING AND GIS ACTIVITIES IN UNESCO**

**R. MISSOTTEN, Q. HAN, A. AURELI** .....50

34



# LES ACTIVITES DE L'INSTITUT POUR LES APPLICATIONS DE LA TELEDETECTION (COMMISSION EUROPEENNE)

## E. BARTHOLOME

Institut pour les applications de la télédétection, Commission Européenne  
Institute for Remote Sensing Applications, Joint Research Centre -European Commission

Au sein de l'Institut des Applications de la Télédétection (DG XII/CCR), l'unité « suivi de la Végétation Tropicale » a déjà mis en oeuvre différents projets de télédétection appliquée aux problématiques environnementales des régions tropicales; citons par exemple TREES, focalisé sur la cartographie et la caractérisation des forêts équatoriales, ou encore FIRE, qui s'intéresse au suivi des feux de brousse et à leur interaction avec l'atmosphère. Plus récemment, le projet MERCATOR vient d'être défini, et devra se poursuivre durant la période 1995 - 1998. Ce projet se consacre à la cartographie à petite échelle (< 1/1.000.000) de l'occupation du sol du continent africain, et aux analyses environnementales qui en dérivent. Quatre axes principaux d'activité ont été définis :

- Cartographie continentale des états de surface et de l'utilisation du sol pour l'entièreté du continent africain et de Madagascar, à l'aide de bases de données mondiales AVHRR-HRPT de l'IGBP-DIS. L'objectif est de fournir à brève échéance une cartographie normalisée à l'échelle mondiale et utilisable pour la modélisation des changements climatiques mondiaux.

- Mise en place de projets-pilotes sous-continentaux. L'objectif est double : d'une part, il s'agit d'améliorer les méthodes actuelles de traitement et d'analyse de données AVHRR, d'autre part, il s'agit de développer des produits orientés vers la gestion des ressources environnementales. Les zones choisies, en fonction de leur intérêt environnemental, et de la demande exprimée par les partenaires du projet.

- Intégration de l'information et extraction du signal temporel. Il s'agit d'assembler dans une base de données facilement accessible toute information disponible permettant de caractériser chacune des unités cartographiques. Ceci inclut le signal temporel d'indice de végétation et de température de surface extrait des 10 ans d'archives journalières GAC, comme tout autre type d'observation recueillie sur le terrain.

- Analyse environnementale. Celle-ci se focalise avant tout sur la description et l'explication des changements observés, et généralement étiquetés sous les termes « désertification » et « déforestation », notamment grâce à l'exploitation de l'archive GAC. Pour approcher cette problématique, on envisage de comparer des situations réelles telles que décrites par les données satellitaires, avec les conditions potentielles, prédites par les modèles de végétation. Ceux-ci devraient en outre fournir des critères de classification des données satellitaires. Le projet MERCATOR, lancé à l'initiative du CCR, est ouvert à tout type de collaboration susceptible de se développer autour de ces axes.

# SUMMARY OF AFRICOVER PROJECT

**M. BIED-CHARRETON**

F.A.O., Roma, Italia

## 1. Justification and Objectives

Population growth, increased commercialisation and access to land, and the rate of change in traditionally sustainable practices has led to an acceleration in environmental change in Africa sometimes with associated degradation and depletion of natural resources. The lack of reliable and quantitative and qualitative information showing these changes in particular on vegetation and land cover at national and regional levels has been a major constraint on rural development planning; the sustainable management and conservation of agricultural and forestry resources; the implementation of food security measures; early warning systems; environmental monitoring; and biodiversity assessment and protection. The UNCED Agenda 21 emphasises the need for reliable information upon which to base decisions concerning the environment and development.

The technical objective of the project (henceforth referred to as AFRICOVER) is the production of a homogeneous and standardised vegetation cover/land cover map, digital databases and a geographic reference (toponymy, roads, drainage) at a scale of 1:250 000/1:200 000 and 1:1 000 000 for and by all African countries and for some specific areas and a few small countries (below 30 000 km<sup>2</sup>) at a 1:100 000 scale, based mainly on data captured by remote sensing and processed in computer based geographical information systems (GIS).

An equally important objective of the project is to strengthen and bring to the same level as national and sub-regional capacities for mapping vegetation and land-cover and monitoring change in **all African countries**. This will ensure, from the end of the project, the immediate use of the output data by technicians and decision makers in charge of the management of natural resources, as well as the cost effective and quick preparation of maps at larger scales, according to local priorities.

The AFRICOVER project was conceived to provide high efficiency and quality products according to standardised specifications and to guarantee sustainable capacity building.

## 2. Implementation

The implementation of the project will be carried out in a progressive manner. It will be split into:

2.1 a preparatory stage: where the detailed specifications of the technical and institutional issues of the project, country by country and sub-region by sub-region, will be defined.

- The first step consists of a Survey in each country of existing capacities, projects, data and of final user requirements for environmental information.  
The results of the survey are to be processed in a geodatabase and used for the final design and for the management of the project.
- The second step consists of the implementation of five international working groups which will define the detailed technical guidelines and manuals for the experts and technicians in charge of the project implementation in the

36

countries. In particular, these working groups will prepare a standardised land cover classification, will define the geometrical specifications and procedures for the preparation of the base maps, will describe necessary mapping methods and techniques, will set procedures for quality control and validation, and will prepare detailed specifications of the final products of the project.

In parallel to these objectives, several preparatory missions in regions and countries, as well as an international technical meeting have been organised.

2.2 An implementation stage: where the mapping activities will be executed or country by country or sub-region by sub-region.

- Thus, two approaches have been contemplated for the organisation of the work.
- a) *The first approach* would be based on a country approach, in which each country would embark independently on the AFRICOVER project. This approach follows the policies developed by the World Bank and several bilateral agencies. In this case, national teams in charge of the various mapping tasks will be set up for each country. They will be assisted by international expertise and contractual services, along the specifications defined by AFRICOVER. The role of FAO and other associated cooperating agencies would mainly consist of designing the final project proposals for each particular country and to provide technical backstopping during the whole project duration. Regular evaluation would be conducted to assess project achievements. At project completion, if conditions are fulfilled, FAO would deliver an 'AFRICOVER' label to the country which would guarantee the quality and the homogeneity of the output data as well as the sustainability of the project.

In that scenario, FAO will have mostly a 'normalisation' role.

*In the second approach*, FAO will be the executing or co-executing agency of the project under a trust fund arrangement.

In that case, the architecture of the project will follow both a national and regional approach in order to allow all possible technical synergies and economies of scale. This second approach will be implemented within subregions which are provisionally Northern Africa, Eastern Africa, Sahelian Africa, Western and Central Africa. It will contain all countries in these subregions which are not under the first approach. The two approaches are technically fully compatible and therefore can be implemented simultaneously.

The implementation of the second approach would be as follows:

- at national level: technicians and experts in photointerpretation, cartography and GIS in charge of the preparation of the land cover and geographical data base will be recruited. Execution of mapping activities will be adapted to countries' capacities:

- For the few national organisations (about 20%) which already have trained manpower and the necessary equipment to prepare the land cover map according to the AFRICOVER project specifications, technical and scientific support is foreseen in the countries by high level consultants for specific tasks.
- For the other national organisations (about 80%) which require stronger support, it is planned to implement part of the mapping activities in a centre selected among the countries of the sub-region and where technicians from each country will be sent and trained on-the-job during the project duration. The national organisations will be in charge of field data collection and relations with user agencies. They will receive all the necessary equipment for the processing, updating and use of AFRICOVER products.
- at the regional level: each sub-region will identify the centre which will host the national teams coming from countries requiring strong technical support. These teams will be coordinated by experts recruited at international level, when possible from an African country. The international experts will also be in charge of the supervision of the technical activities of the project for all the countries covered by the second approach in the sub-region. The centre will receive the necessary equipment for the mapping activities and digitising of the maps.

For both approaches, the scientific and institutional coordination at continental level will be supported by an FAO team, five Working Groups and a Steering Committee in which the main agencies concerned by AFRICOVER would participate. Coordination will also include the development of a computerized management tool and ensure maximum coordination and communication between the sub-regions and the Centres.

### 3. Methodological Aspects

The production of land cover and other georeferenced information (roads, toponomy, drainage) will be implemented by a well-tested so-called 'multiphase approach', including a sampling design for field verification and checking against existing ancillary maps and data. The processing and analysis chain will be continuously and interactively carried out by several technical teams in charge of the integration, distribution of and the field data collection.

Particular efforts will be made to produce a homogeneous continental database in terms of geometrical and thematic accuracy. The geometry will be defined in order to allow compatibility with GPS and with existing topographic maps. The thematic classes will follow a standardised hierarchical land cover legend meeting the needs of end users, defined in an international workshop and using a standardised format and products adapted to existing African facilities. The data base will also be built in order to be used as a reference base for land cover monitoring and for calibration of the low resolution NOAA satellite vegetation index data, such as the one used by FAO for its Food Security and Early Warning programmes.

Building of local capacities over the whole continent will be achieved through (a) an intensive on-job and specialised training programmes addressed to several technicians per country, mainly selected from national and regional organisations; (b) the provision at the regional and national centres of standardised GIS

38

stations able to build and operate the land cover databases and other future databases on renewable natural resources; (c) the conduct of national workshops/seminars for the potential users of the data bases; (d) the provision to national and regional institutions of printed maps and CD Rom digital geodatabases and manuals, and high resolution satellite data.

Special attention will also be given to establish strong collaboration or links with existing mapping projects in the countries, in order to avoid duplication of efforts. All synergies between AFRICOVER and other programmes will be built, when possible.

#### 4. Applications

The AFRICOVER mapping and database project has been designed to provide a data set of coherent and basic information to decision makers and technicians in charge of rural development, food security, management of renewable resources and environmental protection programmes in Africa.

Organisations' potential users of the data are therefore numerous:

- Governmental: such as Ministries of Agriculture, Water, Forestry, Environment, Bureau of Statistics, Cartographic Institutes, Research Centres, Universities, private companies and organisations;
- Intergovernmental: such as CILSS, IGADD, SADC, OACT, RCSSMRS, OSS, ...;
- Regional/International: Development Banks such as World Bank, AFDB, UN Bodies and Agencies such as ECA, UNDP, UNEP, WMO, UNITAR, FAO, the European Union;
- Bilateral Aid Agencies, such as USAID, CIDA, JICA, ODA, GTZ, Ministries in charge of Cooperation in France, Belgium, Italy, ...;
- Scientific and professional bodies;
- Non-Governmental Organisations involved in rural development, such as OXFAM, CARE, WWF, WCMC, IUCN;
- Private sector in charge of environmental studies and infrastructure development works.

Practical applications of the AFRICOVER databases will concern all information and monitoring systems on natural resources and the environment. The AFRICOVER produce can be considered as the common base data set necessary to all these information systems and in particular in relation to:

- Resource inventory and evaluation for:
  - the Monitoring of Forest and Rangelands at national and regional levels (localisation stratification of forest and range lands)
  - the Production of national, sub-national and regional Statistics (sampling frame, acreage of forest, agriculture types)

Resource planning for:

- National Environment Plan (identification of environmentally sensitive areas)
- Forestry action plan (mapping of forest types and agriculture encroachment).
- Field investment projects (project identification, preparation and evaluation)

National and regional resource management for:

- Early warning - food security (identification stress prone areas and base for NOAA calibration).
- Large watershed management (run off modelling according to vegetation cover catchment areas, identification of water requirements according to different types of croplands).
- Desert locust control (habitats for locust breeding, tracts susceptible to locust invasion)

- Environmental impact for:

- Biodiversity assessment and monitoring (mapping of main ecological formations)
- Climate change, global monitoring (segmentation of terrestrial environment IGBP, TREES, HAPEX)
- Desertification control (mapping of zones susceptible to desertification; base for NOAA NDVI monitoring).

The continental architecture of the AFRICOVER project allows important economies of scale and therefore a low budget when compared to similar projects implemented at local level. Its costs vary from 1 to 2.2 US\$/Km<sup>2</sup> according to regions and technical options. This cost covers all expenses of personnel, dam, equipment and training necessary for the full implementation of the project for a duration of three to four years, starting in 1995.

## 6. Status of AFRICOVER

The East Africa module has just started, as it received funding from the Government of Italy for US\$ 5,4 million. Its operational implementation will start in mid-1995. Its organisation will follow the one described above as Scenario 2.

Other regional modules are being negotiated with African partners and various potential donors or collaborating agencies. Up to date, several African Countries have already sent official requests, such as Nigeria, Equatorial Guinea, Côte d'Ivoire, Mali, Mozambique, Senegal, Namibia, Mauritania, Zimbabwe, Guinea and many others are underway in the ministries concerned. In addition to these individual requests, the AFRICOVER project as a whole was endorsed by an International Consultation at ECA Headquarters in Addis Ababa in July 1994, attended by 8 African countries, 10 African regional and sub-regional organisations (e.g. IGADD, SADCC, CILSS, RCSSMRS, OACT, CRTO, CRTEAN, RECTAS) as well as 4 UN organisations (UNEP, UNDP, FAO, UNITAR) and 18 international and national organisations.

Great interest was expressed by several potential funding or collaborating agencies!

Thus, France offered to provide a contribution for normalisation activities (Working Groups, FAO teams) and for the implementation of the project in selected countries (under Scenario I).

The European Union is technically supporting the project and is investigating possibilities to participate therein.

US agencies, such as USAID, USGS, USDA, have expressed their high interest and support and are studying their possible participation in the project.

Canadian agencies such as CIDA, CCRS, are also investigating their support within their on-going programme in Africa.

The World Bank indicated its support in principle and is contemplating to participate through GEF for Central Africa and through existing national environmental plans (e.g. Mauritania, Madagascar).

South Africa indicated its interest in investing national capacities.

Other countries expressed their interest, such as Belgium, Germany, Norway, Sweden, ...

Several important meetings will be organised in 1995 in order to finalise and mount AFRICOVER.

Extensive Surveys are under implementation in each African country to evaluate' national and regional capacities, existing maps and available data, ongoing and future Projects/programmes that could be related to AFRICOVER, as well as a study on user needs and requirements. In addition, FAO has started the implementation of 5 international Working Groups.

# REMOTE SENSING AND GIS ACTIVITIES IN UNESCO

**R. MISSOTTEN, Q. HAN, A. AURELI**

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), Paris, France

## **Abstract.**

The role of UNESCO is to promote international peace and security through cooperation in the fields of education, science and culture. In view of eradicating illiteracy, overcoming unsustainability of natural resources, confronting environmental problems, safeguarding historical monuments, and preserving natural and cultural heritage, UNESCO develops international research programmes and makes best possible use of new advances in technology, namely remote sensing and GIS, in order to effectively carry out activities in the framework of its programmes.

Part one describes remote sensing and GIS use in international programmes such as the Man and the Biosphere (MAB) programme for biosphere reserve development and ecosystem monitoring, management and conservation; the International Hydrological Programme (IHP) for surface and ground water research management; the International Geological Correlation Programme (IGCP) for the creation of a data base on the spectral signatures of rocks and soils; and in several projects concerning ocean investigation and climate observation conducted in the framework of the intergovernmental Oceanographic Commission (IOC).

In part two constraints of using the remote sensing and GIS technology are addressed and remaining difficulties in accessing and exchanging data, training issues and costs are discussed.

## **1. Introduction**

UNESCO, the United Nations Specialized Agency responsible for promoting cooperation in the fields of education, science, culture and communication, uses the latest advances in technology in implementing its activities in the framework of international research programmes.

The International Space Year (1992) was an occasion for all space agencies and space-related institutions to promote and enhance the role of satellite technology for the sustainable management of the Planet 'Earth'. UNESCO fully supports this endeavour and welcomed the opportunity to strengthen its links with space agencies so as to assist its Member States in dealing with issues of national and global concern and to increase public awareness of the practical importance of earth observation satellites.

Through its major scientific programmes in oceanography, ecology, hydrology and geology and information handling (figure 1), UNESCO emphasizes the crucial role of remote sensing and geographical information systems (also known as GIS) in the investigation and monitoring of the Earth, oceans, atmosphere and lithosphere for the protection of the environment and the management of the Earth's natural resources. Remote sensing and GIS are used in research projects with the objective to overcome unsustainability of natural resources, confront environmental problems and limit damages caused by natural hazards, eradicate illiteracy and protect and preserve historical monuments.



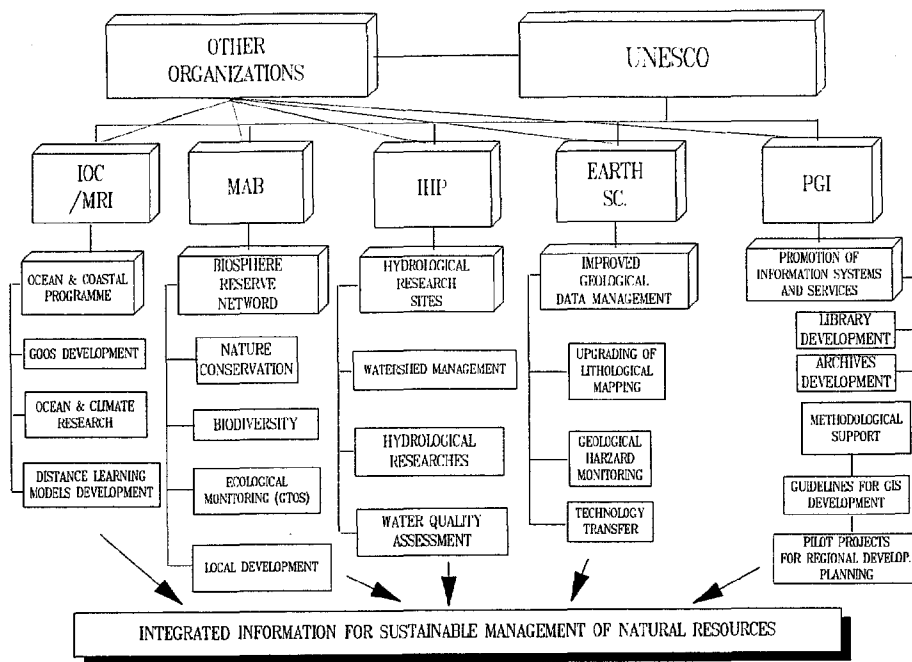


Figure 1. Remote Sensing and GIS in UNESCO.

## 2. UNESCO programmes

### 2.1. Oceanography

The Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, or IOC as it is otherwise known, is actively involved in the World Climate Research Programme and in the International Geosphere-Biosphere Research Programme. These programmes are implemented with a view to improving the understanding of the role of the oceans in global climate change through the use of satellite measurements. They are carried out in cooperation with the United Nations Environment Programme (UNEP), World Meteorological Organization (WMO) and the International Council of Scientific Unions (ICSU). In the TOGA (Tropical Ocean and Global Atmosphere) experiment, satellite surface temperature measurements are used to study the interactions and fluxes between the tropical oceans and the global atmosphere, whereas in the World Ocean Circulation Experiment (WOCE), satellite sea surface topographic measurements are indispensable.

Also in partnership with UNEP, WMO and ICSU, the Global Ocean Observing System (GOOS) is expected to be developed in a few years. GOOS is an integrated ocean information/management system of data collected by satellite-borne instruments on major physical, chemical and biological properties of the ocean. The first component of the system is the climate assessment project wherein satellite data is validated and integrated to coupled ocean-atmosphere models.

A few additional examples of the main advantages of remote sensing and GIS applications are:

1. To optimize co-ordination of shipping routes.
2. To monitor ice sheets hampering sea transport.
3. To map ocean surface temperatures.
4. To map wind fields, wave heights, wave directions and ocean currents.
5. To assess net primary productivity.
6. To conduct strategic planning to mitigate sea and ocean pollution.

### 2.2. Ecology

Since 1976, UNESCO has been developing a world-wide network of biosphere reserves within the framework of the Man and the Biosphere programme, also known as MAB. The multi-functional nature of biosphere reserves is *in situ* protection of genetic resources and ecosystems and the maintenance of biodiversity, long-

term ecological research and monitoring and harmonization of conservation with local development. As of January 1993, there are already 311 biosphere reserves in 81 countries, covering about 1.7 million km<sup>2</sup> of terrestrial and coastal areas and encompassing two-thirds of the 193 biogeographical provinces of the terrestrial world, a system specified by Udvardy in 1975.

At the site level, three GIS pilot studies are being undertaken by UNESCO in cooperation with the International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC) in the Netherlands, with the objective to explore and demonstrate the approach in the use of GIS for realizing the multifunctions of biosphere reserves. These studies are carried out in the Amboseli Biosphere Reserve in Kenya, dealing with sustainable management of tropical savannah ecosystems and wildlife conservation; the Cibodas Biosphere Reserve in Indonesia, dealing with conservation management and planning of humid tropical forest ecosystems; and the Wuyishan Biosphere Reserve in China dealing with zoning analysis and buffer zone development issues in subtropical mountain forest. The ILWIS system, developed by ITC, is being used in these studies, as well as Arc/Info. Satellite images are one of the major data sources in these systems.

With its truly wide biogeographical representativeness, the international biosphere reserve network has a potential and important role to play in the study of global change, particularly concerning effects of climate change on landcover and biodiversity. In this connection, UNESCO is presently cooperating with FAO, IGBP, UNEP and WMO in the creation of a Global Terrestrial Observing System (GTOS), a scientific network for detecting and monitoring changes in terrestrial ecosystems. Particular attention will be given to those existing biosphere reserves where long-standing data records and outstanding scientific infrastructure are available so that to make bench marks for observing ecosystem changes and validation of space data.

Progress is being made on GTOS in terms of identification of basic principles, procedures for selecting priority regions for monitoring, sampling strategy combining intensive and extensive measurements integrated with remote sensing, criteria for selection of sites representing the full range of ecosystems, and identification of sets of measurements which characterize the sites, detect the motors of change and monitor response. A joint GTOS Task Force is being organized, with support from the Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research. A report on GTOS will be included in UNESCO's 1994 MAB Digest Series.

It is also expected that biosphere reserves will form an integral part of a wide spectrum of complementary and transversal scale observations, from man-on-the-ground to satellite platforms and contribute to space data interpretation and validation and calibration of satellite instruments and measurements. To this end, UNESCO encourages space agencies and space industries to work with biosphere reserves to develop them as terrestrial platforms as complementary instrument to space observation systems.

### *2.3. Hydrology*

*In the* framework of UNESCO's International Hydrological Programme (IHP) attention has been paid to the promotion of the use of GIS-technique in hydrological and water resources studies. The main aim of the UNESCO's IHP is to keep the water community informed about the developments and possibilities of the use of GIS for water studies.

Considering the fast development in the use of GIS there is a need to coordinate international programmes. In this regard IHP is encouraging the cooperation between the different national systems for exchange of experiences in the setting up of water information systems, and establishing network of cooperating institutions.

GIS is a useful tool to handle and analyse spatial, and to some extent temporal information, relevant to hydrological and hydrochemical modelling. However the available GIS-techniques, and geographical data bases are insufficient for desired applications in water resources problems. One of the objectives of the UNESCO's IHP is therefore to support further co-operation between hydrological model developers, GIS-developers and database producers.

The IHP programme major focus is on transfer of knowledge through production of guidance material and training courses. A number of pilot projects and computer assisted demonstration packages are being developed by IHP to show the use of GIS and remote sensing for optimizing ground and surface water management in the humid tropics and semi-arid zones, especially in the developing countries.

Four of these projects are being carried out in cooperation with the International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC). The scope of these projects is to illustrate the usefulness of GIS and in particular of remote sensing in the following case studies:

1. Water quality assessment of a lagoon (Thailand).
2. Water resources assessment for the production of a district water plan (Kenya).
3. Groundwater system study in a semi-arid ecosystem.
4. Water resources management in a biosphere reserve (Indonesia).

The use of GIS techniques in water resources management at national and regional scale is one of the components of the UNESCO's IHP programme in Latin America and Caribbean where a project on 'Hydrological cycle and water resources activities observation and information system' (LACHYCOS) is being carried out.

#### *2.4. Earth sciences*

In the field of geosciences, UNESCO's Division of Earth Sciences is a major user of remote sensing and GIS technologies particularly for mineral exploration and natural hazard prevention. In the framework of the Geological Applications of Remote Sensing programme, widely known as GARS, a research project is carried out in Africa with the use of remote sensing and GIS for the upgrading of geological maps and for better exploration, exploitation and management of natural resources.

Given the increase in loss of human life and material damage caused by natural hazards over the last years, UNESCO has set a priority in contributing to the International Decade for Natural Disaster Reduction. For disaster prevention, in order to reduce future potential losses, modern tools and techniques are being applied such as hazard mapping and integration of multisensor data for the study of natural hazards of geological origin.

A pilot study is currently being carried out in Latin America, in the Andean region in particular, to develop a methodology for cost-effective mapping and monitoring of landslides. GIS is used to integrate socio-economic geological and geophysical data with airborne and space-borne remote sensing data in order to prepare accurate risk maps. A similar pilot study is being considered in Asia.

#### *2.5. Culture*

In the framework of the UNESCO's programme 'Integral Study of Silk Roads: Roads of Dialogue', projects are being developed for the preservation and protection of historical monuments and sites. Cooperation has been established with space agencies such as the Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) of France, NASA of U.S.A. and NASDA of Japan for the release of satellite images in order to produce a general map of the silk roads, to study the archaeological sites along the silk roads (e.g., Merv in Turkmenistan, Palmyra in Syria and Taklamakan Desert in China) and to protect historical sites such as the Moenjodaro in Pakistan.

#### *2.6. Training programmes*

Within UNESCO's training programmes in remote sensing education, the Organization organizes annually, in cooperation with scientific institutes, NGOs and UN bodies, postgraduate courses in remote sensing in the fields of geology, hydrology, ecology and marine sciences which are held in industrialized and developing countries. Short *ad-hoc* courses, workshops and seminars are held to strengthen indigenous capacities of junior scientists in developing countries. For the last four years, UNESCO has produced a computer-based distance learning module on the use of remote sensing data on oceanography. These modules are for world-wide distribution, and users are invited to contribute to the development of new lesson materials in order to create an

international remote sensing education network. This year, similar modules and demonstration packages will be produced in the fields of ecology, hydrology and geology.

UNESCO has published several series of the Environment and Development Briefs in line with Agenda 21 recommendation of the United Nations Conference for the Environment and Development (UNCED) held in Rio de Janeiro in June 1992 to deal with environmental problems. Brief no.3 summarizes the importance of remote sensing and GIS technologies in confronting such problems.

### **3. Technology is not enough**

Remote sensing and GIS can be valuable tools for resource managers and policymakers concerned with environment and development problems. But, despite technological advances, diminishing costs and increasing 'user-friendliness', the potential offered by these technologies has not been fully assessed or realized. Further research is needed to assess the costs and benefits of using the technologies for various types of applications. In addition, a number of constraints to the use of the technologies--mostly of an institutional nature--need to be addressed. They relate to data access, data exchange, data standards, training and costs.

#### *3.1 Data access*

Remote sensing technologies collect billions and billions of bits of data. Geographical information systems can process these data with other types of data to provide the information needed to address complex resource management problems. But how do users of these technologies find out what data exists, where, in what form, and how they can be acquired?

Resource managers around the world need access to 'data about data' for their particular applications. They need to know not only what data are available about their own countries, but also what is available at the regional, continental and global scales. Access to data of different kinds--primarily 'ground truth' data to verify remotely-sensed information and other 'conventional' data, such as maps and statistics for use in a GIS--remains a major problem.

While reference data banks exist for space-borne sensed data, other types of data are spread out among different locations. No clearing-house arrangement exists for cataloguing or managing all available data sets. This situation may well improve in the future, as national and international agencies that collect and manage data have begun to cooperate on the matter.

Exchange of data within and among local, state, regional, provincial or national agencies is another important, and complex, issue. Some countries feel that some types of resource information could be sensitive, and are reluctant to make them readily available. But addressing global issues such as ozone depletion, acid rain and loss of biodiversity requires data exchange across national boundaries. Sharing data at local levels is also important to solve problems such as water pollution caused by agricultural wastes.

#### *3.2. Data standards*

The lack of standards for data collection and archiving is a further impediment to the optimum use of remote sensing and GIS technologies.

Analysing resources over large areas with a GIS requires reporting standards that apply over a series of scales from local to global. For example, data should be of similar types, classes, quality, precision and resolution. These requirements are difficult to meet when, as is often the case, the data have been collected using different methods.

The format in which data are stored or archived is also of consequence. Data integration is greatly enhanced if data are stored in an electronic format. At the present time, however, most conventional data are stored in printed, rather than machine-readable, form. An added benefit of electronic formatting is that it indirectly favours a move towards standards in data collection.

46

Electronic formatting also facilitates data exchange. Data sent by one user over electronic networks can be easily read by a user at the other end of the network. Standards for 'user-friendly' electronic transfer of spatial data would help facilitate electronic data exchanges, as long as the standards did not increase overhead costs or impose other burdens on users.

Other standards for data archiving need also to be considered. What data should be kept, for how long, on-line or off-line? How often should data be updated? Should data be discarded? These are some of the questions which have only recently begun to be addressed.

The outcome of efforts to move towards standardization will be a critical factor in determining whether multi-source data sets in specific fields can be fully and optimally integrated. But, whatever the future holds with regard to standardization, the difficult task of integrating the large amounts of disparate data already in hand will continue to require attention.

### 3.3. Training

Remote sensing and GIS are complex technologies that require trained personnel for their effective exploitation. Training is therefore a *sine qua non*, not only to begin using these technologies, but also to keep up with rapid advances in their development.

Training is required at a variety of levels and in a number of forms, from one-day to one-week seminars for senior resource management personnel, to two-week to three-month training classes for more technical personnel, to university degree level training at undergraduate and graduate levels. To keep up with the technology as it evolves, overviews and in-depth introductions and updates on new developments, operations and maintenance should also be foreseen.

Recognizing the importance of training, a number of regional and international organizations offer training programmes. Despite these efforts, however, lack of trained personnel continues to be a critical constraint to the full exploitation of remote sensing and GIS technologies.

### 3.4. Weighing the cost

The costs associated with remote sensing and GIS are highly variable and usually difficult to generalize. Start-up costs for a GIS are roughly 10 per cent for hardware, 10 per cent for software and 80 per cent for database construction. Maintenance and training costs also need to be foreseen.

It is important for both users and managers to realize that the benefits from the initial investment in a GIS will not be immediately available. Users need to be sure to inform management of this time lapse and to gain long-term support.

Much of the remote sensing data available must now be purchased from commercial sources. Many users feel that the purchase price of data is, in itself, a constraint to the application of satellite remote sensing imagery to environment and development problems.

Relatively few cost-benefit studies have been conducted. The newness of the technologies and the fact that benefits accrue only in the longer-term make costbenefit analysis difficult and complex. With time, however, it will be possible to better assess and quantify what remote sensing and GIS technologies have to offer.

In the meantime, experts encourage managers to consider using these technologies in pilot schemes which serve to demonstrate their capabilities and allow users and managers alike to better assess whether to make a more substantial and longer-term investment.

#### 4. Conclusion

In conclusion, UNESCO's programmes reveal a multitude of applications of remote sensing and GIS technologies. The further development of these useful tools will depend on:

1. Exchange of data and equipment in space science and technology.
2. Transfer of technology and exchange of experts.
3. Access to remote sensing data, ground receiving systems and digital image processing.
4. Last but not least, human resource development in developing countries.

UNESCO has noted that many countries have expressed support to the project proposed by the UN Office for Outer Space Affairs concerning the establishment of Regional Centres for Space Science and Technology Education. UNESCO has introduced a new initiative which is presently under study, and which is complementary to UN-OOSA's project entitled 'Establishment of a Satellite Data Centre'. A satellite data centre is a type of national data library which makes available to application users the country's historical and contemporary satellite data. Data processing specialists, after undergoing training at the Regional Centre for Space Science and Technology, could update, improve and strengthen the remote sensing technology in the local satellite data centre for the sustainable socio-economic development of their country.

#### Bibliography

ANDERSSON, L., and ANKER HASSEL, K., (editors) 1993, *Nordic Workshop on Use of Digital Geographical Databases in Hydrological Modelling (Linkoping, Sweden, 9-10 November 1992)*. NHP Report No. 32 -Norges forskningsrad, Avdeling NAVF, Sandakerveinen 99,0483 Oslo.

COMMITTEE ON THE PEACEFUL USES OF OUTER SPACE, UNITED NATIONS, 1991. Report of the Secretary-General. Coordination of outer space activities within the United Nations system: Programmes of work for 1992 and 1993 and future years.

DROSTE, B., VON, 1987, The role of Biosphere Reserves at a time of increasing globalization. *Proceedings of the Fourth World Wilderness Congress (Atlanta, Georgia: U.S. Department of the Interior)*, pp. 1-6.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF HYDROLOGISTS (IAH), UNESCO, 1990, *Proceedings of International Symposium on Remote Sensing and Water Resources, Enschede, The Netherlands, 20-24 August, 1990*. -IAH Secretariat, National Rivers Authority, 550 Sreesbrook Road, Solihull, West Midlands, B91 1QT, U.K.

KESTER, D.R., KULLENBERG, G.E.B., and COLE, M. 1992, A global ocean observing system. *Nature and Resources*, 28, (Paris: UNESCO), pp. 26-34.

MAIDMENT, D.R., editor in chief, 1993, *Handbook of Hydrology* (New York: McGraw-Hill).

SCHULTZ, A., and BARRETT, C., 1989, Advances in remote sensing for hydrology and water resource management. *Technical Documents in Hydrology, IHP-111 Project 5.1*, (Paris: UNESCO).

UNESCO, 1991, Application of marine and coastal image data (from satellite, airborne and in-situ sensors). *Third Computer-based Learning Module. Applications of Marine Image Data* (Paris: UNESCO).

UNESCO, 1992, New Technologies: Remote sensing and geographic information systems. *Environment and Development Brief No. 3*.

**Séance plénière 5: L'INTERNET ET L'INFORMATION GEOGRAPHIQUE**  
**Plenary Session 5: INTERNET AND GEOGRAPHIC INFORMATION**

**U.S. AGENCY FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT'S: AFRICALINK**

J. BRUNNER .....59

**MESSAGERIE ELECTRONIQUE AU CENTRE REGIONAL AGRHYMET**

O. MOULAYE .....60

**L'INTERNET ET L'INFORMATION GEOGRAPHIQUE**

P. RENAUD .....64

# U.S. AGENCY FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT'S AFRICALINK

## **J. BRUNNER**

World Resources Institute, Washington, D.C., USA

AFRICALINK is a project funded and managed by the Africa Bureau's Office of Productive Sector Growth & Environment's. AFRICALINK will support the expansion of low cost electronic communications to improve networking and information sharing among hundreds of collaborating projects and institutions. In the process it will assist in the development of an infrastructure that will be crucial to the commercial future of many African countries.

In September 1994, at the request of the Office of Productive Sector Growth & Environment, the World Resources Institute carried out an assessment of the opportunities to connect over 100 collaborating institutions in Africa to the Internet. The findings and recommendations of this assessment were submitted as a draft report in February 1995.

The report documented the feasibility of immediately connecting these institutions at modest cost by building incrementally on the existing technical capacity in Africa. The report also documented the considerable interest in electronic networking shown by other Africa Bureau projects, other bilateral and international agencies, and numerous governmental and non-governmental organizations in Africa.

The report's findings and recommendations were presented during the plenary on Internet Connectivity in Africa at the AFRICAGIS'95 conference. A one-page hand-out in English and French on how to get connected to the Internet was also distributed.



# MESSAGERIE ELECTRONIQUE AU CENTRE REGIONAL AGRHYMET

## **O. MOULAYE**

AGRHYMET, Niamey, Niger

### **I. Rappel historique**

Créé en 1974, le Centre Régional AGRHYMET est une institution spécialisée du CILSS (Comité Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel) regroupant neuf Etats qui sont:

- Burkina Faso
- Cap Vert
- Gambie
- Guinée Bissau
- Mali
- Mauritanie
- Niger
- Sénégal
- Tchad

Le Centre est spécialisé dans l'information et la formation en Hydrologie, en AgroMétéorologie et en protection des végétaux. L'objectif du Centre est de produire, diffuser et gérer l'information sur la sécurité alimentaire, la lutte contre la désertification et la gestion des ressources renouvelables. Il élabore et dissémine dans le cadre du système d'alerte précoce du CILSS des produits et des analyses spatialisés et géoréférencés obtenus par l'utilisation du SIG. Pour ses besoins d'échange d'informations et de données, le Centre s'est doté d'outils lui permettant de communiquer efficacement.

### **II. Système RIO**

Le Réseau Intertropical d'Ordinateurs est mis en oeuvre par l'ORSTOM pour permettre aux chercheurs des pays francophones de communiquer entre eux et avec ceux de l'occident. Chaque noeud RIO est géré par les structures de l'ORSTOM du pays concerné tandis que le noeud central se trouve à Montpellier.

Le Centre AGRHYMET vient de se doter d'une machine SUNOS pour ses besoins de communication par le RIO. Cette machine se connecte au SUN de l'ORSTOM par une ligne X25 a 9600 bauds.

Le Centre utilise le RIO pour les échanges d'informations à travers l'INTERNET. Ces échanges concernent surtout la messagerie simple et les messages ne devraient pas dépasser les 100 pages (100Ko). A terme, il s'agira pour le Centre de pouvoir transférer des fichiers de données ou d'images.

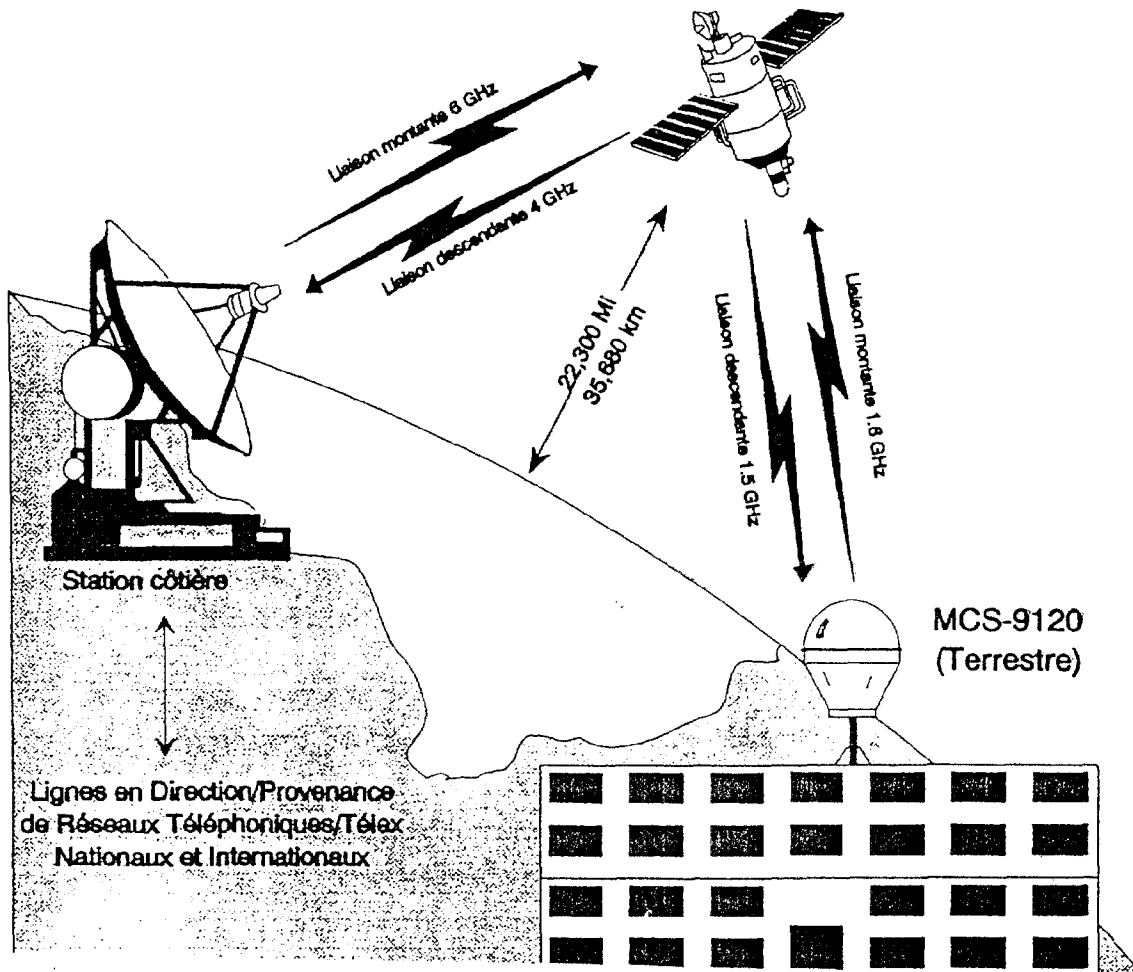
### **III. SYSTEME INMARSAT**

AGRHYMET étant un Centre Régional, chaque pays du CILSS possède une structure dite Centre National Agrhydet (CNA) dotée d'un SIG. Les flux d'informations entre le CRA et les CNA's se faisant de manière permanente, il a été installé dans chaque CNA un système de Télécommunication par Satellite INMARSAT du type MCS-9120.

57

# MCS-9120

## Section 1 - GENERAL INFORMATION



52

5

BEST AVAILABLE COPY

1-13

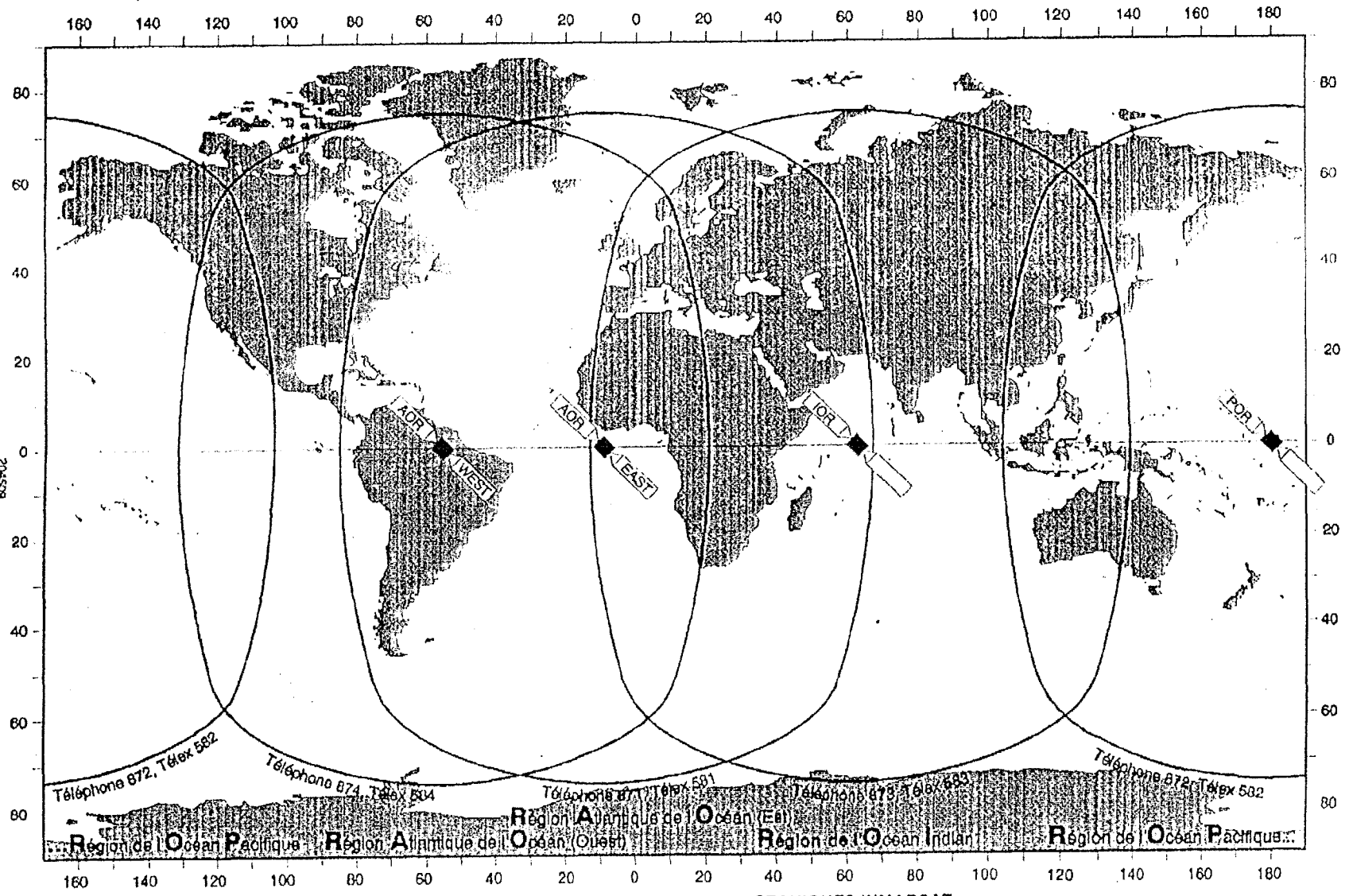


Figure 1-8 COUVERTURE SATELLITE DES QUATRE REGIONS OCEANIQUE INMARSAT à des angles de site de 5 degrés

Section 1 - GENERAL INFORMATION

MCS-9120

## A) DESCRIPTION

Le MCS-9120 comprend:

- Une antenne omnidirectionnelle à référence verticale, à gain élevé orientée vers le Satellite utilisé.
- Un ensemble Terminal compose de:
  - Une unité de contrôle du terminal
  - Une unité de circuits électroniques
  - Un combiné Téléphonique

(TU) (ECU)

- Un satellite Inmarsat géostationnaire utilisé comme récepteurs
- Une station côtière qui contrôle le fonctionnement du Terminal et permet de connecter le MCS-9120 aux grands réseaux Téléphoniques/Telex.
- Un PC/AT compatible

## B) INMARSAT

Les satellites INMARSAT sont au nombre de Quatre, en orbite géostationnaire à environ 35680 Km au dessus de l'Equateur.

Chaque Satellite couvrant une zone du globe, le choix du satellite à atteindre se fera en fonction de la zone dans laquelle on désire envoyer son message.

## C) FONCTIONNEMENT

Le CILSS est vu comme un réseau à l'intérieur duquel chaque CNA est identifié par un numéro unique. Ce réseau porte le numéro 2000 et le CRA le 2000/0. Ainsi le Burkina a le numéro 2000/1, le Cap Vert le numéro 2000/2, etc.. Lorsqu'un appel est initié, le signal quitte l'antenne locale pour atteindre le satellite choisi. Il est ensuite envoyé au niveau d'une station côtière qui, à son tour, le renvoie au satellite avant d'être finalement capté par l'antenne du destinataire.

Lorsque la connexion s'établit, la station côtière devient transparente. Les messages ne sont donc pas gérés en transit entre l'émetteur et le récepteur.

Le logiciel utilisé pour la gestion de la messagerie s'appelle INTERMAIL. Il est très convivial et facile à utiliser. Il offre en plus la possibilité de rattacher des fichiers aux messages. Le protocole ZMODEM utilise permet une reprise des envois aux points d'arrêt éventuels.

Dès qu'un site est appelé, les messages sont échangés dans les deux sens pendant la durée de la communication. Cette dernière se fait à 9600 bauds avec une efficacité quasi entière de 100%.

Pour exemple, un transfert d'un fichier de 200 Ko se fait en 5mn. Un message ordinaire est envoyé en une vingtaine de secondes.

# L'INTERNET ET L'INFORMATION GEOGRAPHIQUE

**P. RENAUD**

ORSTOM, Paris, France

## Résumé:

L'Internet est tout droit sorti des laboratoires de pointe de Californie. Il est né pour répondre aux besoins de calcul et d'échange de données des chercheurs. Il a permis de réduire l'incidence des distances et de multiplier les collaborations internationales. Il s'est construit dans un esprit de franchise universitaire et de gratuité. Son succès suscite aujourd'hui l'appétit des grands opérateurs. Il est cité en exemple par les promoteurs des "autoroutes de l'information". Des projets d'investissement de grande envergure sont à l'étude à la Maison Blanche et dans les chancelleries européennes pour multiplier les infrastructures de télécommunication dans les principaux pays développés.

Les pays en développement seront-ils les oubliés de cette "révolution de l'information" ? Ou présente-t-elle pour eux, une nouvelle chance ? Réduire l'incidence des distances, partager les sources d'informations scientifiques et techniques des pays du Nord, développer la collaboration Nord/Sud et Sud/Sud... L'Internet ne peut-il pas donner un sérieux coup de pouce à l'Afrique ?

Ce réseau réunit aujourd'hui plus de 10 millions d'ordinateurs, plus de 20 millions d'utilisateurs et s'étend sur 120 pays. Il donne accès à des milliers de bases de données mises gratuitement à la disposition des scientifiques par les universités et les centres de recherche. Il n'est plus envisageable, pour les chercheurs de se passer de cet immense gisement d'informations. Tant et si bien que les grandes revues scientifiques s'interrogent sur l'avenir du papier et certaines d'entre-elles proposent déjà des abonnements par "email" ou "Web".

Enfin, l'Internet offre des outils nouveaux pour le traitement de l'information géo-référencée, et plus encore pour sa diffusion. Avec la simple messagerie électronique, il est déjà possible de recevoir ou de distribuer des cartes, d'enrichir une base de données, de la partager sur une échelle internationale. Des technologies plus avancées telles que WAIS et WEB, basées sur la logique "client/serveur", permettent d'aller au-delà et de sélectionner des références bibliographiques ou cartographiques et d'établir un dialogue avec un SIG sans changer d'environnement logiciel.

**Mots-clés :** Afrique, Pays en développement, Réseaux informatiques, SIG, TCP/IP, Internet

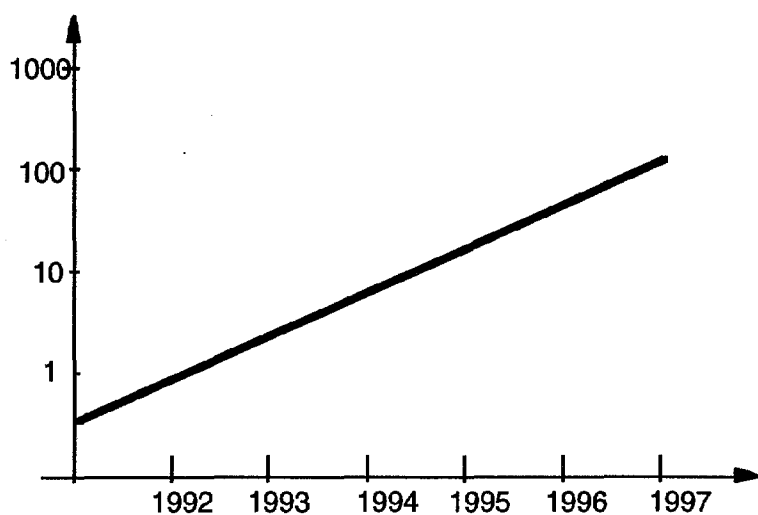
## 1. Le phénomène INTERNET

L'Internet est un "réseau de réseaux", associant la recherche scientifique, l'enseignement supérieur, l'industrie de pointe, de nombreux réseaux administratifs et enfin des services commerciaux. Il regroupe actuellement 30 à 50 millions d'utilisateurs et couvre plus de 100 pays. Il offre des services de messagerie électronique, de diffusion d'information, de bases de données, de banques de logiciels... Son développement rapide et la multiplicité des applications qu'il offre en font un nouveau média appelé à jouer un rôle croissant.

Ce phénomène est né il y a une dizaine d'années dans des universités américaines, il a suscité un grand engouement dans la communauté scientifique internationale. Depuis 2 ans, on constate une accélération de son développement tant aux Etats Unis qu'en Europe.

Dans les milieux scientifiques, l'Internet est en train de devenir le canal principal des échanges. Il n'est plus de sujet qui ne donne lieu à des débats internationaux au travers des "forums électroniques" ou du système des "nouvelles" (news). On évalue à plus de cinquante mille pages par semaine le volume de "littérature" qui circule sur ce canal.

Millions d'ordinateurs



D'un million d'ordinateurs raccordés en 1992, essentiellement aux Etats Unis et dans une moindre mesure en Europe occidentale, on atteint près de 20 millions en 1995, ce qui représente au moins 50 millions d'utilisateurs du service de base de l'Internet : le "Email". Cette progression étonnante, dépassant 10 % par an ne semble pas devoir fléchir dans un avenir proche. On constate que l'Internet s'étend constamment vers de nouveaux secteurs d'activité, après la recherche et l'enseignement supérieur, l'administration (maison Blanche, ONU, banques...), la culture, l'édition, le loisir... De même, sa progression aux Etats Unis se tasse actuellement au profit d'autres pays partis plus tard, notamment : Europe, Canada, Amérique latine.

## 2. L'Internet au Nord et au Sud

L'INTERNET relie de proche en proche des ordinateurs constitués en réseau. Un "réseau local" (LAN) dessert les équipements informatiques d'un établissement ou d'un campus universitaire. Au niveau régional, des liaisons entre les établissements permettent à ces réseaux locaux de communiquer entre eux et d'atteindre une "artère nationale" qui dessert plusieurs régions et mène à un point de liaison international.

Dans les pays du Nord, notamment les plus avancés, ces liaisons, régionales, nationales et internationales sont constituées par des lignes de télécommunication spécialisées, à haut débit, dédiées à cet usage de manière permanente. Le coût de cette infrastructure est élevé. Son financement est assuré par l'Etat ou partagé par les établissements raccordés.

En Afrique, les universités disposent de moyens limités, la recherche technologique est peu développée. L'Internet repose sur des initiatives locales appuyées par des établissements internationaux de coopération scientifique.

Les moyens disponibles et la faible densité d'utilisateurs n'a pas permis, pour le moment, la mise en place des liaisons spécialisées à haut débit. Les services disponibles sont limités, leur prix de revient est plus élevé, enfin, ils sont souvent payés par l'utilisateur final.

Il faut cependant noter les efforts déployés dans certains pays, la Tunisie, l'Egypte et plus récemment la Namibie, la Zambie et l'Algérie qui se sont dotés de liaisons internationales directes.

### 3. Les "autoroutes de l'information"

Ne risque-t-on pas, comme certains le redoutent non sans raison, de creuser encore le fossé technologique entre un Nord sur-équipé et un sud démuné et isolé ? Certains projets nous font craindre la mainmise de quelques pays sur la production et la diffusion de l'information scientifique et culturelle.

L'Internet, c'est à dire le réseau international ouvert utilisant le protocole de communication "TCP/IP"<sup>1</sup> présente cependant des caractéristiques particulières qui rendent plus difficile son utilisation à des fins strictement commerciales. Celle-ci ont fait son succès dans les universités du Nord :

- les logiciels nécessaires à sa mise en oeuvre sont gratuits car issus de travaux réalisés sur fonds publics américains et européens et auxquels il ne peut pas être attaché de droits de propriété<sup>2</sup>,
- les ordinateurs nécessaires, tant pour communiquer par messagerie que pour accéder à des bases de données ou diffuser de l'information sont des machines standards, très bon marché tel qu'un simple PC ou un Macintosh<sup>3</sup>.

- à chacun selon ses moyens : l'Internet regroupe une panoplie étendue de techniques de télécommunication et de diffusion d'information qui permettent de s'adapter aux infrastructures du pays et aux moyens de l'organisation qui l'utilise. Avec une simple ligne de téléphone, on peut diffuser un bulletin quotidien à des millions d'utilisateurs<sup>4</sup>...

- l'Internet est "égalitaire". Chaque ordinateur peut être serveur d'information comme il est client<sup>5</sup>. Chaque utilisateur, est un producteur potentiel. Les données circulent, dans les deux sens à la même vitesse, avec le même débit, diraient les spécialistes. Que l'on dispose d'une liaison à bande étroite, capable de ne laisser passer que quelques centaines de pages à l'heure (soit 1200 bps) ou qu'on soit relié sur une fibre optique à très haut débit, on ne recevra pas plus d'information des autres qu'on peut soit-même en envoyer. C'est évidemment l'inverse avec les chaînes de télévision.

<sup>1</sup> Transport Command Protocol / Internet Protocol

<sup>2</sup> Il s'agit de ce qui est appelé "Public Domain" : la loi américaine favorise la diffusion libre des travaux issus de la recherche publique en interdisant leur commercialisation. De nombreux établissements européens commencent à appliquer la même règle.

<sup>3</sup> un PC (386 et plus) est transformé en machine UNIX par l'installation du système LINUX qui est lui-même gratuit. RIO envisage d'utiliser ce type de machine à la place des stations Sun.

<sup>4</sup> l'envoi d'un message à des listes de distributions mondiales plusieurs fois relayées et ainsi démultipliées est un des mécanismes les plus efficaces de diffusion d'information sur l'Internet. Il est à la portée de tous.

<sup>5</sup> pour la même raison, tout utilisateur du email est producteur d'information, de plus, un simple PC ou Mac peut être serveur WWW.

Ces caractéristiques d'égalité et d'accessibilité ne sont pas liées à une pratique "non-commerciale" du réseau mais inscrites dans la technologie Internet : le protocole TCP/IP.

Le maintien de la gratuité pour l'utilisateur final dans les secteurs "recherche et éducation" et la tarification forfaitaire des établissements conditionnera le succès du réseau et sa généralisation (un milliard d'utilisateurs à la fin du siècle).

#### **4. Le développement de l'Internet dans les pays du Sud**

---

Il est confronté à plusieurs difficultés :

- le manque d'ingénieurs et de techniciens : l'Internet est le produit d'une culture "technologique"
- l'état de crise de nombreuses universités et le manque de moyen des établissements de recherche
- des conditions économiques peu favorables

Cependant, l'Internet est l'occasion pour les africains d'accéder massivement aux sources d'information scientifique et technique, c'est un moyen de communication efficace pour renforcer la coopération régionale . C'est aussi un média capable de valoriser les capacités et les savoirs du continent. Parce qu'il assigne à chacun une position équivalente, l'Internet, est le seul projet associé aux "autoroutes de l'information" qui offre de nouvelles chances aux pays en développement :

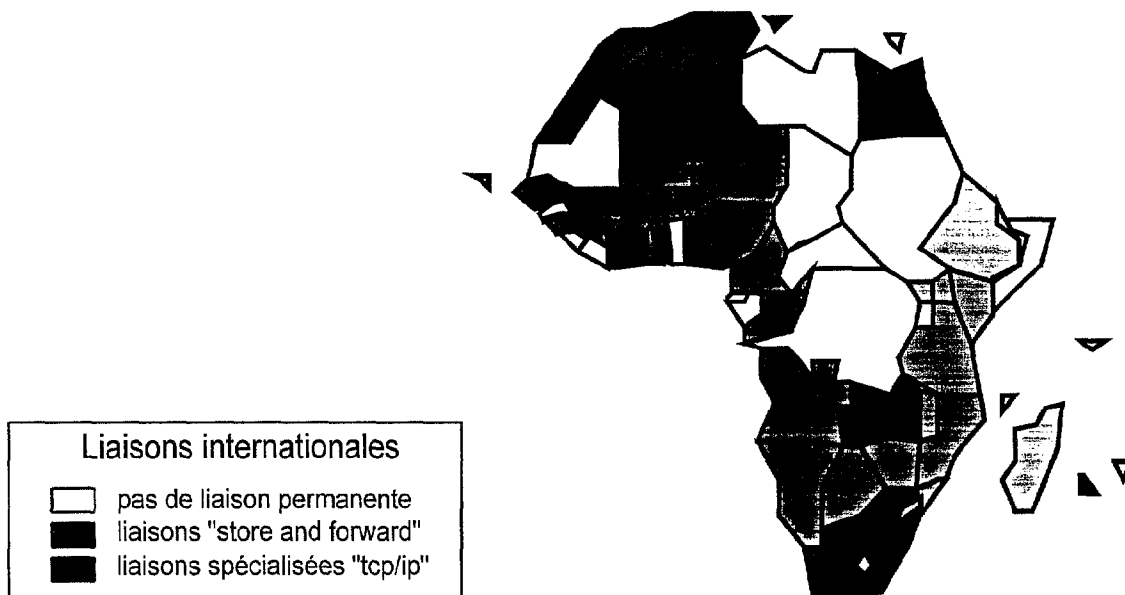
- accéder massivement aux bases de donnée de tous les pays du Nord
- développer les collaborations régionales et internationales
- constituer et gérer sur place des bases d'information concernant le pays ou la zone géographique, faire connaître les ressources et les potentialités économiques de la région ou du pays, fournir, gratuitement ou presque, de l'information scientifique, économique, juridique... utile aux établissements publics, aux organismes de coopération internationale et aux entreprises du pays.

#### **5. La situation actuelle de l'Afrique**

---

- 5 pays disposent d'une ligne de télécommunication internationale "TCP/IP" permanente : Tunisie, Egypte, Afrique du Sud, la Zambie et l'Algérie.
- environ 28 pays (dont la Côte d'Ivoire à travers le projet RIO de l'Orstom) ont des accès permanents au email
- les autres n'ont pas encore d'accès permanent





## 6. Construire l'Internet en Afrique

Pour permettre à l'Afrique, de s'insérer pleinement dans le réseau mondial d'information et de communication, il convient :

- d'encourager le développement de réseaux nationaux reliant la majorité des établissements et des projets qui utilisent ou produisent de l'information scientifique et technique, pour aboutir rapidement à l'interconnexion massive de ces organismes et à la généralisation de l'usage des outils de base de l'Internet.
- de favoriser l'accès gratuit pour l'utilisateur final pour les secteurs non commerciaux notamment ceux de l'enseignement et de la recherche. C'est une condition indispensable au développement du réseau sur une grande échelle. Il permettra d'ouvrir largement l'accès à l'information et d'éliminer le principal frein à la communication Nord-Sud et Sud-Sud. Pour atteindre cet objectif, il convient de définir des modes de financement durables associant les établissements bénéficiaires et les opérateurs de télécommunication à l'exemple de ceux qui sont en vigueur dans les pays du Nord.
- de mettre en place les outils de gestion de bases de données scientifiques et techniques et de faire émerger le savoir-faire nécessaire pour alimenter l'Internet avec les informations qui concernent la zone géographique. L'Internet est un média de diffusion planétaire d'un coût de revient modeste. Il offre l'occasion de valoriser les connaissances scientifiques de l'Afrique auprès des Africains eux-mêmes comme auprès de tous leurs partenaires.

## 7. L'Internet et l'information géographique

### Le courrier électronique (Email)

- pour le développement de collaborations entre établissements

Exemple : CSE (*camara@cse.cse.sn*),  
 AGRHYMET (*direx@cra.agrhymet.ne*),

IRSIT (*bounemra@alyssa.rsinet.tn*)

### Le Email et la fonction "courrier annexé"

- échange de données, cartes, images (de petite dimension)

### **Le Email et le système de forum électronique "LISTSERV"**

- diffusion automatique de bulletins d'informations (exemple: SMIAR/FAO)
- mise à disposition de bases de données (textes ou documents graphiques) en accès libre ou contrôlé
- alimentation automatique de bases de données par plusieurs partenaires

### **DES SERVICES PLUS ELABORES : Les systèmes "client/serveur"**

#### **Les bases de données WAIS**

Le système "WAIS" permet de gérer des bases de données bibliographiques indexées, il est compatible avec les logiciels "clients" de type MOSAIC ou NETSCAPE. Enfin, il est accessible à tous les utilisateurs de l'Internet disposant du simple email<sup>6</sup>.

Le "réseau de bases de données" WAIS contient de nombreuses bases d'information traitant de l'environnement.

#### **L'accès aux bibliothèques FTP**

Ces "bibliothèques" contiennent des logiciels ou des ouvrages de références qui peuvent être librement copiés par les utilisateurs de l'Internet. Des systèmes d'informations géographiques, des fonds de cartes, des bases d'informations géophysiques ou climatiques géoréférencées sont disponibles sur de nombreux serveurs. FTP est aussi accessible par Email à travers le service "ftpmail"<sup>7</sup>

#### **World Wide Web**

- présentation de cartes et d'images (exemple catalogue de "Spot-image sur la base de données HAPEX, Orstom-CNES)
- consultation de cartes : "cartes sensibles" avec association carte/données

#### **Hors des "standards" de l'Internet**

Il est possible d'utiliser le réseau TCP/IP de l'Internet pour des applications spécifiques.

## **8. Conclusion**

Avec plusieurs millions de machines reliées, des dizaines de millions d'utilisateurs très actifs, une progression de près de 10 % par mois, l'Internet dépasse les pronostiques les plus optimistes. Il s'impose dans tous les secteurs d'activité. Sa croissance qui s'est d'abord concentrée sur les Etats Unis est maintenant plus forte dans les autres pays.

En Amérique du Sud, la messagerie électronique était inconnue il y a 3 ans dans la plupart des pays. En fin 1994, tous disposent de liaisons permanentes à haut débit donnant accès à tous les services interactifs.

La question n'est plus de savoir si l'Internet couvrira l'Afrique, mais à quel rythme et dans quelles conditions.

Pour que ce nouveau média de communication et d'information constitue une réelle chance pour le Continent, il doit être accessible aux organismes non commerciaux et ne pas se cantonner aux seuls établissements solvables. Il faut donc que ceux-ci, notamment les secteurs de la science et de l'éducation, s'organisent pour assurer un accès libre et bon marché au réseau comme cela s'est fait dans tous les pays du Nord. N'oublions pas que les outils de télécommunication de la génération précédente (télécopie, téléphone...) sont peu accessibles et rigoureusement contingentées à travers leur prix élevé.

Il faut veiller à ce que les protocoles qui ont fait le succès de l'Internet au Nord et qui confèrent des "droits égaux" à tous les ordinateurs du réseau soient conservés. Cela signifie que chaque ordinateur du réseau est à la fois capable d'être récepteur et émetteur avec la même "puissance" dans les deux sens.

---

<sup>6</sup> un ouvrage "Guide de l'Internet en Afrique" a été édité par des organisations internationales (UNITAR / OSS ) avec la collaboration du projet RIO de l'ORSTOM. Il montre comment, avec un simple email, on atteint toutes les bases de données de l'Internet. Le guide peut être commandé à : UNITAR, Palais des Nations, CH 1211 Genève 10 - tel : + 41 22 788 63 43.

<sup>7</sup> idem

Dans ces conditions, l'Internet offrira aussi une voie pour distribuer de l'information du Sud vers le Nord. Il permettra à l'Afrique de faire mieux connaître ses potentialités et ses produits et de participer plus directement aux décisions économiques, industrielles ou scientifiques de la Planète.

### **Annexe 1 : les principales initiatives internationales en matière de réseaux**

---

**PADISNET** (Pan African Development Information System) est mené dans les années 80 par l'UNECA (United Nation Economic Commission for Africa). Un serveur de base de données et de "bulletin d'information" (BBS : Bulletin Board System) est installé aux Etats Unis pour être consulté à distance. En 1990 le CRDI canadien relance PADISNET avec le projet "CIBECA" (Capacity and infrastructure Building in Electronic Communications Service in Africa) et s'oriente vers la messagerie électronique entre PC en s'appuyant sur le réseau Fidonet de GREENNET (voir ci-dessous).

**RINAF** : "Regional Informatic Network for Africa" est lancé en 1991 par l'Italie (Stefano Trumpy directeur du CNUCE, Pise) sous l'égide de l'UNESCO (programme PII). Il s'agissait de développer un réseau "recherche-éducation" sur toute l'Afrique. La démarche de RINAF a consisté à collaborer avec les gouvernements pour organiser un réseau par région.

**SDN** : "Substantable Development Network" est un projet très récent du PNUD (1994). Il est destiné aux ONG et s'appuie sur la technologie Fidonet [2] assez populaire parmi celles-ci.

**UNINET-ZA** : Il s'agit de l'extension du réseau Internet sud-africain aux pays frontaliers. Mis en place par L'Université Rhodes (Grahamstown) il s'étend sur le Botswana, le Lesotho, l'Ile Maurice, le Mozambique, la Namibie et le Zimbabwe. Il s'appuie essentiellement sur la technologie "UUCP" et marginalement "Fidonet" [2]. UNINET-ZA est aussi le réseau sud-africain des universités et de la recherche.

**GREENNET** est le réseau d'un ONG membre de l'APC (Alliance for global communication). L'équipe technique "Greenet" assure depuis Londres un service d'appui et d'interconnexion. Le réseau est basé sur la technologie Fidonet [2]. Il comprend environ 280 correspondants (principalement des ONG) dans les pays suivants : Botswana, Ethiopie, Gambie, Ghana, Kenya, Maurice, Mozambique, Sénégal, Afrique du Sud, Tanzanie, Tunisie, Ouganda, Zambie, Zimbabwe.

**REFER** : Réseau francophone de l'enseignement et de la recherche. Il s'agit d'un projet de la Francophonie (AUPELF). Il vient en complément au projet "SYFED" (Système francophone d'édition et de documentation). Il vise à offrir aux utilisateurs des "points Syfed" (centre de documentation) un accès aux bases de données francophones de l'Internet. La mise en place de ce nouveau service est prévue pour 1995 et 1996 et doit commencer par le Sénégal, Madagascar, la Côte d'Ivoire et le Cameroun.

**RIO** : Réseau Intertropical d'Ordinateurs, c'est un programme de l'ORSTOM (Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération). Il s'agit d'une part de proposer aux établissements de recherche et d'enseignement supérieurs des pays en développement, un accès permanent au Email, et d'autre part, d'établir des collaborations à long terme avec les départements et écoles d'informatique des universités, pour développer dans chaque pays un réseau "Recherche-Education". RIO démarré en 1989 avec le serveur de Dakar, développe actuellement des activités sur 11 pays : Sénégal, Mali, Côte d'Ivoire, Burkina-Faso, Niger, Cameroun, Madagascar, Seychelles, Kenya, Guinée, Togo. La technologie déployée associe UUCP (Unix to Unix Communication Protocol) et TCP/IP.

## **Bibliographie**

---

Karanja Gakio : implementating a local area network, the RIO experience in Sénégal - African Technology Forum Vol 5, No 3, Sept 1992.

Michael Hailu : CGnet in Africa, Electronic Data Communication in International Agricultural research - Workshop on Science and Technology Communication Networks in Africa, Nairobi (Kenya) August 27-29, 1992

Carl Malamud : Exploring the Internet: A Technical Travelogue, Prentice Hall (Englewood Cliffs, 1992)

Pascal Renaud & Monique Michaux : RIO An opérational network in 6 sub-saharian countries and three south pacific islands - INET'92, Kobe (Japan) june 15-18, 1992.

Actes du colloque AFRICAGIS' 1993, Tunis, Juin 1993 - Edition UNITAR

Actes du colloque "RNRT", Institut de recherche scientifique en informatique et télécommunication (IRSIT), Tunis juin 1994

Actes du 2e Colloque africain de recherche en informatique (CAR'94) - Edition INRIA-ORSTOM 1994

User's Guide to networks in Africa, Edition AAAS 1994

Guide de l'Internet en Afrique, Edition UNITAR 1995

# **GROUPES DE TRAVAIL**



**AFRICAGIS'95**

**WORKING GROUPS**

**Groupe de Travail 1: DESERTIFICATION**

**Working Group 1: DESERTIFICATION**

<b>ETUDE DE LA CONCEPTION D'UN MODELE DE DONNEES POUR LA MISE EN OEUVRE D'UN SIG D'UNE ZONE DU SUD ALGERIEN</b>	
N. ABDAT, M. BELHADJ AISSA, A.BELHADJ AISSA .....	77
<b>APPORT DE LA TELEDETECTION DANS L'ETUDE DES INDICATEURS DE DESERTIFICATION AU SAHEL</b>	
A. DIOUF .....	79
<b>ETABLISSEMENT D'UN SYSTEME D'INFORMATION PEDOLOGIQUE ET SON UTILISATION COMME OUTIL DE GESTION CONSERVATOIRE DES RESSOURCES EN TERRES</b>	
A. MERZOUK, M. N. ALOUSSI .....	94
<b>PROGRAMME OSS-UNITAR SUR LES SYSTEMES D'INFORMATION INTEGRES SUR L'ENVIRONNEMENT. LE SYSTEME D'INFORMATION ET DE SUIVI SUR LA DESERTIFICATION</b>	
Ch. NUTTALL .....	95
<b>ROLE OF ENVIRONMENTAL INFORMATION IN THE CONVENTION TO COMBAT DESERTIFICATION</b>	
M. OLSON, P. T. GILRUTH .....	96
<b>SYSTEME D'INFORMATION INTEGRE SUR L'ENVIRONNEMENT POUR L'AIDE A LA DECISION: CAS PILOTE DU GOUVERNORAT DE MEDENINE, TUNISIE</b>	
M. TALBI .....	102
<b>QUELQUES METHODES DES SYSTEMES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE POUR L'EVALUATION ET LA SURVEILLANCE DE L'EROSION EOLIENNE: LE CAS DU SUD MAURITANIEN</b>	
A. K. THIAM .....	103
<b>PAST EXPERIENCES AND FUTURE ACTION TO FIGHT DESERTIFICATION IN TUNISIA</b>	
A. KALLALA .....	135
<b>PLANNING A DESERTIFICATION INFORMATION SYSTEM</b>	
D. B. TUNSTALL .....	136
<b>DEVELOPMENT OF INDICATORS FOR MONITORING THE IMPACT OF NATIONAL NRM PROGRAMS: THE CASE OF NIGER</b>	
B. WINTERBOTTOM .....	140

# ETUDE DE LA CONCEPTION D'UN MODELE DE DONNEES POUR LA MISE EN OEUVRE D'UN SIG D'UNE ZONE DU SUD ALGERIEN

**N. ABDAT**

Institut d'Informatique / U.S.T.H.B., Alger, Algérie

**M. BELHADJ AISSA, A.BELHADJ AISSA**

Laboratoire de traitement d'images, Institut d'Electronique / U.S.T.H.B., Alger, Algérie

La géographie est la science qui décrit et explique l'aspect actuel, naturel et humain, de la surface de la terre. Elle analyse les conditions offertes par le milieu aux groupes humains, dont elle examine la mise en place, l'évolution démographique et spatiale, en même temps que les formes d'actions sur ce milieu du point de vue de l'exploitation des ressources du sol et du sous-sol.

L'article que nous proposons, entre dans le cadre d'un projet que relève de la géographie et de la télédétection. Il s'agit de l'établissement de bilan des dégradations de conditions de vie pour l'homme à la suite d'un inventaire des processus de désertification sur les marges Sud de l'Atlas Saharien en Algérie (de Laghouat à Béchar) basé sur des données satellitaires multisources multitudes.

La méthode préconisée dans ce projet, est basée sur le traitement tant spectral, spatial que temporel des images satellitaires en correspondance avec la vérité terrain. L'objectif d'intégration des données et des méthodologies de traitement des différents problèmes, de l'ensemble des domaines à traiter concernant la région, nous impose des réflexions préalables sur un certain nombre de concepts fondamentaux. Ces réflexions doivent nous permettre d'aboutir à terme à la conception d'un système d'information géographique régional (SIGR).

Les implications très larges du projet, la nécessité d'une perception globale de la région et la prise en considération de la dimension spatiale et temporelle des phénomènes mettent à l'évidence l'inefficacité des techniques classiques de gestion de fichiers et celle de modèles classiques de données pour la mise en place du SIGR.

De plus, l'information utilisée et traitée, et qu'on peut qualifier de géographique, peut se manifester sous des formes diverses : descriptions littéraires, mesures de terrain, photographies, cartes, images, graphes,... L'information géographique est donc de nature multimédia. Elle est aussi persistante, et peut provenir de sources différentes : photographies, cartes, images, satellite... En conséquence, le domaine des bases de données se doit de fournir les moyens de gérer, de manière intégrée, ces types d'informations.

Les objets géographiques sont décrits par trois composantes :

- un ensemble de propriétés générales sur leur nature pouvant s'exprimer simplement avec des données alphanumériques,
- une représentation graphique,
- une représentation spatiale : localisation, surface, espace occupé...

Les deux derniers points constituent de nouveaux types de données encore peu pris en compte par les bases de données.

Les problèmes essentiels à résoudre sont donc :

- La spécification d'un modèle de données permettant de décrire la structure des objets géographiques.
- La conception de langages spécialisés d'accès aux objets géographiques ou parties d'objets géographiques.
- La recherche de structures de stockage des données adaptées et efficaces.

Certains SGBD proposent, pur modéliser les données des bases de données spatiales, des extensions du modèle relationnel. Par exemple en permettant à un domaine d'être défini comme un type abstrait ou comme un calcul. Dans notre cas, nous avons préféré utiliser un formalisme orienté objet qui promet une plus grande convivialité au niveau de l'accès de l'information, et de puissance de modélisation. La modélisation orienté objet connaît actuellement de nombreux développements. Elle permet une représentation plus aisée des structures de connaissances, alliant au sein d'une même entité, données et traitements.

Il s'agit donc, dans le cas de ce travail, de définir un modèle de données orienté objet permettant l'intégration de données pouvant provenir de sources variées. Pour cela il faut, d'une part, définir l'information géographique : ses caractéristiques, ses sources, les applications qui la manipulent..., et suivre l'évolution des besoins en traitement géographique, et d'autre part, faire un état de l'art des différents modèles de données existants, pour définir, à la fin, le modèle de données pour le SIGR.

**Mots-clés :**

géographie, données satellitaires, système d'information géographique, modèle de données, information géographique, multimédia, bases de données, bases de données spatiales, SGBD, orienté objet.

66



# APPORT DE LA TELEDETECTION DANS L'ETUDE DES INDICATEURS DE DESERTIFICATION AU SAHEL

**A. DIOUF**

Centre de Suivi Ecologique, Dakar, Sénégal

## RESUME

La Désertification définie comme étant la dégradation des terres dans les zones arides, semi-arides et subhumides sèches par suite de divers facteurs, parmi lesquels les variations climatiques et les activités humaines (in Convention Internationale de lutte contre la Désertification: dernière version); pour ne citer que celle-ci parmi tant d'autres, éveille énormément de débats au sein de la communauté scientifique internationale.

La démarche adoptée pour évaluer le phénomène nous conduit à définir a priori les critères ou plus simplement à réfléchir sur les indicateurs possibles de la Désertification. Certains auteurs ont tenté d'aborder cette question complexe (Lamprey et Hellden 1975, Dregner et Tucker 1988, Olsson 1985, Ahlcrona 1988, Macleod et al. 1977, Walker et Robinove 1986, Tucker et Justice 1986) et ont abouti à des résultats parfois controversés.

Au Centre de Suivi Ecologique (CSE), une série de données sur la végétation a été collectée depuis 1987 grâce à l'imagerie satellitaire NOAA/AVHRR et des travaux de calibrage sur le terrain pour le suivi de la biomasse sur les parcours naturels du Sénégal.

L'objectif de notre étude est de voir dans quelle mesure ces données collectées, traitées, analysées et diffusées peuvent être utilisées aux niveaux (sous-régional, national et même terroir villageois) pour appréhender le processus de Désertification et aider ainsi à prendre des décisions adéquates en vue d'arrêter ce processus.

L'indice de végétation par la différence normalisée (NDVI) obtenu par le biais des canaux 1 et 2 des capteurs montés à bord du satellite sus-cité et qui exprime l'activité chlorophyllienne des végétaux, peut-il être utilisé comme indicateur de désertification ? Etant donné que les écosystèmes sahéliens subissent des fluctuations intra et/ou intersaisonniers, la détermination de la norme par rapport à laquelle ces fluctuations s'effectuent, permettrait de juger de l'évolution positive ou négative de la dynamique des écosystèmes. La contrainte principale à la détermination de cette norme demeure être l'échelle de temps d'observation, parfois trop court, pour situer le point de départ des modifications de l'écosystème. La résilience de ces milieux arides, semi-arides et subhumides secs semble être plus aisée à mettre en exergue.

Une analyse pertinente de notre base de données spatio-temporelles permettra d'apporter des éléments de réponse à ces questions relativement difficiles.

## Introduction

Vers les années soixante et dix, les pays sahéliens furent confrontés aux problèmes de changements climatiques. Baisse des précipitations, diminution du disponible fourrager, réduction des rendements agricoles, mortalité du cheptel, disparition précoce des mares temporaires, recharge insuffisante des nappes d'eau: la sécheresse sévit. Dans le langage courant, le Sahel désigne la zone de transition entre le désert du Sahara au Nord et les savanes humides au sud de l'Afrique. Le Sénégal, pays situé dans cette frange sahélienne entre 12000' et 16030' de latitude Nord et 11° 30' et 17° 30' de longitude Ouest, a connu évidemment ces péjorations climatiques dont les conséquences se résument généralement sous le vocable de désertification. Selon la

67

dernière version de la Convention Internationale pour la lutte contre la désertification (C.I.D), la Désertification se rapporte à la "dégradation des terres dans les zones arides, semi-arides et subhumides sèches par suite de divers facteurs, parmi lesquels les variations climatiques et les activités humaines". Cette définition varie énormément en fonction des auteurs voire en fonction des Ecoles si je puis m'exprimer ainsi, et suscite beaucoup de débats dans la communauté scientifique. Pour éviter de nous engager dans des discussions stériles qui dérivent parfois vers le domaine politique, nous nous atèlerons à utiliser le mot dégradation dans notre étude. La dégradation des écosystèmes, qui englobe la désertification, est une meilleure description de la grande majorité des problèmes environnementaux auxquels nous sommes confrontés aujourd'hui. Plusieurs Etats, avec l'appui des Bailleurs de fonds se sont évertués à développer des stratégies de lutte contre la désertification, sans pour autant commencer par comprendre le phénomène. Evaluer la dégradation d'un écosystème, nécessite de définir des critères d'appréciation ou indicateurs de dégradation plus communément connus sous l'appellation d'"indicateurs de désertification". Un suivi du phénomène dépend essentiellement de la pertinence du ou des indicateurs choisis.

L'analyse essaie de montrer comment des indicateurs de désertification peuvent être identifiés à travers les résultats du suivi de la biomasse végétale effectué depuis quelques années par le Centre de Suivi Ecologique (CSE).

### **La problématique des indicateurs**

Définir des critères aussi complexes nécessite une approche relativiste et prudente si l'on veut élaborer un diagnostic pertinent.

Un indicateur de désertification pourrait être défini comme un paramètre qui permet d'apprécier la tendance de la dégradation d'un écosystème vers un état statique. Etant entendu que le degré d'importance d'un indicateur varie en fonction de l'échelle et du milieu.

Certains auteurs qui ont tenté d'aborder cette question épineuse ont abouti parfois à des résultats controversés. Lorsque Aubreville en 1949, définit la désertification comme une augmentation de la superficie des déserts (zones sèches essentiellement dépourvues de végétation), aux dépens des terres semi-arides, l'on pensait qu'une étude diachronique de l'emplacement de la bordure des déserts pourrait indiquer le niveau de dégradation des écosystèmes sahéliens. Il faut cependant utiliser des éléments de base (cartes IGN, photos aériennes, images satellites,...) tout au moins homologues et compatibles pour faire une bonne comparaison et éviter ainsi de tirer des conclusions qui ne traduisent pas la réalité. Il peut arriver que l'on utilise des critères qui ne font aucune distinction entre les effets de la sécheresse et les effets de la désertification.

L'évolution du pourcentage de sol nu sur des sites de contrôle au sol a été testée au Centre de Suivi Ecologique comme indicateur, mais les résultats n'étaient pas probants. Sur un nombre supérieur à dix huit (18) sites de 3km x 3km, des transects de 1000m sont réalisés, permettant ainsi de déterminer la fréquence relative des plages de sol nu. L'augmentation du pourcentage de sol nu semblait être pertinente, mais dans notre zone d'étude, elle l'était moins. Il existe une composante naturelle dans les parcours du Ferlo constituée par des termitières qui, après la pluie, perdent une partie de leur cône sous l'effet de la fonte (érosion hydrique), et contribuent en conséquence à la consolidation et à l'élargissement de l'emprise de l'ouvrage. La terre fine et compacte s'étale sur le stock semencier et bloque la germination. Il se crée ainsi des surfaces dénudées de végétation qui viennent s'ajouter aux autres surfaces nues supposées être dues à la dégradation. Il devient alors difficile de considérer le pourcentage de sol nu comme indicateur de dégradation.

Le pouvoir d'achat des populations autochtones devrait aussi pouvoir nous édifier sur l'importance de la dégradation des terres et des conditions de vie des Hommes. Si l'on se réfère à notre zone d'étude (Ferlo), le biais majeur provient des entrées de devises liées à la contribution familiale des immigrés dans leur foyer

d'origine. C'est une stratégie d'adaptation aux rigueurs du milieu, qui entre autres, ne rend aisée l'appréciation des critères d'évaluation de la dégradation du milieu du point de vue social.

C'est dire donc combien le problème des indicateurs de désertification est complexe.

Nous avons surtout tenté au CSE, d'utiliser l'imagerie satellitaire combinée avec des travaux de terrain pour suivre l'évolution de la biomasse sur les parcours naturels du Ferlo sénégalais.

### **La zone d'étude ou Ferlo sénégalais**

Le Ferlo ou zone sylvo pastorale du Sénégal, compris entre les latitudes 14° 30 N et 16° 30 N et les longitudes 13°30' W et 16° W (cf. annexe 1) a pour vocation essentielle l'élevage. La population est composée de pasteurs Peuhls qui pratiquent la transhumance à la recherche d'aliments pour leur cheptel.

Le Ferlo, par la nature du substrat, est généralement divisé en deux parties:

-la partie Ouest à sols brun-rouge-subarides sur sables siliceux apparaissant sous forme de dépressions endoréiques ceinturées par des systèmes dunaires: appelée **Ferlo sableux**; sa végétation est de type pseudo-steppe, à tapis graminéen annuel, dominé de façon irrégulière par une formation complexe de ligneux hauts/ligneux bas le plus souvent épineux.

- et la partie Est dont les sols à sesquioxides sur grès sablo-argileux sont souvent concrétionnés et cuirassés en profondeur, reposent généralement sur roches paléozoïques et précambriennes: elle est appelée Ferlo ferrugineux; sa végétation rappelle les formations complexes arborées à Combretacées dominant une strate herbacée composée principalement d'espèces annuelles.

### **Méthodologie**

La carte de production végétale qui est le produit final de la campagne de biomasse, résulte de la combinaison de différents niveaux d'acquisition et de traitement des données:

- un niveau satellitaire qui permet d'extraire l'Indice de Végétation par la Différence Normalisée (NDVI) à partir des canaux rouge et infra-rouge de l'imagerie NOAA/AVHRR;
- un niveau terrain qui permet de mesurer directement la production herbacée et ligneuse au niveau des sites de contrôle au sol (SCS) mis en place sur l'ensemble de la zone d'étude;
- et un niveau traitement des données collectées sur le terrain et calibrage des données satellitaires.

#### **1. Le niveau satellitaire**

Auparavant, le CSE achetait les images NOAA/AVHRR auprès de la station de réception de l'Agence Européenne à Mas Palomas (Iles Canaries). Les meilleures images de chaque décade étaient copiées sur bande CCT 6250 bpi le premier jour de la décade suivante et expédiées au CSE. Ce qui ne nous permettait pas de disposer des informations en temps réel.

Depuis août 1992, le CSE dispose de sa propre station de réception NOAA/AVHRR. Cela facilite beaucoup l'acquisition des images et élimine le décalage qui existait auparavant entre la prise de vue et la réalisation de la carte d'indice de végétation. Les quatre meilleures images sont sélectionnées par décade et le traitement entièrement réalisé par l'équipe responsable de la chaîne de traitement d'images NOAA à l'aide du logiciel CHIPS conçu par l'Institut de Géographie de l'Université de Copenhague (Danemark) en plusieurs étapes:

- le calcul de l'Indice de Végétation par la Différence Normalisée (NDVI) à partir de la formule suivante:

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{proche infrarouge} - \text{rouge})}{(\text{proche infrarouge} + \text{rouge})}$$

- le redressement de l'image se fait soit par la sélection des points de contrôle au sol (Sénégal et pays limitrophes) soit par l'application des paramètres orbitaux du satellite sur les vecteurs UTM (Universal Transverse Mercator) dessinant les contours des eaux;
  - le rééchantillonnage de l'image selon une taille du pixel d'un km<sup>2</sup>;
  - l'application d'un masque de nuages calculé à partir du canal infrarouge thermique, du rouge et du NDVI sur les parties fortement ennuagées;
  - la composition des images décennales selon le maximum d'indice;
  - l'intégration d'images décennales sur l'ensemble de la période de croissance avec possibilité d'interpolation pour certaines zones affectées par les nuages. Cette intégration résulte d'une moyenne pondérée des indices de végétation en fonction de la période couverte par chaque MVC, l'équation utilisée étant de la forme:  $(\sum_{i=1}^t \text{NDVI}_i * \alpha_i) / P$
- NDVI = indice de végétation sur les MVC  
 α = période couverte/MVC  
 P = nombre de jours de la période d'intégration.  
 MVC = maximum value composite

L'indice de végétation exprime l'activité chlorophyllienne des végétaux. Les capteurs montés à bord du satellite NOAA enregistrent dans différents canaux les réponses spectrales de la végétation. Les informations électromagnétiques revues sont relatives à l'absorption et à la réflexion de l'énergie lumineuse du soleil. La chlorophylle absorbe fortement l'énergie émise dans le spectre du visible surtout dans la longueur d'onde de 675nm correspondant au rouge (R) et enregistrée par le canal 1 du satellite. Les parois des cellules végétales réfléchissent fortement l'énergie lumineuse dans les longueurs d'onde comprises entre 800 et 1100nm, correspondant au proche infrarouge (PIR) et à l'infrarouge (IR) et enregistrée par le canal 2 de ce satellite.

## 2. Le niveau terrain

Les cartes d'indice de végétation ne montrant l'évolution de la croissance végétale que de manière qualitative, le contrôle au sol s'avère indispensable. Cette opération permet de valider l'information satellitaire en quantifiant la production végétale par une mesure directe sur le terrain. A cet effet, 36 sites de contrôle au sol (SCS) de 9 km<sup>2</sup> de superficie, répartis dans différentes zones éco-climatiques du pays (cf. annexe 2) sont mis en place selon les critères suivants:

- représentativité des différents types de biotopes rencontrés au Ferlo;
- éloignement par rapport aux points d'eau et aux terrains de cultures pour des raisons de pérennité (ceci conduit à choisir de préférence des zones protégées telles que les forêts classées);
- homogénéité apparente du milieu (pédomorphologie, composition floristique);
- distance minimale de 30km entre les SCS correspondant plus ou moins au rayon de polarisation des forages.

La résolution de NOAA étant de 1.1 km × 1.1 km, ces sites correspondent à peu près à 9 pixels du satellite.

### 2.1. La mesure de la production herbacée

Elle se fait selon la méthode de la ligne d'échantillonnage stratifiée. Sur un transect de 1 km de long, une stratification est effectuée selon différents niveaux de production de la strate herbacée. Chaque mètre carré est coté par un niveau de production allant de 0 à 3:

- la cote 0 correspond au sol nu,
- la cote 1 correspond à une production relativement faible sur le SCS,
- la cote 2 correspond à une production moyenne sur le SCS,
- la cote 3 correspond à une production relativement élevée sur le SCS.

Ensuite des placeaux d'un mètre carré sont coupés au hasard sur la ligne. Une partie de la matière verte prélevée sur ces placeaux est transportée à l'étuve après un rééchantillonnage effectué pour chaque niveau de production afin d'obtenir le taux de matière sèche. La production obtenue est pondérée par la fréquence relative de chaque strate.

### 2.2. La mesure de la production ligneuse

La biomasse foliaire est mesurée par la méthode de l'hectare circulaire. Quatre placettes distantes de 200 m sur le transect sont systématiquement inventoriées. La taille de la placette est fonction de la densité des arbres et varie en général entre 1 ha et 1/16 ha. Les paramètres suivants sont relevés sur chaque sujet situé dans la placette:

- le nom de l'espèce,
- la hauteur,
- la largeur et la longueur de la couronne,
- la circonférence du tronc,
- les états phénologique et physiologique,
- et les marques de taille.

La production de chaque individu est obtenue à partir de la circonférence du tronc grâce à des relations allométriques (du type  $a \cdot C^b$ ) établies par le CIPEA au Mali.

a = constante fonction de l'espèce;

C = circonférence en cm;

b = constante fonction de l'espèce.

Cette production est calibrée chaque année à l'aide de branchettes prélevées sur les espèces les plus fréquentes.

### 3. Traitement des données de terrain et calibrage

Cette étape comprend plusieurs opérations:

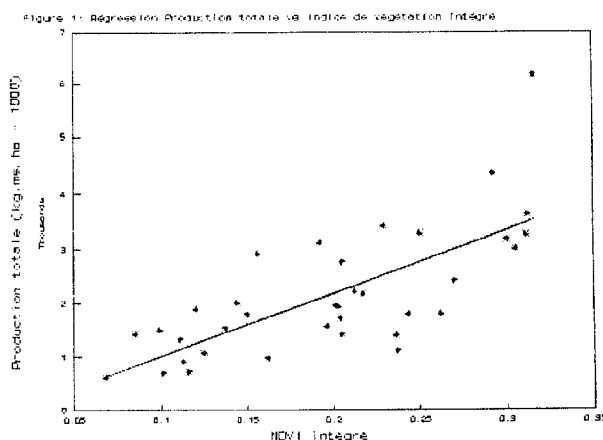
- exploitation préliminaire des fiches de terrain;
- calcul des taux de matière sèche après étuvage des échantillons;
- calculs pondéraux pour obtenir la production totale (production herbacée + production foliaire des arbres) en kg.ms/ha pour chaque SCS;
- détermination de la composition floristique en indiquant les six (6) espèces dominantes;
- régression entre l'indice de végétation et la biomasse totale;
- utilisation de l'équation de la droite de régression pour calibrer la carte de production végétale.

## Les résultats et discussions

A la fin de chaque saison de croissance, le CSE élabore ainsi la carte des productions végétales du Sénégal.

L'indice de végétation intégré par la différence normalisée (NDVI) est extrait sur chaque SCS.

La production primaire des parcours est mesurée sur le terrain aussi pour chacun des SCS. La carte de biomasse calibrée est enfin obtenue suite à une régression linéaire (figure 1) entre les valeurs NDVI et la production mesurée sur le terrain.

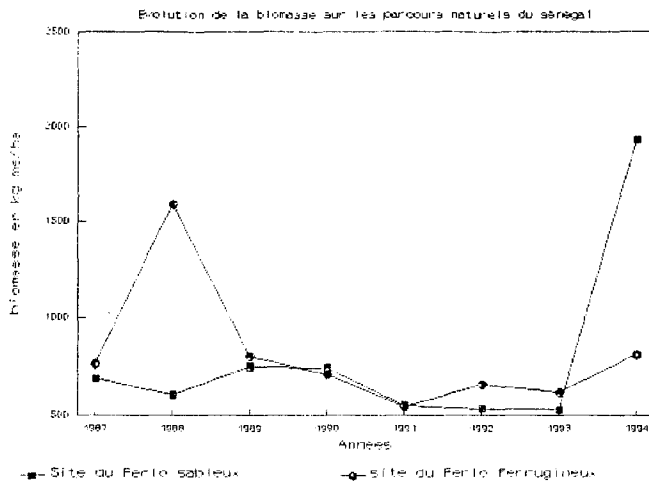


Le coefficient de corrélation varie généralement entre 0,8 et 0,9 en fonction des années.

La production végétale en kilogramme de matière par hectare est exprimée selon des classes d'une amplitude de 500 Kg. La table de couleur utilisée pour la végétation va de l'ocre pour les valeurs les plus faibles au vert foncé, ensuite la turquoise et finalement le noir pour les valeurs les plus fortes (cf. annexe 3). L'océan et les zones inondées apparaissent en bleu foncé. Les parties ennuagées de l'image ne pouvant pas faire l'objet d'un traitement numérique ont été masquées en blanc.

L'évolution de la production végétale estimée sur les parcours du Ferlo d'après les données du Projet Pilote, montre une baisse marquée de la production de 1981 à 1984, conséquences partielles d'une pluviométrie inférieure à 200 mm en 1984 dans tout le Nord du Ferlo. Les années 1985 et 1986 (période à laquelle le projet pilote a connu quelques difficultés) constituent une rupture dans le suivi faute de données calibrées.

De 1987 à 1994, on constate une instabilité de la production sur les parcours naturels du Ferlo. De 1987 à 1988 il y a eu une forte augmentation de la biomasse (cf. annexe 4) sur l'ensemble de la zone, mais plus particulièrement sur le Ferlo sableux. De 1989 à 1991, on observe une tendance à la baisse (cf. annexe 5) qui coïncide avec une baisse de la pluviosité durant les trois années consécutives, et cela de part et d'autre de la zone étudiée. De 1992 à 1994 (cf. annexe 6), la tendance semble s'inverser avec des réponses différentes sur les deux milieux. Sur le Ferlo ferrugineux, la variation inter annuelle qui s'est traduite par une augmentation de la production, est moins marquée que sur le Ferlo sableux (figure 2).



Cela peut être lié au substrat et au stock semencier qui joue à la faveur des sols sableux. Toutefois, cette variation de la production semble rassurante dans la mesure où elle présume une résilience de nos écosystèmes. La résilience d'une ressource étant sa capacité de récupération suite à un choc, qu'il s'agisse d'un choc climatique ou d'un changement dans l'utilisation des terres (Warren et Agnew, 1988).

En effet, l'évolution de la productivité des parcours renseigne beaucoup plus sur leur état de dégradation que la production. Le NDVI décadaire peut permettre le suivi de l'évolution de la productivité des pâturages seulement du point de vue qualitatif. Dès lors il est possible d'apprécier la croissance des végétaux entre deux ou plusieurs décades pendant la saison des pluies. Lorsqu'il s'agit de quantifier ce paramètre, il est nécessaire d'effectuer des travaux de validation au sol avec des méthodes précises. Ces mesures de terrain sont fastidieuses et coûtent cher, mais dans le cas du Sahel, si elles sont faites à la fin de la saison des pluies, elles représentent la production nette durant l'hivernage qui sera plus moins identique à la productivité annuelle dans la mesure où le tapis herbacé devient quasi improductif après la saison des pluies. Cela n'étant qu'une hypothèse de travail si l'on sait que la productivité dépend en grande partie de la pluviométrie et du bilan hydrique effectif, du type et de l'état des sols. La détermination des tendances évolutives à long terme demeure fortement tributaire de ce genre d'observation.

De même les travaux de terrain permettent le suivi de la composition floristique, le taux de mortalité et le taux de régénération des différentes espèces ligneuses. La disparition des espèces pérennes semble être un bon indicateur de dégradation. Certains aspects concernant la strate ligneuse ne seront pas abordés ici car ils feront l'objet de publications ultérieures. Tandis que le tapis herbacé de la steppe sahélienne qui a l'avantage d'être bien corrélée avec les données issues de NOAA/AVHRR, reste principalement au centre de l'analyse. Dans la strate herbeuse, il arrive de constater des modifications significatives au sein de la "texture" des communautés végétales, notamment en ce qui concerne les herbacées pérennes. Lors de ces deux dernières années *l'Andropogon gayanus* est apparue sur certains de nos placeaux d'échantillonnage dans le Ferlo. Alors que depuis plus de deux décennies, cette espèce pérenne, avait purement et simplement migré vers les latitudes méridionales à l'instar des isohyètes. Est-ce à dire qu'elle se réinstalle définitivement pour reconstituer la savane ancestrale que connaissaient nos grand-parents ?

Cependant, nous observons aussi des interversions dans l'abondance/dominance des espèces annuelles. Une herbe peut être dominante (*i. e* occuper le premier rang dans l'ordre d'importance des espèces) dans le tapis herbacé pendant une saison donnée, ensuite se retrouver très largement dominée l'année suivante (sixième

73

rang). Ces interventions dans l'ordre d'importance sont encore moins significatives car elles sont essentiellement fonction du stock semencier et de la physiologie de l'espèce.

L'imagerie satellitaire, combinée avec des travaux de terrain, peut permettre de suivre l'évolution de la "productivité des écosystèmes sahéliens" comme indicateur de désertification.

Cependant l'établissement des classes et des taux de dégradation des terres présente un certain nombre de problèmes.

D'abord comment fixer la norme (*benchmark* en anglais) en fonction de laquelle juger la situation actuelle ? Si les terres étaient dénudées de végétation ou sérieusement ravinées, cela avait-il été causé par une sécheresse, une exploitation pastorale trop intense, ou avait-ce toujours été le cas ? Il faut nécessairement disposer d'une série de données historiques et actuelles.

Ensuite, il faut reconnaître que la résilience ou pouvoir récupérateur n'est pas aisée à déterminer. Elle est fonction des caractéristiques physiques du milieu, mais aussi du système d'utilisation des terres.

Compte tenu des fluctuations intra et intersaisonniers du climat sahélien, il est difficile à un moment donné de dire que la situation actuelle du Ferlo est la conséquence d'une dégradation à long terme ou de la sécheresse.

Les données nécessaires à l'appréciation de la dégradation des terres, ne sont disponibles que pour quelques régions en général et sur très peu de temps. Il y a seulement moins de dix (10) ans, certains pays africains n'avaient pas commencé à collecter des informations sur l'état des parcours naturels. Ce qui correspond à une durée relativement limitée pour appréhender une tendance évolutive. Warren 1988, estime qu'"un changement permanent de 5 ou 6 km par an dans la couverture végétale ne pourrait être établi qu'au terme de 30 ou 40 ans d'observation par satellites météorologiques et études de terrain..." Plus d'un quart de siècle, ce temps semble assez long; il peut être variable selon le milieu, en fonction de l'échelle et du dispositif d'observation considérés.

### **Conclusions et recommandations**

Grâce à l'imagerie satellitaire NOAA/AVHRR, il est possible d'estimer la production voire la "productivité" des écosystèmes sahéliens. Les travaux de terrain qui complètent cette approche par le biais de la validation au sol, permettent de suivre l'évolution de la diversité floristique.

La problématique des indicateurs de désertification n'est pas facile à aborder. En dehors des difficultés liées à la fixation du *benchmark*, la complexité liée à la singularisation d'un indicateur pertinent, constitue une limite dans l'approche utilisée de manière générale. Des lors il est nécessaire de:

- travailler sur une échelle de temps relativement longue (au moins de l'ordre de la décennie) pour éviter de tirer des conclusions prématurées notamment en ce qui concerne la détermination de la norme selon laquelle les fluctuations s'opèrent;
- rechercher les indicateurs en fonction des zones tout en sachant que leur pertinence peut varier d'un milieu à l'autre;
- harmoniser autant que possible les méthodes de collecte de données et le vocabulaire usuel dans la problématique de la désertification, en vue de faciliter les comparaisons;
- renforcer les réseaux de collecte et d'échange d'informations;
- tester, combiner et analyser périodiquement les séries de données collectées en vue d'élaborer des modèles opérationnels de suivi de la dynamique des écosystèmes;



- saisir l'opportunité offerte par la complémentarité de certains paramètres (NDVI, mesures au sol,...), en les combinant pour identifier des indicateurs plus pertinents que les critères pris individuellement.

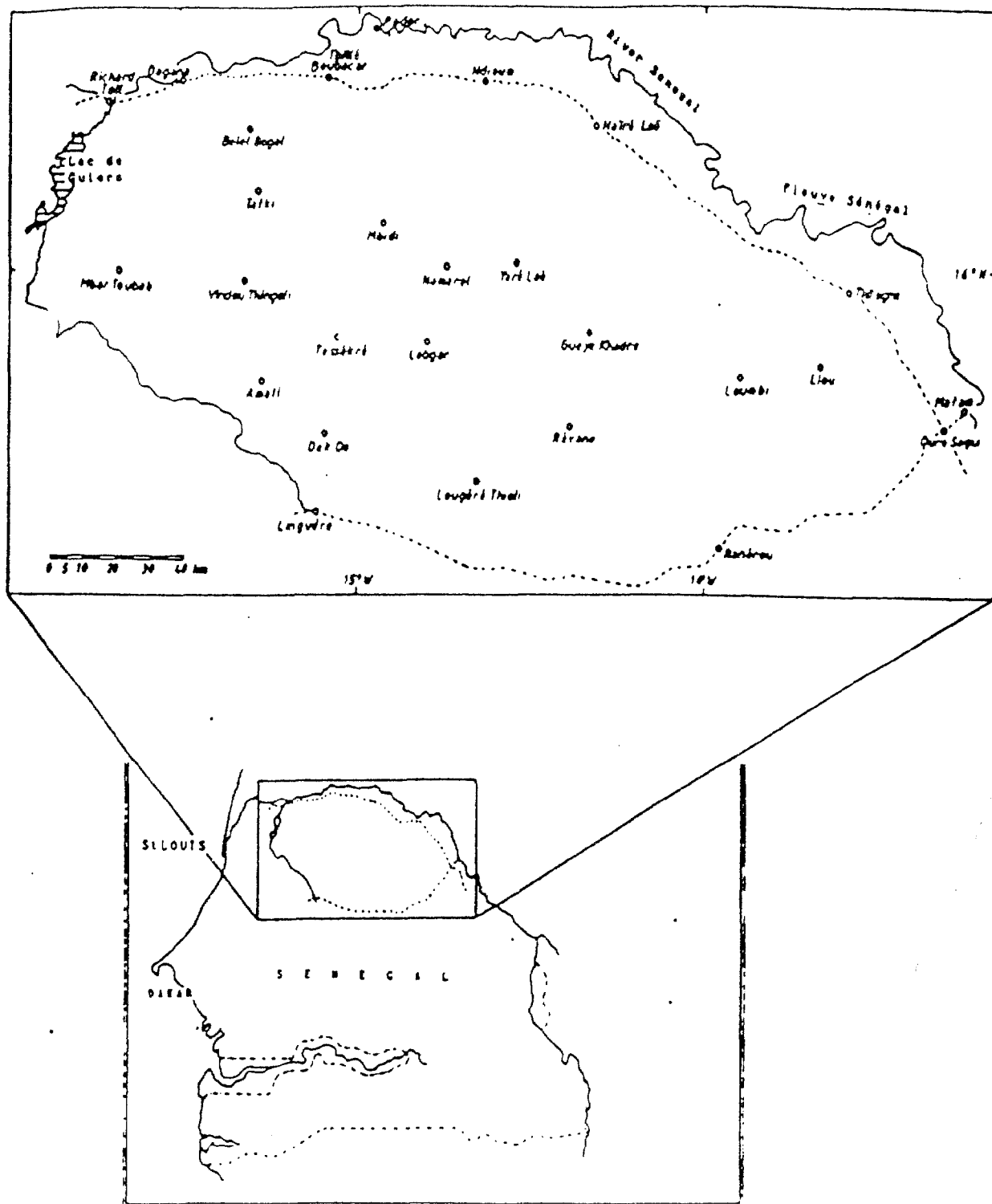
L'étude de la dégradation des écosystèmes sahéliens nécessite que l'on évalue leur productivité en prenant en compte les principaux facteurs qui la déterminent, notamment la pluviométrie et le bilan hydrique effectif, le type et l'état des sols. Il importe également de considérer les aspects qualitatifs de la végétation en mettant l'accent sur la composition floristique.

Ainsi, un indicateur pertinent pourrait être la résilience des écosystèmes telle qu'elle est définie dans cette étude. Des efforts devront être menés davantage dans l'identification et la combinaison (modélisation) en vue de déterminer des indicateurs pertinents de désertification. Leur prise en compte dans les axes prioritaires des programmes de recherche sur l'environnement est impérative.

### Références bibliographiques

1. **Ahlcrona, E. 1988** - The impact of climate and man on land transformation in central Sudan. Applications of remote sensing. Meddelanden fran lunds Universitets Geografiska Institutioner, Avhandlingar, 103, 140pp.
2. **Aubreville, A. 1949** - Climat, forêts et désertisation de l'Afrique tropicale. Société d'Editions Géographiques, Maritimes et coloniales. Paris, 351 pp.
3. **CNUED, 1992** - Convention sur la Désertification: prête à signer 14-15 octobre 1994, Paris.
4. **Dregner, H. and Tucker C.J. 1988** - Desert encroachment. Desertification Control Bulletin n° 16, pp 16-19.
5. **Lamprey, H.F & al 1975** - report on the desert encroachment reconnaissance in northern Sudan, 21st October to 10 November 1975, UNESCO/UNEP, mimeo, 16pp.
6. **MacLeod, N.H., Schubert, J.S. and Anaeijonu, P. 1977** - Report on the Skylab 4 African drought and arid lands experiment in Skylab explores the Earth, NASA SP -380, 263-286.
7. **Maingnien, R 1965** - Notice explicative de la carte pédologique du Sénégal au 1/1000 000.
8. **Olsson, L. 1985** - An integrated study of desertification: application of remote sensing, GIS and spatial models in semi-arid Sudan, Meddelanden fran Lunds Universitets Geografiska Institution, Avhandlingar, 98, 170pp.
9. **Tucker, C.J and Justice, C.O. 1986** - Satellite remote sensing of desert spatial extent, Desertification Control Bulletin, 13:2-5.
10. **Walker, A.S and Robinove, C.J. 1981** - Annotated bibliography of remote sensing methods for monitoring desertification, United States Geological Survey, Circular 851, 25pp.
11. **Warren, A & Agnew, C 1988** - Une analyse de la désertification et de la dégradation des zones arides et semi-arides. Dossier IIED, Document n° 2, 28pp.

ANNEXE 1: Localisation de la zone d'étude (Ferlo)



Source: Rapport GEMS, 1988

ANNEXE 2: EMBLACEMENT DES SITES DE CONTRÔLE AU SOL



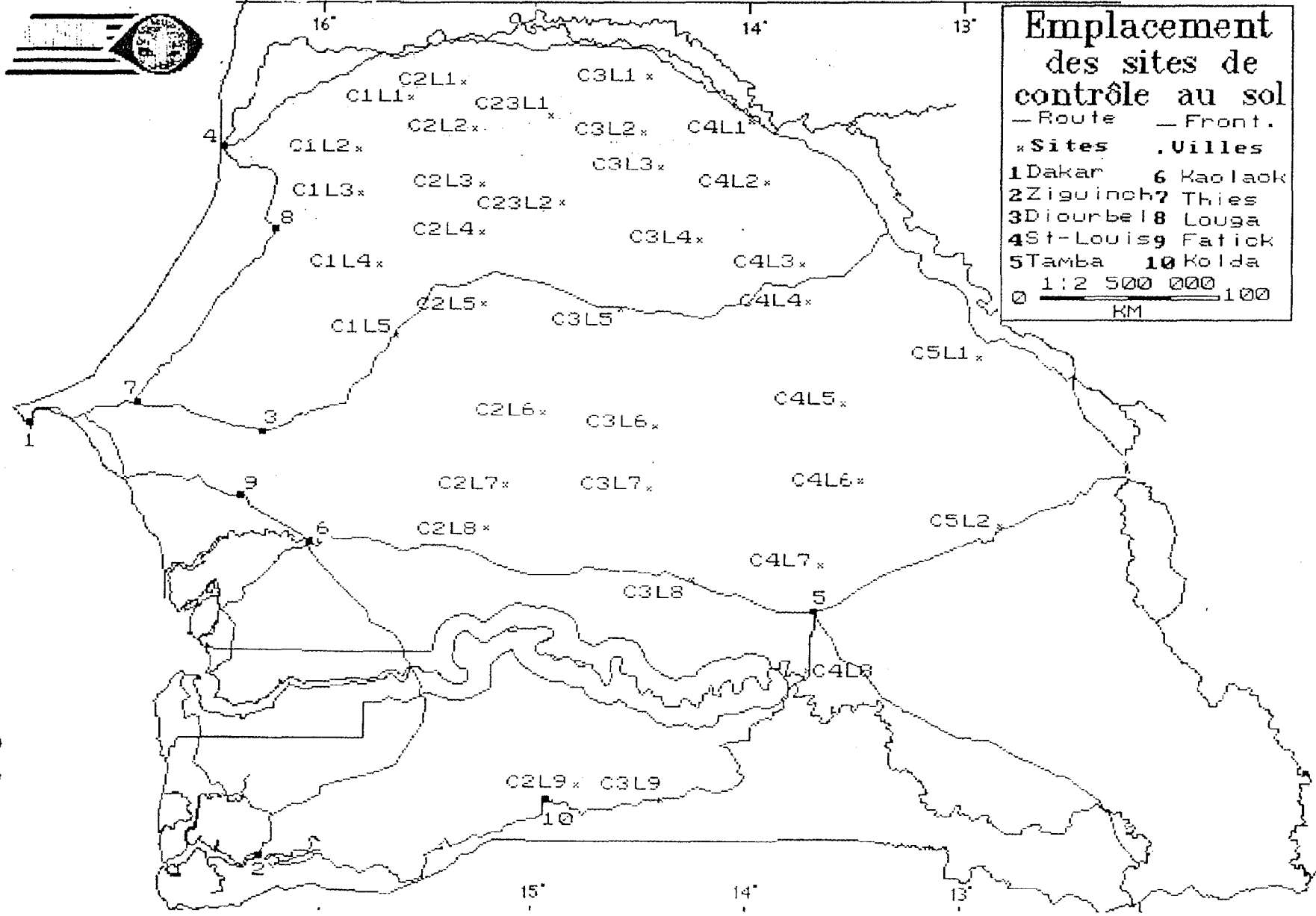
**Emplacement  
des sites de  
contrôle au sol**

— Route — Front.

\* Sites . Villes

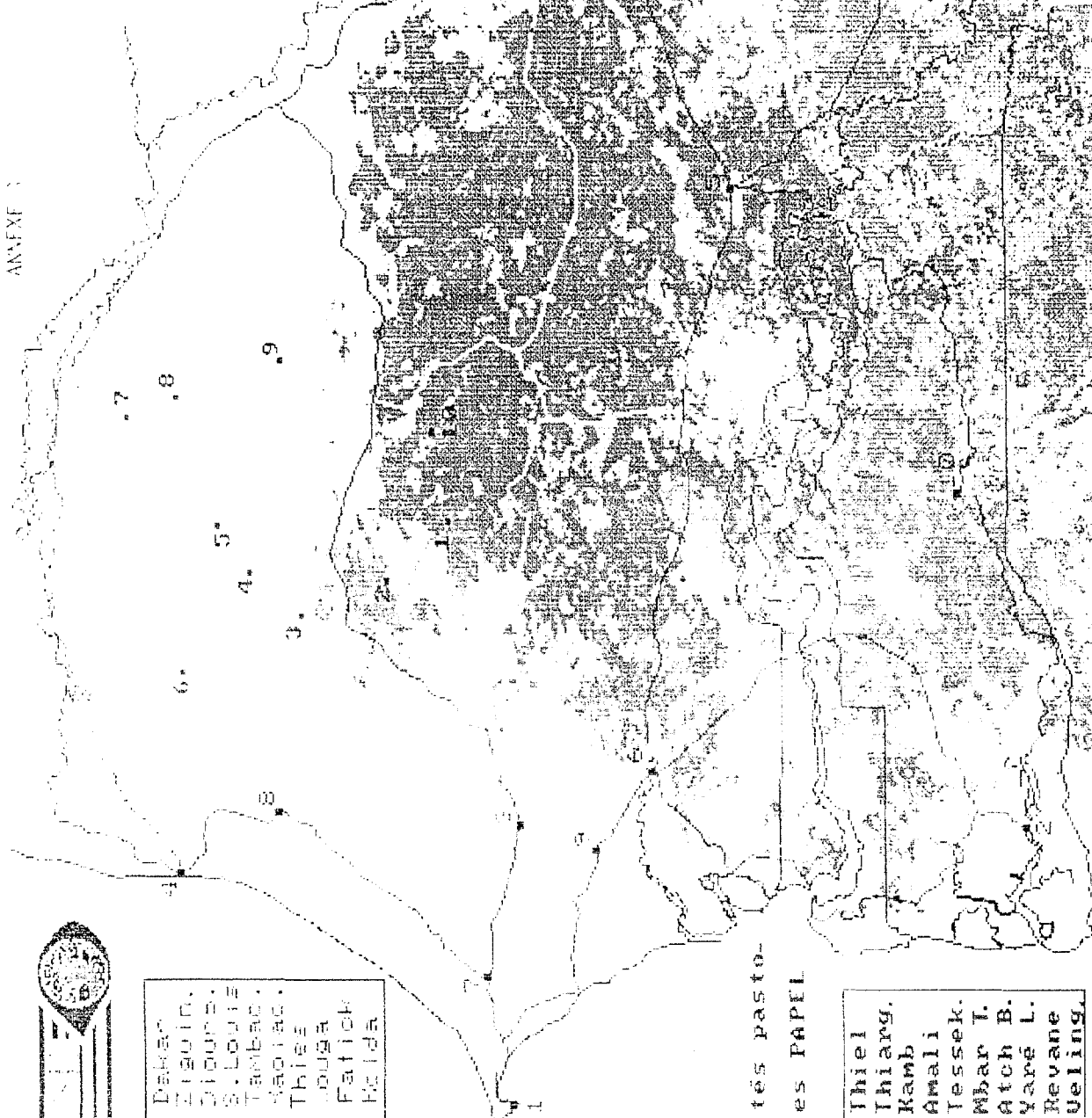
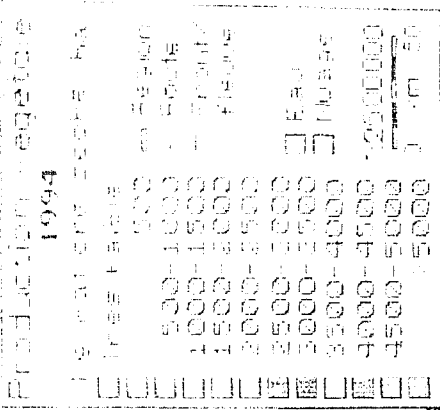
1 Dakar 6 Kaolack  
2 Ziguinchor 7 Thies  
3 Diourbel 8 Louga  
4 St-Louis 9 Fatick  
5 Tamba 10 Kolda

0 1:2 500 000 100  
KM



LL

ANNEXE 3



- 1. Dakar
- 2. Ziguinchor
- 3. Diourbel
- 4. Saint-Louis
- 5. Tambacounda
- 6. Kaolack
- 7. Thiès
- 8. Fatick
- 9. Fatick
- 10. Fatick

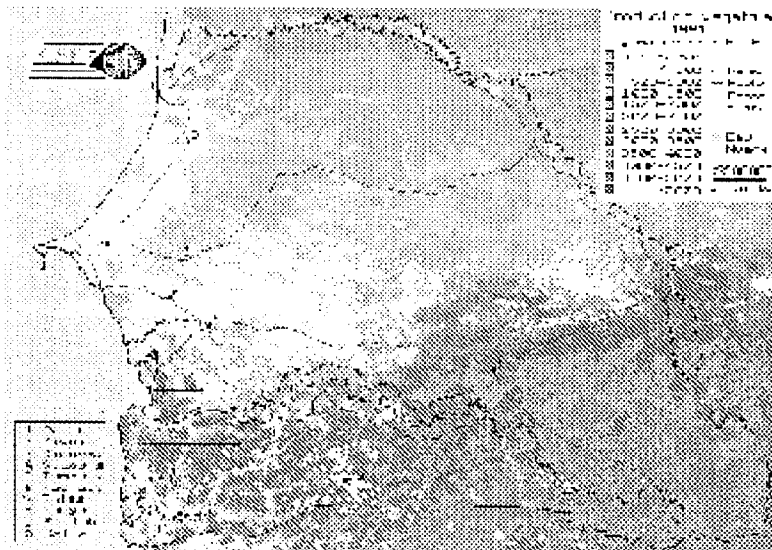
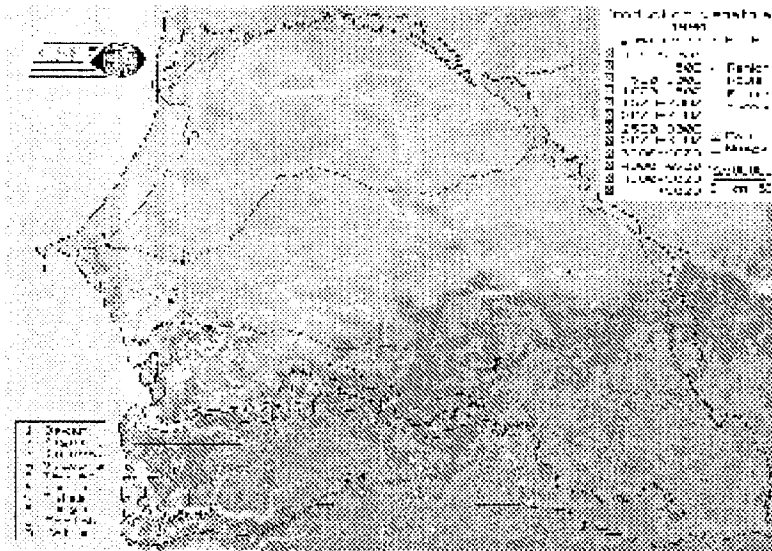
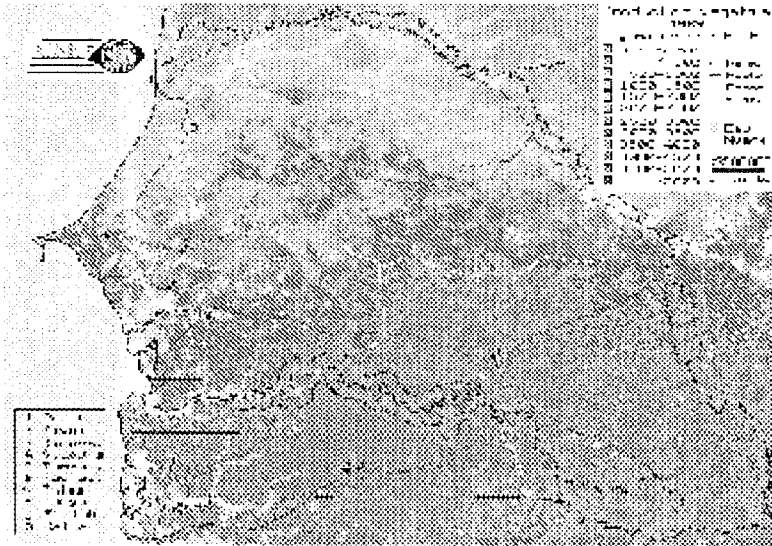
Unités pastorales PAPPEL

- 1. Thiès
- 2. Thiary
- 3. Kamb
- 4. Amali
- 5. Tessek
- 6. Mbar
- 7. Atch B.
- 8. Yaré L.
- 9. Revane
- 10. Ueling

A. DIOUF  
Centre de Senegal pour l'Élevage, l'Aquaculture, la Pêche et la Pisciculture

78





ANNEXE 5 : EVOLUTION DE LA  
BIOMASSE DE 1989 A 1991

20



# ETABLISSEMENT D'UN SYSTEME D'INFORMATION PEDOLOGIQUE ET SON UTILISATION COMME OUTIL DE GESTION CONSERVATOIRE DES RESSOURCES EN TERRES

**A. MERZOUK, M. N. ALOUSSI**

Institut Agronomique et Vétérinaire, Rabat, Maroc

La gestion conservatoire des ressources en terres (GCT) constitue la base de tout programme de développement agricole durable. Cet objectif et cette orientation de développement, prennent aujourd'hui beaucoup plus d'importance à travers le monde et notamment au Maroc. Cette gestion exige une planification judicieuse de l'utilisation des terres selon leur capacité agrologique. Ceci fait appel, obligatoirement à un inventaire et un zonage des ressources pédologiques. A défaut de moyens et de méthodes rapides et moins coûteuses, ces inventaires restent très en retard.

C'est vers cet objectif qu'a été orienté le présent travail pour contribuer à l'établissement d'un système d'informations pédologiques à références spatiales pour une importante zone d'agriculture pluviale du Maroc (province de Settat).

Le système d'informations géographiques établi peut gérer l'information pédologique (cartes, description analytique, ...), l'archiver sur support magnétique et les synthétiser à la demande des différents utilisateurs (décideurs, agriculteurs, ingénieurs, ...). Ce système a été aussi utilisé pour étudier et cartographier la sensibilité des terres à l'érosion. Il a permis de conclure que :

a) Les sols de la région présentent un fort potentiel érosif matérialisé par une érodibilité moyenne allant de 0,134 pour les vertisols à 0,302 pour les sols peu évolués. Cette érodibilité est modérée à élevée pour plus de 60% de la superficie.

b) La nature du relief, surtout en haute Chaouia, fait que presque 40% des pentes sont érosives (> 3%).

c) L'agressivité climatique ne présente pas de nette variabilité spatiale. La région est partagée entre deux valeurs de R.

d) La susceptibilité des terres de la région à l'érosion, déterminée par superposition des trois derniers facteurs selon le modèle LEAM, est modérée à très forte pour 50% de la superficie. Elle reflète l'importance des zones à risques d'érosion dans cette région. Ces zones peuvent, par la suite, faire l'objet d'études plus détaillées.

Ce système d'évaluation du risque potentiel d'érosion mérite d'être ajusté aux conditions régionales, mais surtout complétée par l'introduction d'autres facteurs d'érosion. Force est de constater que cette méthodologie gagnerait beaucoup en précision avec l'introduction de l'effet de l'occupation des sols. Il faut signaler, là encore, que l'intégration des données satellitaires dans ce système apporterait un soutien considérable pour le suivi de l'évolution de l'occupation des sols et de leur qualité dans la région. Ceci permettrait de planifier de façon plus raisonnable les actions d'aménagement et de conservation des zones à risque.



**PROGRAMME OSS - UNITAR SUR LES SYSTEMES D'INFORMATION  
INTEGRES SUR L'ENVIRONNEMENT.  
LE SYSTEME D'INFORMATION ET DE SUIVI SUR LA DESERTIFICATION**

**Ch. NUTTALL**

Administrateur du programme OSS/UNITAR, Genève, Suisse

**1. La convention sur la désertification**

Section 2 sur la coopération scientifique et technique;

- article 16: collecte, analyse et échange d'informations
- article 17: recherche - développement
- article 18: transfert, acquisition, adaptation et mise au point de technologies

Une réponse globale: **un réseau de systèmes d'information sur la désertification (SID).**

**2. Le SID**

Pour:

- la veille et le suivi des phénomènes consécutifs de la désertification
- la planification et l'aménagement du territoire en zone aride et semi aride.

Par:

- la collecte de données
- le traitement des données
- la gestion des données
- l'accès aux données via internet
- la formation
- la réalisation de produits normalisés
- leur diffusion pour la Conférence des Parties et autres utilisateurs
- l'assistance pour le montage technique à ceux qui en exprimeraient le besoin

**Le SID serait:**

- un jeu de bases de données environnementales pour assurer un suivi de l'état de la sécheresse et de la désertification,
- un système d'information documentaire sur les projets de lutte contre la désertification

Le réseau Système d'Information et de suivi de la désertification s'appuyant sur l'Internet reposerait sur un SID régional à l'échelle du continent africain et à la demande, sur des SID sous régionaux (Afrique de l'Ouest: CILSS, Afrique de l'Est: IGADD, Afrique Australe: SADC, Afrique du Nord: UMA) et nationaux.

# ROLE OF ENVIRONMENTAL INFORMATION IN THE CONVENTION TO COMBAT DESERTIFICATION

**M. OLSON, P. T. GILRUTH**  
UNDP / UNSO

## **1. Introduction**

The purpose of this paper is to present UNDP/UNSO's concepts on the role of environmental information within the context of the International Convention to Combat Desertification (CCD). These ideas result from UNDP/UNSO's involvement in negotiations leading to the drafting and signing of the Convention, as well as its experience in providing support in environmental information management to desertification affected countries, particularly in the Sudano-Sahelian zone in Africa.

The International Convention on Desertification, adopted in Paris on 17 June, 1994, has as its objective "to combat desertification and mitigate the effects of drought in countries experiencing serious drought by international cooperation and partnership arrangements, in the framework of an integrated approach which is consistent with Agenda 21, with a view to contributing to the achievement of sustainable development in affected areas".

Throughout the Convention text, the role of information is presented as a guide to the different implementing parties for selecting which areas are most affected, and to determine which actions should be taken to combat desertification. The African Annex places strong emphasis on building national capacity to be able to assess and monitor drought and desertification. Likewise it addresses the need for indicators of desertification for use in planning processes.

Throughout the implementation of the National Action Programme, which has been described elsewhere in these training sessions, whether it is for setting up the initial forum, identifying the key actors for building partnerships, or designing the elements of the NAP, information on desertification will play the guiding role. The needs will range from understanding the basic causes of desertification, to measuring the effectiveness of programmes to combat it. The following sections provide a framework for the role of information and give several examples of types of information to be collected.

## **2. Information needs in the Convention; problems and challenges.**

Desertification is defined as land degradation in arid, semi-arid and dry sub-humid areas resulting from various factors; including climatic variations and human activities. Land degradation, in turn, is defined as the reduction or loss, in arid, semi-arid, and dry sub-humid areas, of the biological or economic productivity and complexity of rainfed cropland, irrigated cropland, or range, pasture, forest, and woodlands resulting from land uses or from a process or combination of processes, including those arising from human activities and habitation patterns, such as: i) soil erosion caused by wind and/or water; ii) deterioration of the physical, chemical and biological or economic properties of soils; and iii) long-term loss of natural vegetation. In order to improve our understanding of the nature of desertification, the Convention gives information a major role, highlighting different action levels, from the National Action Programme at the country level, through Subregional and Regional Action Programmes, to global initiatives to support these actions.

Article 16 of the Convention underlines the need to ensure that "collection, analysis, and exchange of information addresses the needs of local communities and those of decision-makers, with a view to resolving specific problems.". This information needs vary depending on the region. For example, in Mauritania, priority information needs may be the seasonal migration patterns of livestock and the availability of pasture. With this information, decision makers

may effectively plan the location of rural wells. In Kenya, local farmers may require an information system that supplies them with prices, and the location and timing of markets for their products.

Article 16 also underlines the importance of socio-economic data in understanding the processes of desertification. As desertification is the result of the interplay between social and physical forces, it is inherent that data describing these two must be combined and analyzed. For example, in the Fouta Djallon region of West Africa, farmers have complained of land degradation and reduction in annual rainfall totals. Information about accelerating shifting cultivation patterns could be combined/compared with long-term rainfall records to assess the relative impact of each force in contributing to desertification.

Article 17 requests parties to the Convention "to support research activities that contribute to increased knowledge of the processes leading to desertification, .... and the distinction between causal factors, both natural and human,...". One of the priority research areas is how to validate traditional and local knowledge on how to monitor, combat and prepare for drought. In order to maximize the benefits of this knowledge, the Convention recommends strong emphasis on multi-disciplinary and participative research with local populations and communities as the focal point. Concerning technology transfer (Article 18), the Convention places accent on the use of existing information systems as a starting point, and building on these foundations in preference to creating new ones. To better comprehend this need, it is important to understand that information systems are not comprised only of data, computers, and communication links. Although these components are the most visible feature of any information system, the supporting institutions and their staff constitute the fundamental building blocks for any system to be functional. Within this context, the transfer of technology should be designed such that the technology address not only the need for equipment and data, but also the mechanisms that will be using these tools. This need is also addressed in Article 19 which stresses the training of decision makers, managers, and personnel who are responsible for the collection and analysis of data.

## 2.1 Monitoring needs for implementation of strategic processes.

The Convention describes the need for information systems to monitor the progress in the implementation of strategic processes such as the National Action Programme (NAP). In this respect, Article 10, paragraph 2(g) requires "the regular review of, and progress reports on NAP implementation". Likewise, with regard to reporting to the Permanent Secretariat (to be established once the Convention comes into effect) on the content of the programme developed, Article 26 outlines each party's duties on the measures to implement the Convention. The affected country parties will report on their strategies and national action programmes in terms of content and status of implementation. Developed country parties will report to the Secretariat their actions to support NAP implementation as well as the level of financial resources they have provided.

With respect to process monitoring, as is the case here, focus will be on the steps of the process itself, rather than on land degradation per se. Each country will be different, according to the contents of the specific NAP, but might include such indicators as the number and periodicity of national forum meetings, the number and nature of partnership arrangements formed, the number of community-based, land management organizations created, the funds mobilized, the establishment of local funds for combatting desertification, and their effectiveness in reaching local populations.

In order to select those indicators most useful for monitoring the NAP process, key partners responsible for its implementation should consult to determine which indicators are most meaningful to orient actions to be taken. The criteria for selection could include: the simplicity with which the indicator is derived, its relevance to decision making, and the degree to which it reflects community level needs.

## 2.2 Monitoring and research needs for changes in physical and socio-economic status

With respect to monitoring and research in desertification, Article 16 requests that those Parties working to implement the Convention should integrate short and long term data collection and analysis. Through the coordination and exchange of information, implementing Parties can ensure systematic observation of land degradation in affected areas and better understand and assess the processes and effects of drought and desertification.

This cooperation would be defined at several levels, including global, through a network of institutions and facilities for the collection, analysis, and exchange of information. This global network should work to promote compatibility between systems such that data may be easily exchanged, and promote the use and dissemination of modern technology to understand land degradation.

At the national level, the Convention specifies that data collection and analysis should address the needs of decision makers for policy development, as well as those of local communities, with a view to resolving specific problems. These needs are spelled out in Regional Annex for Africa, where Article 8 addresses the content of the NAP. First is the improvement of knowledge of desertification through the promotion of research and the collection of information on the scientific, technical, and socio-economic aspects of desertification and to improve the national capacity therein. The African Annex (Article 8, paragraphs 3(d) and 3(e)) in particular places emphasis on the study of socio-economic and cultural trends in affected areas, and the interaction between climate and desertification. It also emphasizes the need to monitor and assess drought effects by: i) understanding natural climate variability and planning drought preparedness programmes in this light, ii) improving early warning and response capacity, and iii) monitoring ecological degradation in order to re-orient policy.

The Convention places particular emphasis on improving national capacity to perform drought and desertification monitoring (see Article 8, paragraph 3(d/ii), for example). The wealth of information produced from data collection and analysis is, however, only as valuable as its end use is clearly defined. At the national level, for example, the nature of end use is defined by the information needs for the development of those policies that will mostly directly benefit the affected populations, e.g. the local communities.

In Article 9 of the African Annex, the role of indicators is detailed. The national body in charge of implementing NAP activities has the responsibility to establish relevant, quantifiable, and verifiable indicators to ensure the assessment and evaluation of national programmes. These indicators include both those indicators of the success of implementation of strategic processes (as listed in Section 2.1 above) as well as indicators of physical and socio-economic change in the affected land and its inhabitants.

## 2.3 National reporting obligations on Chapter 40 of Agenda 21 to the Commission on Sustainable Development.

Chapter 40 of Agenda 21 calls for the development of indicators for sustainable development. In particular, it requests countries at the national level, and international governmental and non-governmental organizations to develop indicators for national reporting on implementation of Agenda 21. Indicators are called for when there is a need for informed decision-making and associated, cost-effective data collection to respond to that need. In order to assist decision-makers at all levels, and to increase focus on sustainable development, indicators for monitoring progress toward sustainable development are needed.

This issue was raised during the first two sessions of the Commission on Sustainable Development (CSD), at which time a large number of countries emphasized the urgent need for these indicators to monitor the implementation of Agenda 21. A programme of work for submission to the CSD has been prepared under the coordination of the UN Department for Policy Coordination and Sustainable Development. The programme includes activities starting with the identification and development of indicators for each chapter of Agenda 21, as well as training and capacity building to use them for decision-making.

In terms of Chapter 12 (desertification) of Agenda 21, a list of indicators at the national level has been proposed within the Pressure-State-Response framework (see below). These indicators include population density, drought

frequency, soil erosion, and land reform policy, among others. UNDP/UNSO will support the identification and use of desertification indicators as part of its contribution for the implementation of the Desertification Convention.

### 3. The role of indicators

In order to better understand the processes of desertification, it is necessary to know the kinds of indicators required and their ultimate use. In terms of reporting information to decision makers, indicators have been developed as useful tools which i) reduce the number of measurements needed to capture phenomena to be described; and ii) simplify the transfer of information to users. The need for simple, relevant indicators is clearly identified in Article 9, paragraph (d) of the African Annex. With this in mind, there have been models proposed which serve as frameworks for classifying indicators needed, and the relationships between them. One such framework, the Pressure-State-Response (PSR) model, is the subject of many current efforts to develop indicators of environmental sustainability.

The PSR model links physical and social indicators in an effective manner which describes the environment and the forces which work on it, and its response to pressure. In areas subject to desertification, the pressures exerted on the dryland by human activities result in changes in the state of its natural resources, which can be measured and reported. In response to the changes in status of the resource, individuals and communities change their programme of activities (institutional, social, economic, or environmental), in order to rehabilitate the land that has been degraded. This iterative approach leads to a continuous feedback mechanism, whose effectiveness can be monitored by the collection, analysis of data, and reporting of information on changes in the 3 PSR factors.

#### 3.1 Information/indicators of Pressure

Although fundamental research on the causes of desertification is an on-going need, basic information needs include the level and nature of human activities and impact of natural (climatological) phenomena. Examples of priority data sets might include trends in livestock stocking rates caused by market forces, land use pressures brought on by population growth, and recurrent drought which degrades the vegetation cover.

Pressure from climatological forces can be described with meteorological data. One type most often analyzed is precipitation or a its proxy such as cloud height or cloud temperature and duration. As semi-arid lands are characterized by extreme spatial and temporal variability in rainfall, data streams must cover a sufficient period to determine whether the perceived changes are part of normal variation, or indeed, are representative of a change in the temporal or spatial distribution of precipitation.

Pressure from anthropogenic forces are complex, and is the focus of present and future research efforts by various national and international organizations. Although resource planners have been frustrated by the inability to isolate single causal factors (population density, pricing changes, migration, civil strife, etc.), it is becoming clearer that the perceptions of those populations most affected should be integrated in the information flow. This message is brought out in the Convention, which addresses the need to validate and recompense local knowledge.

### 3.2 Information/indicators on State changes

Concerning the physical state of the drylands, the Convention places importance on the collection of data on the condition of the natural resource base (pedological, vegetation cover, hydrological, etc.) (Article 10, paragraphs 2 and 3).

The global community has been aware of the need to develop monitoring systems on desertification for many years. Satellite technology has been an effective means for monitoring changes in vegetation biomass production. The plant characteristic often used for monitoring is its photosynthetic capacity, estimated from the ratio of measures of reflected red and infra-red energy. Results have shown a strong correlation between these measures and biomass production, but more sensitive indications of deterioration in productivity, such as changes in species composition cannot be obtained as easily. Although satellites can play an important role in monitoring changes over large areas, the spatial resolution of the imagery collected does not permit the detection of more subtle changes such as soil fertility decline, loss of soil fauna or soil erosion.

Future efforts should take into account the value of the data collection at the local level, to increase understanding of the phenomenon, both nationally, and within the affected community themselves. One challenge will be to develop links between locally collected and remotely sensed data such that each information type may gain in value.

### 3.3 Information/indicators on Response changes

The kinds of data to be collected to show a population's response to desertification will focus primarily on changes in socio-economic behavior, and how these changes are reflected on the land surface. Examples might include changes in regulations on land use which would be reflected in percent of forest versus agricultural lands. Another example would be the number of tree nurseries, the amount of live fencing used, the amount of fertilizer, etc.

Indicators of the affected population's response can often be difficult to interpret, as what is perceived as a population's response (increase in livestock holdings) can also be responsible for increased pressure on the system.

## 4. UNDP/UNSO response; activities which respond to support the Convention

From its experience in providing support to the development of environmental information systems (EIS) in the Sudano-Sahelian region of Africa, UNDP/UNSO has been able to gain valuable experience. One lesson is that a strong institutional setting must be defined by national parties in order for EIS to be sustainable. The elements include a clear understanding of which institutions will be responsible for which aspects of data collection, analysis, and information output. These elements should be defined according to institutional mandates, as well as their capacity to perform these tasks.

Another finding is that priority data sets for collection, must be identified in such a manner that they meet a clearly defined end-use. Given the high cost of data collection, and the need to use data sets for cross-sectoral management plans, demand-driven EIS will benefit a maximum number of users. In this context, experience has shown that the information most often lacking, and yet essential for drawing up natural resource management plans are those that integrate data from several sectors. The issues of data integration also require that national parties address data standards, data access and costing, and the need for development of information policies.

In the context of its plans for the future, UNDP will support the development of National Action Programmes, with focus on the Urgent Action Programme for Africa, during the next two years. Its programmes to support information management needs are:

- 1) continued support to the development of environmental information systems at the national level. Support is presently underway in The Gambia, Mali, Niger, and Tanzania. Work will be initiated shortly in Cape Verde and Eritrea.

2) work in the refinement of indicators of desertification. This involves indicators useful at the local level, as well as contribution to the work of the Commission on Sustainable Development on national-level indicators for sustainable Development on national-level indicators for sustainable development, for use in informed decision-making. Linkages between indicators appropriate at the local and national levels are crucial as a means of increasing understanding between land users and national-level decision makers.

3) assessment of the need and feasibility of Sustainable Human Development Reference Centers (SHD-RC). The objectives of such centres would be to facilitate access by national decision-makers to global and national SHD databases and information sources in order to strengthen development planning processes. It is envisaged that access to socio-economic and physical data relevant to desertification control will be enhanced through the establishment of these Centers. The SHD-RC should be able to access data of all types: text, statistical, multi-media, and spatial. Although still in its study phase, it has been proposed that the SHD-RC be established in a pilot country(s), with 3-5 years of support, in order to explore the supply and demand for information, as well as identify the best technological design for its structure and connectivity.

These activities to strengthen the quality of information available to both land users and decision-makers will contribute to a vibrant and effective implementation of the Convention to Combat Desertification.

# SYSTEME D'INFORMATION INTEGRE SUR L'ENVIRONNEMENT POUR L'AIDE A LA DECISION: CAS PILOTE DU GOUVERNORAT DE MEDENINE, TUNISIE

**M. TALBI**

Laboratoire de Télédétection et d'Information Géographique, Institut des Régions Arides, Médenine, Tunisie

La Tunisie est aujourd'hui convaincue que les impératifs du développement sont loin d'être contradictoires avec les exigences de la protection de l'environnement, et elle oeuvre avec ardeur pour concilier développement et environnement, dans une optique d'équilibre entre les différents secteurs.

Cette démarche reste toutefois tributaire de la disponibilité d'une information fiable sur la situation et l'évolution des variables concernant les écosystèmes, les ressources naturelles, la pollution, la situation économique, ...

Ainsi en région aride tunisienne, où le phénomène de désertification et de dégradation de l'environnement menace des territoires fertiles et peuplés: les décideurs et les aménageurs sont confrontés au problème du manque, si non de l'inexistence de données fiables et mises à jour, ce qui se répercute le plus souvent sur les efforts de développement entrepris, et notamment des retards dans les travaux, des coûts de réalisation plus importants et surtout le peu de prise en compte de l'impact des travaux sur l'environnement.

Le projet, conduit à une échelle pilote par l'Institut des Régions Arides (Tunisie) sur le territoire du gouvernorat de Médenine, vise notamment à:

- promouvoir, à l'échelle régionale, la capacité de recueillir et d'analyser les informations multisectorielles relatives à l'environnement, et les présenter sous la forme la plus pertinente et dans les délais, pour faciliter leur utilisation dans le processus de prise de décision;
- mettre en oeuvre les moyens permettant à l'échelle régionale, d'assurer que la planification du développement durable soit fondée dans tous les secteurs, sur des informations opportunes, fiables et utilisables.

Les principaux résultats attendus sont:

- la mise au point à l'échelle pilote d'une région aride tunisienne (Gouvernorat de Médenine), d'un système d'information intégré sur l'environnement (SIIIE) pouvant servir de tableau de bord et permettant aux décideurs d'intégrer la composante environnementale dans la planification des projets de développement;
- la sensibilisation des décideurs et l'initiation des développeurs aux techniques nouvelles d'intégration et d'analyse des données multisectorielles, et notamment les systèmes d'information géographiques (SIG) et la télédétection;
- la réalisation d'un atlas des activités agricoles et de l'état actuel des ressources naturelles et de leur dynamique.



# QUELQUES METHODES DES SYSTEMES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE POUR L'EVALUATION ET LA SURVEILLANCE DE L'EROSION EOLIENNE: LE CAS DU SUD MAURITANIEN

**A. K. THIAM**

Environment Assessment Programme - UNEP, Nairobi, Kenya

## Résumé

Comme la plupart des états sahéliens, la Mauritanie connaît une forte dégradation de la terre depuis la fin des années 1960 par des processus divers. L'un de ces processus est l'érosion éolienne qui se définit comme l'arrachage, le transport et la sédimentation de particules de sol et leurs effets abrasifs (FAO/PNUE/UNESCO, 1979).

Les terres semi arides comme le sud mauritanien sont généralement caractérisées par l'existence d'aéro-sols telles que les brumes et tornades sèches, les tempêtes de sable et les chasses sables intervenant soit saisonnièrement ou tout au long de l'année. Ces phénomènes météorologiques sont explicitement des indicateurs de l'érosion éolienne. Ils résultent de l'existence de l'action de vents forts sur des sols fins, meubles, secs et à surface relativement lisse avec peu ou pas de couvert végétal, et sur des étendues ouvertes (FAO/UNEP, 1983).

La faiblesse des ressources des pays sahéliens pour gérer et maîtriser la crise environnementale qui les frappe depuis la fin des années 1960 et l'ampleur des processus d'érosion éolienne dans la sous région sont telles que l'utilisation de méthodes d'évaluation et de surveillance éprouvées et de moindre coût à long terme est devenue une nécessité. Les Systèmes d'Information Géographique (SIG) apparaissent aujourd'hui comme l'outil de gestion et d'analyse le plus adapté. Ils offrent à la fois des méthodes statistiques et cartographiques qui permettent de mieux appréhender l'ampleur de l'impact d'agents naturels et/ou humains sur l'environnement.

La présente étude propose une approche méthodologique à la fois statistique et cartographique pour l'évaluation de l'érosion éolienne. Elle consiste à déterminer d'abord si oui ou non l'érosion par le vent pourrait ou est en train de se produire. Ensuite les fréquences de brume et tornade sèche, de tempête de sable et de chasse sables, la vitesse du vent et la visibilité sont pris comme paramètres à utiliser dans l'analyse statistique. Trois modèles paramétriques proposés par FAO/UNEP/UNESCO (1979) ont été également utilisés pour évaluer le risque et la situation présente de l'érosion éolienne au niveau des points d'observation des paramètres considérés. Les cartes/images des sols et du couvert végétal sont par la suite utilisés dans des croisements cartographiques pour déterminer les surfaces sujettes au risque d'érosion éolienne.

Les résultats de l'analyse statistique et des modèles paramétriques montrent que le processus d'érosion éolienne est essentiellement saisonnière. Elle intervient généralement pendant la longue saison sèche avec des pics de décembre à mars et en juin/juillet (au début de la saison des pluies). Les mêmes résultats montrent aussi que la saison pluvieuse n'est pas exempte de l'érosion éolienne. Les variations spatiales et temporelles notables de la pluviométrie au cours de la saison des pluies donnent lieu à une érosion éolienne substantielle. Les résultats des modèles paramétriques indiquent une érosion éolienne faible à modérée au niveau des deux stations de Kiffa et Kaédi du fait de l'existence de sols grossiers à moyens, de sols ferrugineux, et du couvert végétal. Les valeurs obtenues pour le risque et la situation présente de l'érosion éolienne ne sont valables que pour Kiffa et Kaédi

compte tenu de leur caractère ponctuel. Il est nécessaire d'avoir un nombre plus élevé de points d'observation bien répartis pour pouvoir produire des surfaces d'érosion couvrant l'ensemble de l'aire d'étude.

Enfin, le croisement de fichiers qui a permis de combiner les cartes/images des sols et de la couverture végétale, complète les résultats des analyses statistiques et des modèles paramétriques. La carte/image synthétique qui en a résulté discrimine clairement les surfaces sujettes au risque d'érosion de celles qui ne le sont pas.

### Summary

Like most Sahelian countries, Mauritania experiences severe land degradation by various processes since late 19608. One of these processes is wind erosion defined as the removal, transportation and sedimentation of soil particles and their abrasive effects (FAO/UNEP/UNESCO, 1979).

Semi arid lands like southern Mauritania are generally characterised by the existence of aerosols such as dust-storms, sand-storms and sand saltation occurring either seasonally or throughout the year. These meteorological phenomena are explicitly wind erosion indicators. They result from the action of strong winds on fine, loose, dry soils with smooth surfaces that have no or little vegetation cover and over open lands (FAO/UNEP, 1983).

The low resources of the Sahelian countries to manage and control the environmental crisis that has been striking them since late 1960s and the amplitude of wind erosion in the sub-region are such that the use of proven long-term and cost-effective evaluation and monitoring methods has become à necessity. Today, Geographic Information Systems (GIS) appear to be the most adapted management and analysis tool. They offer at the same time statistical and cartographic methods which permit one to better apprehend the amplitude of the impacts of natural and/or human agents on the environment.

The present study proposes both à statistical and cartographic methods to evaluate wind erosion. First, it consists of determining whether or not wind erosion could or is occurring. Then, dust-storm, sand-storm sand saltation frequencies, and wind speed and visibility are considered as parameters to be used in the statistical analysis. Three parametric models proposed by FAO/UNEP/UNESCO (0979) have also been used to evaluate the risk and the present status of wind erosion at the points where the parameters involved are observed. The last analysis is cartographic. It consists of overlaying soils and vegetation cover maps/images in order to depict surfaces where the risk of wind erosion exists.

The results of both the statistical and the parametric models show that the process of wind erosion is essentially seasonal. It generally occurs in the long dry season with peaks from December to March and in June/July (at the beginning of the rainy season). The same results also show the rainy season is not exempt from wind erosion. The important spatial and temporal variations of rainfall within the wet season give way to substantial wind erosion. The results of the parametric models indicate that due to soil texture, the existence of coarse to medium soils, ferruginous soils and the vegetation cover, wind erosion slight to moderate at the two meteorological stations in the study area, Kiffa and Kaédi. The values obtained for the risk and the present status of wind erosion are only valid for Kiffa and Kaédi as they relate to point locations. à well balanced spread of many observation points is required for the interpolation of erosion surfaces.

Finally, the maps/images overlay which combined soils and vegetation cover maps compliments the statistical techniques. It clearly discriminates surfaces that are at risk of wind erosion from those which are not.

92

## 1 INTRODUCTION

Depuis le début des années 1970, les pays du Sahel sont le théâtre d'une dégradation excessive et continue de leurs environnements à la suite des effets combinés d'une sécheresse languissante et d'une exploitation abusive des ressources naturelles. L'un des aspects de cette dégradation de l'environnement est l'érosion éolienne qui sévit et frappe tout particulièrement les pays saharo-sahéliens comme la Mauritanie. Son évaluation et sa surveillance dans le temps et l'espace demandent l'utilisation de méthodes efficaces et peu coûteuses de traitement et d'analyse des données environnementales au regard des faibles ressources des pays de la sous région et de la Mauritanie en particulier. Les Systèmes d'Information Géographique (SIG) constituent un outil moderne et efficace de stockage, requête, manipulation et d'analyse de masse de données environnementales. Ils permettent d'évaluer et de surveiller des processus environnementaux aussi complexe que la dégradation de la terre sous toutes leurs formes (y compris l'érosion éolienne) par l'utilisation de techniques d'analyse statistiques et cartographiques, et par l'application des modèles spatiaux. La présente étude fait recours aux capacités des SIG pour proposer des méthodes statistiques et cartographique et l'utilisation de trois modèles paramétriques pour l'évaluation et la surveillance de l'impact de l'érosion éolienne dans le sud de la Mauritanie.

## 2 PROBLEMATIQUE DE LA DEGRADATION DE LA TERRE

### 2.1 Définitions

Bien que la littérature sur la dégradation de la terre remonte au début des années 1930, le phénomène n'a revêtu son caractère mondial qu'à la fin des années 1960. En effet, c'était la souffrance de millions de peuples et d'animaux dans la région du Sahel à la fin des années 1960 et au début des années 1970 qui a forcé l'attention des scientifiques, des institutions internationales et des bailleurs de fonds. Depuis lors, une abondante littérature à été élaborée sur les causes, processus, manifestations et les conséquences de la dégradation de la terre (généralement appelé désertification).

En fonction de la perception conceptuelle de chaque auteur, les définitions caractérisant la dégradation de la terre étaient devenues aussi variées que l'abondante littérature. Bien que la plupart des publications utilisent le terme *désertification* plutôt que *dégradation de la terre*, presque toutes mettent l'accent sur l'appauvrissement de la productivité biologique de la terre qui, suite à une détérioration des conditions climatiques et sous une pression humaine excessive, conduit généralement à l'érosion éolienne et/ou hydraulique du sol.

Les définitions suivantes illustrent la manière dont le phénomène est perçu.

Dregne (1976) a proposé l'une des définitions les plus généralement acceptées quand bien même l'inclusion des "écosystèmes sub-humides" pourrait soulever des questions sur l'aire géographique:

La désertification est le processus d'appauvrissement des écosystèmes arides et semi arides et de quelques écosystèmes sub-humides par les impacts combinés des activités de l'homme et de la sécheresse. C'est le processus de changement dans ces écosystèmes qui peut être mesuré par la productivité réduite des plantes désirables, des altérations dans la biomasse et la diversité de la micro et macro flora, érosion accélérée du sol, et du danger accru pour l'occupation humaine.

Brink (1976) donne une définition qui indique à la fois les facteurs naturels et humains cités par les autres définitions. Cependant, l'utilisation du terme *désertisation* plutôt que *désertification* crée quelque confusion:

Le processus de désertisation est le résultat de facteurs agissants séparément ou en combinaison. Ces facteurs sont: 1) la durée grave de la sécheresse; 2) la sur-exploitation de la végétation et du sol par l'homme dans les terres sèches.

Sabatel et al. (1982) définissent la désertification comme:

Le déclin et/ou la destruction soutenu de la productivité biologique des terres arides et semi arides causé par des stress d'ordre humain, quelquefois en conjonction avec des événements naturels extrêmes. De tels stress peuvent conduire à une dégradation écologique et plus tard à des conditions similaires au désert.

Clairement, cette définition porte en elle l'importante question de savoir si *désertification* et *dégradation de la terre* sont synonymes ou non.

Lewis et Johnson (1994) donnent une nouvelle définition de la dégradation de la terre comme résultant essentiellement de la pression humaine sur la terre:

Sur la base de comment le terme est actuellement utilisé, nous définissons la dégradation de la terre comme "la diminution substantielle soit dans la productivité biologique, soit dans son utilité ou les deux à fois, à cause de l'interface humaine".

Parmi les nombreuses définitions disponibles, cette étude adopte celle qui à été adoptée par la Conférence des Nations Unies sur la Désertification (UNCOD), tenue à Nairobi, Kenya, en 1977.

**La désertification est l' extension de conditions similaires au désert dans les aires arides et semi arides, à cause de l'influence de l'homme et du changement de climat.**

## 2.2 Pourquoi le terme "dégradation de la terre"?

Comme il ressort de l'abondante littérature, les deux termes *désertification* et *dégradation de la terre* sont généralement utilisés pour indiquer le même processus. De préférence, cette étude utilise le second terme. Le choix est fondé sur le fait que le terme désertification a deux connotations trompeuses:

Premièrement, avec les conséquences dramatiques de la sécheresse de la fin des années 1960 et du début des années 1970, il a pris une connotation politique sinon émotionnelle en vue de provoquer et d'intensifier le flux de l'aide internationale vers les pays du Sahel affectés. La réalité est que sur le terrain, la productivité biologique de la terre avait seulement temporairement diminué, ou le processus n'avait pas encore conduit aux conditions du désert. La critique de cette utilisation particulière du terme désertification a été faite pour la première fois par Matlock (1976) qui écrit:

Dégradation de la terre, un terme que je préfère à "désertification" à cause des connotations émotionnelles de ce dernier, est sans question devenue un problème d'intérêt croissant à travers le monde... Elle peut être définie comme les effets cumulatifs d'une série d'actions qui peuvent ou ne peuvent pas être toutes évidentes dans toute instance... Dans ses étapes finales, la terre peut ressembler à un désert, mais est-il un désert? Dans certains cas, je pense que non, c'est pourquoi je crois que le terme *dégradation de la terre* est plus exact que *désertification*, quand bien même, à son produit logique extrême, la dégradation de la terre peut donner l'apparence d'un désert.

Deuxièmement, les régions géographiques telle la zone sahélienne et d'autres régions sub-sahariennes qui ont été ou sont qualifiées de désertification peuvent être dans une des deux situations possibles, toutes deux liées aux conditions climatiques et aux pratiques de management de la terre des populations. Comme indiqué plus haut, le premier est que du fait d'une diminution temporaire drastique de la pluviométrie, la productivité biologique d'une partie de la terre diminue. Cependant, une résilience absolue permettant les pratiques de

management intervient après, à la fin du stress climatique de court terme. La seconde situation qui s'observe actuellement au Sahel est une période au cours de laquelle la terre perd progressivement son niveau de productivité biologique initial et entre dans des phases transitionnelles dues aux variations climatiques de moyen à long terme et/ou aux mauvaises pratiques de management. Dans ce cas, la terre perd ces potentialités pour le type d'utilisation qui correspond au niveau de productivité biologique initial. Cependant, elle n'est pas devenue un désert, bien qu'une bonne partie de sa végétation naturelle ait été détruite. Elle peut encore être propice à un autre type d'utilisation. Dans la région du Sahel, des aires ont été converties de forêt en terre agricole et de terre agricole en pâturage au cours des trois dernières décennies. Par ailleurs, au cours de la même période de temps, les fermiers ont changé de la culture des céréales à cycle long et demandant beaucoup d'eau et d'éléments nutritifs à des céréales de cycle court demandant moins d'eau et d'éléments nutritifs sur les mêmes sols.

En conséquence, la résilience de la couverture végétale naturelle et l'utilisation de la terre à des fins outre les utilisations antérieures indiquent toutes que le désert n'a pas encore pris place, mais que la terre a été dégradée au regard d'une utilisation donnée. Le processus de dégradation doit donc être vu comme une série d'étapes transitionnelles au regard de la qualité et de la quantité des couvertures végétales et des types d'utilisation du sol. Ces étapes conduiraient probablement à une situation très voisine de celle du vrai désert sous des fluctuations climatiques de long terme et une pression humaine accrue et continue.

La discussion ci-dessus signifie que le terme désertification est beaucoup applicable au vrai désert ou les quelques pouces de végétation sont convertis en terre inerte comme leurs alentours tel qu'exprimé par Olson (1985):

Une aire sujette à la désertification en dehors du vrai désert peut difficilement être considérée comme désert jusqu'à ce qu'il ait été prouvé que l'absence de végétation est une situation assez stable, et pas seulement partie d'une fluctuation de court terme. En conséquence, j'aurais préféré utiliser le terme plus neutre de dégradation de la terre, avec la définition plus générale: La diminution à long terme de la productivité biologique de la terre causée ou accélérée par les activités humaines en combinaison avec le climat.

C'est en ces instances où la survie des personnes et des animaux et la protection de l'environnement en général, sont les centres d'intérêt que l'utilisation de la télédétection spatiale et les systèmes d'information géographique à des fins d'évaluation et de surveillance se justifie objectivement.

### 3 L'EVALUATION STATISTIQUE DE L'EROSION EOLIENNE

#### 3.1 L'utilisation de la vitesse du vent à 2m<sup>8</sup> d'altitude

L'apparition de tempêtes de sable, de brume/tornade sèche et de chasse sables traduit des vitesses de vent modérées à fortes capables d'arracher et de transporter des particules de sol d'un point à un autre. Par conséquent, la vitesse du vent est le premier facteur à analyser dans l'évaluation de l'importance du vent dans les processus de dégradation de la terre. L'analyse se fonde sur la vitesse pour estimer la force d'érosion du vent. La force d'érosion est considérée comme nulle, faible, modérée, forte ou très forte. Le tableau ci-dessous indique les classes de vitesse du vent et les forces d'érosion correspondantes.

Tableau 1: Classes de vitesse du vent et forces d'érosion correspondantes

Vitesse	Force d'érosion
0m/s	Nulle
> 0 - > 2.0m/s	Faible
2.0 - 3.5m/s	Modérée
3.5 - 4.5m/s	Forte
> 4.5m/s	Très forte

En dehors de la vitesse 0 m/s qui correspond à des périodes de calme, toutes les autres vitesses indiquent des vents capables soit de transporter des particules fines sous forme de suspensions durables, soit d'arracher des particules plus ou moins grossières et de les transporter sous forme de suspensions durable et/ou de courte durée. Il résulte de cette capacité d'arrachage et de transport des phénomènes lithométéorologiques connus sous les noms de brume/tornade sèche, tempête de sable et de chasse sables. Ces phénomènes sont la manifestation visible de la dégradation de la terre par des actions éoliennes.

Comme le vent n'est pas agressif à toutes les vitesses, il devient important d'identifier dans la base de données la fréquence des vents potentiellement actifs. Un vent est dit actif ou agressif quand sa vitesse est suffisamment grande pour arracher et transporter des particules de sol d'un certain diamètre.

---

<sup>8</sup> La vitesse du vent à 2m correspond à la vitesse mesurée à 11m multipliée par 0.78

Tableau 2a: Vitesse moyenne mensuelle du vent (m/s) à 2m à Kiffa

	1986	1987	1988	1989	1990
Janvier	3.7	1.7	3.1	3.9	3.5
Février	2.9	1.7	5.8	4.7	3.5
Mars	3.5	2.2	3.1	4.7	3.5
Avril	2.3	4.1	4.7	4.7	3.5
Mai	2.8	4.6	4.3	4.7	3.1
Juin	2.6	3.6	3.9	3.1	3.9
Juillet	3.6	2.9	5.8	2.7	2.7
Août	3.1	2.5	2.3	2.3	2.3
Septembre	2.3	2.3	2.3	2.7	2.3
Octobre	2.6	2.8	2.7	2.7	2.0
Novembre	2.6	2.7	3.1	2.0	2.3
Décembre	2.9	2.9	3.7	3.4	2.9

Tableau 2b: Vitesse moyenne mensuelle du vent (m/s) à 2m Kaédi

	1986	1987	1988	1989	1990
Janvier	5.1	3.0	3.1	4.3	3.9
Février	4.1	3.5	4.7	4.3	3.1
Mars	4.2	3.9	4.7	3.1	3.1
Avril	4.8	3.3	3.1	3.1	3.1
Mai	4.8	2.9	3.9	3.5	3.1
Juin	4.6	3.5	4.7	4.7	3.5
Juillet	4.0	3.4	4.3	3.9	3.7
Août	3.5	3.1	3.1	2.7	2.3
Septembr	3.0	3.3	2.7	3.5	2.7
Octobre	3.6	2.2	2.0	3.1	2.3
Novembre	3.7	3.7	2.7	3.1	2.7
Décembre	3.9	3.5	3.5	3.5	3.1

D'une manière générale, ce processus dépend à la fois de la vitesse du vent, du diamètre moyen des sédiments et de la cohésion des particules de sol entre elles dans la zone d'investigation. Brookfield (1970) trouve qu'il faut des vents de 5m/s pour l'arrachage et le mouvement initial de particules de sol en Australie. Dresch (1982) estime le minimum entre 4 et 6m/s dans le désert saharien. Thiam (1985) trouve que des vents de 4.5 à 5m/s étaient capables de provoquer des mouvements de sédiments dans le sud-ouest de la Mauritanie. Kinuthia (1990) indique une vitesse minimum de 6m/s pour des vents actifs au Kenya. Petrov (1973) fournit les vitesses de vent et diamètres de particules lithiques suivants pour initier des mouvements de masse.

Tableau 3: Vitesses du et tailles de particules correspondantes pour le mouvement initial de la poussière et du sable (d'après Petrov, 1972)

Vitesse du vent (m/s)	Ø des particules (mm)
4.5 - 6.7	0.1 - 0.25
6.7 - 8.4	0.25 - 0.50
9.8 - 11.4	0.50 - 1.00
11.4 - 13.0	1.00 - 2.00

Etant donné que les fréquences élevées de tempête de sable, de brume/tornade sèche et de chasse sable ont été enregistrées dans le sud mauritanien avec des vitesses moyennes mensuelles de vent de 3.5m/s, cette valeur peut être théoriquement retenue comme seuil des vents actifs. En pratique ce seuil doit être perçu de deux manières. Premièrement, il indique un stock de sédiments généralement fins, secs, et très meubles. Deuxièmement, comme il s'agit d'une moyenne, cela signifie que les manifestations lithométéorologiques résultent de vents de vitesse bien plus grandes. En d'autres termes, les vitesses de vent qu'il convient réellement de considérer sont les vitesses maxima journalières et/ou la moyenne mensuelle des vitesses maxima.

### 3.2 Utilisation des fréquences des lithométéores et la pluviométrie

Comme indiqué plus haut, une tempête de sable ou une brume/tornade sèche intervient quand la visibilité est inférieure à 1km (Banoub, 1950; WMO, 1983). Cependant, la distribution spatiale et temporelle des tempêtes de sable et des brumes/tornades sèche est étroitement liée à celle de la pluviométrie.

Les années de sécheresse ou périodes de pluviométrie inférieure à la normale se caractérisent généralement par une recrudescence des brumes/tornades sèches, de tempêtes de sable et de chasse sable tout au long de l'année avec cependant une variation saisonnière marquée. Le phénomène s'intensifie si la pluviométrie continue d'être déficitaire au cours années succédentes et provoque une augmentation de la pression humaine (sur-pâturage, déforestation etc..) qui conduit à une diminution substantielle du couvert végétal. Le résultat du manque d'eau et de la recrudescence de l'action éolienne dans les zones affectées est la perte partielle durable ou non du potentiel de production biologique de la terre.

Les tableaux 4a à 4h indiquent les fréquences des tempêtes de sable, des brumes/tornades sèches et des chasses sable en relation avec la pluviométrie au niveau des deux stations météorologiques synoptiques de Kiffa et Kaédi situées dans la zone d'étude. Les tableaux montrent une répartition saisonnière claire de la pluviométrie et des



lithométéores. Naturellement les pluies et les lithométéores ont une répartition spatiale et temporelle inverse. Les plus grandes fréquences de tempête de sable, de brume/tornade sèche ou de chasse sable interviennent généralement pendant la saison sèche ou au début et à la fin de la saison de pluies (décembre à juillet). Ceci indique aussi qu'il y a une relation inverse entre l'érosion éolienne, la pluviométrie et le couvert végétal. Cependant, force est de noter que l'une des plus grandes caractéristiques de la pluviométrie dans le Sahél est la mauvaise répartition à la fois temporelle et spatiale. Des secteurs de territoire peuvent ne recevoir aucune pluie pendant tout un mois au cours de la saison des pluies alors que d'autres reçoivent plus que leur normale annuelle en moins d'un mois. Ceci signifie qu'au Sahél, le vent peut être actif même au c\_ur de la saison de pluies. Le phénomène intervient et est facilitée par la forte évaporation résultant de la forte insolation et des températures élevées quand le nombre de jours secs entre deux pluies est élevé. Le sol perdant rapidement son eau capillaire par évaporation soumet les particules de sa couche supérieure à la déflation et au transport éoliens notamment dans les zones dépourvues de végétation dense.

Tableau 4a: Distribution mensuelle et annuelle de la pluviométrie à Kiffa

	1986	1987	1988	1989	1990
Janvier	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Février	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Mars	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Avril	1.1	0.0	0.0	0.0	0.5
Mai	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Juin	0.0	7.8	8.4	55.5	6.0
Juillet	20.5	14.6	50.6	78.1	61.0
Août	64.4	76.9	152.5	200.1	89.1
Septembre	140.7	66.6	52.6	36.0	54.9
Octobre	0.0	5.3	0.0	5.2	10.7
Novembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Décembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Annual	226.7	171.2	264.1	374.9	222.2

99

Tableau 4b: Fréquences mensuelles et annuelles(en nombre de jours) des tempêtes de sable à Kiffa

	1986	1987	1988	1989	1990
Janvier	10	0	0	2	5
Février	3	1	8	5	0
Mars	4	1	2	1	3
Avril	0	5	3	1	0
Mai	7	9	3	1	0
Juin	2	6	6	4	2
Juillet	7	1	10	1	0
Août	2	3	0	0	0
Septembre	0	0	1	0	0
Octobre	0	2	0	0	0
Novembre	0	0	0	0	0
Décembre	3	0	1	0	0
Année	38	28	34	15	11

Tableau 4c: Fréquences mensuelles des brumes/tornades sèches (en nombre de jours) à Kiffa

	1986	1987	1988	1989	1990
Janvier	19	9	23	15	16
Février	10	14	23	17	9
Mars	22	14	16	15	16
Avril	20	26	11	10	9
Mai	26	28	16	15	4
Juin	25	20	25	14	15
Juillet	26	26	16	10	15
Août	17	19	0	7	7
Septembre	3	9	7	5	2
Octobre	13	12	7	1	4
Novembre	14	4	0	0	5
Décembre	24	18	18	5	8
Année	219	199	162	114	110

100

Tableau 4d: Fréquences mensuelles (en nombre de jour) de chasse sable à Kiffa

	1986	1987	1988	1989	1990
Janvier	2	4	14	7	6
Février	0	5	11	11	9
Mars	0	9	9	5	11
Avril	0	7	7	7	4
Mai	3	4	10	9	4
Juin	4	1	11	11	3
Juillet	7	3	14	0	2
Août	4	5	0	0	0
Septembre	1	1	2	0	0
Octobre	0	2	0	1	1
Novembre	5	0	0	0	0
Décembre	7	6	6	4	5
Année	33	47	84	54	45

Tableau 4e: Distribution mensuelle et annuelle de la pluviométrie à Kaédi

	1986	1987	1988	1989	1990
Janvier	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Février	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Mars	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Avril	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Mai	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Juin	0.0	68.9	0.0	14.7	20.8
Juillet	27.5	31.4	32.9	81.9	73.3
Août	36.7	65.6	87.6	183.2	67.1
Septembre	151.6	100.7	137.9	47.5	44.1
Octobre	3.2	7.0	2.5	15.0	0.0
Novembre	0.0	0.0	0.0	2.8	0.0
Décembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Année	219.0	273.6	260.9	345.1	205.3

101

Tableau 4f: Fréquences mensuelles (en nombre de jours) des tempêtes de sables à Kaédi

	1986	1987	1988	1989	1990
Janvier	6	0	2	3	2
Février	0	0	1	5	0
Mars	4	2	2	0	2
Avril	0	1	0	0	0
Mai	4	5	1	0	0
Juin	1	2	2	6	0
Juillet	0	4	5	0	0
Août	1	5	1	0	0
Septembre	4	2	1	0	1
Octobre	0	2	0	0	0
Novembre	0	0	0	0	0
Décembre	3	0	0	0	0
Année	23	27	15	14	5

Tableau 4g: Fréquences mensuelles (en nombre de jours) des brumes/tornades sèches à Kaédi

	1986	1987	1988	1989	1990
Janvier	5	0	14	10	9
Février	0	5	19	12	5
Mars	3	5	13	7	12
Avril	3	12	8	10	7
Mai	8	25	7	11	4
Juin	6	10	15	10	6
Juillet	0	7	5	7	3
Août	2	2	0	0	4
Septembre	2	7	8	2	2
Octobre	3	10	2	4	8
Novembre	5	4	2	0	3
Décembre	11	9	15	2	7
Année	48	96	108	75	70

102

Tableau 4h: Fréquences mensuelles (en nombre de jours) de chasse sable à Kaédi

	1986	1987	1988	1989	1990
Janvier	10	0	0	2	5
Février	3	1	8	5	0
Mars	10	10	8	3	12
Avril	5	5	7	5	5
Mai	8	7	10	8	7
Juin	8	5	10	9	6
Juillet	8	3	10	3	4
Août	4	2	1	3	3
Septembre	1	2	1	5	4
Octobre	1	0	2	4	1
Novembre	7	1	3	1	1
Décembre	14	3	11	4	7
Année	76	46	83	61	63

### 3.3 L'utilisation de la charge atmosphérique solide

L'effet immédiat de l'intense érosion éolienne dans les régions arides et semi arides, particulièrement au Sahél, est le transport sous forme de suspension de particules de sol de tailles différentes dans l'atmosphère. Selon le diamètre moyen des particules et la vitesse du vent, ces suspensions solides sont appelées brume sèche, tornade sèche ou tempête de sable. Banoub (1950) et WMO (1983) indiquent que brume/tornade sèche et tempête de sable interviennent quand la visibilité est inférieure à zéro. L'Organisation Mondiale de la Météorologie (OMM (WMO, 1983)) utilise aussi la visibilité pour estimer le poids des suspensions solides dans l'atmosphère.

Chepil et Woodruff (1957) indiquent que la relation entre la visibilité et le volume des particules en suspension peut s'exprimer par la formule suivante:

$$C_m = \frac{29.5}{V^{1.25}} \dots\dots\dots(1)$$

où  
 $C_m$  = la charge de poussière en tonnes par mile cube; et  
 $V$  = la visibilité en mile

103

L'OMM a produit le tableau ci-dessous indiquant la visibilité et la charge de poussière correspondante en mile cube.

Tableau 5: Visibilité et charge de poussière correspondante<sup>9</sup> (d'après WMO, 1983)

Code OMM	Visibilité (m)	Charge solide (tonnes/mile <sup>3</sup> )
0100	100	944.02
0200	200	396.90
0300	300	239.10
0400	400	166.89
0500	500	126.26
0600	600	100.52
0700	700	82.90
0800	800	70.16
0900	900	60.55
1000	1000	53.09
2000	2000	22.31
3000	3000	13.44
4000	4000	10.62
5000	5000	7.11
6000	6000	5.85
7000	7000	4.66
8000	8000	3.94
9000	9000	3.39

Il est utile de noter que les résultats de la formule de Chepil et Woodruff (1957) indiquent essentiellement qu'un processus d'érosion éolienne est en cours. Ils ne fournissent ni la quantité approximative de sol en train d'être arrachée et transportée d'un point à un autre, ni les surfaces de déflation et/ou de corrosion, ni les surfaces de sédimentation. La question de l'origine des particules en suspension se pose surtout pour les brumes sèches qui peuvent provenir de régions très lointaines. Tel est le cas des poussières sahariennes en Europe et en Afrique soudano-sahélienne. Ceci veut simplement dire que les résultats des calculs doivent être interprétés avec beaucoup de prudence.

<sup>9</sup> Les valeurs de la visibilité sont converties des mètres en mile avant utilisation dans la formule.

104

Deux démarches complémentaires peuvent permettre de répondre au moins à la question sur la source des matériaux transportés. Premièrement, l'investigateur peut utiliser une carte des sols de la région pour reconnaître l'existence de sols susceptibles d'être sujet à l'érosion éolienne. Deuxièmement, des informations peuvent être recueillies sur les stations synoptiques voisines pour savoir l'extension géographique actuelle du ou des phénomènes lithométéorologiques.

Le problème de la quantité de sédiments transportés demeure relativement difficile à résoudre. Il se passe que quelquefois aussi bien les tempêtes de sable que les brumes sèches peuvent durer plus d'une journée dans certaines régions pendant certaines saisons. Donc, la quantité de matériaux assumée avoir été transportée par le vent ne correspond pas à la réalité. Une tempête de sable qui dure 12 heures avec une visibilité de 300 mètres soufflerait approximativement 14.346 tonnes par mile<sup>3</sup>. Quand bien même le problème de la quantité reste difficile à résoudre, il serait toutefois utile de suivre les variations temporelles et même spatiales des charges de poussière et de sable avec l'utilisation de la formule de Chepil et Woodruff (1957). L'inclusion des variations temporelles et spatiales dans une base de données SIG fournirait des indices sur l'ampleur des lithométéores d'une manière générale et sur l'importance du rôle de l'érosion éolienne dans les processus de dégradation de la terre.

Tableaux 6a et 6b indiquent les moyennes mensuelles et les totaux annuels de charges lithiques atmosphériques à Kiffa et Kaédi de 1986 à 1990.

Tableau 6a: Charges atmosphériques moyennes mensuelles et totaux annuels de poussières (tonnes/mile<sup>3</sup>) à Kiffa

	1986	1987	1988		1990
Janvier	89.69	37.60	64.16	48.46	54.04
Février	132.64	35.04	79.41	87.12	42.86
Mars	58.24	40.03	49.53	40.60	36.28
Avril	52.83	48.74	43.94	22.90	22.81
Mai	104.02	88.53	49.57	329.24	26.76
Juin	66.48	84.31	80.78	82.20	37.96
Juillet	65.12	49.53	126.18	47.88	32.00
Août	116.19	62.49	36.18	36.69	39.66
Septembre	83.64	60.92	43.25	22.65	17.13
Octobre	40.75	38.00	21.33	20.25	28.80
Novembre	42.67	30.83	29500.00	29500.00	24.55
Décembre	47.40	35.87	489.22	489.22	50.68
Année	899.67	611.89	30583.55	30727.21	413.53

Tableau 6b: Charges atmosphériques moyennes mensuelles et totaux annuels de poussières (tonnes/mile<sup>3</sup>) Kaedi

	1986	1987	1988	1989	1990
Janvier	60.09	22.95	31.98	35.71	52.43
Févier	40.75	23.17	27.82	41.45	50.52
Mars	25.83	23.42	38.66	27.88	37.34
Avril	35.93	40.60	25.20	26.06	40.52
Mai	39.02	61.50	24.55	30.42	29.12
Juin	28.20	30.95	30.17	52.63	23.89
Juillet	34.69	28.41	28.77	48.15	27.82
Août	27.28	102.93	166.01	17.13	30.59
Septembre	41.14	85.26	28.80	61.82	35.45
Octobre	18.57	28.79	25.89	21.79	25.61
Novembre	26.50	21.79	16.49	12.96	23.33
Décembre	27.17	29.63	29.74	28.90	30.43
Année		499.40	474.08	404.90	407.05

Le chasse sable qui se produit à raz du sol ne peut être pris en considération dans le calcul du poids des suspensions solides. Cela ne réduit pas cependant, son importance en tant que processus géomorphologique. C'est en fait lui qui est à l'origine de l'accumulation et du mouvement des dunes vives.



## 4 LA MODELISATION DE L'EROSION EOLIENNE

### 4.1 Trois modèles d'évaluation de l'érosion éolienne

L'indice d'érosion du vent de Chepil (1962) est une estimation de l'agressivité climatique du vent. Selon FAO/UNEP/UNESCO (1979) et Kinuthia (1990), trois formules empiriques peuvent être utilisées pour estimer l'agressivité climatique du vent en fonction de l'échelle d'application. Intégrés avec d'autres paramètres environnementaux tels que le sol, la topographie, et l'utilisation du sol, les trois modèles permettent de calculer à la fois le risque et la situation actuelle de l'érosion éolienne.

$$C_1 = \frac{1}{100} \times \sum_1^{12} V^3 \left( \frac{E-P}{E} \times n \right) \dots\dots\dots(2)$$

où

- C<sub>1</sub> = indice d'érosion du vent
- V = vitesse moyenne mensuelle du vent à 2m d'altitude (m/s)
- E = évapo-transpiration potentielle mensuelle (cm)
- P = pluviométrie mensuelle (cm), et

$$\frac{E-P}{P} \times n \dots\dots\dots(3)$$

le nombre de jours pendant lesquels il se produit de l'érosion éolienne est supposé être proportionnel au rapport de la différence entre la moyenne mensuelle de l'évapo-transpiration (E) et la pluviométrie total mensuelle (P) sur l'évapo-transpiration mensuelle multiplié par le nombre de jours dans un mois (n).

FAO/UNEP/UNESCO (1979) indiquent que l'index du vent  $C_1$  suit la même variation que l'index C de Chepil dans l'intervale de 0 à 200 subdivisé comme dans le tableau ci-dessous:

Tableau 7: Classes de l'indice C de Chepil et l'indice  $C_1$  et estimation du mouvement de particules de sol

$C/C_1$	Estimation
0 - 20	Nul à faible
20 - 50	Modéré
50 - 150	Elevé
> 150	Très élevé

$$C_2 = \frac{V^3}{2.9(P - E)^2} \dots\dots\dots(4)$$

où:

- $C_2$  = indice d'érosion du vent
- $V$  = vitesse moyenne mensuelle du vent à 2m d'altitude (m/s)
- $P$  = pluviométrie mensuelle (cm)
- $E$  = évapo-transpiration mensuelle (cm)

$$C_3 = \frac{V^3}{2.9(P / E)^2} \dots\dots\dots(5)$$

où:

- $C_3$  = indice d'érosion du vent
- $V$  = vitesse moyenne mensuelle du vent à 2m d'altitude (m/s)
- $(P/E)$  = efficacité pluviométrique de Thornthwaite
- $P$  = pluviométrie mensuelle (cm)
- $E$  = évapo-transpiration potentielle mensuelle (cm)

108

La formule  $C_1$  a été développée à partir de l'indice du vent de Chepil (1962) et est recommandée pour l'évaluation de l'érosion éolienne au niveau général (> 1:1.000.000).

La formule  $C_2$  a aussi été développée à partir de l'indice du vent de Chepil (1962) et est recommandée pour l'évaluation de l'érosion éolienne aux niveaux détaillés de planification locale et provinciale (1:20.000 à 1:100.000).

Il ressort de ces trois formules que les facteurs dominants à considérer dans l'évaluation de l'érosion éolienne sont le climat et le sol.

Le facteur climatique prend en compte la vitesse moyenne du vent et l'humidité du sol. La prise en compte de la vitesse du vent est fondée sur la supposition que quand la vitesse excède le seuil requis pour déplacer des particules, la vitesse de mouvement devient proportionnelle à la vitesse du vent au cube.

Quant à l'humidité du sol, la prise en compte est basée sur le fait que l'érosion par le vent dépend de la force de cohésion de l'eau absorbée autour des particules. Pour les sols qui contiennent moins d'un tiers de l'humidité du point flétrissure, l'érosion du vent est la même que pour les sols secs. D'autre part, les formules utilisent, pour ce facteur, le pourcentage d'agrégat de sol ayant un diamètre inférieur à 0.8mm.

Les tableaux 8A à 8F montrent les résultats des trois modèles appliqués aux stations météorologiques synoptiques de Kiffa et Kaédi situées dans le sud mauritanien.

L'interprétation des différentes valeurs de  $C_1$ ,  $C_2$  et  $C_3$  ou mouvement du sable dépend des valeurs de la pluviométrie (P) et de celles de l'évapo-transpiration potentielle (E) pour les mêmes mois et territoires.

Pour  $C_1$ , l'érosion et le transport tendent à être très faibles au cours des mois et aux lieux où P est élevé et E est faible,  $C_1$  a des valeurs relativement faibles.

$C_1$  prend des valeurs relativement élevées au cours des mois et aux lieux où P est faible ou nulle et E est élevée. L'érosion éolienne tend à augmenter pendant ces mois. Appliquée au sud mauritanien, la formule  $C_1$  manifeste une distribution saisonnière assez marquée avec des valeurs généralement faibles au cours de la saison des pluies et des valeurs relativement élevées au cours de la saison sèche aux deux stations de Kiffa et Kaédi.

Tableau 8a: Valeurs mensuelles de l'indice  $C_1$  pour Kiffa (1986-1990)

	1986	1987	1988	1989	1990
Janvier	15.7	1.8	9.2	18.8	13.3
Février	6.8	1.4	54.6	29.1	12.0
Mars	13.3	3.3	9.2	32.2	13.3
Avril	3.6	20.7	31.1	31.1	12.9
Mai	6.8	30.2	24.6	32.2	9.2
Juin	5.3	13.5	17.1	6.4	17.3
Juillet	13.0	7.0	45.6	3.6	4.2
Août	6.1	2.9	0.5	26.8	2.0
Septemb.	0.7	2.3	2.5	4.7	2.5
Octobre	5.5	6.6	6.1	5.9	2.3
Novembre	6.6	14.0	5.9	5.9	3.7
Décembre	5.5	6.1	9.2	2.5	3.8
<b>MOYENNE</b>	<b>7.4</b>	<b>9.2</b>	<b>18.0</b>	<b>16.6</b>	<b>8.0</b>

Tableau 8b: Valeurs mensuelles de l'indice C<sub>2</sub> pour Kiffa (1986-1990)

	<b>1986</b>	<b>1987</b>	<b>1988</b>	<b>1989</b>	<b>1990</b>
Janvier	1.44	0.78	0.72	0.65	0.81
Février	0.32	0.15	0.44	0.49	0.09
Mars	0.12	0.06	0.04	0.14	0.05
Avril	0.01	0.01	0.10	0.12	0.04
Mai	0.02	0.02	0.06	0.09	0.03
Juin	0.01	0.02	0.05	0.05	0.06
Juillet	0.05	0.04	0.28	0.05	0.04
Août	0.07	0.08	0.82	0.88	0.04
Septemb.	0.44	0.03	0.03	0.03	0.03
Octobre	0.02	0.02	0.02	0.03	0.01
Novembre	0.07	0.03	0.04	0.03	0.02
Décembre	0.25	0.05	0.62	0.06	0.07
<b>MOYENNE</b>	<b>0.24</b>	<b>0.11</b>	<b>0.27</b>	<b>0.22</b>	<b>0.11</b>

Tableau 8c: Valeurs mensuelles de l'indice C<sub>3</sub> pour Kiffa (1986-1990)

	<b>1986</b>	<b>1987</b>	<b>1988</b>	<b>1989</b>	<b>1990</b>
Janvier	51.00	6.00	30.00	59.00	43.00
Février	24.00	5.00	195.00	104.00	43.00
Mars	43.00	11.00	30.00	104.00	43.00
Avril	600.00	69.00	104.00	104.00	43.00
Mai	22.00	97.00	80.00	104.00	104.00
Juin	18.00	427.27	491.27	103.45	48.78
Juillet	162.07	114.29	2.71	48.78	62.50
Août	30.30	13.44	4.74	109.09	25.53
Septemb.	5.04	11.01	13.48	100.00	37.50
Octobre	18.00	244.44	20.00	666.00	114.29
Novembre	22.00	47.00	20.00	20.00	12.00
Décembre	18.00	20.00	20.00	8.00	12.00
<b>MOYENNE</b>	<b>82.95</b>	<b>88.79</b>	<b>84.27</b>	<b>127.53</b>	<b>49.05</b>

110

Tableau 8d: Valeurs mensuelles de l'indice C<sub>1</sub> pour Kaédi (1986-1990)

	1986	1987	1988	1989	1990
Janvier	41.1	12.0	29.1	24.6	18.4
Février	20.7	12.0	29.1	22.3	8.3
Mars	23.0	18.4	32.2	9.2	9.2
Avril	33.2	10.8	8.9	8.9	8.9
Mai	34.3	7.4	18.4	13.3	9.2
Juin	29.2	8.4	31.1	28.8	11.5
Juillet	17.0	10.2	20.3	10.5	3.6
Août	10.6	6.0	5.1	5.1	2.4
Septemb.	0.2	4.3	1.0	9.4	4.5
Octobre	14.2	3.2	2.4	3.4	3.5
Novembre	15.2	15.2	5.9	8.8	5.9
Décembre	18.4	13.3	13.3	13.3	9.2
<b>MOYENNE</b>	<b>21.4</b>	<b>9.8</b>	<b>14.7</b>	<b>13.1</b>	<b>7.9</b>

Tableau 8e: Valeurs mensuelles de l'indice C<sub>2</sub> pour Kaédi (1986-1990)

	1986	1987	1988	1989	1990
Janvier	0.04	0.15	0.34	0.35	0.38
Février	0.22	0.08	0.41	0.16	0.05
Mars	0.11	0.08	0.10	0.04	0.03
Avril	0.11	0.03	0.03	0.03	0.03
Mai	0.09	0.02	0.05	0.04	0.02
Juin	0.09	0.09	0.09	0.11	0.05
Juillet	0.08	0.05	0.11	0.17	0.06
Août	0.06	0.07	0.13	26.99	0.03
Septemb.	45.76	0.27	0.92	0.09	0.04
Octobre	0.05	0.01	0.01	0.04	0.01
Novembre	0.09	0.07	0.04	0.04	0.03
Décembre	0.32	0.09	0.34	0.08	0.05
<b>MOYENNE</b>	<b>3.91</b>	<b>0.08</b>	<b>0.21</b>	<b>2.35</b>	<b>0.07</b>

Tableau 8f: Valeurs mensuelles de l'indice  $C_3$  pour Kaédi (1986-1990)

	1986	1987	1988	1989	1990
Janvier	133.00	27.00	30.00	80.00	59.00
Février	74.00	43.00	104.00	80.00	30.00
Mars	74.00	59.00	104.00	30.00	30.00
Avril	111.00	36.00	30.00	30.00	30.00
Mai	111.00	24.00	59.00	43.00	30.00
Juin	97.00	42.57	104.00	104.00	390.91
Juillet	142.22	81.25	156.86	137.21	50.00
Août	72.88	29.70	20.69	19.42	26.09
Septemb.	0.10	20.69	8.26	159.26	80.00
Octobre	940.00	100.00	200.00	333.33	12.00
Novembre	51.00	51.00	20.00	1500.00	20.00
Décembre	59.00	43.00	43.00	43.00	30.00
MOYENNE	155.43	46.43	73.32	213.27	65.67

Le modèle  $C_2$  dépend aussi de la magnitude de P et E. Pendant les mois et aux lieux où E est plus élevée que P,  $C_2$  tend à prendre des valeurs élevées qui, inversement, indiquent peu ou pas de mouvement de sol.

#### 4.2 Risque et situation présente de l'érosion éolienne

Le résultat des opérations de l'un quelconque de ces modèles est ensuite combiné avec d'autres paramètres tels que la texture du sol (S), la topographie (T) et l'utilisation du sol (L) pour estimer le risque et la situation présente de l'érosion éolienne en tonnes par hectare par an. Le paramètre "utilisation du sol" est une combinaison de taux de trois facteurs liés les uns aux autres, à savoir: les types de végétation naturelle (N), le pourcentage de couverture végétale (P) et les terres de culture (C). L'équation pour le calcul du risque d'érosion éolienne s'écrit:

$$\text{RISK} = C_n \times S \times T \dots\dots\dots(4)$$

où:

- RISK = risque d'érosion éolienne en t/ha/an
- S = texture du sol
- T = topographie (généralement estimée à 1)

La situation présente de l'érosion éolienne indique la quantité du sol en train être arrachée et transportée par le vent. Elle est exprimée de la manière suivante:

$$\text{STATUS} = L \times \text{RISK} \dots\dots\dots(5)$$

où

- STATUS = situation présente de l'érosion éolienne en t/ha/an
- L = (N x P) + C
- RISK = risque d'érosion éolienne en t/ha/year

112

Pour la texture du sol, les terres arables et la couverture végétale naturelle, FAO/UNEP/UNESCO (1979) fournit les valeurs numériques suivantes à utiliser dans les formules:

Tableau 9: Classes de texture du sol

Texture	Code	Pourcentages de sédiment
Grossière	1	<18% argile et >65% sable
Moyenne	2	<35% argile et <65% sable ou <18% argile et <82% sable
Fine	3	>35% argile

Tableau 10: Types de sols, texture et valeurs numériques assignées

Texture du sol	1	2	3
Sol non calcaire	3.50	1.25	1.85
Sol calcaire	3.50	1.75	1.85
Sols pierreux et gravelleux	1.75	0.62 non calcaire 0.87 calcaire	0.92

Tableau 11: Valeurs numériques pour les types de cultures

Type de culture	Valeur
Cultures annuelles de courte saison	0.7
Cultures des tropiques humides	0.4
Cultures irriguées	0.2

Tableau 12: Valeurs numériques assignées aux taux de couverture de la végétation naturelle

	Taux de couverture en %					
	0-1	1-20	20-40	40-60	60-80	80-100
Steppe	1.0	0.7	2.5	0.3	0.15	0.05
Savane arborée	1.0	0.7	0.4	0.25	0.10	0.03
Savane boisée	1.0	0.6	0.3	0.20	0.10	0.01
Forêt dense	0.9	0.5	0.3	0.15	0.05	0.01

Sur la base de ces éléments, FAO/UNEP/UNESCO (1979) fournit aussi les limites de classes indiquées dans le tableau 13 pour la dégradation du sol.

Tableau 13: Liste de classes de la dégradation du sol

Erosion éolienne	Perte de sol	
	t/ha/an	mm/an
Nulle à légère	<10	<0.6
Modérée	10-50	0.6-3.3
Elevée	50-200	3.3-13.3
Très élevée	>200	>13.3

L'application des formules combinées avec l'indice  $C^1$  pour l'évaluation du risque et la situation présente de l'érosion éolienne au niveau des deux stations de Kiffa et Kaédi fournit les résultats suivants:

a. **Pour Kiffa en 1990:**

*Evaluation du risque d'érosion éolienne:*

$$C^1 = 8.0$$

$$\text{Texture du sol} = 0.87$$

$$\text{Topographie} = 1$$

$$\text{Risque d'érosion éolienne} = 8.0 \times 0.87 \times 1 = 7 \text{ t/ha/an}$$

Le risque est faible du fait de la combinaison de trois facteurs limitatifs dont la topographie contrastée, le caractère grossier du sol et la carapasse ferrugineuse couvrant le Plateau de l'Assaba sur lequel la ville est installée.

112



***Evaluation de la situation présente de l'érosion éolienne:***

Risque	=	7.0
Utilisation de la terre: végétation naturelle		
20% steppe avec 10% de taux de couverture	$2 \times 2.5 =$	5
Terre arable	$2 \times 0.7^{10} =$	0.14
Facteur d'utilisation du sol		5.14
Erosion éolienne présente	$7 \times 5.14 =$	36t/ha/an.
Erosion éolienne modérée.		

L'érosion éolienne présente est modérée du fait des mêmes limitatifs évoqués pour le risque d'érosion éolienne.

**b. Pour Kaédi en 1990:**

***Evaluation du risque d'érosion éolienne:***

C <sup>1</sup>	=	7.9	
Texture du sol	=	1.25	
Topographie	=	1	
Risque d'érosion éolienne	=	$7.9 \times 1.25 \times 1 =$	9.9t/ha/an

Le risque est faible du fait de la combinaison de trois facteurs limitatifs dont la succession de sols grossiers, moyens, fins et la présence d'une eau capillaire relativement importante, notamment dans les zones inondables, d'une végétation relativement dense.

***Evaluation de la situation présente de l'érosion éolienne:***

Risque	=	9.9
Utilisation de la terre: végétation naturelle		
40% steppe/savane boisée avec 40% de taux de couverture	$4 \times 0.275 =$	1.1
Terre arable	$3 \times 0.7 =$	0.21
Facteur d'utilisation du sol		1.31
Erosion éolienne présente	$9.9 \times 1.31 =$	12t/ha/an.

L'érosion éolienne présente est faible à modérée du fait des mêmes facteurs limitatifs évoqués pour le risque d'érosion éolienne.

Il est toutefois important de signaler que les formules pour l'évaluation du risque et de la situation présente de l'érosion éolienne s'appliquent aux points d'observation des différents paramètres. Ceux-ci sont généralement les stations météorologiques. Les résultats obtenus des calculs ne sont donc valides que pour les stations concernées. En d'autres termes, les espaces séparant les stations, qui sont aussi affectés par l'érosion éolienne, sont omis de l'évaluation. L'évaluation de l'érosion sur ces espaces nécessite la génération de surfaces d'érosion éolienne par interpolation à partir du tissu de stations d'observation des paramètres climatiques et environnementaux. Cependant, l'interpolation nécessiterait un tissu dense de points d'observation. Cette opération SIG est impossible dans le cas de la zone d'étude car il n'existe que les deux stations de Kiffa et Kaédi.

---

<sup>10</sup> Basée sur un calendrier agricole de 2 mois.

## 5 L'ANALYSE CARTOGRAPHIQUE DE L'ÉROSION ÉOLIENNE

L'évaluation de l'érosion éolienne par les techniques d'analyse cartographique des SIG correspond à l'identification, la cartographie et l'analyse des espaces qui sont à risque ou sont en cours d'érosion par le vent. La cartographie et l'analyse se fondent essentiellement sur le sol et la couverture végétale et les interrelations entre ces deux paramètres.

La cartographie analytique de l'évaluation de l'érosion éolienne consiste en une série de classifications et de croisements des cartes/images des sols et de la végétation pour produire une carte/image synthétique indiquant les espaces sujets au risque d'érosion.

Le premier exercice de cette démarche consiste à identifier sur une image des sols toutes les unités de sol qui peuvent être sujettes à l'érosion éolienne du fait de leur texture fine et de leur aspect meuble. FAO/UNEP (1983) indique que ces unités correspondent à des sols meubles, secs et de texture fine sur des espaces ouverts (avec peu ou pas de végétation). En d'autres termes, les sables moyens à fins, sables limoneux et limons tombent dans cette catégorie. La figure 1 montre la répartition des unités de sol qui sont sensibles à l'érosion éolienne sur la base de leur texture.

La mise en application de la méthode cartographique analytique est bien simple dans un environnement SIG. Premièrement, elle ne nécessite que deux images au départ. Deuxièmement, seulement les trois opérations de classification et de croisement suivantes sont nécessaires:

- a. isoler les sols susceptibles à l'érosion éolienne en classifiant la carte/image originale sans considération de la couverture végétale. Le résultat de la classification, SOLSUSC, doit être une image binaire assignant 0 aux sols non susceptibles et 1 aux sols susceptibles.
- b. classifier la carte/image originale du couvert végétal en assignant une valeur de 1 aux taux de couverture inférieurs à 50% et une valeur de 0 aux taux de couverture égaux ou supérieurs à 50%. Le seuil de 50% est choisi pour séparer les aires où la couverture végétale est trop faible pour protéger les sols de celles qui disposent d'une protection végétale suffisante contre l'érosion éolienne. L'image résultante de cette opération, VEGCO50, contient toutes les unités de sols (sans considération de leur texture) potentiellement sujettes à l'érosion éolienne du fait de l'absence d'un couvert végétal protectif suffisant. VEGCO50 est aussi une image binaire.
- c. Finalement, la carte/image des surfaces actuellement sujettes au risque d'érosion éolienne, RISKEOL, est produite par simple croisement logique "ET" (*multiplication*) de SOLSUSC et de VEGCO50.

L'image RISKEOL est purement qualitative et ne montre que les espaces sujets au risque d'érosion éolienne compte tenu de la concurrence des sols fins, secs et meubles et de l'absence d'une couverture végétale suffisante. Par conséquent, le résultat de la méthode d'analyse cartographique basée sur la texture du sol et le taux de couverture végétale devrait être complété par un travail intensif de terrain. Ceci permettrait de mettre RISKEOL à jour par l'identification des aires de déflation et des aires de sédimentation, et de produire une carte finale de l'érosion éolienne.

Les résultats qualitatifs obtenus de cette démarche peuvent être complétés par les données quantitatives obtenues de la combinaison des modèles d'indice du vent et les autres paramètres environnementaux, ou par leurs surfaces d'interpolation.

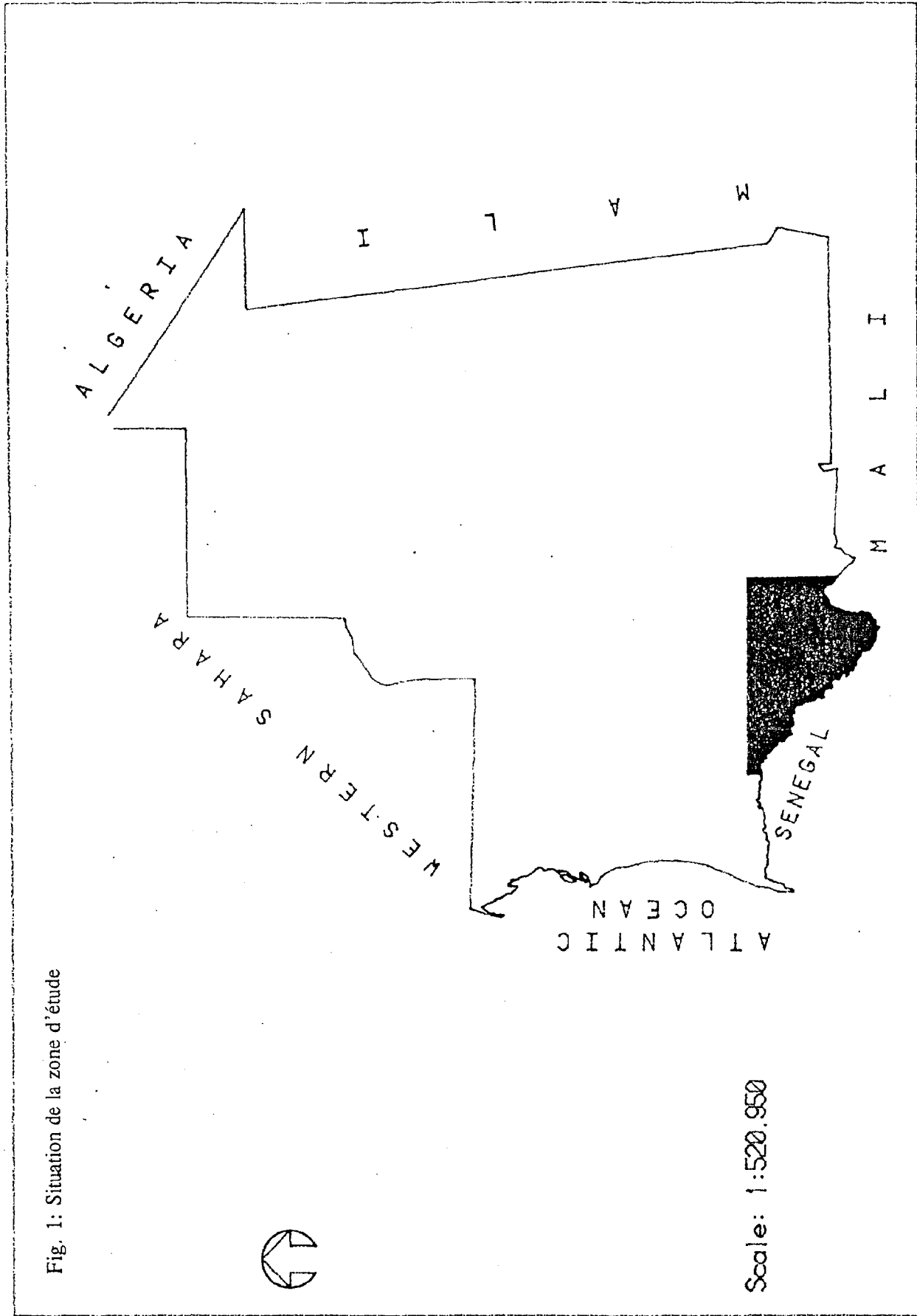


Fig. 1: Situation de la zone d'étude






Scale: 1:520,950

15

Fig. 2: Unités de sol sujettes à l'érosion éolienne



Légende

- Sable 
- Limons sableux 
- Sable limoneux 
- Limons 
- Silt, argile, limons 

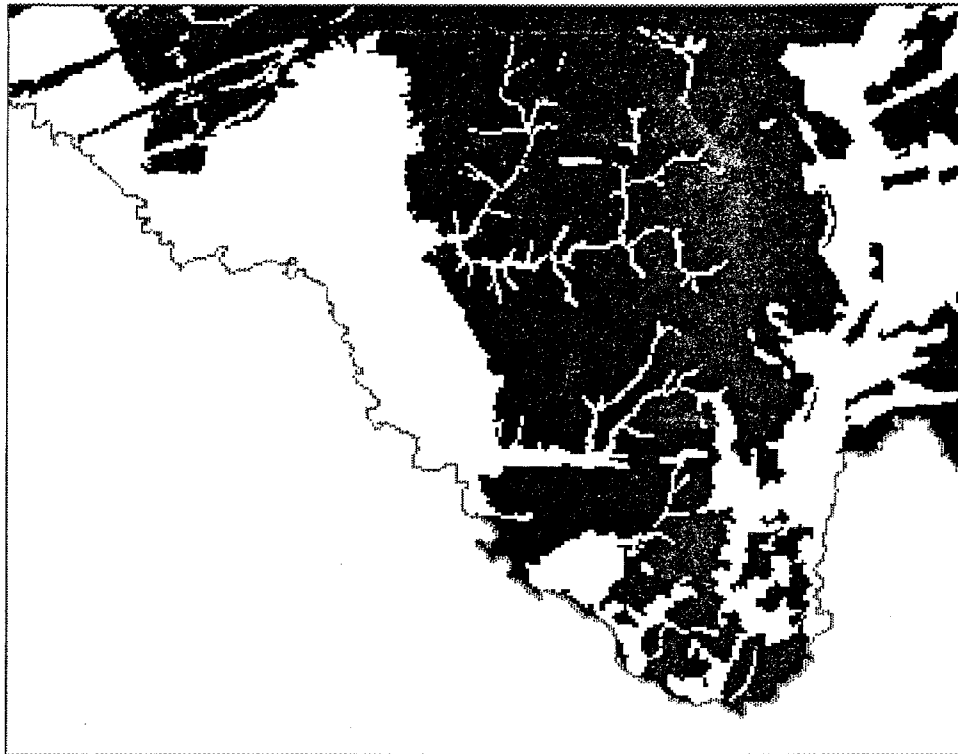


meters

93707.8

**Idrisi**

Fig. 3: Surfaces à taux de couverture végétale faible ( $\leq 50\%$ )



Légende

Couverture végétale  $\leq 50\%$  

Grid  North

meters

93707.8

Idrisi

119

126

Fig. 4: Surfaces sujettes au risque d'érosion éolienne  
après croisement des figures 2 et 3



Légende

Risque d'érosion

Nul à faible



Elevé



meters

93707.8

**Idrisi**

## REFERENCES

BANOUB E.F., 1970

Sand-storms and dust-storms in U.A.R. Tech. note No 1, Meteorolo. Dept., Cairo, 35 p

BROOKFIELD N. 1970(a)

Dune trends and wind regimes in central Australia Inst. Géomorph. Suppl. pp 121 - 153

BROOKFIELD N., 1970(b) Winds of arid Australia

Div. of Land Research: Tech. Paper No 30, CSIRO, Melbourne. 59 pp

CHEPIL W.S., 1945

Dynamics of wind erosion. - II - Initiation of soil movement by wind. Soil science, 60(5). pp. 397 - 411.

CHEPIL W.S., and WOODRUFF N.P., 1957

Sedimentary characteristics of dust-storms II: Visibility and dust concentration. Am. J. Sc., New Haven, Conn. pp. 104 - 114

CHEPIL W.S., 1965

Transport of soil and snow by wind. Met. Monographs. vol. 6 No. 28; Am. J. So., Boston, pp. 123 - 137

DREGNE H.E., 1976

Desertification: Symptom of a Crisis. Arid/Semi-Arid Natural Resources Program. University of Arizona, pp. 12-24, 5 fig., 1 table, 4 ref.

DREGNE H.E., 1983 Desertification of Arid Lands

Advances in Desert and Arid Land Technology and Development, Vol. 3, Harwood Academic Publishers, 242p.

DRESCH Jean, 1982

Géographie des régions arides PUF, le géographe. Paris, France 277 p.

FAO/UNEP/UNESCO, 1979

A provisional methodology for soil degradation assessment.

FAO/UNEP, 1984

Provisional methodology for assessing and mapping of desertification.

KINUTHIA J.H., 1989

Assessment of applicability of FAO/UNEP/UNESCO Methodology on Wind Erosion in Selected Areas in Marsabit and Baringo and Recommended Wind Degradation Indicators  
Unpublished, UNEP - DC/PAC

MATLOCK W.G., 1976

Segments of a Vicious Circle: Land Degradation and Water Resources. Arid/Semi-Arid natural Resources Program. University of Arizona, pp. 45-50.

PETROV M.P., 1973

Deserts of the world

Leningrad: Nauka Publishing House.

OLSSON L., 1985

An Integrated Study of Desertification: Application of Remote Sensing, GIS, and Spatial Models in Semi-Arid Sudan.

Lund University, Dept of Physical Geography, Serie C, N° 13, 179p., 120 fig., 27 tables. 166 ref.. Appendix.

SABATEL J.E., RISLEY E.M., JORGENSON H.T., and THORNTON B.S., 1982

Desertification in the United States: Status and Issues.

U.S. Dept of the Interior - Bureau of Land Management. 277p., 33 fig. appendices.

SPOONER B., 1978

Problems in the Development of Social Indicators of désertification. Désertification Papers - American Association for the Advancement of Science, pp. 81-93., 1 fig., 12 ref.

THIAM A., 1985

Les Ensembles Dunaires du sud-ouest mauritanien: Approche par la Sédimentologie et la Télédétection

Thèse Doctorat de 3<sup>ème</sup> Cycle, Département de Géogr., Université de Dakar, Sénégal

TYSON P.D., 1980

Climate and Desertification in Southern Africa.

The Threatened Drylands, 24<sup>th</sup> IGC Pre-Symposium, C19, Fujinomiyo, Japan. August 25-30. pp. 33-43, 37 fig.

UNCOD, 1977

Ecological Changes and Desertification.

United Nations Conference on Desertification, Nairobi, Kenya, August 29 - Sept. 9, Background Documents, 129p. 20 fig., 6 tables, 346 ref

UNIVERSITY OF ARIZONA, 1973

World Desertification: Causes and Effects - a Literature Review and Annotated Bibliography.

National Technical Information Service / U.S. Dept of Commerce, 168p.

WMO, 1983

Meteorological aspects of certain processes affecting soil degradation - especially erosion.

Tech. note No. 178, WMO - No. 591, 149 p.

122



## PAST EXPERIENCES AND FUTURE ACTION TO FIGHT DESERTIFICATION IN TUNISIA

### A. KALLALA

Ministry of Environnement, Tunisia

Since independence in 1956, Tunisia has mainly based its economic development on agriculture. For that, three main areas of action have been identified to increase agricultural production : Yield enhancement, extension of cultivated land and development of irrigation to mitigate rainfall scarcity

However, this policy was undertaken without consideration of natural and social constraints. Therefore, a number of problems have hampered such an undertaking namely the fragility of natural resources (soil, water and vegetation), high rural density (up to 110 inhabitant/km<sup>2</sup>) maintained by a high birth rate despite the government's endeavour to limit population growth (1,9 national rate since 1989.). The impact of this high density level has been multiplied by an important settlement movement of rural population.

In addition, the dislocation of traditional social structures and their replacement by formal administration has exacerbated the degradation of natural resources and the structural work already done in water and soil conservation. Desertification has been even more accelerate by recurrent droughts in such a way that nowadays 64 % of the total area of Tunisia (10 million ha) are affected by desertification; hence constituting a major impediment to development in the south and the centre of the country.

The extension of irrigation has aggravated salinization problem on mainly fertile and extended desertification in areas relatively stable.

However, governmental institutions are :fragmented back coordination and are mainly concerned by a multitude of confusing short term objectives such as creation of employment and the development of corrective actions rather than preventive ones. These institutions concentrate too much power at the expense of traditional structure. The late decentralisation of especially the Ministry of Agriculture and the incorporation in rural integrated development and the revival of traditional organisation through non governmental organisation (NGO's) has created "new conditions to address desertification problem.

On the legal aspect, although legislation has been updated in some key sectors (forest act and soil and water conservation Act to be published), the legal context is still insufficient to address the current situation on desertification. For that, a Land Use planning policy should be provided along with Land Tenure Act that should be addressed specifically.

However, despite the impediments identified above the country has gained some practical experience in the fight against desertification. Research and empirical work on desertification has lead to a rather "good" knowledge on the process of land degradation and desertification; the devise of more "friendly" economic and social techniques (arid farming and water and soil conservation) and the sensitization and training on the conservation of arid land ecosystems.

At the conceptual level, desertification is nowadays perceived with its natural, social, economic, institutional and legal dimension.

# PLANNING A DESERTIFICATION INFORMATION SYSTEM

**D. B. TUNSTALL**

World Resources Institute, Washington, D.C., USA

## Introduction

The recently signed Convention to Combat Desertification provides a useful political mandate for developing a desertification information system (DIS). However, it is my contention, that the Convention does not provide enough guidance to the Parties on the who, what, why, and how of developing a DIS. What is needed is greater focus on policy-making for development and environment in general, and land degradation in particular.

## Convention Mandates for Desertification Information

Section 2, Article 16 of the Convention focuses directly on information collection, analysis, and exchange. The stated purpose is to encourage Parties to coordinate their activities to monitor land degradation and to better understand the biogeophysical processes that lead to degradation.

Information would be used for early warning and advance planning for periods of adverse climate change by users at all levels. It directs attention to the needs of local communities working within a supporting national, regional, and global network.

Considerable attention is paid to developing compatible standards and systems, upgrading and using modern information technologies, and developing linkages to existing programs.

I am particularly impressed with the attention given to information exchange. Parties shall "exchange and make fully, openly, and promptly available information from all publicly available sources, relevant to combating desertification and mitigating the effects of drought." Also, while calling on Parties to make use of modern information technologies, the Convention stresses the need to exchange "local and traditional knowledge" with adequate protection and benefit for local peoples. Too often, local communities are the site and source of studies and data collection, but they are rarely involved in the analysis and interpretation and almost never in the use of the information for development.

## Desertification Information for Policy Makers

Let me expand on what is contained in the Convention, highlighting ways in which the mandate for a DIS can be strengthened and perhaps made more useful and practical.

Who should be involved in building and using a DIS? In addition to the Parties to the Convention (mostly national governments), we need to include NGOs, the university and policy research community, local communities, and the private sector. These groups are involved in the collection, analysis, and reporting of information. They are involved in the formulation and implementation of policy. They need to be brought into the design, planning, and implementation of information systems.

What should be the focus of a DIS? The main focus should be on meeting the needs of policy-makers, at all levels. The Convention focuses on land degradation, but the DIS must focus on environment and development.

124

Questions to consider in planning a policy relevant DIS include:

- \* What is the development status of the people? What is their income, wealth, and standard of living?
- \* Is the resource base being sustained? Can it continue to support the economic and social welfare of the nation and community?
- \* What are the key environmental and resource issues? Which populations are at risk?
- \* What is the condition of the land, water, and other natural resources? How extensive is land degradation and to what extent is this affecting the economic well-being of the community?
- \* What is causing the degradation and what can be done about it? What activities and practices have been successful and under what conditions?
- \* What reliable data are available for the resource base of the community, area, nation, and region?

My point here is that we need to start with development and human well-being, not with the biophysical conditions of the resource base. A DIS should be embedded within a larger Sustainable Development Information System that includes both biophysical and socioeconomic factors.

Why should policy be the principal use of a DIS? We want to manage the resource base for development, not just study it or monitor its changes, as interesting as those may be. We want to get at the root causes of land degradation, whether they be climate change, greater climatic variability, changes in farming practices, policies that constrain or support sustainable resource use, population growth, or other reasons. Good policy analysis will seek to answer these questions and more. It will help us focus on trade and pricing policies, on food and crop

subsidy and famine relief policies, on land tenure and management issues, all within a context of development.

How does one build a policy-relevant DIS? The Convention sets the tone by calling on information exchange, compatible formats, common standards, and other information policy attributes. In terms of specific data we want information on:

- \* Population: size, distribution, growth rates, age and sex distribution, household size, all georeferenced for integration within a GIS,
- \* Land cover and use: soils, land use classifications, ecosystem classifications,
- \* Land conditions and degradation:
- \* Land use management practices:
- \* Climatic variables: precipitation, temperature, climatic variability,
- \* Crop and livestock production:
- \* Prices:
- \* Incomes and wealth:

The DIS needs to take advantage of existing baseline information and be linked to Environmental Information Systems and Sustainable Development Information Systems. It is the linkages between the land, people, and economic welfare that are difficult to measure, but essential for managing and promoting development.

The DIS should be a valuable source of information for indicators of desertification that bear upon development.

#### Developing a DIS

A number of questions should be considered by those developing a DIS at the local, national, regional, or global level. I've identified six issues, but there are surely more.

125

1. Users

Who needs the information and why do they need it? Governments, private sector, bankers, NGO associations, donors and international governmental organizations, convention secretariats, other Parties. The challenge is to develop a DIS or expand existing information systems that will meet some of the important information needs of principal users. These groups should be involved in the design and planning of the DIS.

2. Functions and Uses. A policy relevant DIS can be used to guide development policies; provide information for resource planning and allocations; help plan programs and projects and be used in their assessment; help guide research on land degradation and land management practices; help guide data collection and environmental monitoring; and help assess progress in achieving the goals of the Convention.

3. DIS Information Types

An ideal DIS will provide timely access to the following types of information:

- \* Statistics: conditions and trends, indicators, monitoring data, special studies, etc.
- \* Maps: of varying scales and complexity;
- \* Monitoring data:
- \* Project and program information: location, budgets, plans, staff, inputs, outputs, impacts, assessments, evaluations, etc.
- \* Bibliographic information on: reports and assessments, technologies, laws, land use management practices, etc.
- \* Experts and organizations: lists of experts, private companies, NGOs, and other individuals and organizations, donors;
- \* Calendars: conferences, workshops, etc.
- \* Research: findings, projects, current studies, databases, etc.

4. Outputs/Services: What Can the DIS Do for You?

An ideal DIS, with capacity for analysis, can be used to prepare:

- \* Indicator bulletins and reports,
- \* Special analyses and reports,
- \* Assessments,
- \* Searchable databases,
- \* Decision support systems,
- \* Targeted research.

5. Institutional Arrangements of a DIS

A number of issues will have to be addressed in developing a DIS for policy-makers. These include:

- \* Funding: levels and sources,
- \* Staffing,
- \* Training,
- \* Computers and software, telecommunications,
- \* Affiliations with other organizations and databases,
- \* Collaborators,
- \* Evaluation, peer review, board, etc.

26

## 6. Characteristics of an Effective and Efficient DIS

How do we characterize an effective and efficient DIS? It should be:

- \* The first place to go to find out about desertification issues and information. It has to be responsive to clients,
- \* Objective and independent, yet policy relevant,
- \* Science-based,
- \* Capacity building in the way it is organized and managed,
- \* Collaborative and participatory.

### Getting Started

Building on the foundation of the Convention and with added focus on the needs of policy makers at all levels, the developers of a DIS at national and regional levels can make considerable progress by: considering a number of the issues identified above, particularly the needs of the users; linking the needs of users at one level (national) to those at other levels (regional and local); assessing the experiences of colleagues in developing information systems and assessments for the biodiversity and climate change conventions and the U.N. Commission on Sustainable Development (CSD); assessing the past record of developing information systems by UNEP, UNSO, and others; and assessing current desertification knowledge, models, and monitoring systems that are the topics of other sessions in AFRICAGIS'95.

### Conclusion

The Convention to Combat Desertification is a useful starting point for planning and developing a desertification information system, but it does not provide sufficient guidance on what will be needed for implementation. We suggest that the development of a DIS should focus on the needs of policy-makers, should be embedded within a larger Environmental Information System and Sustainable Development Information System, and should be linked to the needs of policy-makers at all levels.

# DEVELOPMENT OF INDICATORS FOR MONITORING THE IMPACT OF NATIONAL NRM PROGRAMS <sup>1</sup>: THE CASE OF NIGER

## B. WINTERBOTTOM

International Resources Group (IRG), Agriculture Sector Development , Funded by USAID/Niger

### Introduction

In Niger, as elsewhere, there has been substantial investment aimed at controlling desertification and improving the management of natural resources so as to increase agricultural production and improve the well-being of rural populations.<sup>2</sup> Over the past several years, several conceptual frameworks have emerged that help to correlate program outcomes and proposed indicators for monitoring natural resource management -(NRM) related programs in Niger <sup>3</sup>. A consensus has also emerged on the need for indicators to measure progress and program performance, and for more efficient systems to manage information needed to improve program effectiveness. We are now searching for agreement on sampling strategies, monitoring methods and a division of responsibilities for data collection, analysis and reporting among interested institutions and programs.

This paper will briefly discuss some of the issues encountered in selecting indicators, the overall approach which is being developed to establish environmental information systems and monitor NRM program impact, and review the indicators which have been proposed to date for Niger.

### Issues in the selection and use of NRM indicators

Earlier efforts to select indicators and monitor environmental changes related to the impact of programs designed to combat desertification and environmental degradation and to promote sustainable rural development were hampered by imprecision or differences in program objectives, incomplete time-series data, lack' of geo-referencing of data, limited geographic coverage of data, differences in data collection 'methods, or difficulties in accessing or utilization of data. A number of NRM projects have included diagnostic surveys at some point in project implementation, but failed to track socio-economic and environmental changes over time. Others have developed systems to monitor implementation of project activities (e.g. provision of inputs, achievement of outputs), but did not track the results or development impact of projects. Owing to a dependence on externally driven M&E systems, most project M&E systems did not prove to be sustainable beyond the life of the particular project. While there is an apparent abundance of information, it is often difficult to access, integrate and utilize, and our ability to document and analyze program impact is quite limited.<sup>4</sup>

These problems are compounded by the large number of studies and field activities related to NRM projects, which complicates the task of assessing their collective impact. NRM projects are administered by more than a dozen technical departments spread across several ministries. There are now dozens of NGOs working in NRM and rural development programs and the current trend is to encourage the emergence of community-based organizations, local associations and other NGOs as well as an expanded role for the private sector in NRM programs. The push for bottom-up, decentralized planning and empowerment of local communities in organizing NRM activities will present both a challenge and an opportunity to those national institutions charged with tracking the impact of NRM policies, strategies and programs.

Proposed Approaches for Monitoring and Evaluation (M&E)

128

Many of these issues are being addressed by a new generation of NRM projects and programs which place greater emphasis on continual monitoring of program impact and effectiveness as well as operational success. There is also more interest in local participation in the collection and analysis of M&E information which is meaningful at both the local and national level.

New institutional arrangements are also being developed to support collaboration and coordination among NRM projects. In this regard, the Government of Niger established an interministerial Rural Development Sub-Committee (which includes directors of all the technical departments involved in NRM projects), adopted policy guidelines for rural development programs and organized the NRM Coordinating Unit (Cellule de Gestion des Ressources Naturelles) to stimulate information exchange, coordinated programming and the development of more effective NRM policies and strategies.

Despite some remaining differences in the types of information required for planning and tracking NRM interventions, many donor agencies and decision-makers are now demanding three distinct types of M&E information. It is important to keep these information needs in mind as we select indicators and develop improved information systems for NRM programs.

1. information on the status of the natural resource base and rural economies, including macro-level, contextual changes in environmental and socio-economic conditions, and the response of the environment to climatic variation and changing human pressures; this information is needed to provide a baseline for assessing changes resulting from program interventions;
2. information related to the performance of a particular program, in terms of the achievement of targeted results and people-level impacts (both intended and un-intended) with respect to environmental, socio-economic and programmatic objectives, at the household, community, subregional-and national levels;
3. information for strategic planning and "hypothesis testing", needed to analyze cause-effect linkages between environmental and socio-economic changes, programmatic interventions and specific results or site-specific impacts.

The approach now being adopted in Niger to provide these types of information includes the following elements:

- increased support for common approaches and methodologies for M&E components of community-based NRM projects, including local level monitoring of environmental changes, as in the case of Goure NRM project, ASDG II small grants to NGOs and the terroir level M&E component of the proposed NRMP/PNGRN)<sup>5</sup>
- strengthening of national level environmental information systems and environmental monitoring Programs, so as to integrate data from local level monitoring, representative site surveys ("audit socio-écologique") and to prepare diagnostic studies ("bilan diagnostic") and thematic maps depicting natural resource conditions and trends. These actions are being supported by the UNSO/EIS pilot project, continued collaboration with AGRHYMET, the development of a national EIS as a component of the desertification action plan/environmental action plan, and support for a natural resource information component as part of the national NRM program (PNGRN).

- human resource development, budgetary support and other actions to increase the capacity and effectiveness of national institutions with a mandate to collect, analyze and disseminate information for the M&E of NRM programs; in Niger, this includes support for the Institut Géographique National de Niger (IGNN) for base mapping, the Unite Technique d'Appui (UTA) of the Environment Dept. for preparation of thematic maps and GIS products, the Institut National de Recherche Agricole au Niger (INRAN) for site surveys and diagnostic studies as part of the PNGRN, in cooperation with AGRHYMET, OSS/UNITAR, WRI and others. I. Legal recognition and operational support is also being provided to community-based organizations such as the "comité de gestion de terroir" and district-level "commissions foncières" to enable them to play a greater role in NRM programs, including M&E.

- support to the C/GRN and other technical departments by a number of programs including ASDG II and NRMP in order to improve the management of information and networking related to:

- planning and programming of NRM interventions;
- project M&E, special studies and field surveys,
- „capitalisation des expériences“;
- developments of interest to specialized user groups

#### Review of Candidate Indicators for Niger's NRM Programs

As discussed in a separate presentation, a number of environmental indicators related to monitoring changes in soil characteristics, sand dune movements, vegetation, crop production and water resources are being used by local communities and the AFRICARE team involved with the NRM Project in the arrondissement of Goure.

Shaikh and McGahuey (1994) proposed a set of 18 indicators to be used to monitor the national level impacts of USAID's NRM program in Niger which is being supported in large part through ASDG II (see table 1).<sup>6</sup> These indicators were organized with respect to the five levels of USAID's analytical framework which was developed to improve our understanding of the often hierarchical relationships between program inputs, and people level outcomes or long term results. The achievement of sustainable socio-economic benefits and certain people-level indicators (level V) are used to measure long term impacts, which are seen to be dependent on achievement of lower level, intermediate impacts or results, including biophysical changes (level IV), adoption of NRM practices, land use management decisions and other behaviour changes on the part of producers (level III), policy and institutional changes and other determinants of land-use management decisions by local producers (level II), and finally programmatic interventions to establish enabling conditions and effect manageable determinants (level I).

The NRM analytical framework was used in the design of the ASDG II program, including the identification of "conditions precedents" for disbursement of USAID budgetary support for NRM activities, and serves as a reference for testing hypotheses about the conceptual approach and working premises of the program. This is particularly important in terms of identifying the "necessary and sufficient" determinants or enabling conditions for broad-based adoption of NRM practices. As Shaikh and McGahuey have pointed out: a program can establish 90% of the enabling conditions without achieving widespread adoption because of the remaining 10%; identifying and establishing the remaining 10%, which may be unanticipated and not part of the original design, is itself an important product of the program.

Kalala and Lachance (1995) have proposed some 40 impact indicators to be used to track the changes supported by the NRMP/PNGRN.<sup>7</sup> The choice of indicators was guided by an analysis of the long term goals of the program and the corresponding long term impacts, and indicators associated with the short and medium term effects of program interventions which are being supported to achieve the program's goals (see table 2).



The resulting mix of indicators combines information on local-level impacts as well as national-level impacts, and on biophysical as well as socio-economic changes at the "terroir" and household levels (see table 3). Additional indicators have been identified to track results achieved in terms of strengthening community capacity to manage NRM as well as increasing the capacity of national institutions to support NRM programs.

In general, the groups of indicators proposed to date are still relatively "indicative" and will need to be reviewed more closely as M&E systems are put into place and become operational. More attention will then be given to a review of the suitability and sustainability of these indicators, with respect to such criteria as:

- availability of historical and current information;
- accuracy and precision of information;
- consistency and efficiency of measurement;
- sufficiency, coverage of major NRM practices;
- comprehensibility at the local level;
- adaptability to local conditions;
- availability of personnel for data collection;
- potential for disaggregation of data by gender;
- relative costs of data collection and analysis;
- required frequency of data collection;
- level of effort/time required for data analysis;
- institutional capacity for data analysis and reporting.

There does seem to be agreement that the indicators and M&E information system should both serve to measure progress in achieving program results, and improve program effectiveness by validating assumptions about causal relationships linking program interventions with environmental and socio-economic changes and other people-level impacts.<sup>8</sup>

While there is some overlap and consensus among the various sets of proposed indicators -- particularly with respect to tracking the number of producers adopting selected NRM practices that increase productivity and reduce degradation -- a variety of different methods have been proposed in Niger to collect data on these indicators. The Gouré NRM project relies primarily on community participation, with support from project extension staff. The USAID NRM program will make use of existing statistical and GIS databases, supplemented by sample surveys, annual videography and national KAP surveys. The NRMP/PNGRN proposes to combine data from several sources: community-level diagnostic surveys and regular M&E by contract extension staff, and diagnostic regional surveys based primarily on aerial photography and detailed analysis of conditions at representative sites in years 1 and 5 of the project.

Now that some progress has been achieved in developing conceptual frameworks and in the choice of indicators for NRM programs, the harmonization and coordination of different methods for data collection and the clarification of institutional responsibilities for the management of information from NRM related M&E and information systems continues to pose a challenge. We hope to take advantage of the planning and programming processes related to the implementation of the International Convention on Desertification in Niger to progress further in this regard.

**Table 1 • CANDIDATE INDICATORS  
FOR USAID NIGER'S NATURAL RESOURCES PROGRAM**

**Level V - Sustainable Socio-economic benefits**

Changes in productivity of farming systems (per capital production)

Ratio of yields between fields with and without NRM practices

Source of data: annual national statistics

**Level IV - Maintenance or Improvement of Productive Capacity of  
Renewable Natural Resources (Soil, Forest, Range, Water, Wildlife)**

Changes in composition and density of vegetation

Changes in rates of soil loss and soil nutrient status

Ratio of changes in degradation rates on NRM vs. non-NRM areas Source of data: annual videography and surveys

**Level III - Adoption of Practices that Increase Productivity and Protect the Natural Resource Base**

Number of hectares with improved soil and water conservation measures

Number of hectares with improved agroforestry practices Number of hectares of community-managed natural forest

Number of hectares treated with soil fertility management practices

Percentage of producers adopting more than one improved NRM practice

Source of data: videography and KAP surveys

**Level II - Establishment of Enabling Conditions for Diffusion of Appropriate Practices**

Percentage of respondents with a positive perception of tenure security.

Percentage of respondents with a positive perception of local resource management rights (devolution of authority) Percentage of respondents receiving credit Percentage of respondents marketing products

Percentage of respondents with knowledge of more than three improved NRM options

Source of data: Annual surveys of changes in Knowledge, Attitude, Practices (KAP)

**Level I - Programmatic Actions to Establish Enabling Conditions Number of targeted policies changed**

Number of people trained

Number of producers trained locally, including site visits

Source of data: Policy dialogue, project M&E reporting

Reference:

Shaikh, McGahuey (1994)

## **Table 2 -STEPS USED TO DETERMINE INDICATORS FOR THE NRMP**

### I. Articulate Program Goals:

- **slow or reverse environmental degradation** in order to promote sustainable agricultural production and improvement of living conditions of rural populations;
- **provide a favorable institutional, legal and policy environment** so as to increase the capacity of local communities to manage the resources upon which they depend

### II. Identify Expected Long Term Program Impacts:

- **sustainable rehabilitation of natural resource base**
- improvement of living conditions of rural communities
- improvement of local capacity to manage natural resources
- improvement of the capacity of national institutions to support NRM activities

### III. Identify Planned Actions and Interventions:

#### **Environmental Protection/Natural Resource Management**

- participatory natural forest management
- control of cutting, bush fires, hunting
- protection of natural regeneration
- reforestation, woodlots
- sand dune fixation
- forage banks, range improvement, rotational grazing
- establishment of livestock corridors
- improvement of wells and ponds
- water harvesting, infiltration ditches
- gully plugs, erosion control dikes, stonelines, "zai"
- agroforestry (protection of *Acacia albida*, regeneration of trees in farmfields, windbreaks, boundary plantings, live fencing)
- composting, mulching, manure contracts
- improved fallows; green manure

#### **Intensification and Transformation of Rural Production**

- increased use of fertilizers, improved seed, animal traction
- recovery and treatment of crop residues; use of forage supplements
- organization of live stock fattening and marketing
- provision of livestock veterinary services
- development of fish farming/aquaculture, apiculture
- cereal banks
- improved storage, processing and marketing of crops
- development of irrigated gardens
- provision of rural credit
- development of alternative, renewable energy resources
- literacy training
- improved access to primary health care
- improved road infrastructure, access to markets

IV. Identify Corresponding short and medium term Results:

**Rehabilitation of Natural Resource Base - improved soil fertility**

- reduction in area of degraded lands
- regeneration of rangelands and increase in vegetative cover
- improved control of runoff, management of surface water and increase in available water resources

**Improved Living Conditions in rural areas - increased agricultural production**

- increased in purchasing power of rural households - improved working conditions
- satisfaction of basic human needs

**Improved Local Capacity to Manage Resources**

- Strengthened local capacity for organization and participation
- Strengthened local technical and management skills
- Development of local capacity for self-financing
- Development of positive relationships among local communities and with local technical services

**Improved Capacity of National Institutions Supporting NRM**

- Strengthened national capacity to produce, manage and disseminate coherent information on NRM
- Development of capacities to support collaboration and cooperation among partners involved in NRM programs
- Strengthened legal and policy framework for security of tenure and decentralized decision-making in NRM

V. Identify indicators to track progress in achieving expected results and methods of data collection to be utilized for each indicator

(see table 3)

Reference: Kalala, Lachance (1995)

139

**Table 3: EXAMPLE OF INDICATORS TO TRACK PROGRESS IN REHABILITATION OF THE NATURAL RESOURCE BASE AND IN IMPROVING LIVING CONDITIONS IN RURAL AREAS**

**Result: Improved soil fertility and reduction in area of degraded lands** - Adoption rate of practices which improve soil fertility - Changes in land use

- Area of degraded land
- Area of managed or improved-land
- Changes in parameters related to soil fertility, including indicator species, farmer observations, soil profile analyses

**Result: Regeneration of rangelands and vegetative cover** - Adoption rate of practices to regenerate woodlands and to rationally manage woodstocks

- Increase in wooded areas; changes in density of trees in farmfields
- Changes in rangeland conditions: composition, cover

**Result: Improved control of runoff, management of surface water and increase in available water resources** - Adoption rate of practices to conserve and manage water resources

- Number of interventions to control runoff and erosion
- Number of interventions to increase access to water resources - Extent of use of improved water resources

**Result: increased agricultural production**

- Adoption rates for practices to intensify agricultural production
- Rates of use of agricultural inputs
- Changes in crop yields.
- Changes in livestock numbers and rate of weight gain
- Changes in carrying capacity of rangelands
- Numbers of nurseries established and seedlings produced
- Numbers of rural wood markets established
- Quantity of wood produced and marketed

**Result: increased in purchasing power of rural households** - changes in amount and sources of rural income - changes in level of expenditures - changes in prices of basic foodstuffs - amount of credit offered to households - degree of household indebtedness

**Result: improved working conditions and satisfaction of basic human needs**

- changes in work schedules (by sex and age)
- changes in pattern of rural exodus
- number of persons affected by seasonal migration
- extent of basic infrastructure developed by local community

Reference: Kalala, Lachance (1995)

135

## NOTES:

1 This presentation is based on the contributions of many people working in Niger, including Sidi Aboubacar, Ibrahim Idi Issa, Asif Shaikh, Mike McGahuey, Philip DeCosse, Jake Brunner, Annick Lachance, Muimana Kalala, Barry Rands and David Miller.

2 In 1990, when the ASDG II program was designed, 256 NRM projects were identified; the design of the World Bank NRMP was based in part on a review of 111 NRM projects in Niger; in 1994, the ASDG II program updated a listing of some 100 major NRM related projects representing a combined, life-of-project investment of over \$400 million.

3 NRM-related programs in Niger include "gestion de terroir" and related community-based, rural development activities which encourage a more rational and sustainable use of renewable natural resources and increased productivity of agricultural, livestock, forestry and agro-sylvo-pastoral systems. Also included are integrated rural development, water resources management, wildlife, fisheries, biodiversity conservation, parks and protected areas projects.

4 For example, despite substantial investments to support the adoption of improved NRM practices in Niger over the past decade, there is no reliable national "baseline" survey of NRM practices in Niger; basic information on crop production, land use, land tenure, vegetative cover, soil fertility, rangeland condition is problematic in terms of its usefulness for national assessments of changes at the level of individual households or local communities (terroirs).

5 The Natural Resource Management Project (NRMP) will mobilize funding over the next five years from several donors including the World Bank to provide additional support for the emergence of a national program to improve NRM in Niger - the Programme National de Gestion des Ressources Naturelles or PNGRN. The USAID-funded ASDG II program has many elements in common with the NRMP, and provides budgetary support and project assistance designed to establish favorable conditions for the adoption of NRM practices by rural producers.

6 See "Managing Change", report prepared for USAID/Niger Country Program Strategy Plan, International Resources Group, Washington, D.C. April, 1994.

7 See draft Document Technique for the PNGRN: Suivi evaluation. Centre Sahel, University of Laval, Quebec. January, 1995.

8 See Asif Shaikh and Mike McGahuey, "Managing Change", April, 1994.

**Groupe de Travail 2: SYSTEMES D'ALERTE PRECOCES**

**Working Group 2: EARLY WARNING SYSTEMS**

**INTRODUCING AERIAL PHOTOGRAPHY AND GIS APPLICATIONS FOR LAND COVER MAPPING  
IN THE GAMBIA**

S. S. ADAMS, M. K. MARKS .....151

**AFRICAN VEGETATION DATA SUPPORT EVIDENCE OF A DEVELOPING ENSO WARM PHASE**

A. ANYAMBA, J. R. EASTMAN, M. RAMACHANDRAN .....157

**A MODEL FOR ASSESSING VULNERABILITY TO FAMINE  
IN BURKINA FASO, CHAD, MALI, AND NIGER**

J. WRIGHT, F. LEE, M. McGUIRE, J. JOHNSON, M. MITCHELL .....166

**MODELE D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE A LA FAMINE  
AU MALI, BURKINA FASO, NIGER ET TCHAD**

J. WRIGHT, F. LEE, M. McGUIRE, J. JOHNSON, M. MITCHELL .....178

**USE OF GIS TECHNOLOGY FOR FOOD SECURITY IN THE SADC REGION**

C.A.J. van der HARTEN .....189

# INTRODUCING AERIAL PHOTOGRAPHY AND GIS APPLICATIONS FOR LAND COVER MAPPING IN THE GAMBIA

## **S. S. ADAMS**

Soil and Water Management Unit Ministry of Agriculture and Natural Resources Banjul, The Gambia

## **M. K. MARKS**

International Resources Group, Washington D.C., U.S.A.

Presently, The Gambia lacks an experienced remote sensing and natural resources monitoring team. However, since The Gambia occupies a pivotal position between the Sahelian zone to the North and the Sudano-Guinean zone to the South an effective long term monitoring of the environment is considered a necessity.

In support of this process, the Agriculture and Natural Resources Project (ANR) of USAID has been providing assistance to the Government of the Gambia (GOTG) with the medium-term aim of developing the environmental monitoring capacity of the country. Support has taken two main forms: provision of equipment and materials, and training. Two complete aerial photographic coverages (1:25,000 Color Infrared and 1:50,000 Black and White) were obtained under the project in November/December 1993 and a considerable quantity of equipment procured in early 1994. A Gambian team was constituted and received training in aerial photo interpretation, and in digital map-making using the GIS package Arc\Info.

This paper describes the planning and execution of training in both photo interpretation and the use of Arc/Info, and leads into a description of the interpretation and map-making processes which are being carried out by the team to produce updated land use maps of The Gambia.

### **Main Components of the ANR Project**

- Enhancing the GOTes Policy Analysis and Formulation Capacity,
- Installation of a Program Budgeting System,
- Development of a Community-Based Natural Resource Management Program; and
- Improving the Environmental Monitoring Capacity of GOTG

All components heavily geared towards Capacity Building

### **Environmental Monitoring Component**

#### **Four Main Aspects**

- Assistance in the Development of an Environmental Information System,
- Assistance in the Collection of Priority Data Sets,
- Facilitation of Program Monitoring,
- Introduction of Aerial Photo Interpretation and Digital Map Making Techniques to The Gambia

138



## **Introduction of Aerial Photo Interpretation and Digital Map Making Techniques to The Gambia**

In outline, the relevant sections of the ANR contract required that the contractor (IRG) do the following:

1. Review, and where necessary, modify the specifications for the aerial survey,
2. Deliver the photographic products stipulated.
3. Develop and implement a plan for interpreting the photos and producing a resources inventory.
4. Provide technical assistance, commodities, and training to GOTG technicians for photo interpretation
5. Develop a plan for updating the maps of 1986 produced by South Dakota State University
6. Use the maps produced in 1986 as controls for registration and compilation of map information derived from the aerial photographs ....
7. Update the maps further and print corrected maps for distribution.

### **Stages from Specification Development to Map Delivery**

*To be accomplished in 12 months*

1. Review and modification of aerial survey specifications,
2. Aerial Survey, and Procurement of Photographic Products,
3. Procurement of Interpretation and Map-making Equipment,
4. Assembly of Team,
5. Team Training in Photo Interpretation,
6. Development of Classification System,
7. Photo Interpretation,
8. Introduction of GIS Technology to The Gambia and its use in Digital Map-making,
9. Map Printing and Delivery
10. Possible Next Steps

#### **1. Review and modification of aerial survey specifications**

##### **Creation of a Multidisciplinary Technical Circle**

- Key GOTG actors (7 departments represented),  
COP/ANR
- Liaison Specialist based at IRG,
- Aerial Survey Specification Expert based at University of Utah,
- USAID Program Manager

139

## Specifications developed

- Use of teleconferencing to reach consensus
- Considerable modification of original specifications
- Significant Budgetary savings

## 2. Aerial Survey

- AeroData (Belgium) acting for CAE Aviation sub-contractors,
- Two series of photographic overflights in Nov/Dec 1993,
- Two photographic sets produced (CIR @ .1:25,000 and B&W @ 1:50,000,
- Perfect Meteorological conditions,
- Photographs and related products delivered from Feb. 1994,
- All photographic products turned over to GOTG at project close-out.
- Note GOTG has facilities for reproduction of B&W but not CIR,
- \* These add to archives dating back to 1946, containing 5 almost complete coverages

## 3. Procurement of Photo Interpretation and Map-making Equipment

### Start Situation

- Little relevant equipment in-country
- Poor condition
- Widely dispersed

### ANR Procurement

- In-country, available equipment inventoried
- Priority equipment list drawn up in October 1993,
- Supplementary list in January 1994,
- Consensus over complexity of proposed tools and their sustainability,
- Most procurement in-country by June 1994,

### Items Procured

- Stereoscopes and Light Table
- Interpretation consummables
- Two GIS units with Arcanfo + Two support computers

Work rooms set up at NEA and ANR

## 4. Assembly of Team

### Constraints

- No technicians with recent photo interpretation experience
- No GIS experience, especially with Arc/Info
- Dearth of good man-power in Ministries
- Timeliness of availability

- Duration of entire process
- Lack of financial incentives for technicians
- Other calls on time
- Physical pressure of work
- GTZ cooperative support withdrawn at late date

#### Procedure

- Select 4 Departments to constitute core team
- Request for candidates (no ANR selection)
- Design training program to constitute dry run, draw up TOPs
- Select training institute - CSE, Dakar
- April/May: 4 core team members underwent training
- June: recruitment of 10 further individuals to team
- Shake-out of team

#### Stable Team Composition

10 individuals from 7 Departments representing 4 ministries (Agriculture, Natural Resources, Trade & Industry, Local Government & Lands)

#### **5. Team Training in Photo Interpretation**

- TORs developed; PI. Trainer selected,
- P.I. trainer in-country mid-July
- Training workshop commenced 21 July
- Military coup 22 July!
- Completion of Workshop - mid August
- Further training on-the-job

#### **6. Development of Classification System and Photo Interpretation**

##### Classification

- System produced by consensus
- Comparable with 1986 exercise
- Based on Land Use/Land Cover that could be used for producing inventories of natural resources, particularly forestry, rangeland and agriculture,
- Mutually exclusive classes

#### **7. Photo Interpretation**

##### Methodology

- Use CIR 1:25,000 = 1,354 Photographs
- Understanding recorded (data-logged) information
- Understanding of colors and inherent photographic deformation
- 60% overlap/25% side-lap

- Linking neighbouring photos and defining "effective area"
- Interpretation
- Mosaicing and transfer of interpreted photos to rectified base orthophotomaps, of 100
- Production of new mosaiced overlays

#### Team Stimulation and Quality Control

- Extremely hard and tiring
- Slow progress
- Continual quality control and team dialogue
- Continual recording of effort (progress graphs, bar charts, weekly analysis of progress), communication with home with home departments
- Visits/demonstration/Praise

### **8. Introduction of GIS Technology to The Gambia and its use in Digital Map-making,**

#### Starting Point

- Small amount of IDRISI training via AGRI-IYMET, one GIS (unused),
- No GIS experience in team (accept brief introduction at CSE),
- CSE sub-contracted to provide technical assistance and carry out training program designed by ANR.

#### Ambitions

- Develop trained and competent nucleus of GIS technicians for Gambia,
- Transformation of interpreted data from hard copy to digital state,
- Construction of digital maps in Arc/Info terminology
- Addition of supplementary information
- Carry out quality control

#### Methodology

- 2/3-day training workshops developed, individual tuition in digitization
- Mostly on-the-job staff development:
  - Digitization Program (late September)
  - Map construction program (November)
  - Polygon elimination (scales)
  - Map finishing program (January/February)
- Maps series produced at 1:50,000 (23 sheets); 1:125,000 (4 sheets) and 1:250,000 (2 sheets),
- Plotting out of map sheets locally, quality checks:
  - Local field checks
  - Comparisons with 1986 map series
  - Local experience of team + other individuals + logic

142

- Corrections

**General remark: insufficient time available for optimum control**

- Maps finalized end-February 1995

#### **9. Map Printing and Delivery**

- Not possible in The Gambia
- Being carried out at EarthSat Corp, Maryland-in three color photography
- Scales of 1:50,000 (23 map sheets), 1:125,000 (4 sheets), 1:250,000
- Delivery to The Gambia by March 21 - Project close-out date

#### **10. Possible Next Steps**

##### GIS/Photo Interpretation Unit - 3 key roles

- Training support to departments
- Service unit
- Development and Advisory unit

##### Aerial Photos

- Addition to Gambian archives
- Enormous scope for studying evolutionary trends of natural resources over 50 years
- Update national forestry inventory
- Use of Arc/Info data base for producing additional simplified maps eg. Gambian road map, agriculture domain, etc.
- Continual analysis by specialist departments and integration of data to GIS for obtaining such information as land potential for agricultural utilization, physical development, etc.

#### **11. Where are we Today?**

- 10 very competent aerial photo interpreters from 7 Departments and 4 (3) Ministries,
- 8 competent (with 3 excellent) GIS technicians,
- 2 completely operational Arc/Info set-ups; 2 back-up computers with ArcView,
- 2 complete photo interpretation set-ups with a considerable stock of consummables,
- 4 copies of CIR (1:25,000) and 2 copies B&W (1:50,000) complete coverages plus other products (transparencies, film diapositives, etc.),
- Government agreement (NEA) to set up and sponsor a GIS/Photo Interpretation Unit,
- 3 series of Land Use/Land Cover maps of The Gambia in hard copy and digital format,
- Related information on different land use categories as a result of using Arc/Info,
- A series of ANR-sponsored training manuals and support documents

143

## AFRICAN VEGETATION DATA SUPPORT EVIDENCE OF A DEVELOPING ENSO WARM PHASE

**A. ANYAMBA, J. R. EASTMAN, M. RAMACHANDRAN**

The Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis, Clark University, Worcester, MA, USA

Analysis of monthly satellite derived normalized difference vegetation index data (NDVI) for Africa using the standardized principal component transform reveals the presence of an interannual mode of variability in vegetation greenness that is related to ENSO events. The technique also gives a spatial representation of drought affected areas that is associated with warm ENSO occurrences. Comparisons are made with both the Southern Oscillation Index (SOI) and tropical Outgoing Longwave Radiation (ORL) for the 1986-1990 period and the 1990-1994 August period. Results from the later analysis suggest the presence of a precursor event of an ENSO warm phase over Southern Africa, that is in agreement with past climate records and model forecasts. These results indicate that the technique is an efficient method for abstracting spatial components of interannual climate variability from time series satellite data.

Following the severe African droughts of the late 1970's and early 1980's, strong efforts have been undertaken to develop Early Warning Systems to guide relief agencies concerned with food security (1). As part of its activities, the Famine Early Warning System (FEWS) of the United States Agency for International Development (USAID) has archived Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) imagery (2), processed by NASA from remotely sensed data captured by the NOAA series satellites (3). Consisting of dekadal (10-days composite) 7.6 km resolution imagery dating back to 1981 for the entire continent of Africa, this record provides one of the most important environmental archives developed to date.

In an attempt to understand the various components of vegetation dynamics, we have explored an analytical approach based on Standardized Principal Components (4, 5). The technique attempts to decompose a time series image sequence into fundamental patterns of variation over space and time. In an earlier study of African NDVI data(5), we found that the components fell into four distinct groups before isolated local phenomena would be described: a single component (the first) that characterized the typical NDVI over the period analyzed; a set of seasonal components that expressed such phenomena as winter/summer extremes and areas of double precipitation maxima; one or more components relating to systematic artefacts of the sensing system; and at least one interannual pattern that we hypothesised to relate to the El Nino/Southern Oscillation (ENSO) phenomenon.

More recently we have shown that two interannual patterns can commonly be *detected*<sup>6</sup>, one of which correlates very strongly ( $r=-0.65$ ,  $p<0.001$ ) with the Southern Oscillation Index. Figure 1 illustrates this effect by comparing the ENSO component *loading* (a measure of the correlation between this ENSO component and the original input NDVI images) monthly images produced from the FEWS database for the period from 1986 through 1990 inclusive and SOI for the same period. This period contains both a warm and a *cold* ENSO event. Figure 2 shows the image of this component. Using the temporal and spatial data together, it can be seen, for instance, that the warm event manifests itself in a strong drought in Southern Africa, with correspondingly wetter conditions during a cold event. Figure 1 & 2. As a further confirmation of this relationship, Figure 3 illustrates the relationship between the SOI and Outgoing Longwave Radiation (OLR) for the tropical belt. OLR, like the NDVI data set, is derived from measurements made by the NOAA polar orbiting satellite. It has been found to provide information on the distribution and intensity of tropical convection and is thus used as an indicator of tropical rainfall. The anomaly data presented is drawn from the

central Pacific Ocean region (160 W - 160 E). The time series pattern of OLR indicates positive anomalies during the *cold* event period (decreased cloudiness / precipitation in central and eastern Pacific) and negative OLR anomalies during the warm event period (increased cloudiness I precipitation)<sup>10</sup>. The correlation between component loadings and OLR is negative ( $r: -0.56, p > 0.001$ ). The teleconnection pattern between central Pacific and Southern Africa is defined such that when there is increased precipitation in the central Pacific (negative OLR) there is negative NDVI anomaly in Southern Africa corresponding to drought conditions during a warm event and decreased precipitation in central Pacific (positive OLR) and positive NDVI anomaly in Southern Africa corresponding to a 'wet phase' during a *cold* event. What is perhaps most striking about these relationships is the immediacy of the NDVI response to ENSO variations. Lag analysis has shown that African vegetation greenness levels vary closely with changes in the 80I, sometimes preceding ENSO effects, sometimes trailing by usually less than two months.

Figure 3 & 4

Looking at the more recent record of NDVI data, we now see evidence of a similar pattern to that of the 1987 ENSO warm event. Figures 4 and 5 show the temporal loading and component images for the ENSO component derived from the NDVI record from January 1990 through August 1994. The 1992 warm event is clearly evident in the loading chart and shows up as a sharp negative NDVI anomaly in Southern Africa, most strongly centred on Southern Zimbabwe. However, it is also interesting to note the trajectory of the component in recent months. There is a strong suggestion of a movement back to warm event conditions. To explore this further, Figure 6 illustrates the regression difference between the July 1994 and July 1993 NDVI images for Southern Africa<sup>11</sup>. The positive anomaly centred on Botswana, has a pattern very similar to that of the 1987 warm event drought. However, in this case, the anomaly represents a positive deviation in NDVI. It has been well established that warm event droughts in Southern Africa are preceded by positive anomalies, most typically during the June-August period preceding the main drought event<sup>9,12</sup>. This coincidence of a precursor pattern and the trajectory of the ENSO component thus supports other recent evidence of a developing warm event: a strongly negative Southern Oscillation Index (-1.8 for August 1994), and developments in Pacific sea surface temperature (SST) anomalies consistent with precursor events in 1986 and 1991<sup>13</sup>. If increase in SST in the Pacific continues through 1995, it is expected that a warm event will manifest itself and that the spatial extent of the accompanying drought in Southern Africa drought will be evident in the NDVI component image early on during the event. This could provide useful information for allocating drought relief resources.

Fig. 5 & 6: Component g: 1990-1994, Regression Difference.

## REFERENCES

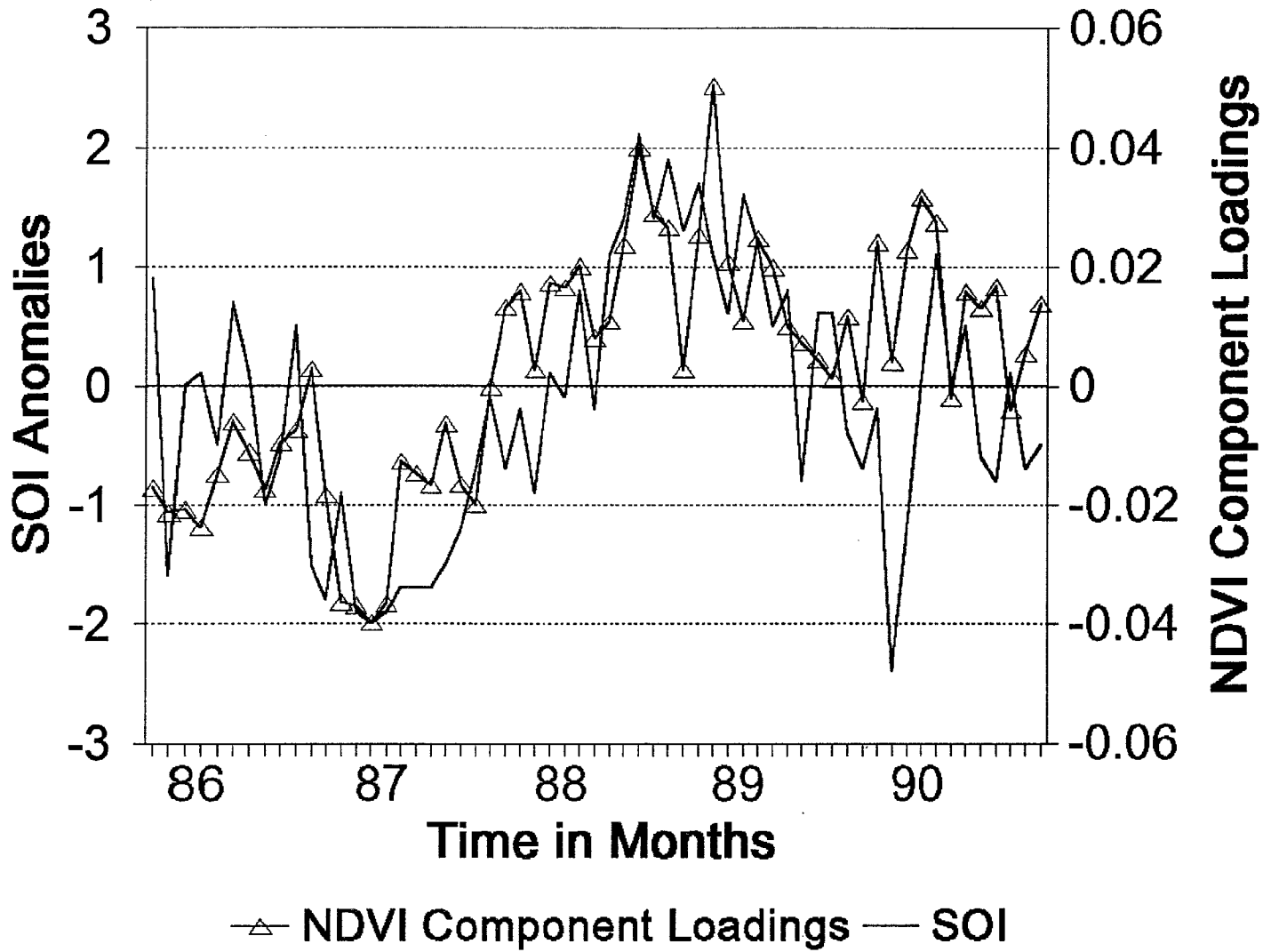
1. Hutchinson, C.F. *Int. Journal of Remote Sensing*. 12 (16): 1405-1421, (1991)
2. Tucker, C.J. and Garrat, M. W. *Applied Optics*. 16(3):635-642, (1977).
3. Tucker, C.J. *Int. Journal of Remote Sensing*. 7(11): 1383-1985, (1986).
4. Eastman, J.R. *ASPRS/ACSM/RT 92: Technical Papers, Vol. I: Global Change and Education* (Washington, D.C., 3-8 August, 1992 )
5. Eastman, J.R. and Fulk, M.A. *Photo. Engineering & Remote Sensing*, 59(6): 991-996, (1992).
6. Anyamba, A. *The Earth Observer*, 6(3): 24-26, (1994)
7. Cane, M. A. ( 1992 )/a: K .E. Trenberth (Ed.) *Climate System Modeling*. Cambridge University Press, New York. 5 83-614.
8. Holben, B. N. (1986)/at. *Journal of Remote Sensing*, 7(11): 1417-1434.
9. Diaz, H.F. and Kiladis, G. N. (1992) In: H.F. Diaz and V. Markgraf (Ed's.) *El Nino: Historical and Paleoclimatic Aspects of the Southern Oscillation*. Cambridge University Press, New York. 728.
10. Kousky, V.E. and Kayano, M.T. *Journal of Climate*. 7: 1131-1143, (1994)
11. Eastman, J.R., McKendry, J.E. and Fulk, M.A. (1994) *Change and Time Series Analysis*. United Nations Institute for Training and Research, Geneva. 12-15.
12. WMO/UNEP (1992) *El Nino / Southern Oscillation (ENSO) Diagnostic Advisory*. Special Issue (Climate System Monitoring I World Climate Program [CSM/WCP]. WMO-Geneva, Jan. 1992)
13. CAC/NMC (1994) *El Nino /Southern Oscillation (ENSO) Diagnostic Advisory 94/(CAC/NMC Sept. 13, 1994)*

## ACKNOWLEDGEMENTS

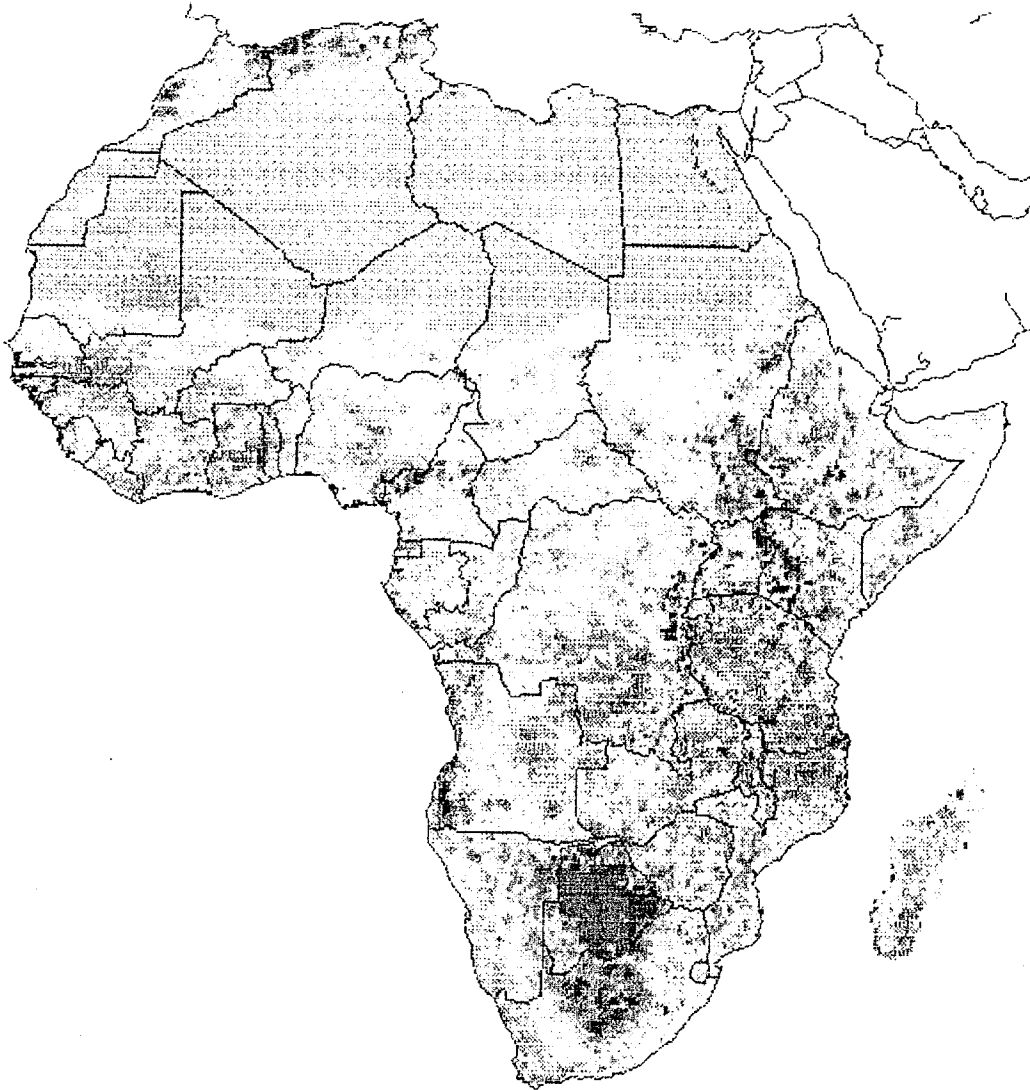
We thank USAID/FEWS Project for providing the NDVI time series data set and Dr. Vern Kousky at the Climate Analysis Centre (CAC) for access to SOI and OLR data. The research is partly supported by the NASA Graduate Student Fellowship Program in Global Change Research (NGT. #: 30179) to The Clark Labs - George Perkins Marsh Institute.



**Fig.1 NDVI Loadings and SOI Anomalies**  
Time Series : 1986 -1990



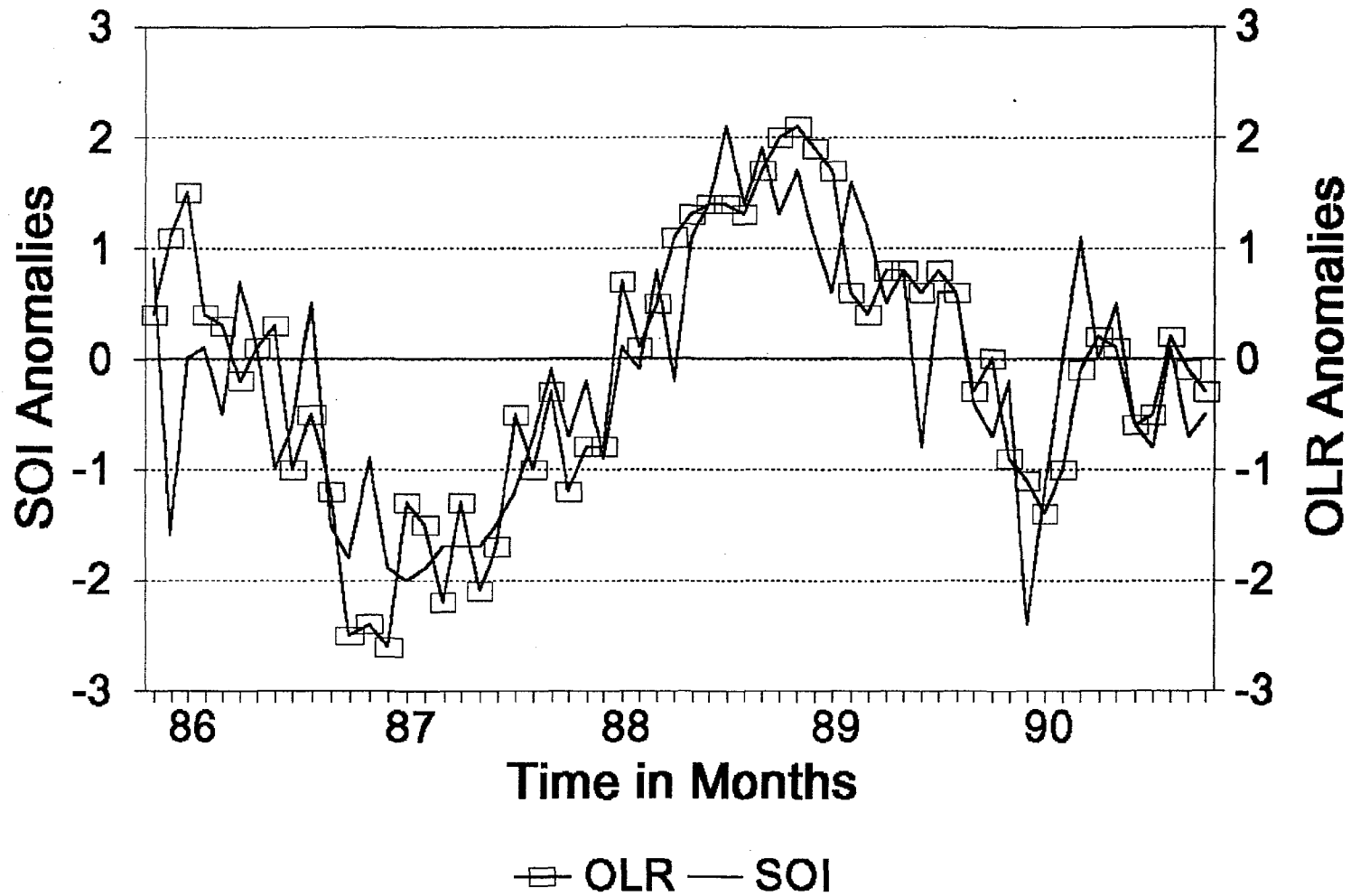
10/1



**Figure 2: SPATIAL REPRESENTATION OF ENSO RELATED ANOMALY**

Note: Core region centered on Botswana (1986-1990)

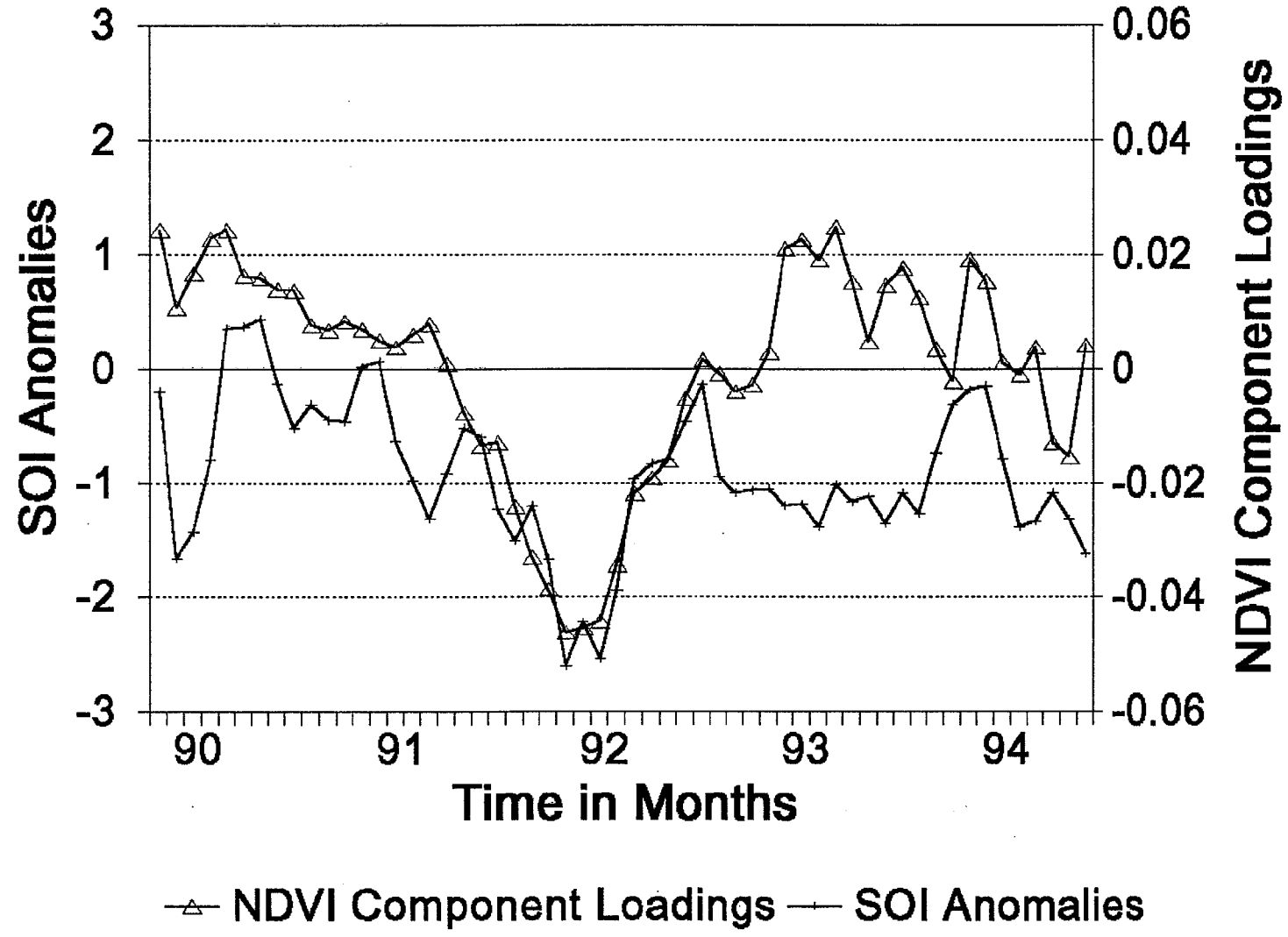
**Fig.3 SOI and OLR Anomalies**  
**Time Series : 1986 -1990**



1990 11/10/1990 10:30

1/4

**Fig.4 SOI and NDVI Component Loadings**  
**Time Series : 1990 - 1994 August**



031

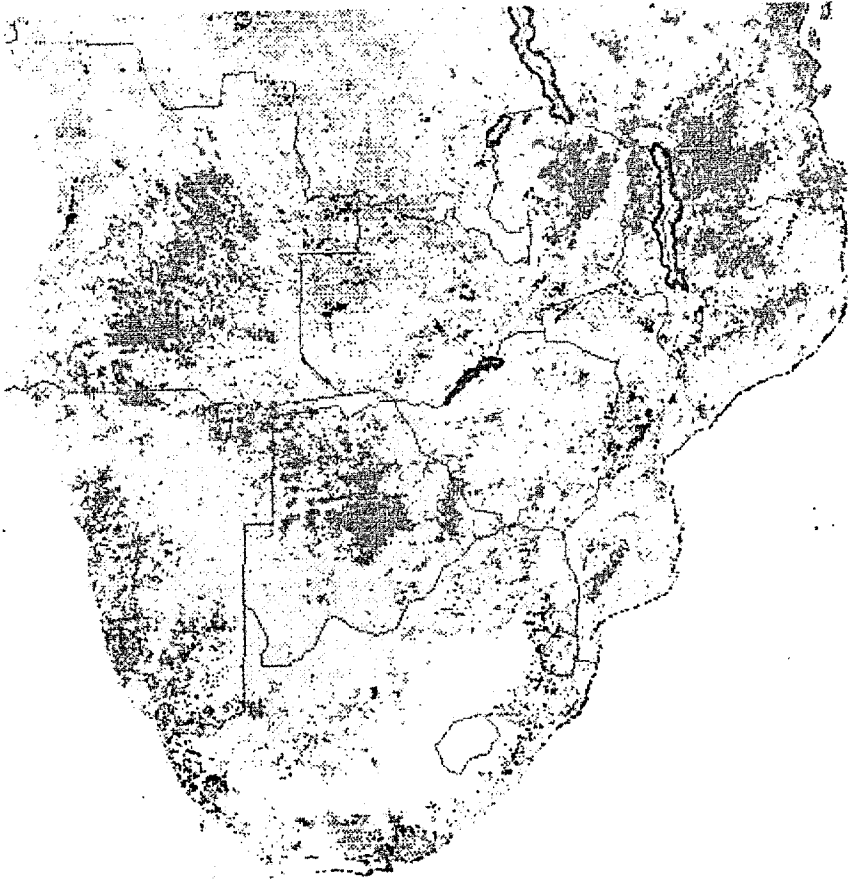


**Figure 5: SPATIAL REPRESENTATION OF ENSO CAMPMENT**

Note: Anomaly pattern centered on Eastern Africa and Southeastern Africa (Zimbabwe, Mozambique)  
1990-1994 August

151

BEST AVAILABLE COPY



**Figure 6: REGRESSION DIFFERENCE IMAGE (July 1994 - July 1993)**

Note: The positive anomaly is centered on Botswana, core region of ENSO activity in Southern Africa

# A MODEL FOR ASSESSING VULNERABILITY TO FAMINE IN BURKINA FASO, CHAD, MALI, AND NIGER

**J. WRIGHT, F. LEE, M. McGUIRE, J. JOHNSON, M. MITCHELL**

Famine Early Warning System Project (FEWS)

## SUMMARY

The FEWS Project aids decision makers in allocating food aid and development assistance. Since 1985, FEWS has been collecting and analyzing secondary data related to food security. These data have been systematically used to identify indicators of economic stress and to develop a model for assessing food security for the countries of Burkina Faso, Chad, Mali, and Niger. These indicators have been integrated to convey the general level of poverty, riskiness of rainfed agriculture, and major changes in income over the past three years.

Essential to the FEWS strategy are the assumptions that decisions on how to obtain income (hence the ability to obtain food) are made at the household level; and that the results of these decisions in a given region can be measured by data collected at the regional level. We look at the various available production strategies hierarchically. If a population relies primarily on rainfed agriculture and the rainfed harvest has been good, that population's food security is probably good (or at least improved over the previous year's). If the rainfed harvest has been poor, we need to know how well the other available strategies performed and if that additional income will make up for the crop failure.

The model uses satellite imagery, price data, agricultural statistics, and demographic information to identify where small farmers face economic hardship and food insecurity. The analysis was performed on 1,130 geographic units (arrondissement, department, or canton, depending on the country). Data available at finer detail (satellite imagery and demographic data) were aggregated up to this unit. The analysis, as well as most of the data processing, was performed using Geographic Information System (GIS) software.

Preliminary results show that in 1994, communities in northeastern Mali and central Chad are suffering the most economic stress relative to the region. This information is useful for developing priorities for food aid shipments and emergency economic support.

## I. INTRODUCTION

One of the objectives of the FEWS Project is to provide information that will help decision makers to allocate food aid and development assistance at international, national and local levels. FEWS has been collecting and analyzing data related to food security from Sahelian countries since 1985. These data have been used to identify indicators of economic stress that impinge on food security and to develop general models for studying vulnerability to famine, called 'Vulnerability Assessments'. The FEWS Vulnerability Assessments respond to the need of decision makers to know what kinds of interventions would be most appropriate to reduce the risk of famine, and to their need to know where famines are likely to occur.

Methodologies for these vulnerability assessments have been different for each FEWS country. These different methodologies are necessary where geography, agroclimatology, colonization patterns and economic policy environments have created different risk factors for food security in each country. However, the Sahelian countries of Mali, Burkina Faso, Niger, and Chad share similar physical and economic geography, colonial history, climatic and agricultural systems, official language, currency, and government organization. All four countries are ranked very low by most indices of economic and human development (UNDP, 1994). They have poorly developed transportation, communication and health infrastructures; their governments have low planning and implementation capacities (Swift, 1994).

153

A survey of historic famines in this century in the four countries shows that crop failures spanning at least two consecutive years caused most famines; and that these famines usually occurred where they had occurred before. Notable exceptions are areas affected by armed conflicts in Chad. The vast majority of the populations of these four countries are small farmers, agropastoralists and herders. These activities are highly dependent on rainfall. Of these groups, small farmers have suffered the most in past famines. This study describes a model that has been developed for use across all four countries in order to estimate the relative vulnerability to, or risk of, famine for small farmers, agropastoralists and herders.

## II. METHODOLOGY

### A. Data

Data used in this model come from various sources including satellite imagery, statistical services, census bureaus, and market information systems. The type of satellite data used is Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). NDVI measures the photosynthetic activities of vegetation (Justice, 1986; Prince, 1991; Rasmussen, 1992; Groten, 1993). NDVI data are available for each 10-day period from November 1981 through August 1994. Agricultural production data come from reports published by the Ministry of Agriculture in each country. Population figures are extrapolated from national census data using published or calculated growth rates. Price data come from over 100 markets monitored by national market information systems.

### B. Geographic Level of Analysis

This model uses the smallest administrative units of each country as the basic analytic unit. These are arrondissements, departments, or cantons, depending on the country. Table 1 summarizes these administrative units by country, along with their quantity, area and population. The total number of administrative units in the four countries is 1,076. Several of these units were partitioned to capture major agro-ecological differences within the units. This was achieved by drawing a generally east-west "green" line, based on historical NDVI data. This line separates desert areas from agropastoral areas across northern Mali, Niger and Chad, splitting 54 administrative units into two parts each. This resulted in a total of 1,130 geographic units used over the four countries in this analysis.

There is a wealth of data available at lower and higher administrative levels, such as national macroeconomic statistics, village infrastructure, demographic and census information, hydrology, soil type, etc. However, at lower administrative levels, data are not consistently available for all four countries. The local and intra-household decision making processes at these levels are also more important and difficult to model.

**Table 1. Characteristics of administrative level 3 or 4 for four countries included in the Regional Vulnerability Assessment.**

Country	Level Name	Number in country	Average Pop	Average Area (Sq Km)	Average Population Density per km
Mali	Arrondissement	287	30,000	4,366	7
Burkina	Department	301	32,000	919	35
Niger	Canton	130	66,000	9,134	7
Chad	Canton	358	15,000	3,113	5

154



### C. Indicators of Vulnerability to Famine

The FEWS project uses a household income model for assessing vulnerability to famine. The model estimates income available to small farmers, agropastoralists, and herders (Downing, 1990; Riely, 1993). Understanding the structure of household incomes allows us to draw conclusions about the relative changes in vulnerability to famine, by monitoring changes in household income over the long-term (more than 3 years) and the short-term (less than 3 years). The income model assumes that interruptions in household income streams create economic stresses that could lead to an inability to obtain sufficient food, and therefore to famine. Thus, the model is driven by income sources related to agricultural production and access to markets.

The selected indicators, derived from available data, convey information on income sources and basic levels of wealth (Table 2). These indicators are grouped according to their contribution to the temporal dimensions of **baseline** and **current** vulnerability (Downing, 1990).

**Baseline** vulnerability to famine is the result of general poverty, riskiness of income sources, and limited access to varied income sources. Baseline vulnerability indicators capture relative wealth and stability of income as a description of the general economic environment.

**Current** vulnerability is the result of major changes in income in the past three years. Current vulnerability indicators capture the quality of recent growing seasons and the general functioning of the cereal market.

*Table 2. Indicators of Vulnerability to Famine, 1994 Regional Vulnerability Assessment.*

Baseline	Resource	<ul style="list-style-type: none"> <li>Length of the growing season</li> <li>Variability of season quality</li> <li>Access to infrastructure</li> </ul>
	Income	<ul style="list-style-type: none"> <li>Average per capita cereal production value</li> <li>Average per capita livestock value</li> <li>Average per capita cash crop income</li> </ul>
Current		<ul style="list-style-type: none"> <li>Quality of the growing season, 1993</li> <li>Quality of the growing season, 1992</li> <li>Quality of the growing season, 1991</li> <li>Pasture conditions, September to December</li> <li>April 1994 millet prices compared to average</li> <li>Millet price change from August 1993 to</li> <li>Insecurity, 1994</li> </ul>

### D. Indicators of Baseline Vulnerability

Baseline vulnerability is made up of two components. These are the available resource base (very long-term factors) which determines the level of wealth or poverty of a region; and the regular income structure (medium-term factors) which defines the types of production strategies available to populations within that region.

### **Resource Base**

A region's resource base includes such factors as soils, climate, hydrography, mineral wealth, and the general level of economic development. Populations living in a region with a strong resource base will consistently earn more income than those living in a region with a poor resource base. This could lead to accumulation of wealth with which to weather bad times.

Most famines in West Africa have occurred in areas where growing seasons are short or inter-annual variability of the season quality is high. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) can be used to quantify these two important characteristics of the agricultural resource base. NDVI time series data for the growing season, from April to October, are critical for monitoring food production in the Sahel. The common NDVI pattern over this period starts with a steady increase from April and May, leading towards a maximum around September, followed by a decline as crops and grasses dry down. The rates of increase and decrease depend on the rainfall pattern, the temperature pattern, the water-holding capacity of the soil, and the natural vegetation of the landscape. Many techniques are available for studying the spatial and temporal characteristics of NDVI. Two useful indicators for assessing the agricultural resource base are the length of the growing season and the variability of season quality.

### ***Length of the Growing Season***

Experience with NDVI analysis over the past 12 years shows that the start of the agricultural season is closely related to the first sustained increase in NDVI; and that the end of the growing season is related to the time of highest NDVI. Knowledge of the start and end of the agricultural season is essential for monitoring cropping calendars. It is also a very useful tool for characterizing the length of the season. In the Sahelian countries, the length of the growing season is a good indicator of the productivity of the agricultural resource base. The longer the season, the more species of trees and crops that can be grown and higher the yield per hectare.

### ***Variability of Season Quality***

Experience with NDVI analysis shows that the maximum index value reached during the season is related to the agriculture output (Groten, 1993). Thus, maximum NDVI can be used as an indication of the season quality. High inter-annual variability of the season quality increases risks for people who are highly dependent on rain-fed agriculture. Historically, these high risk areas have been exploited by livestock herders who were mobile enough to escape pockets of drought. As rainfall has declined and population pressures increased during the 1970's, the areas of high risk have expanded south into traditional cereal cropping areas. To capture this element of risk, we use the coefficient of variation of seasonal maximum NDVI.

### ***Access to Infrastructure***

Small farmers living close to large towns have more opportunities to exchange their labor and goods for items such as foodstuff and medical supplies. Consequently, they are less vulnerable than farmers living far from towns or on poor roads that may not be passable for part of the year. An indicator representing access to markets and infrastructure is the percentage of the population in each geographic unit of analysis who live close to urban areas.

To calculate access to urban areas, we drew circles with a 10 km radius around towns of more than 5,000 people; a 20 km radius around towns of more than 10,000 people; and a 40 km radius around cities of more than 50,000 people. Since village level population data are not available for all countries, we assumed that rural population is evenly distributed over each analytical unit, and calculated the percentage area of each analytical unit within these circles. The percentage area serves as a surrogate indicator of access to infrastructure.

156

### **Income Structure**

Studies have shown that populations living in marginal agricultural areas have developed alternative or additional income generating activities to make up for the deficit while those living in more productive areas have not (Reardon, 1988; Staatz 1990). Consequently, during time of major crop failures, those living in traditionally more production areas may suffer more due to the lack of alternative sources of income. Understanding the composition of income sources is importance to assessing baseline vulnerability. Income structure indicators capture the importance of various production strategies. Since we do not have sufficient data at this time to cover all income sources for all people, this study concentrates on cereal production, herding, and cash crop production. They represent the most important income sources in each of the four countries. As data become available, we will include other income sources such as market gardening, mining, fishing, wage or in-kind labor, remittance, petty trade, and cottage industries.

### ***Average Per Capita Cereal Production Value***

Average per capita cereal production is an indicator of the importance of cereal cropping in the local economy. If average per capita production is low, it means that people have other sources of income or that cereal production is not appropriate in the region. For example, per capita cereal production will be low in analytical units containing large cities, or where rain-fed cereal production is not feasible due to soil and climate limitations.

To calculate this indicator, production data for several types of cereals are used. These are millet, sorghum, maize, fonio, and rice. Different types of cereals generate different returns for the farmer. The model weights these cereals according to their relative values over several years. These relative values were derived from 1990-93 price data from the region and from key informants. The weights are 1.0 for millet, sorghum, maize, and fonio; and 2.5 for rice.

The following calculations are perform for each reporting unit and each year from 1985 to 1992. Net production data for each cereal are multiplied by the respective weights. The results are then summed to obtain the annual net cereal production. These in turn are divided by the population to obtain per capita cereal production. Finally, per capita cereal production for the year 1985 to 1992 are averaged to obtain this indicator of the importance of cereal production.

### ***Average Per Capita Livestock Value***

Livestock constitute a major source of income for all four countries. Historically, the northern Sahelian zone across these countries was the primary livestock production areas. This has changed as declining rainfall pattern has reduced available pastures while at the same time, land clearing for cereal production has reduced the incidence of trypanosomiasis in areas farther south. Currently, livestock are fairly evenly distributed across the Sahelian countries. They provide a mechanism for saving or accumulating wealth. Livestock are often sold to obtain cash for weddings, funerals, and other family and community obligations.

To calculate this indicator, livestock census data for several types of animals are used. These are cattle, goats, sheep, and camels. Different types of animals generate different returns for the farmer. The model weights these animal types according to their relative values. These relative values were derived from 1993 price data from the region and from key informants. The weights are 1 for goats; 2 for sheep; 14 for cattle; and 20 for camels.

For each reporting unit, the quantity of each type of animals is multiplied by the respective weights. The products are then summed to obtain the total livestock value for each reporting unit. This total value was subsequently divided by the population to produce this indicator of per capita livestock value.

### ***Average Per Capita Cash Crop Income***

Non-cereal cash crops represent another important source of household income for many farmers. The types of cash crops practiced depend on agroclimatic conditions and are slightly different for each country. They also

generate different levels of profit for the farmer. An estimated profit value for each cash crop is used based on published surveys and key informant interviews. These values, expressed in thousands of francs per ton (1000 FCFA/mt), are 30 for cotton; 100 for peanut; 200 for groundnut; 120 for cowpea; 116 for yam; and 148 for sweet potato.

To calculate this indicator, average cash crop production between 1985 and 1992 is first calculated for each type of cash crop. These average production figures are then multiplied by the respective profit levels. Next, the profits for all cash crops are summed to obtain the average income from all cash crops. Finally, the average income is divided by the 1994 population to obtain the average per capita cash crop income. These calculations are repeated for all reporting units.

## **E. Indicators of Current Vulnerability**

### ***Quality of the Growing Season, 1993***

The maximum NDVI achieved during the growing season is a good indicator of the quality of the agricultural season. There is a good correlation between maximum NDVI and millet yield (Groten, 1993), as well as biomass production (Rasmussen, 1992). The main exception to this relation occurs for seasons when rainfall ends prematurely; resulting in an unusually rapid decline in biomass. To calculate this indicator of season quality, FEWS used the maximum NDVI value compared to its 1982-93 average, combined with a measure of the speed of biomass decline.

### ***Quality of the Growing Season for 1992 and for 1991***

In addition to the quality of the current growing season, this assessment incorporates the quality of the two previous seasons. Famines are slow onset disasters. A view over several years is essential to the identification of potential problem areas due to the cumulative effects of several consecutive crop failures. The calculation of these two indicators is similar to that described above for 1993, using NDVI data from 1992 and 1991 respectively.

### ***Pasture Conditions***

Pasture quality influences livestock movements, livestock prices, and incomes of people dependent on livestock products for their livelihoods. The indicator of pasture conditions is the difference from average of cumulative NDVI for September-December. Biomass during this period is indicative of the available dry season fodder that is critical to the livestock sector.

### ***April Millet Prices Compared to Average***

Urban populations as well as most pastoralists and agropastoralists routinely purchase cereal in the market. Significant numbers of farmers sell a portion of their harvest to obtain cash. They too may need to purchase cereal eventually if the production was low. The most critical time is the lean season -- from April to August. This is the period when the demand for cereal is high and the supply is low. Demand is high because many farmers have exhausted their own stock and are turning to the market for cereals. Supply is low because the quality of the upcoming season is not yet known thus merchants are holding back their stock should there be a production deficit. Thus, cereal price at the beginning of the lean season is a good indicator of both supply and demand. It captures the economic pressure exerted on populations who must purchase cereal in the market. If cereal prices in April are much above the average April prices, consumers must spend more of their economic resources to obtain food. During times of limited resources, this will result in reduced consumption levels and increased food insecurity.

To calculate this indicator, the difference between average April millet price and the current year April price is divided by the average price. The result is expressed as a percentage. Since price data are collected at a number

of market sites that do not correspond exactly to the analytic units, data for those units without market points are obtained from the nearest market based on straight line distance.

### ***Millet Price Change from August to January***

Changes in cereal prices during the pre-harvest period reflect the perception of the upcoming harvest. If farmers and traders anticipate a good harvest, they will release their remaining grain stocks onto the market and prices fall as a result. However, if the harvest outlook is not good, farmers and traders tend to hold on to their stocks. Cereal prices may then remain stable or even increase. This indicator is used to capture this aspect of cereal price change.

For this indicator, the average millet price for July and August is used as the pre-harvest price, while the average for December and January is used as the post-harvest price. The difference between pre- and post-harvest prices constitutes the price change. The value of this indicator is the difference between the current year change and the average change, divided by the average change, with the quotient expressed as a percentage. Since price data are collected at a number of market sites that do not correspond exactly to the analytic units, data for those units without market points are obtained from the nearest market based on straight line distance.

### ***Insecurity and Civil Unrest***

Civil insecurity disrupts the normal flow of goods, people, animals, and services within and among Sahelian countries and markets. Where insecurity is more pronounced, it impacts negatively on agricultural activities. Food insecurity can be exacerbated by civil insecurity due to the:

- attacks on trucks carrying food,
- attacks on herders moving livestock to and from annual pastures,
- disruption of civilian life and market activities, and
- disruption or suspension of relief and development activities.

Civil insecurity is thus seen as an important consideration for vulnerability to famine. An insecurity score based on the best available information was assigned to each geographical analysis unit using the following criteria:

- 0 = No security problem.
- 1 = Restricted movement due to banditry activities, especially during evening hours.
- 2 = Severely restricted movement of population and goods due to attacks, car thefts, and raids, sometimes resulting in loss of life. However, the majority of local population remains in place. A military escort may be required to visit these areas.
- 3 = Acute insecurity with multiple incidences of violence resulting in significant numbers of deaths. Population is fleeing or has fled the area. Local market collapses resulting in critical shortages of essential items. Military interventions occurring in the areas concerned.

## **F. Model of Vulnerability**

### **Standardizing Values of the Indicators**

The indicators were chosen because they convey important information about the history of famines or sources of income while taking advantage of data available in each of the four countries. The individual indicators are expressed in different units such as percentages, values or weights per capita, indices, and scores. To enable the comparison of these indicators, their values were standardized using the normalized anomaly index. The standardization process involved taking the difference between each indicator and its geographic average (of the 1,130 units), and dividing this difference by its standard deviation. Thus for each indicator, the four-country average functions as the reference standard, and the index value of each analytic unit represents how much each unit differs from the regional average.

Standardizing variables in this manner is familiar to development decision makers. It is consistent with the reporting format of health and nutrition indicators such as malnutrition rates. Standardization has the added advantage of aiding decision makers in determining priorities for targeting limited resources for income support (for example free food aid, food for work) because it shows a continuum from good to bad to critical.

### **Computations and Indicator Weights**

The indicators were divided into the two main temporal categories of baseline and current vulnerability. Furthermore, baseline vulnerability is composed of the two sub-groups of resource base and income structure. We assume that all the indicators within a group are equally important. Consequently, indicators are weighed equally and their values are averaged to obtain an index for the group. The resource base and income structure indices are then averaged to obtain the baseline vulnerability index. Subsequently, the baseline and current vulnerability indices are averaged to obtain the final composite vulnerability index.

Weighting the indicators in this manner allows for the inclusion of additional indicators as they are identified and as more data become available. For example, as more data become available on income structure, they can be added to the baseline vulnerability index. Similarly, additional indicators may be included in the current vulnerability index when they are identified. These additions will not change the relative contribution of the baseline and current indices to the final composite index.

## **III. RESULTS AND DISCUSSION**

The spatial distribution of baseline vulnerability over the four countries is presented in Figure 1. The dark areas of Figure 1 indicate high baseline vulnerability. This is the combined result of short growing season, high variability of annual cereal and pasture production, and a lack of opportunities for exchanging labor for goods. These areas are in the northern areas of all four countries as well as in central Chad.

The spatial distribution of current vulnerability is presented in Figure 2. The dark areas of Figure 2 indicate high current vulnerability. This is the combined result of below average quality of the growing season over the past three years, poor pasture conditions, higher than average cereal prices, and civil insecurity. The areas currently most vulnerable are in Chad and central Niger. Current vulnerability is low in Burkina Faso and in southern Mali. This corroborates the results of FAO/CILSS cereal production estimates that show above average production for the third consecutive year in Burkina Faso and Mali.

Baseline and current vulnerability are combined to form the final composite index of vulnerability (Figure 3). This represents actual vulnerability to famine where the effects of current shocks (current vulnerability) are evaluated with respect to long term conditions (baseline vulnerability). Figure 3 shows that food security situation is good everywhere except in central and southern Chad and in northeastern Mali. Large areas of Niger and Burkina Faso have had three good years in a row. Consequently, small farmers, agropastoralists, and herders in these areas are doing as well as, or better than, usual in 1994.

This model has a broad geographic coverage. Moreover, it can be validated locally with results from village level surveys such as household income studies; regional level surveys such as national early warning systems; and national level surveys including the Demographic Health Survey, the CILSS/DIAPER Enquête Permanent, and a more complete analysis of census data. Also, when visiting an area identified as more vulnerable than average by this FEWS Regional Vulnerability Assessment, one should find corroborating indications of economic stress in the community. These could include:

- high infant mortality and morbidity rates,
- low school attendance rates,
- low birth weights,
- low literacy rates,

- low vaccination rates for children,
- few or no mechanized agricultural equipment,
- poor rainfall distribution in the past growing season,
- higher than normal level of out-migration,
- abnormally high levels of wild food consumption, and
- deferral or cancellation of ceremonial activities such as marriages, baptisms, and funerals

There are a number of indicators that could not be included in this exercise because the data are not uniformly available, or still need to be geo-referenced. These include:

- variability of rainfall,
- income from artisanal gold mining,
- income from local and international remittance,
- school attendance rate,
- literacy rate,
- health statistics,
- morbidity and malnutrition rates,
- access to health facilities,
- road quality and access to roads,
- over-reliance on cereal crops,
- lack of diversity in agricultural practice,
- crop pests distribution and damage,
- food security stocks,
- cereal banks, and
- food-aid distribution.

#### IV. CONCLUSIONS

The FEWS model of Regional Vulnerability Assessment provides a composite view of the baseline and current components of vulnerability. It incorporates available data across the four countries. The model is not limited to the set of indicators used here because it is additive and can accept additional indicators that represent access to, or changes in, economic resources. The FEWS Project is actively pursuing additional indicators in these areas. These data are available for some countries but not all. As they become available, FEWS will be able to provide a more complete picture of the economic stresses that lead to famine in these countries.

161

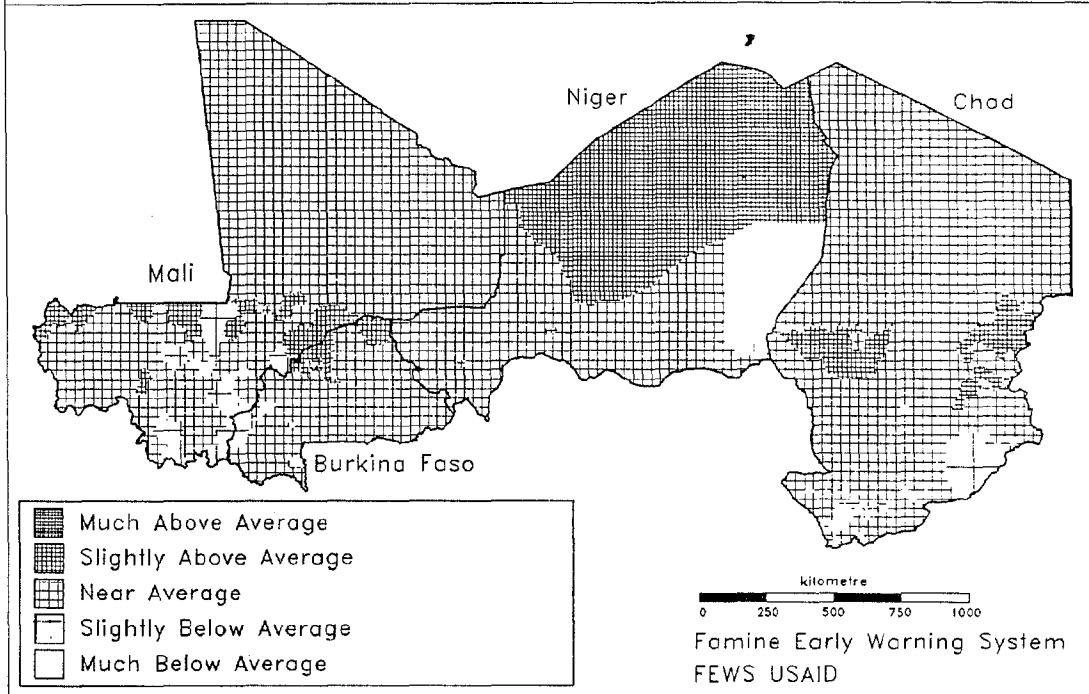
## REFERENCES

- Downing, T.E. "Assessing Socioeconomic Vulnerability to Famine: Frameworks, Concepts, and Applications." *Famine Early Warning System (FEWS II)*, working paper 2.1 (janvier, 1991). Washington DC: USAID FEWS.
- Downing, T.E., and May C.A. "Vulnerability to Hunger: Relevance for Monitoring Famine." *Third Annual Hunger Research Briefing and Exchange*, proceedings (avril 1990). Providence, Rhode Island: Brown University.
- Groten, S.E.M. "NDVI -- Crop Monitoring and Early Yield Assessment of Burkina Faso." *International Journal of Remote Sensing*, vol. 14 no. 8 (1993), pp. 1495-1515.
- Justice, C.O. "Special Issue: Monitoring the Grasslands of Semi-Arid Africa and Using NOAA AVHRR Data." *International Journal of Remote Sensing*, vol 7 no.11 (novembre, 1986).
- May, C.A. "Price Data in a Famine Early Warning System." *Quelle Peut-être la Contribution des SIM à l'Information sur la Sécurité Alimentaire à Court Terme?*, COMAC Dossier No. 2 (octobre 1992). Paris: Club du Sahel.
- May, C.A. "Vulnerability and Food Security in the FEWS Project: Guidelines for Implementation." *Famine Early Warning System (FEWS II)*, working paper 2.2 (avril, 1991). Washington DC: USAID FEWS.
- PNUD. *Rapport Mondial sur le Développement Humain 1994*. New York: UNDP, 1994.
- Prince, S.D., and Justice, C.O. "Special Issue: Coarse Resolution Remote Sensing of the Sahelian Environment." *International Journal of Remote Sensing*, vol 12 no. 6 (novembre, 1991).
- Rasmussen, M.S. "Assessment of Millet Yields and Production in northern Burkina Faso using Integrated NDVI from the AVHRR." *International Journal of Remote Sensing*, vol. 13 no. 18 (1992), pp. 3431-3442.
- Reardon, A.T., Matlon, J.P., Delgado, C. "Coping with Household-Level Food Insecurity in Drought-Affected area of Burkina Faso." *World Development*, vol. 16 no. 9 (1988), pp. 1065-1074.
- Riely, F. "Vulnerability Analysis in the FEWS Project." *Famine Early Warning System (FEWS II)*, Special Report (1992). Washington DC: USAID FEWS.
- Staatz, J.M., D'Agostino, V.C., and Sundberg, S. "Measuring Food Security in Africa: Conceptual, Empirical, and Policy Issues." *American Journal of Agricultural Economics*, vol. 72 no. 5 (décembre 1990), pp 1311-17.
- Swift, J. 1993. "Understanding and Preventing Famine and Famine Mortality." *IDS Bulletin*, vol. 24 no. 4 (octobre, 1993). Sussex, UK: Institute of Development Studies.



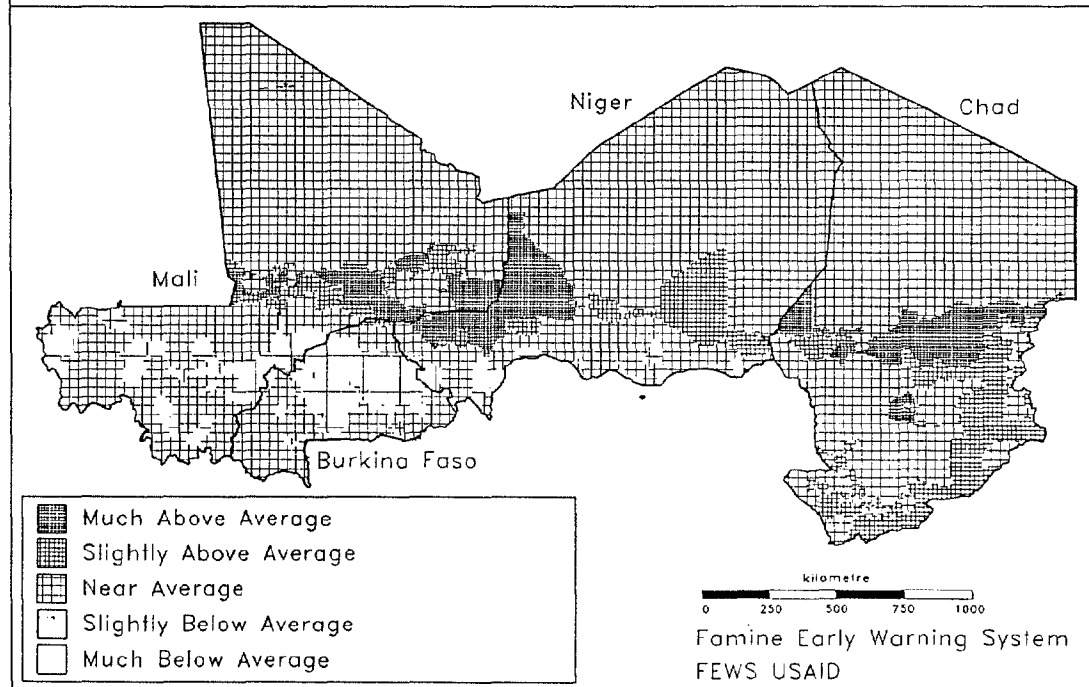
# Regional Vulnerability Assessment

## Map 1. Baseline Vulnerability



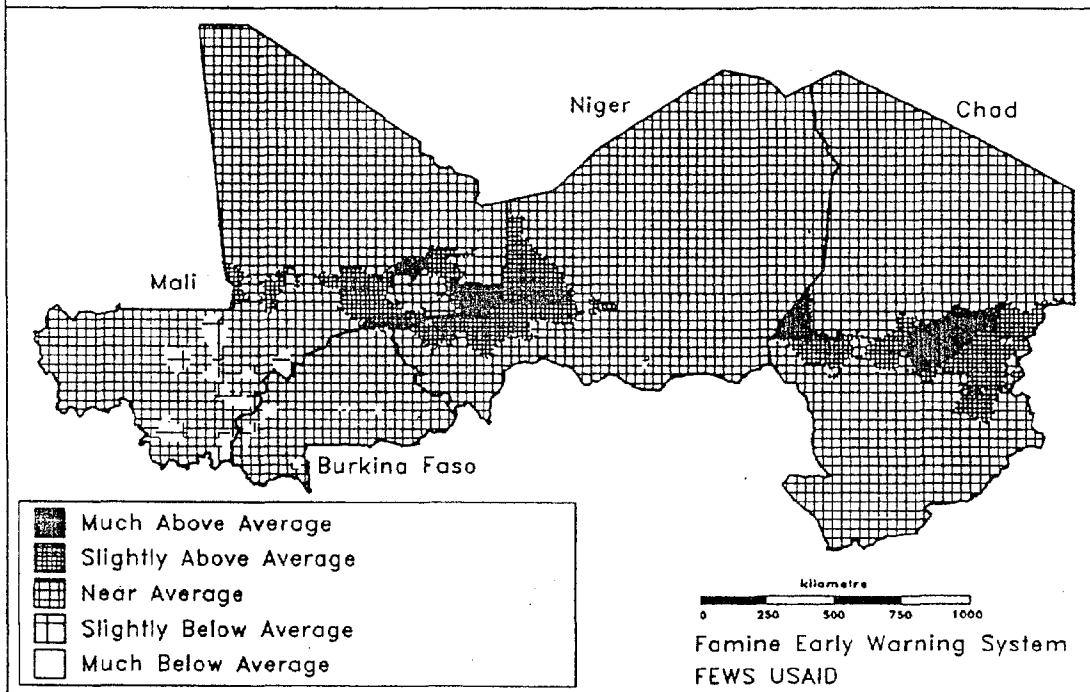
# Regional Vulnerability Assessment

## Map 2. Current Vulnerability, 1994



# Regional Vulnerability Assessment

## Map 3. Composite Vulnerability, 1994



164

# MODELE D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE A LA FAMINE AU MALI, BURKINA FASO, NIGER ET TCHAD

**J. WRIGHT, F. LEE, M. McGUIRE, J. JOHNSON, M. MITCHELL**

Le Projet Système d'Alerte Précoce contre la Famine (FEWS)

## RESUME

Le Projet FEWS aide les décideurs dans l'affectation de l'aide alimentaire et l'assistance au développement. Depuis 1985, FEWS collecte et analyse des données secondaires liées à la sécurité alimentaire. Ces données sont systématiquement utilisées pour identifier des indicateurs de contrainte économique et développer un module d'évaluation de la sécurité alimentaire au Mali, Burkina Faso, Niger et Tchad. Ces indicateurs sont intégrés pour traduire le niveau général de la pauvreté, les aléas de l'agriculture pluviale et les changements majeurs dans le revenu pendant les trois dernières années.

L'essentiel de la stratégie du FEWS est basé sur des suppositions que les décisions sur la manière de s'acquérir des revenus (par conséquent l'aptitude à obtenir la nourriture) sont faites au niveau du ménage et que les résultats de ces décisions dans une région donnée peuvent être mesurés par des données recueillies au niveau régional. Nous examinons hiérarchiquement les diverses stratégies de production disponibles. Si une population dépend principalement de l'agriculture pluviale et que la récolte ait été bonne, la sécurité alimentaire de cette population est probablement bonne (ou au moins mieux que celle de l'année précédente). Si la récolte pluviale a été mauvaise, nous chercherons de connaître dans quelle mesure les autres stratégies disponibles fonctionnent et si ces revenus supplémentaires compenseront l'échec de la récolte.

Le modèle utilise l'imagerie satellitaire, les données de prix, les statistiques agricoles et les informations démographiques pour identifier là où les cultivateurs éprouvent la difficulté économique et l'insécurité alimentaire. L'analyse a été faite sur 1.130 unités géographiques (arrondissement, département ou canton, selon les pays). Les données disponibles au fin détail (images satellitaires et données démographiques) étaient agrégées jusqu'au niveau de ces unités. Cette analyse, à l'instar de la plupart des traitements de données, était réalisée à l'aide d'un logiciel du Système d'Information Géographique.

Les résultats préliminaires montrent que courant 1994, les communautés au nord-est du Mali et au centre du Tchad ont éprouvé le plus de contraintes économiques sur l'ensemble de la région. Cette information est utile pour la priorisation des aides alimentaires et de soutien économique d'urgence.

## I. INTRODUCTION

Un des objectifs du Projet FEWS est de fournir l'information qui pourra aider les décideurs à allouer l'aide alimentaire et l'assistance au développement aux niveaux international, national et local. FEWS collecte et analyse les données liées à la sécurité alimentaire des pays sahélics depuis 1985. Ces données sont utilisées pour identifier des indicateurs de contraintes économiques agissant sur la sécurité alimentaire. Elles ont servi à développer les modèles généraux pour l'étude de la vulnérabilité à la famine, appelée "Évaluation de la Vulnérabilité". L'Évaluation de la Vulnérabilité du FEWS répond aux besoins des décideurs de connaître quelle sorte d'interventions sera la mieux appropriée pour réduire le risque de famine et aussi à leurs besoins de connaître là où la famine puisse survenir.

165

Les méthodologies pour ces évaluations de la vulnérabilité ont été différentes d'un pays à l'autre. Ces différentes méthodologies sont nécessaires lorsque la géographie, l'agroclimatologie, les modes de colonisation et les politiques économiques ont créé des facteurs différents de risque à l'insécurité alimentaire. Cependant, les pays Sahéliens du Mali, Burkina Faso, Niger et Tchad se partagent des similarités en géographie physique et économique, histoire coloniale, système agroclimatique, langue officielle, système monétaire et structure étatique. Tous les quatre pays sont classés très bas par la plupart des indices de développement humain et économique (PNUD, 1994). Leurs infrastructures de transport, de santé et de communication sont sous-développées et les gouvernements ont une basse capacité de planification et de mise en oeuvre (Swift, 1994).

Une étude de l'histoire des famines pendant ce siècle dans les quatre pays montre que l'échec des récoltes survenant au moins deux années consécutives a été la cause de la plupart des famines. En plus, ces famines survenaient habituellement là où elles étaient survenues avant. Les régions concernées par les conflits armés constituent des exceptions notables. La majorité des populations de ces quatre pays sont des cultivateurs, des agropastoralistes et des éleveurs. Ces activités sont largement dépendantes des précipitations. De ces groupes, les cultivateurs ont le plus souffert lors des famines passées. Cette étude décrit un modèle développé pour l'utilisation à travers ces quatre pays d'une estimation de la vulnérabilité ou risque, à la famine des cultivateurs, agropastoralistes et éleveurs.

## **II METHODOLOGIE**

### **A Données**

Les données utilisées dans ce modèle viennent de diverses sources y compris les systèmes d'observation de la Terre, les services statistiques, les bureaux de recensement et les systèmes d'information de marché. Le type de données satellitaires utilisé est l'indice de Végétation par la Différence Normalisé (NDVI). Le NDVI mesure les activités photosynthétiques de la végétation (Justice, 1986; Prince, 1991; Rasmussen, 1992; Groten, 1993). Les données NDVI sont disponibles pour chaque décennie de novembre 1981 jusqu'en août 1994. Les données agricoles proviennent des rapports publiés par le Ministère de l'Agriculture de chaque pays. Les figures de population sont extrapolées de données nationales de recensement utilisant des taux de croissance calculés ou publiés. Les données de prix viennent de plus de 100 marchés suivis par les systèmes nationaux d'information de marché.

### **B. Niveau Géographique d'Analyse**

Ce modèle utilise les plus petites unités administratives de chaque pays comme unité de base d'analyse. Ceux sont les arrondissements, les départements ou les cantons, selon le pays. Le tableau 1 résume ces unités administratives par pays, avec leur nombre, superficie et population. Le nombre total d'unités administratives dans les quatre pays est de 1,076. Quelques unités étaient divisées pour capter leurs différences agro-écologiques majeures. La division a été réalisée en traçant une "ligne verte", globalement est-ouest, basée sur les données historiques de NDVI. Cette ligne sépare le domaine désertique des régions agropastorales à travers les nord du Mali, Niger et Tchad, divisant 54 unités administratives en deux parties chacune. Cela résultait d'un total de 1,130 unités géographiques utilisées dans cette analyse.

**Table 1. Characteristics of administrative level 3 or 4 for four countries included in the Regional Vulnerability Assessment.**

Country	Level Name	Number in country	Average Pop	Average Area (Sq Km)	Average Population Density per km
Mali	Arrondissement	287	30,000	4,366	7
Burkina	Department	301	32,000	919	35
Niger	Canton	130	66,000	9,134	7
Chad	Canton	358	15,000	3,113	5

Il y a une richesse de données disponibles aux niveaux administratifs plus hauts et bas, tels que les statistiques macro-économiques, les infrastructures villageoises, les informations démographiques et de recensement, à ces niveaux bas l'hydrologie et la pédologie. Cependant, ces données ne sont pas uniformément disponibles pour tous les quatre pays donc les rendant inutilisables pour ce modèle.

### C Indicateurs de la Vulnérabilité à la Famine

Le projet FEWS utilise un modèle de revenu de ménage pour évaluer la vulnérabilité à la famine (Downing, 1990, 1991, May, 1991). Le modèle estime le revenu disponible des cultivateurs, des agropastoralistes et des éleveurs (Riely, 1993). La compréhension de la structure des revenus de ménage nous permet de tirer des conclusions concernant les changements de la vulnérabilité à la famine, en suivant des changements dans le revenu de ménage sur le long terme (plus que 3 années) et le court terme (moins que 3 années). Le modèle de revenu suppose que des interruptions dans les circuits de revenu créent des contraintes économiques qui pourraient conduire à une incapacité à obtenir suffisamment de nourriture et donc éventuellement à la famine. Ainsi, le modèle est conduit par des sources de revenu liées à la production agricole et l'accès aux marchés.

Les indicateurs choisis, dérivés des données disponibles, portent l'information sur les sources de revenu et les niveaux fondamentaux de richesse (tableau 2). Ces indicateurs sont groupés selon leurs contributions aux dimensions temporelles des vulnérabilités structurelle et courante (Downing, 1990).

**Tableau 2 Les Indicateurs de l'Évaluation Régionale de la Vulnérabilité**

Baseline	Resource	<ul style="list-style-type: none"> <li>Length of the growing season</li> <li>Variability of season quality</li> <li>Access to infrastructure</li> </ul>
	Income	<ul style="list-style-type: none"> <li>Average per capita cereal production value</li> <li>Average per capita livestock value</li> <li>Average per capita cash crop income</li> </ul>
Current		<ul style="list-style-type: none"> <li>Quality of the growing season, 1993</li> <li>Quality of the growing season, 1992</li> <li>Quality of the growing season, 1991</li> <li>Pasture conditions, September to December</li> <li>April 1994 millet prices compared to average</li> <li>Millet price change from August 1993 to</li> <li>Insecurity, 1994</li> </ul>

## **D. Indicateurs de la Vulnérabilité Structurelle**

La Vulnérabilité Structurelle à la famine est le résultat de la pauvreté générale, de l'instabilité de sources de revenu et leurs accès limités. Les indicateurs de vulnérabilité structurelle captent le niveau de la richesse et la stabilité de revenu comme une description de l'environnement économique. FEWS distingue deux composants de la vulnérabilité structurelle. Ce sont la base de ressources disponible (facteurs de long terme) qui détermine le niveau de richesse ou pauvreté d'une région et la composition de revenus normale (facteurs de moyen terme) qui définit les types d'activités rémunératrices disponibles.

### **Base de Ressources**

La base de ressources d'une région inclut des facteurs tels que la pédologie, le climat, l'hydrographie, la richesse minière et le niveau général de développement économique. Les populations d'une région ayant une base forte de ressources gagneront certainement plus de revenus que celles d'une autre région ayant une base faible de ressources. Cela pourrait conduire à une accumulation de richesses utilisables en temps de pénurie.

La plupart des famines en Afrique Occidentale sont survenues dans les zones où la saison pluvieuse est courte ou sujette à une haute variabilité inter-annuelle. Le NDVI peut être utilisé pour quantifier ces deux caractéristiques importantes de la base de ressources agricoles. La série chronologique de NDVI pendant la saison hivernale, d'avril à octobre, est essentielle pour le suivi de la production agricole dans le Sahel. L'évolution normale de NDVI durant cette période commence par un accroissement en avril ou mai, conduisant à un maximum autour de septembre et finissant par une baisse lorsque les récoltes et les herbacées s'assèchent. Les taux d'accroissement et de diminution dépendent des précipitations, des températures, des réserves en eau et de la végétation naturelle. Plusieurs techniques sont disponibles pour étudier les caractéristiques spatio-temporelles de NDVI. Pour évaluer la base de ressources agricoles, deux indicateurs utiles sont employés dans le modèle. Il s'agit de la durée de la saison et la variabilité de la qualité de la saison.

### **Durée de la Saison**

L'expérience de douze années d'analyse de NDVI montre que le démarrage de la saison agricole est étroitement lié au premier accroissement soutenu de NDVI et que la fin de la saison reste liée à la décade de la valeur maximum de NDVI. La connaissance du démarrage et de la fin de la saison est essentielle pour suivre les stades culturaux. Il est aussi un outil très utile pour caractériser la durée de la saison. Dans les pays Sahéliens, la durée de la saison est un bon indicateur de la productivité agricole. Plus longue est la saison, plus il y a d'espèces culturales et arbustives disponibles et plus le rendement par hectare est élevé.

### **Variabilité de la Qualité de la Saison**

L'expérience d'analyse de NDVI montre qu'il existe une relation entre la valeur maximum de NDVI et le rendement agricole (Groten, 1993). Ainsi, la valeur maximum de NDVI peut être utilisée comme une indication de la qualité de la saison. Une haute variabilité de la qualité de la saison accroît les risques des populations très dépendantes de l'agriculture pluviale. Historiquement, ces régions de hauts risques furent exploitées par des éleveurs dont la mobilité faisait échapper à des poches de sécheresse. Avec le déclin des pluies et l'accroissement de la pression démographique des années 1970, ces régions de hauts risques ont empiété sur les régions traditionnelles d'agriculture du sud. Pour mesurer cet élément de risque, nous utilisons le coefficient de variation de la valeur maximum de NDVI.

### **Accès aux Infrastructures**

Les cultivateurs vivant à proximité des grandes villes ont plus de facilités à échanger leur travail et leurs biens contre des articles tels que les condiments et les médicaments. Conséquemment, ils sont moins vulnérables que les cultivateurs vivant loin des villes ou dans les régions enclavées. Le pourcentage de la population dans chaque unité

géographique d'analyse vivante à proximité des localités urbaines peut être un indicateur de l'accès aux marchés et aux infrastructures.

Pour calculer l'accès aux infrastructures, nous avons tracé des cercles de 10 km de rayon autour des villes de plus que 5.000 habitants, de 20 km pour plus de 10.000 habitants et de 40 km pour plus de 50.000 habitants. Puisque les données démographiques ne sont pas disponibles au niveau villageois pour l'ensemble des pays, nous avons supposé que la population rurale est uniformément distribuée dans chaque unité géographique d'analyse. Ainsi, nous utilisons le pourcentage de la superficie dans chaque unité située dans les cercles tracés, comme un indicateur approximatif de l'accès aux infrastructures.

### **Composition de Revenus**

Les études ont montré que les populations vivant dans les zones agricoles marginales ont développé des activités alternatives ou additionnelles génératrices de revenus pour pallier les déficits contrairement à celles dans les zones habituellement excédentaires (Reardon, 1988; Staatz 1990). Ainsi, pendant les périodes de grandes pénuries, ce dernier groupe vivant dans les zones excédentaires pourraient souffrir le plus par manque d'alternatives de sources de revenus. La compréhension de la composition de revenus est importante pour évaluer la vulnérabilité structurelle. Les indicateurs de la composition de revenus montrent l'importance de la diversité des sources de revenus. Puisqu'il n'existe pas de données couvrant toutes les sources de revenus pour tout le monde, cette étude se concentre sur les secteurs céréalier, de l'élevage et des cultures de rente. Celles-ci représentent les sources de revenus les plus importantes dans les quatre pays. Lorsque les données seront disponibles, nous inclurons les autres sources de revenus tel que le maraichage, les mines, la pêche, les salaires, les envois, le commerce et l'artisanat.

### **Valeur Moyenne de la Production Céréalière par Habitant**

La production moyenne céréalière par habitant est un indicateur de l'importance de la céréaliculture dans l'économie locale. Lorsqu'elle est basse, les populations ont d'autres sources de revenus et la céréaliculture non importante. Par exemple, la production moyenne par habitant sera basse dans une unité d'analyse contenant les centres urbains ou dans celle où la production céréalière n'est pas importante à cause des limites du climat et des sols.

Les données de production de plusieurs types de céréales sont utilisées pour calculer cet indicateur. Ce sont les mil, sorgho, maïs, fonio et riz. Ces céréales génèrent de revenus de différentes valeurs pour les cultivateurs. Ainsi ce modèle utilise les poids (coefficients) pour ces céréales selon leurs valeurs relatives pendant plusieurs d'années. Ces valeurs relatives sont dérivées des données de prix entre 1990 et 1993 et des informations clés. Les poids sont de 1,0 pour le mil, sorgho, maïs et fonio et 2,5 pour le riz.

Les calculs suivants sont faits par unité géographique et par année entre 1985 et 1992. Les données de production nette de chaque céréale sont multipliées par leurs poids respectifs. Les résultats sont alors additionnés pour obtenir la production nette annuelle. Ensuite, celle-ci est divisée par la population pour arriver à une production par habitant. Enfin, une moyenne de la production par habitant de 1985 à 1992 a été faite pour aboutir à cet indicateur de l'importance de la céréaliculture.

### **Valeur Moyenne du Cheptel par Habitant**

L'élevage constitue une source importante de revenu dans les quatre pays. Historiquement, la partie septentrionale de la zone Sahélienne de ces pays était une région d'élevage par excellence. Ceci n'est plus le cas lorsque le déclin pluviométrique a réduit les pâturages disponibles tandis qu'en même temps, les défrichements pour la mise en culture ont réduit l'incidence de la trypanosomiase dans les zones plus au sud. Actuellement, le cheptel est plus ou moins uniformément distribué à travers les pays Sahéliens. Ils constituent un mécanisme de sauvegarde ou d'accumulation de la richesse. Le bétail est souvent vendu pour subvenir aux besoins financiers tels que les mariages, les funérailles et autres obligations sociales.

169

Les données des recensements de cheptel portant sur plusieurs types d'animaux sont utilisées pour calculer cet indicateur. Ce sont les bovins, ovins, caprins et camelins. Ces animaux génèrent de revenus de différentes valeurs pour les éleveurs. Ainsi, ce modèle utilise les poids (coefficients) pour ces animaux selon leurs valeurs relatives en 1993, dérivées des données de prix et des informations clefs. Les poids sont de 1 pour le caprin; 2 pour l'ovin; 14 pour le bovin et 20 pour le camelin.

Pour chaque unité géographique, le nombre de chaque type d'animaux est multiplié par son poids respectif. La somme des résultats est faite pour obtenir la valeur totale du cheptel de chaque unité. Enfin, cette valeur totale est divisée par la population pour aboutir à cet indicateur de l'importance de l'élevage.

#### **Valeur Moyenne des Cultures de Rente par Habitant**

Les cultures de rente représentent une autre source importante de revenu pour beaucoup de cultivateurs. Les cultures de rente pratiquées dépendent des conditions agroclimatiques et varient légèrement d'un pays à l'autre. Aussi, elles génèrent des niveaux différents de profit pour les cultivateurs. Ce module utilise une valeur de profit estimée pour chaque culture de rente, basée sur des enquêtes officielles et informelles. Ces valeurs, en francs CFA par tonne, sont de 30.000 pour le coton, 100.000 pour l'arachide, 200.000 pour le poids de terre, 120.000 pour le niébé, 116.000 pour l'igname et 148.000 pour la patate.

D'abord, la moyenne de la production de chaque type de cultures entre 1985 et 1992 est calculée. Ensuite, les moyennes sont multipliées par les niveaux respectifs de profit et ces résultats additionnés pour obtenir le profit total. Enfin, ce profit est divisé par la population en 1994 pour aboutir à cet indicateur de l'importance des cultures de rente.

#### **E Indicateurs de la Vulnérabilité Courante**

La Vulnérabilité Courante à la famine est le résultat des changements majeurs dans le revenu pendant les trois dernières années. Les indicateurs de vulnérabilité courante captent les qualités des saisons hivernales récentes et le fonctionnement général des marchés céréaliers.

#### **Qualité de l'Hivernage, 1993**

Le maximum de NDVI atteint durant l'hivernage est un bon indicateur de la qualité de la saison agricole. Il existe une forte corrélation entre le maximum de NDVI et le rendement du mil (Groten, 1993), ainsi que la production de la biomasse (Rasmussen, 1992). L'exception principale de cette relation survient quand les pluies s'arrêtent précocement, entraînant une baisse exceptionnellement rapide de NDVI. Pour calculer cet indicateur de la qualité de l'hivernage, nous utilisons la valeur maximum de NDVI par rapport à la moyenne 1982-93, combinée à un indice de la rapidité de la baisse de NDVI.

#### **Qualité de l'Hivernage, 1992 et Qualité de l'Hivernage, 1991**

En plus de la qualité de l'hivernage courant, ce modèle incorpore la qualité de l'hivernage des deux saisons précédentes. Les événements menant à la famine sont des processus lents. L'examen des indicateurs sur plusieurs années est essentiel pour l'identification des zones à hauts risques suite aux effets cumulés de plusieurs échecs consécutifs. Le calcul de ces deux indicateurs est similaire à celui de la qualité de l'hivernage 1993 utilisant respectivement les données de NDVI de 1992 et de 1991.

#### **Conditions de Pâturage**

Les conditions de pâturage affectent les mouvements du cheptel, les prix des animaux et les revenus des populations dépendant des produits de l'élevage. L'indicateur de conditions de pâturage est le cumul de NDVI de septembre à



décembre, par rapport à la moyenne. La biomasse durant cette période est indicative de la disponibilité fourragère de la saison sèche qui est très importante pour l'élevage (ROPANAT, 1993).

#### **Prix du Mil en Avril par rapport à la Moyenne**

Les populations urbaines ainsi que la plupart des éleveurs et des agropastoralistes achètent leurs céréales régulièrement dans le marché. Un grand nombre des cultivateurs vendent une portion de leur récolte pour des besoins financiers. Eux aussi doivent éventuellement acheter des céréales si la production était faible. La période de soudure, d'avril à août, est la plus importante puisque la demande céréalière est élevée et l'approvisionnement bas. La demande est élevée parce que beaucoup de cultivateurs ont épuisé leurs stocks et doivent s'orienter vers le marché. L'approvisionnement est bas parce que la perspective de la prochaine récolte n'est pas connue et les commerçants retiennent leurs stocks en cas de déficit céréalier. Ainsi, les prix de céréales au début de la soudure constituent un bon indicateur de la demande et de l'approvisionnement (May, 1992). Il montre la pression économique subie par les populations devant acheter les céréales sur le marché. Si les prix de céréales en avril sont très supérieurs aux prix moyens de ce mois, les consommateurs doivent dépenser beaucoup plus de leurs ressources économiques pour obtenir la nourriture. Durant les périodes difficiles, ce qui résulterait à une réduction des niveaux de consommation et un accroissement de l'insécurité alimentaire.

Pour calculer cet indicateur, la différence entre le prix moyen du mil en avril et le prix courant du même mois est divisée par le prix moyen. Le résultat est exprimé en pourcentage. Puisque les données de prix sont collectées sur un nombre de marché qui ne correspondent pas exactement aux unités d'analyse, les données pour les unités sans marché sont basées sur celles des marchés les plus proches.

#### **Changement de Prix de Mil d'août à janvier**

Les changements des prix céréaliers pendant la période pré-récolte reflètent l'espérance sur la perspective de la récolte. Si les paysans et les commerçants sentent une bonne récolte, ils destockent et vendent leurs céréales sur le marché provoquant une chute des prix. Au contraire, si les perspectives sont mauvaises, ils retiennent les céréales. Dans ce cas, les prix peuvent rester stables ou même augmenter. Cet indicateur est utilisé pour capter cet aspect du changement de prix de céréale (May, 1992).

Les prix moyens du mil de juillet en août sont considérés comme les prix pré-récolte, tandis que ceux de décembre à janvier sont utilisés comme les prix après la récolte. La différence entre les prix avant et après la récolte constitue le changement de prix. Pour calculer cet indicateur, la différence entre le changement de prix actuel et la moyenne du changement est divisée par la moyenne. Puisque les données de prix sont collectées sur un nombre de marché qui ne correspondent pas exactement aux unités d'analyse, les données pour les unités sans marché sont basées sur celles des marchés les plus proches.

#### **Insécurité**

L'insécurité entraîne une perturbation des flux normaux de biens, des personnes, des animaux et des services à l'intérieur comme à l'extérieur des pays Sahéliens. Là où l'insécurité sévit le plus, elle engendre des impacts négatifs sur les activités agricoles. L'insécurité alimentaire peut être exacerbée par l'insécurité due:

- aux attaques sur des camions transportant les vivres,
- aux attaques des éleveurs en transhumance,
- à l'interruption de la vie sociale et des activités commerciales et
- à la rupture ou suspension des activités de développement et des aides d'urgence.

Ainsi, l'insécurité est un facteur important affectant la vulnérabilité à la famine. Des rangs d'insécurité basés sur les meilleures informations disponibles sont attribués à chaque unité géographique d'analyse selon les critères suivants:

0 = Pas de problème de sécurité.

1 = Limitation de mouvement du au banditisme, surtout durant la nuit.

2 = Mouvement très limité des personnes et des biens à cause des attaques, vols de véhicule et raids, résultant des fois en pertes des vies humaines. Cependant, la majorité des populations reste en place. Une escorte militaire peut être requise pour visiter ces lieux.

3 = Insécurité totale avec des violents incidents multiples résultant en de nombreux morts. La population fuit ou a fui la zone. L'effondrement des marchés locaux se soldant par des pénuries des articles essentiels. Les opérations militaires y sont fréquentes.

### **III MODELE DE LA VULNERABILITE**

#### **A Standardisation des Valeurs des Indicateurs**

Les indicateurs sont choisis parce qu'ils incarnent les informations importantes sur l'histoire de la famine ou sur les sources de revenus et aussi car ayant l'avantage d'être disponibles dans les quatre pays. Les indicateurs sont exprimés en unités différentes telles que le pourcentage, la valeur par habitant, l'indice et le rang. Pour permettre la comparaison de ces indicateurs, leurs valeurs sont standardisées en utilisant l'indice d'anomalie normalisé. Le processus de standardisation est de calculer la différence entre chaque indicateur et sa moyenne géographique (des 1.130 unités) et de diviser cette différence par son écart type. Ainsi pour chaque indicateur, la moyenne des quatre pays sert comme la norme de référence et la valeur d'indice de chaque unité d'analyse représente combien chaque unité diffère de la moyenne régionale.

Les décideurs sont familiers avec la standardisation des variables. Elle est conforme aux méthodes employées dans le calcul des indices nutritionnels et sanitaires. En plus, la standardisation a l'avantage d'aider les décideurs dans la priorisation des ressources limitées pour le soutien au revenu (par exemple distribution gratuite, food for work) parce qu'elle montre un continuum de bon à mauvais et à critique.

#### **B Coefficient de Poids et Calcul de Modèle**

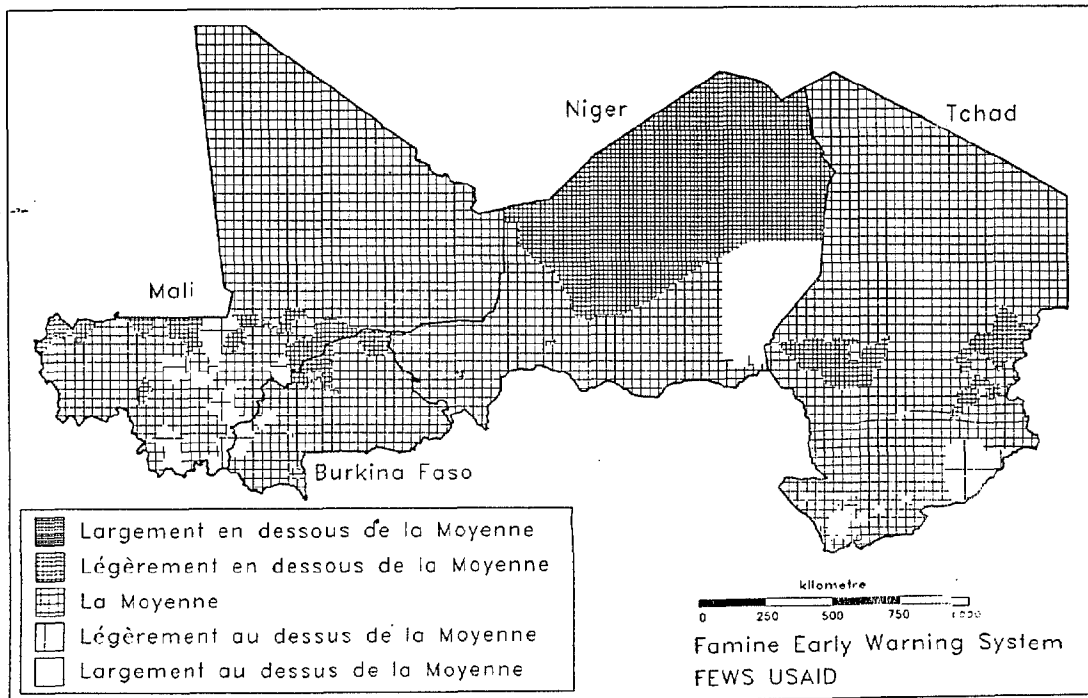
Les indicateurs sont regroupés dans les deux catégories temporelles de la vulnérabilité structurelle et courante. De plus, la vulnérabilité structurelle est composée de deux sous-groupes: base de ressources et composition de revenus. Nous supposons que tous les indicateurs d'un même groupe sont d'importance égale. Conséquemment, un coefficient de poids unique est utilisé. La moyenne des indicateurs d'un même groupe est calculée pour aboutir à l'indice du groupe. Les indices de la base de ressources et de la composition de revenus sont alors combinés pour obtenir l'indice de la vulnérabilité structurelle. Enfin, les indices de la vulnérabilité structurelle et courante sont additionnés pour arriver à un indice final de la vulnérabilité composée.

L'utilisation d'un coefficient de poids unique permet d'inclure ou d'échanger des indicateurs supplémentaires lorsqu'ils sont identifiés et les données devenues disponibles. Par exemple, quand il y aura plus de données disponibles sur la composition de revenus, elles pourront être ajoutées à l'indice de la vulnérabilité structurelle. Parallèlement, des indicateurs supplémentaires peuvent être inclus dans l'indice de la vulnérabilité courante quand ils seront identifiés. Ces additifs ne changeront pas la contribution relative de la vulnérabilité structurelle et courante à l'indice final de la vulnérabilité composée.

#### IV RESULTATS ET DISCUSSION

La répartition spatiale de la vulnérabilité structurelle à travers les quatre pays est présentée dans la carte 1. Les zones sombres indiquent une vulnérabilité structurelle élevée. Ce résultat est une combinaison d'un hivernage de courte durée, d'une variabilité élevée de la qualité de la saison, d'une faible production céréalière et fourragère et un manque d'accès aux lieux d'échange. Ces zones sont situées dans les parties septentrionales des quatre pays et au centre du Tchad.

#### Évaluation Régionale de la Vulnérabilité: Carte 1 - Vulnérabilité Structurelle



La répartition spatiale de la vulnérabilité courante à travers les quatre pays est présentée dans la carte 2. Les zones sombres indiquent une vulnérabilité courante élevée. Ce résultat est une combinaison des pauvres qualités de l'hivernage quelque temps pendant les trois dernières années, des pauvres conditions de pâturage, des niveaux élevés de prix et de l'insécurité. Ces zones sont situées au Tchad et au centre du Niger. La vulnérabilité courante est faible au Burkina Faso et au sud du Mali. Ce qui correspond aux résultats de l'enquête CILSS/FAO sur l'estimation de la production céréalière qui montre que la production reste supérieure ou égale à la moyenne pour la troisième année consécutive au Burkina Faso et au Mali.

Les indices de la vulnérabilité structurelle et courante sont combinés pour aboutir à un indice final de la vulnérabilité composée (carte 3). Ceci représente la vulnérabilité à la famine actuelle dont les effets des chocs à court terme (vulnérabilité courante) sont évalués relativement aux conditions à long terme (vulnérabilité structurelle). La carte 3 montre que la situation de la sécurité alimentaire est bonne dans l'ensemble des quatre pays sauf au centre et au sud du Tchad, et au nord-est du Mali. Une grande partie du Niger et du Burkina Faso a connu trois bonnes années

113

successives. Conséquemment, en 1994, les cultivateurs, les agropastoralistes et les éleveurs dans ces régions se portent aussi bien ou mieux que d'habitude.

Ce module a une couverture géographique large. Il peut être aussi valide localement en utilisant les données au niveau villageois telles que les études de revenu des ménages; au niveau régional tels que les systèmes d'alerte précoce et au niveau national telles que les enquêtes démographiques et de santé, l'Enquête Permanente du CILSS/DIAPER et une analyse plus approfondie des données de recensement. De plus, lorsqu'on visite une localité identifiée comme plus vulnérable que d'habitude par cette évaluation de la vulnérabilité, on pourrait y trouver les indications des contraintes économiques tels que les:

- taux de morbidité et de mortalité infantile élevés,
- faibles taux de scolarisation,
- faible poids de nourrissons à la naissance,
- taux d'alphabétisation bas,
- faibles couvertures de vaccination des enfants,
- sous-équipements en matériel agricole,
- mauvaises répartitions pluviométriques,
- hauts niveaux d'exode rural,
- consommations anormales de produits de cueillette et
- ajournements ou annulations des activités cérémonielles tels que mariages, baptêmes et funérailles.

Il y a un nombre d'indicateurs qui ne sont pas inclus dans ce module par manque de données comparables à travers les quatre pays ou ne sont pas encore référencées géographiquement. Ceux-ci incluent:

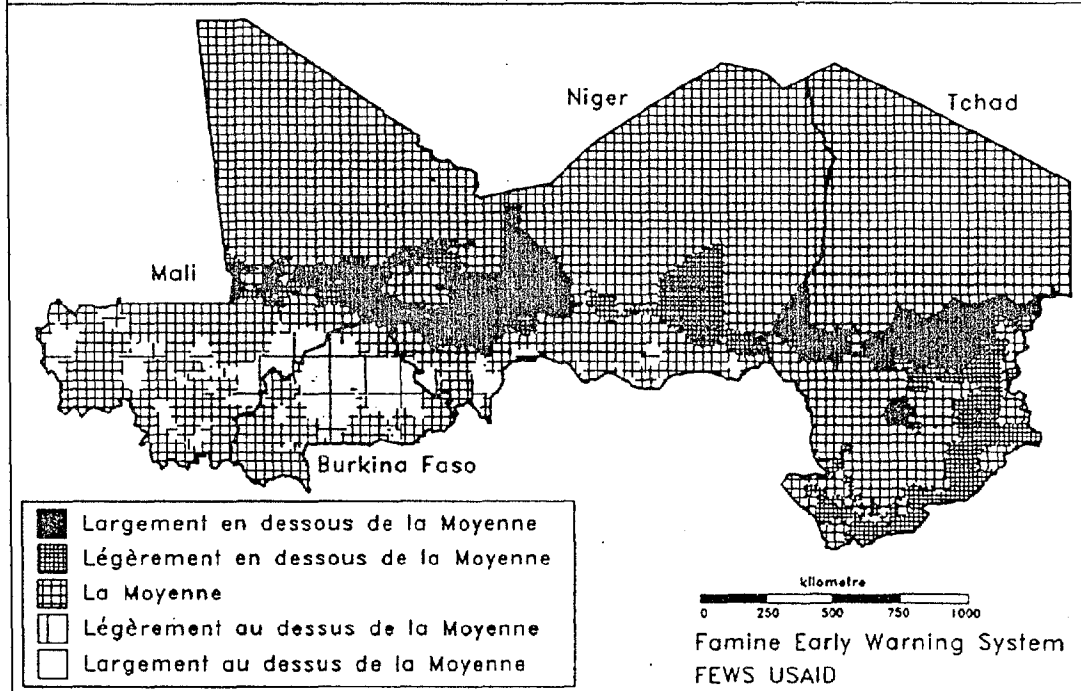
- la variabilité pluviométrique,
- les revenus miniers,
- les envois internes ou externes,
- les taux de scolarisation,
- les taux d'alphabétisation,
- les statistiques sanitaires,
- les taux de morbidité et de malnutrition,
- l'accès aux formations sanitaires,
- la qualité des infrastructures routières et leur accessibilité,
- la pratique de la monoculture,
- le manque de diversité dans la pratique agricole,
- les dégâts liés aux ennemis de culture,
- les niveaux des stocks nationaux de sécurité,
- les banques de céréale et
- la distribution alimentaire.

## V CONCLUSIONS

Le Modèle d'Évaluation de la Vulnérabilité Régionale du projet FEWS permet une appréciation de l'interaction entre la vulnérabilité structurelle et celle courante. Il exploite et intègre des données disponibles à travers les quatre pays. Ce modèle n'est pas limité aux indicateurs actuellement utilisés à cause de son caractère additionnel. On peut remplacer, soustraire ou inclure des indicateurs supplémentaires de changement des ressources économiques ou de leur accès. Le projet FEWS recherche activement ces indicateurs supplémentaires. Elles ne sont pas actuellement disponibles pour tous les pays. Lorsqu'elles deviendront disponibles, le projet FEWS pourrait fournir une analyse plus approfondie des contraintes économiques qui sont à la base de la famine dans ces pays.

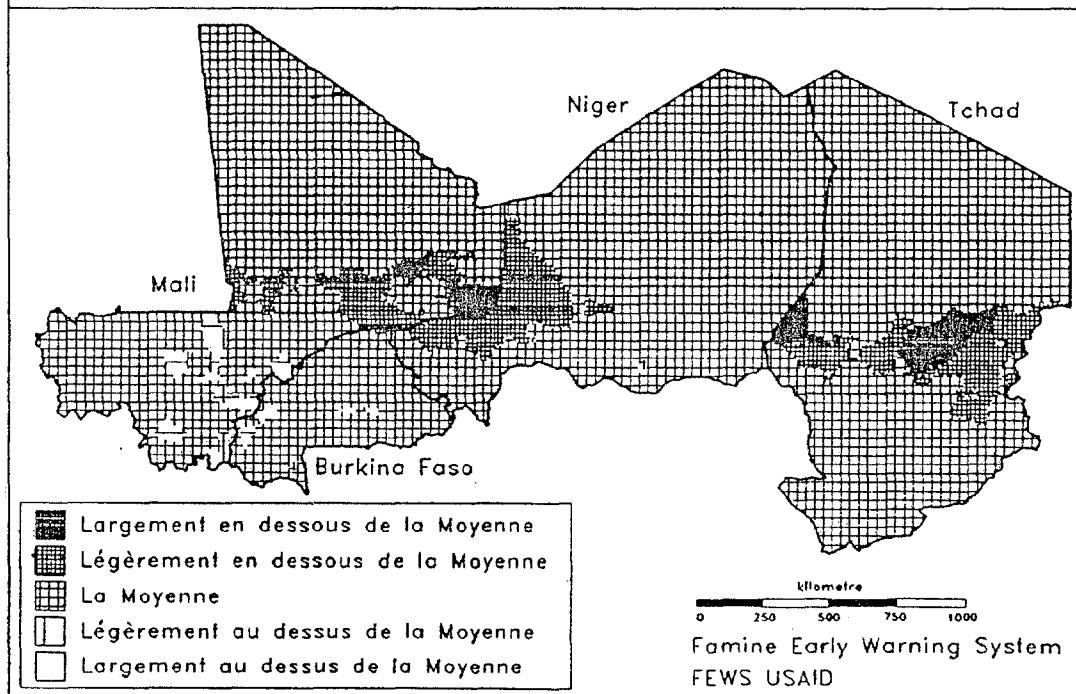
## Evaluation Régionale de la Vulnérabilité

### Carte 2. Vulnérabilité Courante



## Evaluation Régionale de la Vulnérabilité

### Carte 3. Vulnérabilité Composée



175

# USE OF GIS TECHNOLOGY FOR FOOD SECURITY IN THE SADC REGION

**C.A.J. van der HARTEN**

FAO/SADC Regional Remote Sensing Project, Harare, Zimbabwe

## **Introduction**

The FAO/SADC Regional Remote Sensing Project started its operations in June 1988 with funding from the Government of Japan. The funding terminated in 1992, after which the project continued its operational activities with financial support from the FAO Technical Cooperation Programm. The second phase of the project started in early 1994 with financial support from the Government of the Netherlands for a duration of three years. The project is the remote sensing component of the SADC Regional Early Warning System (REWS) and covers all eleven SADC countries. Besides a continuation and further sustaining of the operational activities established under phase one of the project, phase two will provide more specific attention to the establishment of electronic mail links between the SADC countries and the use of GIS technology to further strengthen the analytical capabilities of the Regional and National Early Systems for Food Security.

## **Operational project activities**

During the crop growing season (September to April) the project acquires satellite data from Meteosat and NOAA, through RAO/ARTEMIS in Rome and NASA-USAID/FEWS in Washington. These data are processed into a number of information products on rainfall occurrence and vegetation development. Satellite image products at a resolution of 7.6 km. are generated every 10 days, i.e. present and long term cumulative Cold Cloud Duration (CCD) images and presents, long term average and difference Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) images. In addition to the images, curves with CCD and NDVI time-series are produced for specific areas. The products are distributed on a 10 day basis, together with ad-hoc information sheets, in digital and hardcopy format to a wide range of users in Government offices, donor agencies, embassies and national and international organization working in support of food security and pest control. Finally a monthly bulletin is distributed to all users.

## **Capacity building**

In addition to the operational activities the project is organizing a number of training workshops in the use of remote sensed information and frequent back-stopping missions to the countries are being conducted. During the present phase of the project, it is the intention to transfer all processing capabilities to the individual SADC member states and provide in-service training and equipment for this.

## **Use of GIS technology**

It has been recognized that the use of GIS technology is indispensable for the development of a number of analytical routines to better use and interpret satellite images. Especially with the present availability of NOAA/LAC data in the SADC region, more specific routines have to be developed. The most used technique is a vector to raster overlay to extract satellite point or area average data for time-series. Besides the GIS technology will be used in support of the development and further improvement of the data base system for food security information at regional and national level in the SADC region. Both activities require an uniform and standard vector data base for the whole SADC region.

### **Development of an uniform, standard vector data base for the SADC region**

Given the large number of vector data bases available in the SADC region, each developed for a specific purpose or application, the situation exists where there is a certain incompatibility between the different data sets. The project will initiate a number of activities in order to develop an uniform regional standard vector data set for SADC, based on the Digital Chart of the World (DCW), through merging and enhancing the DCW with existing data sets. The project is looking for close collaboration with other groups and institutions working on this and has the long term objective to build regional capacity to maintain and further develop the SADC regional standard vector data set.

171

<b>Groupe de Travail 3:</b>	<b>DONNEES</b>
<b>Working Group 3:</b>	<b>DATA</b>

**HARMONISATION DES DONNEES DISPONIBLES (ORSTOM)**

H. ADAMOU .....193

**INTEGRATION OF SOCIO-ECONOMIC DATA INTO GIS -  
CURRENT SITUATION IN THE FIELD OF TECHNICAL COOPERATION IN AFRICA**

**INTEGRATION DES DONNEES SOCIO-ECONOMIQUES DANS LES SIG -SITUATION ACTUELLE  
ET PERSPECTIVES AU NIVEAU DE LA COOPERATION TECHNIQUE EN AFRIQUE**

D. BOHNET .....194

**INTEGRATION OF SOCIO-ECONOMIC DATA INTO GIS:  
A CASE STUDY OF THE CRDA BIZERTE**

D. BOHNET .....199

**AFRICA DATA SAMPLER PROJECT- DATA INTEGRATION ISSUES**

L. BURKE .....207

**THE VECTOR PRODUCT FORMAT, AN OVERVIEW**

D. M. DANKO .....213

**INTEGRATION ET HARMONISATION DES DONNEES CARTOGRAPHIQUES  
DANS UNE BASE DE DONNEES ENVIRONNEMENTALES A L'ECHELLE NATIONALE**

A. M. DIEYE .....220

**AFRICA DATA SAMPLER A GEOREFERENCED DATABASE FOR ALL AFRICAN COUNTRIES**

**EXEMPLAIRE DE DONNEES SUR L'AFRIQUE UNE BASE DE DONNEES DE GEO-REFERENCEMENT  
POUR TOUS LES PAYS AFRICAINS**

N. HENNINGER .....221

178



<b>AN INTEGRATED SPATIAL MODEL FOR RESOURCE MANAGEMENT, NORTH WEST COAST, EGYPT</b>	
F. H. ABDEL-KADER .....	227
 <b>MONITORING VEGETATION COVER AND ESTIMATES OF TIMBER POTENTIAL BY REMOTE SENSING IN THE FRAME OF NATURAL RESOURCES MANAGEMENT IN WEST AFRICA (CASE STUDY OF BENIN)</b>	
K. U. KOMP .....	229
 <b>GIS PERSPECTIVE ON MODELLING LAND USE AND ENVIRONMENTAL CHANGE IN THE AFRAM PLAINS OF GHANA</b>	
S. K. KUFOGBE .....	241
 <b>PRESENTATION DES PROBLEMES ET DES ENJEUX DE LA NORMALISATION EN AFRIQUE</b>	
M. LUMEAUX, M. POULAIN .....	245
 <b>BREAD MAKING AND DESIGNING RESOURCE INVENTORIES: THE GIS CONNECTION</b>	
H. G. LUND, W. GIBSON, W. H. WIGTON .....	247
 <b>L'EXPERIENCE DE DEUX ANNEES D'ACQUISITION DE DONNEES SATELLITAIRES DANS LE CADRE DU PROJET DE GESTION DES RESSOURCES NATURELLES</b>	
V. J. MAMA, K. U. KOMP .....	251
 <b>DATA ACCESS IN AFRICA</b>	
M. Y. SAÏD .....	264
 <b>RECEPTION D'IMAGES SATELLITAIRES AU CENTRE AGRHYMET DE NIAMEY</b>	
N. F. TALL COUNDOUL, I. ALFARI .....	265
 <b>INTEGRATION DES DONNEES SOCIO-ECONOMIQUES DANS LES SIG: CAS DE LA COMMUNAUTE RURALE DE MBELACADIAO AU SENEGAL</b>	
A. TOURE .....	268

179

## HARMONISATION DES DONNEES DISPONIBLES (ORSTOM)

**H. ADAMOU**

IGNN / Niamey, Niger

Les difficultés d'intégration des données et de superposition des couches, conséquences de la prolifération des cartes numériques de base sont les problèmes majeurs que rencontrent les utilisateurs de SIG au Niger. L'importance de ces outils n'étant plus à démontrer, et parce que devenus les auxiliaires des acteurs de développement, les SIG peuvent être utilisées pour élaborer des solutions viables aux problèmes mentionnés. Ainsi, notre communication porte sur une étude que nous avons réalisée au niveau local de l'ORSTOM (Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération) à Niamey, et qui vise à harmoniser les données disponibles en les référant à un système de coordonnées unique.

La méthodologie a consisté à dégager les traitements nécessaires pour rendre les données homogènes dans le système de coordonnées adopté (CLARKE 1880 et UTM). A cet effet un volume important de données d'origines et d'échelles variées a été inventorié et traité.

Compte tenu des échelles moyennes envisagées et de la topographie du terrain, une carte numérique de référence au 1/50.000 (spatio-carte sur fond d'images rectifiées) a été élaborée dans le système de coordonnées choisi. Ainsi, les corrections géométriques des images peuvent être référées à cette dernière.

Les paramètres de passage des systèmes de référence utilisées, au système de coordonnées adopté ont dû être déterminés. La zone d'étude étant de dimension réduite, les méthodes simplifiées de Bursa et Wolf, et de Molodenski se sont avérées suffisantes.

Cette étude a été réalisée à titre expérimental. Quant aux résultats, ils peuvent être analysés après exploitation sur une période moyenne, et dans un milieu utilisateur de SIG.

# INTEGRATION OF SOCIO-ECONOMIC DATA INTO GIS - CURRENT SITUATION IN THE FIELD OF TECHNICAL COOPERATION IN AFRICA

**D. BOHNET**

GTZ, Bonn, F.R.Germany

Developing countries are in a phase of serious structural adjustments. The management of demographic growth, economic development and the proper management of their natural resources require new strategies and sophisticated tools. Because of the rapid changes affecting these countries, the need for timely, efficient and effective information on all levels of decision making seems to be even more important than for industrialised countries. **The collection and the processing of relevant information becomes an increasingly important function for all development institutions.** In the past years, Geographical Information Systems (GIS) became powerful tools to support information management and decision making.

Information dealing with people, or socio-economic information, focuses on the relationship between people as well as the organisation and execution of their productive and reproductive activities. The integration of socio-economic data into a GIS helps us to gain a more realistic picture of the factors determining the actions of human beings and therefore to better understand and manage development processes.

Up till now, the use of socio-economic data was not only restricted by insufficient data or technical integration problems but also by unclear objectives, administrative blockages, inadequate methods of analysis and presentation of data, the fixation of institutions on "traditional" methods and lack of imagination.

Currently we can observe:

- Most users feel the need to combine physical data with socio-economic data in a GIS. Nevertheless, few people are able to determine which socio-economic data are required for which purposes and how to integrate them properly into a GIS.
- It is rare that the build-up and use of a geo-referenced, socio-economic database is guided by **clear objectives and purposes** as well as appropriate and well-established paradigms and theories of the social and economic sciences. In practice we can often observe that all accessible data are collected and integrated, hoping that they may be useful one day.
- Many of the technical problems of data integration result from the fact that most of the socio-economic data are not systematically collected and processed for the build-up of a comprehensive geo-referenced database. Instead, they are collected for different purposes, by a variety of institutions, at different times, for a specific area of interest and according to various methodologies. The result of this is a patchwork of socio-economic databases that may result in a variety of integration problems:
  - No positional information for data sets are available
  - Data sets use different classifications and methodologies
  - Data sets refer to different spatial units
  - Data of different aggregation ("resolution") levels exist
  - Data gaps (thematic and spatial) occur
  - Data are collected at different times
- The socio-economic data in a GIS are mostly attribute data attached to already existing spatial objects (e.g. administrative boundaries). It is still rare that spatial objects (point and polygon features) have been defined exclusively for socio-economic data.

181

- Experience shows that there is no standard methodology for the integration of socio-economic data into a GIS. Each project requires its own approach according to its scope and objectives.
- Often, GIS technicians are not familiar with the properties of socio-economic data and the underlying theories for their integration. Therefore, we can expect major problems in the future due to inexact data and improper analyses.
- The socio-economic theories and examples, as well as the understanding of the spatial structures and procedures determining socio-economic phenomena, hardly take advantage of the potentials of a GIS. On the one hand this is due to the absence of "spatial reasoning" and, on the other hand, due to the ignorance of the possibilities offered by this instrument. Consequently, the use and the spatial analysis of socio-economic data is limited by unsatisfactory theories and models, paradigms.
- GIS's are more frequently being used in the area of regional development. They not only support analysis and planning at project level, but also increasingly play the role of a comprehensive information system for the identification, planning and implementation of development activities.

In the near future we expect:

- New development strategies will try to better combine the "needs" and "objectives" of people with the use of their natural resources in order to improve the management of development processes. This will lead to an increased demand for socio-economic data within GIS's.
- New data models and methods of analysis will enable the user to exploit and present socio-economic data in a GIS in a superior way. GIS's will more often be part of institutional information systems (IIS) integrating all types of data that have to be managed by the organisation. In such systems, socio-economic data will be an important part of the system.
- The GIS's will see their management functions take precedence over their planning functions. This will be valid for development measures as well as for the protection of natural resources and the environment.
- GIS applications with emphasis on social and economic issues will increase. Applications in the field of geodemography may help technical cooperation projects to improve the analysis of their target groups.

# INTEGRATION DES DONNEES SOCIO-ECONOMIQUES DANS LES SIG - SITUATION ACTUELLE ET PERSPECTIVES AU NIVEAU DE LA COOPERATION TECHNIQUE EN AFRIQUE

**D. BOHNET**

GTZ, Bonn, R. F. Allemagne

Les pays en développement se trouvent dans une phase de bouleversements dramatiques. Le pilotage de l'évolution démographique, du développement économique et de la gestion de leurs ressources naturelles nécessite de nouvelles stratégies et des outils de décision fiables à tous les niveaux. Vu le rythme rapide des mutations, le besoin en supports de décision rapides, efficaces et efficaces peut être estimé plus important dans les pays en développement que dans les pays industrialisés. **L'obtention et la transformation d'informations importantes constituent de plus en plus une fonction fondamentale de toutes les organisations de coopération et de développement.** Les systèmes d'information géographiques (SIG) peuvent faciliter considérablement ces tâches. Ils sont devenus, au cours des dernières années, des outils puissants à l'information et à la prise de décision.

Les informations sur la population ou informations socio-économiques portent sur les relations entre les personnes, ainsi que sur l'organisation et la réalisation de leurs activités liées aux systèmes de la production et de la reproduction. L'intégration de ces données dans les SIG permet d'obtenir une image plus réaliste des **facteurs déterminants** du comportement d'individus ou de groupes humains qui sont à la base des processus de développement.

L'utilisation de données socio-économiques a jusqu'ici été entravée pas seulement par le manque de données disponibles et des problèmes techniques d'intégration, mais aussi par des objectifs flous, par des méthodes d'analyse insuffisantes, par les blocages administratives, par une fixation des institutions sur les méthodes de travail "traditionnelles" et par le manque d'imagination quant à la résolution de problèmes.

A l'état actuel, on constate surtout:

- La plupart des utilisateurs sont conscients de la nécessité d'intégrer plus amplement les données socio-économiques dans les SIG. Une grande indécision continue cependant de régner quant à la nature, le volume et l'utilisation de ces données.
- Dans la pratique la tendance existe de collecter les données socio-économiques auxquelles on peut avoir accès, de les intégrer à tout prix et ensuite chercher à savoir ce que l'on peut faire avec. Il est encore rare, que l'implantation d'une base de données socio-économique est guidé par des objectifs claires et des théories et méthodes des sciences sociales et économiques.
- La plupart des données socio-économiques disponibles ne sont pas **systématiquement** collectées et traitées pour un SIG. En pratique, elles sont collectées par différentes organisations selon des méthodes disparates et à des fins diverses. Ceci cause souvent des problème d'intégrations:
  - Les données ne sont pas géo- référencées
  - Les ensembles de données concernent des objets spatiaux différents
  - Les données ont été classées différemment
  - Les données ont des "échelles" (niveaux d'agrégation) différentes
  - Les données sont incomplètes
  - Les données ont été collectées à des époques différentes.

1983

- Généralement, les banques de données socio-économiques sont simples. Souvent, il s'agit des données statistiques qui étaient attachées aux objets spatiaux existants (attributs) notamment des limites administratives.
- Les particularités des données socio-économiques et les bases théoriques pour leurs intégration et analyse avec les données biophysiques ne sont pas bien connues par les techniciens. Les méthodes d'intégration et d'analyse de ces données dans les SIG sont souvent disparates. Il faut donc craindre que des problèmes surgissent à l'avenir en raison de l'inexactitude des données et des analyses.
- Les théories et paradigmes socio-économiques ainsi que la compréhension des structures et processus dans l'espace comme déterminants des phénomènes socio-économiques, ne tiennent guère compte des potentiels d'un SIG. Ceci est dû d'une part à l'absence de traditions en matière de "pensée spatiale" et d'autre part à l'ignorance sur les possibilités offertes par cet instrument. En conséquence, l'utilisation et l'analyse spatiale des données socio-économiques est limitée par des théories et paradigmes insatisfaisantes.
- Les méthodes de la statistique spatial sont encore peu utilisées dans la pratique.

A l'avenir:

- Les nouvelles stratégies de développement essaient de tenir compte des "besoins" et des "objectifs" des populations avec leurs ressources naturelles. dans les processus de développement. Ceci implique que la **composante socio-économique** des GIS deviendra plus important.
- Les SIG verront leurs fonctions de gestion prendre plus d'importance par rapport aux fonctions de planification. Ceci s'applique aussi bien aux mesures de développement qu'à la protection des ressources et de l'environnement. Les SIG assumeront de plus en plus la fonction de **gestion institutionnelle des données** au sein d'un organisme de développement. Ils intégreront et géreront **toutes** les informations recueillies par l'organisation dans un cadre commun.
- On pourra escompter dans un proche avenir de nouveaux modèles de données et méthodes d'analyse qui permettront une meilleure présentation et exploitation des données socio-économiques dans les SIG.
- Les SIG seront de plus utilisés dans la domaine des sciences sociales et économiques.

### Recommandations

Les expériences acquises proposent de donner plus d'attention au sujets suivants:

1. Une méthode standard d'intégration des données socio économiques dans un SIG n'existe pas, mais des règles de bon sens à respecter. En fait il s'avère que chaque projet nécessite une approche qui **lui soit spécifique** en fonction des **besoins et objectifs clairs**.
2. Il est fortement recommandé de se faire guider dans l'analyse des données socio-économiques par les théories et les méthodes prévues qui traitent les problèmes posés et organiser la collecte des données respectivement.
3. L'utilité de l'intégration des données socio-économiques dans les SIG doit être mieux démontrée et expliquée aux techniciens et aux décideurs.
4. Le rôle des institutions au niveau régional, national et international quant à la collecte, l'archivage et la dissémination des données socio-économique doit être mieux défini. Les structures chargées de la collecte des données socio-économiques doivent d'une part commencer à harmoniser les méthodes de collecte des informations et d'autre part à archiver celles-ci dans des formats facilement échangeables entre structures. Elles devraient aussi supporter l'échange et la dissémination des données socio-économiques existantes ainsi que des cartes de base digitales.

5. Il serait bénéfique d'impliquer les SIG dans la programmation, l'organisation et l'interprétation des enquêtes socio-économiques. Une stratification des zones d'enquête par problèmes au moyen d'un SIG pourrait, dans de nombreux cas, améliorer sensiblement la qualité des enquêtes. Le géo-codage des données brutes au cours de l'enquête permettrait d'éliminer le problème de position, le plus ardu de l'analyse spatiale des données socio-économiques.
6. L'intégration et la représentation des données socio-économiques avec une composante très **dynamique**, telle que la migration des populations doivent être mieux étudiés.
7. La faisabilité d'analyser les groupes cibles, comme celle réalisée dans le cadre de la planification des projets par objectifs (ZOPP) de la GTZ, à l'aide des méthodes géodémographiques doit être étudiée.
8. Les techniques de la statistique spatiale pour montrer la structure spatiale des données socio-économiques et d'analyser les processus spatiaux qui les sous-tendent sont encore peu utilisés. Pour étudier le bénéfice et la faisabilité de ces techniques, il est proposé de réaliser des projets pilotes.
9. En général l'intégration de données socio-économiques requiert une connaissance exacte des définitions, méthodes et modèles qui sont à la base de la collecte et l'analyse de ces données. On préconise donc de confier l'intégration des données socio-économiques à des **groupes de travail interdisciplinaires** dans le cas de la mise en place et de la gestion de grandes bases de données.
10. Là où il est faisable, il est proposé de recueillir à la fois les données biophysiques et les données socio-économiques sur le terrain. Il est ainsi possible de géocoder les données, de procéder aussitôt à des contrôles de plausibilité et de corriger immédiatement les erreurs sur le terrain par des questions complémentaires.
11. Même si la délimitation des phénomènes socio-économiques pose souvent des problèmes, il est fortement conseillé de délimiter les limites vécues. Attacher les données socio-économiques aux objets spatiaux (par exemple les limites administratives) qui ne correspondent pas exactement aux phénomènes socio-économiques en question peut causer des résultats erronés. Toute implantation de projet gagnerait donc à passer par une phase préalable de délimitation des phénomènes socio-économiques en question acceptée par tous les partenaires, même s'il ne correspond pas toujours à celui reconnu officiellement.
12. La formation des techniciens SIG en matière de l'utilisation et de l'intégration des données socio-économiques doit être améliorée.

### **Propositions d'actions à court terme**

1. Synthèse et analyse bibliographique des travaux scientifiques en matière de l'utilisation et l'intégration des données socio-économiques sur le plan international pour leur diffusion au niveau des utilisateurs sur le terrain.
2. Formation des techniciens SIG en matière de l'utilisation et de l'intégration des données socio-économiques. Ceci comprend l'élaboration des cours de formation pratiques.
3. Etudier la faisabilité de la mise en place des comités nationaux pour l'harmonisation de la collecte systématique des données sur le terrain par les différents acteurs nationaux.
4. Etude du déficit au niveau des méthodes et analyses des données socio-économiques spatialisées pour déterminer les orientations de recherche notamment:
  - Développer une théorie qui rapproche les systèmes de production et l'aménagement du territoire à l'aide des SIG.
  - Tester le recensement de la population par télédétection et par photographies aériennes.
  - Compléter les études de système de production par une approche spatiale.
  - Promouvoir l'intégration de l'approche spatiale dans les sciences sociales et économiques.
  - Etudier le bénéfice des statistiques spatiales
  - Approfondir les méthodes d'intégration des données socio-économiques

185

# INTEGRATION OF SOCIO-ECONOMIC DATA INTO GIS: A CASE STUDY OF THE CRDA BIZERTE

**D. BOHNET**

GTZ, Bonn, F.R.Germany

## **Background**

AFRICAGIS'93 has brought together African and international GIS experts to work on crucial topics such as the integration of socio-economic data into Geographic Information Systems (GIS). It is obvious that the integration of socio-economic data into GIS is of paramount importance to many decision makers and GIS users. For a start, the OSS/UNITAR Technical Support Unit has published a summary of the author's study on the use of socio-economic data in GIS in the field of technical cooperation. This study was commissioned by the "Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit" (GTZ). In the second phase, a more comprehensive study, based on two case studies, will assess the integration of socio-economic data into a GIS in real world applications.

The objective of this study is to:

- present and assess the existing methodologies of integrating socio-economic data in GIS
- provide a set of recommendations to improve the integration of socio-economic data: type and quality of data, spatial representativeness of data, methodologies, guidelines and priorities for research and applications
- promote awareness of the importance and the need for developing effective methodologies for integrating socio-economic data into environmental studies through GIS tools

The study will include the preparation of a guide book on the integration of socio-economic data into GIS including examples based upon actual applications.

The terms of reference for the case studies are to:

- present the rationale for the use of socio-economic data in the case study
- describe the applications where socio-economic data have been used
- present the used socio-economic data (topic, scale, source, format) as well as the methodology of their integration
- assess the economic benefits of using socio-economic data in the case study
- describe the problems linked to the use of socio-economic data (accessibility, quality, completeness, methodologies...)
- recommend means, ways and methodologies for the integration of socio-economic data into GIS

The present case study deals with the "Commissariat Régional au Développement Agricole (CRDA) de Bizerte" a regional agricultural development agency in Northern Tunisia. The characteristics of this organisation will be outlined in the next chapter.

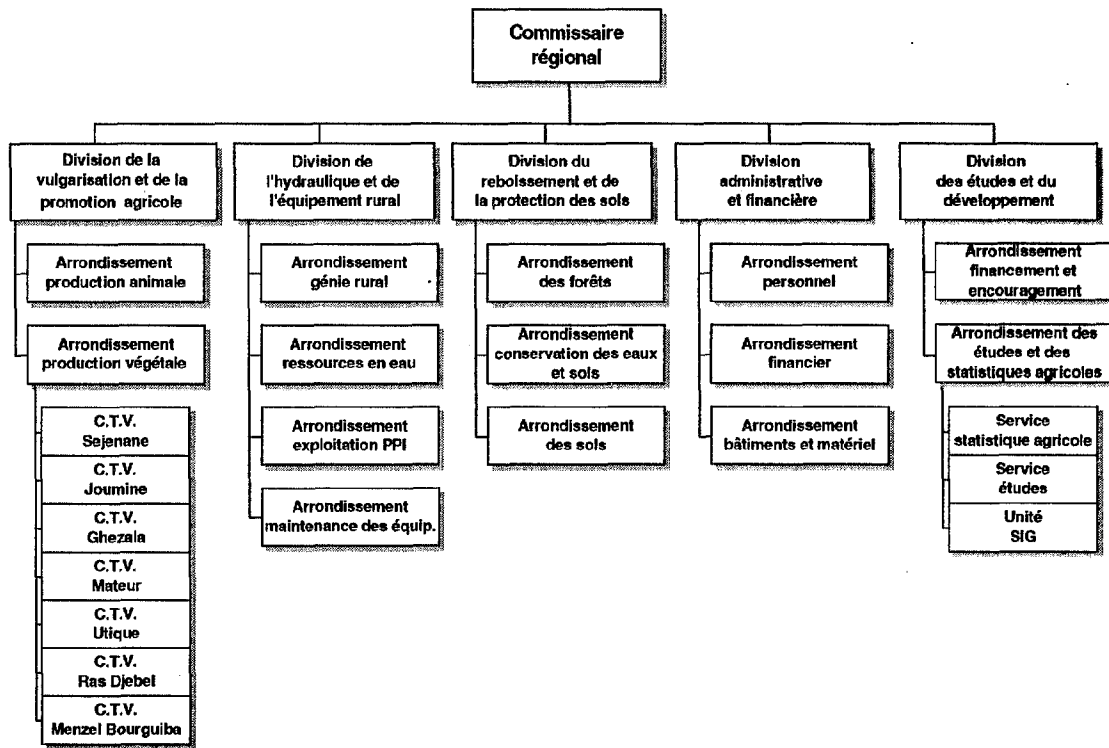
## **The "Commissariat Régional au Développement Agricole" (CRDA) of Bizerte**

The "Commissariats Régional au Développement Agricole" (CRDA) in Tunisia are part of the national agricultural administration. Each "Gouvernorat" (state) has one CRDA which is responsible for the execution of the national agricultural policies and the acts of state within their mandate area. The CRDA are the only public institutions in Tunisia accredited to plan and execute regional development programmes.



The CRDA Bizerte comprises five divisions: the extension division (division de la vulgarisation et de la promotion agricole), the conservation and reforestation division (division du reboisement et de la protection des sols), the water resources and irrigation division (hydraulique et équipement), the administration and finance division (division administrative et financière) and the studies and statistics division (division des études et des statistiques agricoles). Each division is divided into subdivisions (arrondissements). Figure 1 shows the organisational structure.

Figure 1: Organisational structure of the CRDA Bizerte



At the end of 1992, the CRDA Bizerte employed approximately 300 civil servants and 650 workers. Its budget amounted to US \$ 5.5 Million.

187

## Objectives of the CRDA's GIS implementation

The GTZ has supported the implementation of a GIS in the CRDA Bizerte since 1990. The improvement of the accessibility and the quality of data were the main objectives. Since 1993, the GIS has been promoted by GTZ as an integral part of an organisation development project in the CRDA Bizerte. In the second project phase the objectives were defined as showed in Table 1:

**Table 1: Objectives of the GIS implementation in Bizerte**

Overall goal	The decentralisation of the agricultural sector planning is enforced
Project goal	The CRDA's planning and implementation capacities for regional rural development activities are improved
GIS objectives	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Support the CRDA's decision making and regional planning and implementation activities with accurate and timely information</li> <li>2. Diminish risk and uncertainty in planning</li> <li>3. Improve formal decision making in the organisation</li> <li>4. Improve the graphical quality of maps and formal documents of the CRDA</li> <li>5. Support the planning, execution and analysis of socio-economic studies and statistics</li> <li>6. Improve public bidding documents</li> <li>7. Support monitoring and evaluation activities</li> <li>8. Introduce quality standards for spatial data</li> <li>9. Improve communication within the organisation</li> <li>10. Promote organisational change within the organisation</li> <li>11. Promote cooperation with other organisations</li> </ol>

### What are socio-economic data?

Population related or socio-economical information refers to the relations amongst people and the organisation and management of their production and reproduction related activities. Originally, these information refer to individuals of a population spread over space. Sources of socio-economic data are censuses, statistics, surveys, studies or data of relevant organisations and administrations (e.g. revenue services, insurances, educational boards). We can distinguish socio-economical data that describe demographical aspects, social conditions or economical and administrative activities.

**Demographical data** describe the population (number), their spatial distribution (population density per region), their composition (religious or ethnic groups) and their dynamics (mortality, fertility, migration).

**Social data** characterise the social condition of the population. They mostly refer to health conditions, nutrition and education. **Economical and administrative data** deal with the political and administrative framework, issues of production, consumption and trade, infrastructure, private property rights and many more.

Socio-economic data have some properties that distinguish them from physical data:

- Socio-economical data are products of the social sciences intended to explain or manage the behaviour of individuals or groups. They are the result of theories, models and definitions.
- As opposed to physical data (e.g. infrastructure), the position and the boundaries of socio-economic phenomena can not be **directly** determined through observation or measurements (e.g. surveying of remote sensing) on the earth's surface. Usually , they are produced **indirectly** by aggregation of data of enumeration districts or statistical analysis of data of representative areal units describing features of individuals or groups. Normally, they manifest themselves only through their impacts on the physical world.
- Socio-economic phenomena are linked to people and their activities. Therefore, their distribution over space is often extremely uneven and heterogeneous
- As opposed to most of the phenomena of our physical environment, socio-economic phenomena are not permanent but transient.

Socio-economic data are hardly available as "raw data". In most cases "processed data" are used . By the transformation process (statistical analysis or aggregation) the structure and properties of the raw data can be altered or biased which may seriously restrict their usefulness. Therefore, good knowledge of the social and economical methodologies as well as good knowledge of the nature and properties of socio-economic data is required to avoid wrong and biased results of analyses.

### **The use of socio-economic-data in the CRDA's GIS**

#### **The rationale**

By integrating data, the CRDA Bizerte can take a unified view of its data. It can establish a single, coherent, institutional information system which enables it to respond in a more accurate and timely manner to the challenges of its rapidly changing environment and its new responsibilities. The benefits that follow from the integration of diverse data within a GIS are widely recognised:

1. A broader range of operations can be performed on integrated rather than on disparate data sets.
2. By linking data sets together, spatial consistency is imposed on them. This adds value to existing data, making them both more effective and more marketable commodities.
3. Data integration facilitates interdisciplinary cooperation and problem solutions.
4. Users benefit from the realisation that they have access to a seamless information environment, uncomplicated by the need to consider differences in data sources, data types, storage devices, data formats or computer platforms.
5. Digital databases facilitate data sharing and exchange amongst departments of an organisation.
6. Further advantages accrue if several organisations pool their individual data into single integrated databases.

Adding socio-economic data to the physical data leads to additional benefits:

7. Understanding the reasons for human decisions and actions is of paramount importance for development planning. Uniting information on the physical environment with information on the socio-economic environment helps to determine more comprehensive and realistic decision models than the fractionated one dimensional models of the different scientific disciplines.
8. Usually socio-economic data are collected by different organisations for various purposes using a multitude of methodologies. Without the integration of these data into a common framework, they cannot be related and analysed together. This often leads to duplication of efforts, since existing data cannot be used for specific purposes.

### The data

Most of the socio-economic data are attribute data attached to existing spatial objects (e.g. administrative boundaries). Where no spatial objects existed, point and polygon features have been added exclusively for socio-economic data. Position and boundaries were determined using topographical and satellite image maps (e.g. milk collecting centres, farms). In the case of the farm parcels, the results of a conventional topographical survey were integrated as well. All data are in ARC/INFO format. The following socio-economic data sets exist in the CRDA's GIS database.

Table 2: Socio-economic data sets in the CRDA's GIS

Theme	Data	Spatial object	Object class	Map scale	Source
Demography	<ul style="list-style-type: none"> <li>• population number</li> <li>• density</li> <li>• households</li> <li>• age groups</li> <li>• sex</li> <li>• occupation....</li> </ul>	administrative boundaries for rural areas towns for urban areas	polygon	1:25.000	national census 1984 census 1994 presently being carried out
Pilot study "Sidi Aneur"	<ul style="list-style-type: none"> <li>• household survey data               <ul style="list-style-type: none"> <li>• members</li> <li>• ages</li> <li>• profession</li> <li>• occupation</li> <li>• function....</li> </ul> </li> <li>• farm survey data               <ul style="list-style-type: none"> <li>• ha</li> <li>• animals</li> <li>• yields</li> <li>• machinery..</li> <li>• land</li> </ul> </li> </ul>	farms  parcels	point  polygon	1:25.000	project survey in the Henchir "Sidi Aneur" (questionnaire) topographical survey
Commercial farms	<ul style="list-style-type: none"> <li>• cops</li> <li>• yields</li> </ul>	parcels	polygon	1:25.000	parcel plans were established by the CRDA using satellite image maps
Milk collecting centres	<ul style="list-style-type: none"> <li>• operator</li> <li>• capacities</li> <li>• turn-over</li> <li>• equipment</li> </ul>	site of centre	point	1:25.000	survey of the CRDA, position determined by topo maps
Irrigation schemes (currently in the planning stage, first trials completed)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• owner of parcels</li> <li>• crops</li> <li>• yields</li> <li>• water consumption</li> <li>• equipment..</li> </ul>	parcels or irrigation units	polygon	1:1000	irrigation project, geometry verification with GPS

Theme	Data	Spatial object	Object class	Map scale	Source
Extension service centres	<ul style="list-style-type: none"> <li>• name of centre</li> <li>• staff</li> <li>• farmers</li> <li>• activities...</li> </ul>	mandate area	polygon	1:25.000	CRDA extension service
Animal production zones	<ul style="list-style-type: none"> <li>• number of animals</li> <li>• off-take rates</li> <li>• milk production</li> <li>• meat production</li> <li>• fodder resources</li> <li>• production systems..</li> </ul>	production zone	polygon	1:25.000	CRDA, department of animal production
CRDA support infrastructures	<ul style="list-style-type: none"> <li>• name of centre</li> <li>• staff</li> <li>• budgets</li> <li>• farmers served</li> <li>• equipment</li> <li>• activities...</li> </ul>	forest outposts nurseries workshops			CRDA departments, position partly determined with GPS

At the moment, the enumeration procedure for the agricultural census is being revised. In the future, agricultural statistics will be more and more based upon objective measurements of spatial objects (e.g. landuse and yields). Stratification, data collection as well as data analysis in the CRDA Bizerte will be supported by the GIS. For that purpose remote sensing data, GPS and field surveys will be combined.

The 1984 census provided only aggregated information on the "secteur" level (smallest administrative unit). For many applications, information on the basis of the census tracts (enumeration districts) would be more appropriate. For the 1994 census, the CRDA intends to closely cooperate with the national statistics authority. Currently, the CRDA is trying to acquire the enumeration maps and the corresponding databases. The maps will be digitised. Then the databases will be linked to them. This will provide an excellent high resolution demographic database for almost every planning purpose.

### Practical experience

The socio-economic data are mostly used for planning and management purposes. Data on the rural population (demographic data) and their economic activities are combined with physical data in order to determine infrastructure development or services. Common applications are road construction, build-up of rural water supply systems, providing extension and financial services or managing irrigation schemes.

The type of decisions made in the CRDA rarely require complicated GIS analysis. They depend more on common sense, reliable data, experience and political conditions than on complicated analysis. The GIS's main function in the decision process is to provide and present reliable, up-to-date information to the decision makers on the operations, management or strategic level. Therefore, documentation and presentation functions are the most important GIS features for the CRDA. Qualitative visualisation of complex conditions (on-screen overlays or thematic maps) is an important means to get an overview of the situation. In practice it is more often used than quantitative spatial analysis (e.g. overlays). Exceptions to this are important projects, like

191

building a dam, that require sophisticated analysis and planning. This kind of project may use the GIS database, but they are usually planned and carried out by specialised staff outside of the CRDA.

## Problems

Nowadays, everybody is aware of the importance of combining physical data with socio-economic data for decision making. However, very few people are able to determine **which data** are required for **which purposes** and **how to integrate and use them in a GIS**. The author believes that the development of a geo-referenced, socio-economic database should be guided by **clear objectives and purposes** as well as appropriate and well established paradigms and theories of the respective **social and economical methodologies**. Otherwise, these data will produce little or no benefits. In extreme cases, improper use of the data may lead to wrong or biased decisions.

Therefore, skilled staff with good experience and knowledge of the social and economical methodologies as well as good knowledge of the nature and properties of socio-economic data is of paramount importance. Since most of the CRDA staff have a technical background, they usually do not possess these skills. As a consequence, the use of socio-economic data for decision making is generally limited to more qualitative analysis on erratic occasions. The capacities to properly manage socio-economic data (integration) are also limited. As a result, the build-up of the socio-economic database was rather accidental than systematic. This situation is likely to change with the introduction of new (socio-economic) planning and working tools within the next year.

Most of the technical problems of data integration result from the fact that most of the socio-economic data are not systematically collected and processed for the build up of a comprehensive geo-referenced database. Instead, they are collected for different purposes, by a variety of institutions, at different times, for a specific area of interest and according to various methodologies. The result of this situation is a patchwork of socio-economic databases which may result in a variety of integration problems:

- no positional information for data sets available
- data sets use different classifications and methodologies
- data sets refer to different spatial units
- data of different aggregation ("resolution") levels exist
- data gaps (thematic and spatial)
- data are collected at different times

As to the build-up of the socio-economic database in the CRDA, the most important problems encountered to date were the lack of positional information, data gaps, the "resolution" and the quality of the data. With the anticipated increased use of socio-economic data, other problems of the above mentioned kind are likely to appear as well.

Where no positional information for the socio-economic data were available, corresponding spatial objects were determined with maps, satellite images or GPS. This was the case for parcels for yield statistics, the location of milk collection, the location of survey farms and the CRDA infrastructure.

Thematic and spatial data gaps emerged in most of the data sets. They had to be filled in either with additional surveys or appropriate estimations. The same had to be done were the data quality was unsatisfactory.

In working with socio-economic data, the concept of "scale" - relating distances on a map to distances on the earth's surface - is of little use. Since these data are usually collected for arbitrary spatial units a more useful

concept may be to refer to the "resolution level" of the data and use a hierarchical system of reference units like:

- country level
- state level
- county level
- district level
- city, towns, villages level
- block level
- household level
- individual level

The higher levels are produced by aggregation of lower levels. If different resolution level data sets exist, they can be integrated by aggregating all data to the level of the highest level data set provided that they refer to the same class of spatial units. In the case of the CRDA, the proper choice of the resolution level for population statistics and farm survey data was difficult since different departments could not agree on the required precision of the database. Finally, the data sets were not combined and remained separate.

### **Recommendations**

The most important issue for the build-up and use of geo-referenced, socio-economic databases remains **clear objectives and purposes**. As mentioned above, the development of such a database should be guided by appropriate and well established paradigms and theories of the social and economical sciences. In the past, little importance was given to these issues. Wrong and biased decisions due to improper data manipulation and analysis may well be the consequence.

If the objectives, purposes and contents of the databases are clear, it is important to:

- systematically build-up and maintain socio-economic databases. This will require special efforts like surveys or data verifications.
- complement the GIS staff with personnel who have good knowledge of the relevant socio-economic theories and methods (interdisciplinary working groups).
- train data users in socio-economical analysis and methods in order to enable them to use the data.
- share the data with specialised organisations like census bureaux
- collect and disseminate data with the potential users in mind.

# AFRICA DATA SAMPLER PROJECT- DATA INTEGRATION ISSUES

**L. BURKE**

PADCO-GIS, Washington DC, USA

## **Introduction**

The Africa Data Sampler is a compilation of several existing data sets, done on a country-by-country basis for 53 countries in Africa. The ADS is being developed collaboratively by the World Resources Institute (WRI), Planning and Development Collaborative (PADCO) and the World Conservation Monitoring Centre (WCMC). For each country, the ADS package includes about 20-25 data layers (Arc/Info Coverages), a series of ArcView (version 1) views that highlight the data, and a User's Guide which provides a guided tour of the data sets for that country. The ADS comes in both unprojected (Lat Long) format, and Robinson projection.

## **Overview**

The ADS was developed from three data sources:

- 1) Basic information on physical features comes from the Digital Chart of the World (DCW), 2) Biodiversity data comes from WCMC.
- 3) Population Data comes from the National Centre for Geographic Information and Analysis (NCGIA) in Santa Barbara, California, USA.

The DCW served as the base for integration of the other data sources.

Over the course of this project, we have had to evaluate many trade-offs and make many difficult decisions regarding the method and extent of data integration. These were dependent upon the nature of the project (developing coherent data sets for 53 countries); the apparent quality and accuracy of the source data sets; and the resources available. In general, we chose methods which maintained as much of the integrity of the original data sources as possible. For instance, we did not do any rubber sheeting of the data.

The following sections provide details on data sources and integration process.

## **Digital Chart of the World (DCW)**

DCW is a 1:1 million scale standardized global, geographic database. It provides over twenty layers of geo-referenced information for all of the globe. The Environmental Systems Research Institute (ESRI) created DCW from U.S. Defense Mapping Agency (DMA) Operations Navigational Chart (ONC) series. The ONC series was produced for use by pilots for medium and low altitude navigation. DCW is available on CD-ROM as Arc/Info coverages.

The major DCW themes include Political Boundaries, Coastal Islands, Populated Places (with associated names), Airports, Railroads, Roads, Utility Lines, Lakes, Rivers and Streams, Elevation Contour Lines, Elevation Ranges, Spot Elevations, Cultural Landmarks, and Data Quality (age of ONC Chart). DCW is stored as a series of 5 degree tiles in Arc/Info format.

DCW Processing for each country included:



- 1) selecting appropriate tiles for the country;
- 2) clipping out the DCW features for each theme using the country boundary;
- 3) joining all tiles for each theme into a single coverage;
- 4) appending text fields to the tabular data to clarify numeric codes; and
- 5) performing a quality check of the resulting coverage

A unique approach to clipping was used for the hydrological theme. In many areas a hydrological feature serves as the political boundary (national border). In some cases this hydrological feature did not match with the political boundary in the DCW. Where a river was found to undulate in and out of a country, a buffer was established prior to clipping in order to preserve this hydrological feature within the data set for the country. This approach was chosen because it was not always possible to determine the correct location for the streams, rivers and political boundaries.

## **DCW Accuracy Issues**

### General

The overall accuracy of the DCW data set is somewhat varied, in terms of both spatial and attribute accuracy. A shortcoming of the DCW results from the age of the source data- the ONC series was produced between 1960 and 1989 and revised in 70's and the late 1980's, but the revisions address only selected features. As a result some landscape features are not present or have since changed, and some features are not correctly labelled (e.g., place names, road types). As revisions occurred by ONC chart, data quality can vary across the country. Features such as roads and streams sometimes disappear or change definition at ONC chart boundaries. There are many data inconsistencies at chart boundaries.

### Spatial

The DCW was chosen as the base map for this project because it is the most detailed and consistent digital data set available for the world, having been developed from the largest scale unclassified map series available. As the DCW comes from a single data source, it is internally consistent - features are well registered to one another.

The DCW's scale of 1:1,000,000 means the absolute spatial accuracy is no more reliable than 0.3 to 0.5 kilometres. A comparison with larger-scale 1:250,000 topographic maps revealed a disagreement or "inaccuracy" of between 0.5 and 1.0 kilometre. This disagreement is to be expected when comparing maps of such different scales. Note that the width of linear features on the ONC sheets is about 0.5 kilometres. Using a conservative estimate, most features within the DCW can be assumed to be within 0.5 to 1.0 kilometre accuracy.

### Attribute

Owing largely to the age of the data, *many* of the place names are incorrect.

The DCW serves as the base for integration of the other data sets.

## **Biodiversity Data Sets**

The Biodiversity data sets were produced by the World Conservation Monitoring Centre (WCMC) Biodiversity Map Library. (BML). The BML is a product of many different sources. The scale of the source varies, but averages around 1:1 million.

1995

There are four major themes covered by the BML - Protected Areas, Production Forests, Tropical Moist Forest, and Wetlands. The Tropical Moist Forest and Wetlands data sets included water bodies in their themes.

Processing of the WCMC data included:

- 1) performing quality checks for missing or incomplete attribute information;
- 2) performing visual checks for any major spatial inconsistencies;
- 3) adjusting all four themes to the coastal and national borders;
- 4) adjusting Protected Areas and Production Forests to major water bodies;
- 5) replacing numeric codes with text and
- 6) working with WCMC to improve the quality of their data, and make sure that PADCO's proposed data changes and improvements were valid.

### Protected Areas

The BML holds polygon or point data for many of the protected areas in Africa.

Parks are represented as polygons when their spatial extent is known; as points when the general location is known; and are included as records in a DBASE file for completeness, when there is inadequate spatial information.

Attribute data for protected areas includes the area name, data created, size, and IUCN Management Category. This category provides a standardized classification scheme, which facilitates comparison of protection across national borders.

### IUCN Management Categories

- I Strict Nature Reserve / Scientific Reserve
- II National Park
- III Natural Monument / Natural Landmark
- IV Managed Nature Reserve/Wildlife Sanctuary
- V Protected Landscapes and Seascapes
- VI Resource Reserve
- VII Anthropological Reserve/Natural Biotic Area
- VIII Multiple Use Management Area/Managed Resource Area

The processing for Production Forests was identical to that for Protected Areas. Production Forests are generally IUCN category VII - Multiple Use Management Areas.

### Tropical Moist Forests

The Tropical Moist Forest data sets were originally created for several atlases, and extended through the BML. Data were derived from both maps and satellite imagery. WCMC "harmonized" disparate data into standardized forest type categories for to allow for regional comparisons.

### Wetlands

WCMC and IUCN created a global inventory of Wetlands for the *Wetlands in Danger* atlas. Wetlands information was interpreted and generalized from 1:1 million scale ONC sheets. The data were digitized at WCMC and linked to attribute databases created by IUCN. Rectifying wetland extents to coastal boundaries was a very time-consuming process.

196

### **Biodiversity Data Accuracy Issues**

Data sources vary by country. As such, accuracy varies. Source documentation has been provided for each theme, for each country. Noted are the source, date, scale and unique processing issues, Users should become familiar with this information.

There is some redundant data within the WCMC data sets, Mangrove and Swamp Forest categorisations occur in both the Tropical Moist Forest and Wetlands data sets.

The DCW and WCMC data sets include wetland classifications. The WCMC data set offers more detail regarding wetland type, generally including several distinct wetland categories. DCW holds wetlands in the land cover theme as "undifferentiated wetlands" and in the drainage theme as "nonperennial water bodies." Which wetland classification is more reliable? This issue can only be rectified by a thorough knowledge of the history of the data set, original sources, production methods, original purpose of the data set, and resulting data quality, and these vary widely throughout the continent.

### **Population Data**

A medium resolution database reflecting human population by administrative unit was produced for all of Africa by the NCGIA. The data set is a compilation of sub-national administrative boundaries and census data from different sources. The base geographic coverage was produced by FAO, but has been supplemented where more detailed coverages were available. Census data comes from census publications from individual countries, published digital databases (including U.S. Bureau of the Census' International Database and UNEP/FAO's African Database), and published gazetteers and yearbooks. The level of detail available varies by country, and can be by first-, second- or third-level administrative units.

To process the population data for the ADS, the population data set for the given country was extracted from the continental coverage, and international political boundaries were replaced with those in the DCW. Only major water bodies are present in the Population data set. These were not edited to match those in the DCW.

### **Population Data Accuracy Issues**

Scale, detail and accuracy of the Administrative Boundaries vary by country. For most countries population statistics was available by 1 st-level administrative unit.

Scale of the data sets varied, with some more detailed than 1:1 million, and some less. In general registration of the data sets was reasonably good. The degree of disagreement can be seen by comparing DCW water bodies to those in the Population coverage.

Within the NCGIA population data set only the largest lakes and rivers are represented. Close examination reveals differences with the DCW hydrology. Large water bodies are included in the population data set to allow the exclusion of water bodies when calculating population density. As NCGIA water bodies are adequate for this purpose, no effort was made make them consistent with the DCW.

Attribute information on 1994 population count and population density is in the form of projections-using population growth estimates published by the United Nations.

197

## **Integrated Data Sets**

The overall spatial accuracy of the ADS is between 0.5 and 1.0 kilometre. The DCW is an appropriate base map at the national and regional levels, but it is not suitable for analyses requiring larger scales and higher accuracy (e.g., urban analyses).

Data sets from different sources will never match perfectly. In the case of the ADS, data from three different sources have been integrated, Care has been taken to ensure that spatial features in these data sets are properly registered to the DCW political boundaries. These data sets were not fully integrated with other features in the DCW, such as roads or rivers. As such these discrepancies will be visible when the spatial features are examined at a large scale (zoomed in).

There are some redundant data in the ADS. Major hydrological features are represented in data from all three data sources. Lakes, rivers, and streams are contained in the DCW Drainage data set; major lakes and rivers are contained in the WCMC Moist Tropical Forest and Wetlands data sets and the NCGIA Population data set. Simultaneously displaying hydrological data from different sources reveals discrepancies in the data sets.

These discrepancies may result from any' combination of the following: different source maps, different interpretation, different digitizing precision and accuracy, and different geoids and map projection parameters.

## **Value of the Africa Data Sampler**

Similar Data Samplers are available for all African countries. Because all countries were developed using the same base maps, maps from different countries can be easily combined to create regional, watershed, and other transborder maps (albeit with varying data quality within and among countries).

With the release of this prototype ADS we are hoping to increase the availability of international digital maps and data, bring spatial information into the policy planning and decision making process, and provide a tool for high quality presentation of environmental information. The distribution and use of the ADS should ultimately work as a catalyst to invest in the construction of more up-to-date and accurate georeferenced databases, especially at the national and local level.

## **What the Africa Data Sampler is Not**

The Africa Data Sampler is *not* an official national base map for any country. The digital data sets are *not* comprehensive. They are rather a sample of international digital information, made available at a country level. The ADS is primarily an educational and training tool. Because of the limitations in scale, compatibility, and data quality inherent in the ADS, it *cannot be* used in its present form as an analytical tool for a country's planning and decision making in areas such as infrastructure management, environmental impact assessments, forestry concession, or agricultural extension.

Such decisions have to be based on more detailed GIS analysis. This will require investments in the construction of up-to-date georeferenced databases with careful consideration for database architecture (i.e., database formats, hierarchy, nomenclature, metadata, etc.), quality control, and standards (i.e., digitizing density, precision, etc.).

## **Extension and Improvement of the ADS**

The data sets included within the ADS were compiled at international centres in the United States and the United Kingdom, far from the countries that are the subjects of the ADS. Local knowledge of natural features, infrastructure, and place names is vastly superior to that which can be derived from maps produced on another continent. Local users of the ADS in Africa will find many errors of commission and omission. Village names are often missing or inaccurate. Many roads that currently exist on the ground may not be included because of the age of the DCW source data. Similarly, additional national parks that may have been created may not be included or their status may have changed. Data sets need to evolve in order to correctly represent current conditions.

The ADS is not intended to be a definitive digital data set for a country.. Rather, it is a useful set of data for demonstration purposes, for use as a tool for exploring geographic data and GIS, and for use as a catalyst for further spatial data set development and exchange. Where large-scale (more detailed) spatial data sets are not available, the ADS can serve as a preliminary, coarse-scale data set for a country.

With the distribution of the ADS, responsibility for future development is largely held by users at the national level. The ADS is intended to serve as a preliminary reference framework that can be updated and customized based on user-defined needs. With the integration of many data layers a valuable country profile may emerge that supports a variety of planning, monitoring, and decision-making processes.

# THE VECTOR PRODUCT FORMAT, AN OVERVIEW

**D. M. DANKO**

Defense Mapping Agency, Fairfax VA, USA

## ABSTRACT

Many government agencies with responsibility for collecting geographic information do so primarily for their own use. This information is used for planning, resource management, scientific studies, and as a spatial base for a wide range of data. It is often provided to the public as a by-product in a form which is convenient for the producing agency. The Defense Mapping Agency (DMA), on the other hand, collects and provides mapping, charting, geodetic, and geographic information to military and maritime customers for direct use. These data sets, or products, must be designed for ease of use and must fully support customer applications. DMA uses the Vector Product Format (VPF) military standard for this reason. The Defense Mapping Agency will be producing large quantities of data in VPF; it will be made widely available. This paper provides an overview of VPF and discusses the purposes behind the standard, its relationship to other spatial data standards, and products and applications which implement the standard.

## INTRODUCTION

The Defense Mapping Agency is chartered with providing products for the US Military, Defense Agencies, and maritime customers. Increasingly these products are being produced in digital form. DMA provides digital geospatial products primarily in three formats: Vector Product Format (VPF), Raster Product Format (RPF), and Text Product Format (TPF). Vector products account for the largest growth in the demand for digital data. DMA produces a wide range of products which incorporate the VPF structure. The use of VPF for the distribution and direct application of geospatial information continues to expand.

## BACKGROUND

Unlike many other government agencies which collect geographic information for internal use within their own organization, DMA collects and furnishes geographic information, cartographic data, geodetic information, and navigation information to fulfill customer requirements. Federal, state, and local agencies collect and use geospatial information for use in forest, land, water, and energy resource management, as well as for public works, urban planning, and understanding population trends. Typically this information is provided to the public and the private sector as a low-cost by-product to promote growth, development, and recreation. The US Department of Defense established the DMA for the purpose of providing mapping, charting, and geodetic geospatial information for use by the Army, Navy, Marines, Air Force, and Intelligence agencies, as well as for maritime navigation world wide. These products are used in a wide variety of activities such as strategic, regional, and tactical planning, mission planning and rehearsal, modeling for weapon system development and performance testing, cockpit moving map display, on-board navigation, and many other applications.

As a customer oriented organization, DMA maintains an active requirements collection component dedicated to working with customers to understand the type and format of data they require, as well as determining the geographic areas of the world for which they will need information. This component, as well as research and development groups within DMA, works with weapons and other systems developers to insure that as new military systems and practices are developed, DMA will provide the data they require. Data formats and

digital products are developed using an iterative prototype design process to insure that DMA products meet customer needs, and provide data in a readily usable form.

Geographic information standards such as the Spatial Data Transfer Standard (SDTS, FIPS 173) and DMA's internal Mapping Charting Feature Data Exchange Standard (MC&GFDES) are examples of very robust standards designed purely for information exchange. MC&GFDES was developed for the exchange of data within a very large integrated production system. SDTS was developed to support the exchange of spatial data of any type between organizations using, in many cases, proprietary Geographic Information Systems. Data type/content can vary so broadly that it is impossible to write a general purpose translator designed to handle all SDTS possibilities. As a robust exchange standard SDTS is not designed to reduce the size of the data for ease of distribution, nor provide indices for rapid access, nor carry redundant or pre-computed data for ease of access and use. It was not intended to be used for the distribution of products. FIPS 173 Paragraph 8 (Applicability) states: "FIPS SDTS is not intended to facilitate product distribution of spatial data in a form designed for direct access by application software specific to a particular data structure, class of computer platform, or distribution media". Product standards such as RPF and VPF must support the use of application software that can access information regardless of variation in content. A product standard must efficiently store information to minimize the number of tapes or discs needed to distribute the data. It must incorporate indices providing users efficient access to information.

## **THE VPF STANDARD**

The VPF standard defines the conceptual and physical data model on which all DMA vector products are based. It uses a geo-relational model which is physically organized into five hierarchical levels: Database Level, Library Level, Coverage Level, Feature Level, and Primitive Level. The geospatial feature is the central concept of the VPF data model. Real world features are modeled by describing their location (where) and their properties (what). The Primitive Level carries the location information using four basic primitives: nodes, edges, faces, and text. These are implemented in five types of primitive tables: Node Tables, Edge Tables, Face Tables, Ring Tables (which link faces to edges), and Text Tables. These tables contain topologic relationships and coordinate data. Feature tables are used to describe the properties of a geospatial feature. Each record in a feature table identifies the feature, its attributes, and its primitive(s). Four types of feature/primitive relationships are possible: one-to-one, many-to-one, one-to-many, and many-to-many. Sets of features and primitives form coverages, which are grouped in libraries; a collection of libraries form a database.

VPF coverages group features by topologic relationships ranging from no explicit topology to full topologic relationships for all primitives. Varying degrees of integration are supported. When a product does not require relationships among data types, data can be stored in separate coverages; when full topology is required features may be combined into a single coverage. Complex features, groups of features collected together and handled as a single entity, may be modeled. Utilizing these concepts products may be designed as simple or as complex as necessary facilitating efficient storage and use.

Limitations caused by restrictions in computer memory or distribution media capacity require that large geospatial databases be divided into manageable units, or tiles. VPF supports tiling using a concept of organizing primitives by geographic units and provides inter-tile topology to maintain geographic features in a logically continuous manner across tile boundaries. To the user, the data appears as one seamless unit.

Some other features of the VPF which enhance the utility of geographic information are:

Handwritten signature or initials in the bottom left corner of the page.

Self Describing Format - each VPF level has header tables that describe the information contained at that level and a description of the level below. Each VPF table has a header describing the table. This allows software developers to design utility software which can adapt to any VPF database regardless of product design.

On-line Data Dictionary - The VPF data dictionary allows the definition of features and attributes to be carried with the product to avoid misinterpretation by users. The VPF utilizes "Value Description Tables" that specify and describe the feature attributes used in each coverage. Users can employ this capability when adding their own data to the database. They can describe feature and attributes which have been developed solely for their own purposes. These can be defined in the database and passed on for all to use. This allows each coverage to be used by a wide range of users without prior knowledge of a coding system - enhancing interoperability and insuring the data is interpreted correctly.

Data Quality - VPF provides the capability to carry data quality information at the Library, Coverage, and Feature Level. This information will help the user perform geographic analysis. It allows users to weigh a product's accuracy, currency, and completeness when performing analysis.

The VPF standard defines a general database structure and rules for how to model geospatial feature geometry, topology, and attribute information. It does not define what features, geometry, topology, and attributes are to be carried in a data set. Product Specifications are used to describe what is to be included in a data set using the rules defined by the VPF standard. They specify what type of geometry: x-y coordinates on a plane or latitude-longitude coordinates on an ellipsoid, whether these coordinates will be 2-dimensional or 3-dimensional; what level of topology; and what features and what attribution will be carried in a product. All within the limits defined by the VPF standard.

As a Military Standard, VPF documentation is available to the public through the Defense Printing Service Detachment Office. Previously known as MIL-STD 600006, the VPF military standard has been updated and the new version has been assigned MIL-STD 2407. The standard can be ordered by writing to:

Defense Printing Service Detachment Office:  
Standardization Document Order Desk  
Building 4D  
700 Robbins Ave.  
Philadelphia, PA 19111-5094

To understand each DMA product, a product specification must be used along with the VPF standard. These military specifications describe an implementation of the VPF standard. They can be ordered from the above address and are listed along with a description of the products below.

## **VPF DATA AVAILABILITY**

A wide variety of geospatial information is available in VPF. Development of new products continue as DMA customer's requirements and applications expand.

### **Digital Chart of the World/VMap Level 0**

The Digital Chart of the World (DCW\_) is a comprehensive 1:1,000,000 scale equivalent resolution basemap of the world. The database is contained on four compact disc read only memory (CD-ROM). The database contains more than 1,500 megabytes of vector data and is organized in 10 thematic layers. The data includes major road and rail networks, major hydrologic drainage systems, major utility networks (cross-country pipelines and communication lines), all major airports, elevation contours (1000 foot(ft), with 500 ft and 250 ft supplemental contours), coastlines, international boundaries and populated places. The DCW\_ also includes



an index of geographic names to aid in locating areas of interest. The DCW\_ is designed to support geographic information system (GIS) applications.

Edition 2 of the DCW\_ will be released May 1995 as VMAP0 and is undergoing several design changes incorporating it into the Vector Map (VMap\_) series of products. International boundary information will be updated incorporating the latest changes as approved by the US State Department. Vegetation information will be expanded to include all of North America. Global bathymetric information will be added in the form of depth contours. VMAP0, as with all DMA vector products, uses the Feature Attribute Coding Catalog (FACC) which is Part 4 of the Digital Geographic Information Exchange Standard for feature and attribute definition. The DCW\_ is available to the general public (as will VMAP0) through the US Geological Survey, Earth Science Information Center (303-236-7477). The DCW\_ is described in military specification MIL-D-89009.

#### **World Vector Shoreline+**

World Vector Shoreline (WVS+) is a product contained on a single CD-ROM which contains the world's shoreline at an equivalent resolution of 1:250,000. It also includes international boundaries including off-shore territorial boundaries and country names. Also included are representations of the world's shoreline at equivalent resolutions of 1:500,000, 1:1,000,000, 1:3,000,000, and 1:12,000,000. WVS will be available to the general public. Any vendor or publicly available software capable of reading VPF will be able to provide access to this database. WVS military specification, MIL-W-89012A is available as a draft through the INTERNET: GOPHER DMSO.DTIC.DLA.MIL 4350).

#### **Digital Nautical Chart**

Digital Nautical Chart (DNC) products consist of VPF databases comprised of varying resolution libraries over a specified operational area. These libraries contain maritime significant geographic and navigation information typically found on standard nautical charts. Each library consists of 12 coverages: Cultural Landmarks, Earth Cover, Environment, Hydrography, Inland Waterways, Land Cover, Limits, Aids to Navigation, Obstructions, Port Facilities, Relief, and Data Quality. As an example a DNC may contain a General Library containing 1:1.2 million scale equivalent data; a Coastal Library containing 1:300,000 scale data; an Approach Library containing approximately 1:75,000 scale data; and a Harbor Library containing 1:20,000 scale equivalent information. When used by a navigator on-board ship, varying levels of detail are accessed by switching libraries as needed. Several DNCs have been completed and production is underway to cover the world's major ports by 1997. This will be produced by digitizing 4000 nautical charts. The DNC may become available to the general public pending a legal review by the International Hydrographic Organization. Its design is described in military specification MIL-D-89023.

203

### **Vector Map**

Vector Map (VMap\_) is a suite of products which contain basic topographic geospatial data at a variety of levels of resolution. All VMap\_ products contain identical thematic coverages: Boundary, Data Quality, Elevation, Hydrography, Industry, Physiography, Populated Places, Transportation, Utilities, and Vegetation.

**VMap\_ Level 0** VMap\_ Level 0 is identical to the DCW described above.

**VMap\_ Level 1** VMap\_ Level 1 will consist of approximately 234 CD-ROMs covering the world with 1:250,000 scale equivalent information. World coverage is expected by 2000. VMap\_ is fully described elsewhere in this publication. VMap\_ Level 1 CD-ROMs covering areas which are not bound by international agreements restricting release will be made available to the general public. VMap\_ Level 1 design is described in MIL-V-89033.

**VMap\_ Level 2** VMap\_ Level 2 consists of information with a resolution equal to 1:50,000 to 1:100,000 scale data. Individual Level 2 products cover small geographic areas determined by the geographic operational requirements of DMA's customers. Because of the sensitivity of this large scale information within many countries of the world, most Level 2 data will be restricted. The VMap\_ Level 2 design is described in MIL-V-89032.

**Urban VMap\_** As the name implies UVMaP products cover urban areas. These products provide information at resolutions ranging from 1:5,000 to 1:50,000. Although it uses the same 10 thematic coverages as other VMap\_ products, feature content and the level of attribution are much richer. Like Level 2 many UVMaP products will not be releasable to the general public. The UVMaP product design is described in MIL-U-89036.

### **VPF APPLICATIONS**

Listed below are several software applications packages which make use of VPF products. The products mentioned are just a sampling to provide an understanding of what is available. It is not a recommendation; any product which uses VPF and is not mentioned, was left out unintentionally.

#### **VPFView Software**

VPFView software is designed to access any database implemented in VPF. It allows the display of chosen combinations of features or themes for a user selected geographic area of interest. The software supports the display of VPF databases directly from CD-ROM, hard drive, or diskette without loading or converting the data. Display scale can be changed by zooming in or out. Portions of a database can be copied from removable storage media and saved on a computer's hard disk in VPF. Simple plots can be generated in postscript format. Source code is available to provide developers methods for importing the data into their proprietary systems. A users manual is included. Both VPFView DOS (Order Number PB94-501715GEI) and VPFView UNIX (Order Number PB94-501723) versions are available through the National Technical Information Service (NTIS):

Department of Commerce  
NTIS  
5286 Port Royal Road  
Springfield, VA 22161  
703-487-4650, FAX 703-321-8547

### MC&G Utility Software Environment

MC&G Utility Software Environment (MUSE) Version 1.0 was developed by the DMA to provide a sample suite of software exploiting DMA digital products. MUSE operates in the Windows, Macintosh, and SUN MOTIF/Openlook environments. Full source code is provided to allow users to understand and develop their own versions of access software. MUSE provides routines to access and process a wide variety of DMA products such as: Arc Digitized Raster Graphics (ADRG), Compressed ADRG (CADRG), Compressed Image Base (CIB), Digital Terrain Elevation Data (DTED) and a wide variety of VPF products. MUSE supports raster importing, vector importing, demonstration/briefing display tools, map fusion (overlying raster data with vector information), standard DMA datum transformations and coordinate conversions, line of sight computation and display, and perspective scene generation by fusing raster map data and elevation data. MUSE will extract data from VPF products; spatial extent is defined by entering geographic coordinates for the desired area; thematic selection is performed by allowing the users to define the coverages, libraries, and feature types to be accessed. VPF databases can be filtered by attribute by creating "thematic expressions". MUSE is distributed by DMA on CD-ROM along with full documentation and sample data sets.

### Mission Planning Software

**Tactical Mapping System** The Tactical Mapping System (TMS 1.0) was developed by TRW, Systems Integration Group, Camarillo, CA as the mapping component of the US Navy's Tactical Aircraft Mission Planning System (TAMPS). TAMPS is used by Navy tactical aircraft pilots to perform flight, target, and route planning. The TMS is a set of stand-alone discrete functional programs, using common source code, which operates on SUN, HP, Evans and Sutherland, and IBM. The TMS uses all existing standard DMA digital products: DTED, DFAD, ADRG, and VPF products. It also uses most standard imagery database formats: SPOT, LANDSAT, CIB, and National Imagery Transmission Format (NITF 2.0). Databases are used directly without conversion. Modular software uses X and MOTIF to generate displays. 3-D displays are built using PHIGS+. This allows real-time 3-D operations such as fly-through and rotations. TMS provides a full range of geospatial functions such as datum and projection transformations, position and distance measuring, contouring, relief shading, terrain masking, image referencing, database statistics (such as min./max. elevation in an area) threat displays, symbol overlay, panning, zooming, annotation, image enhancement, 3-D perspective modeling, and terrain modeling.

**Air Force Mission Support System** The Air Force Mission Support System (AFMSS) was developed by Lockheed Sanders Inc., Nashua, NH. It is modular in design, incorporating several subsystems. It makes use of aircraft parametric data, threat data, and a wide variety of mapping, charting, geodetic, and imagery data in its Data Preparation Subsystem (DPS). The Mission Planning Subsystem supports a wide variety of missions and aircraft. Mission planning tools include: flight and route planning, weapons delivery and target area tactics, radar, SAR and EO/IR predictions, perspective views and mission fly through. The primary outputs of the Mission Planning Subsystem are the Combat Mission Folder and the Data Transfer Device. The Data Transfer Device is used to upload mission information to aircraft on-board computers and weapons systems. AFMSS enables the user to plan missions for single and multiple aircraft. It provides route optimization, threat analysis, and route analysis. It provides 3-D data related to terrain, threat characteristics, aircraft performance, and weather. Mission rehearsal capabilities show pilots the mission before they fly it. Systems can be networked, multi-seat configurations allow simultaneous planning of mission segments.

205

## MIGRATION TO DIGEST

As a US Military Standard VPF is a controlled document, a stable design model, used for procurement and referenced by product specifications. The VPF geographic data model is based on the geographic model defined in the Digital Geographic Information Exchange Standard (DIGEST). VPF is equivalent to the implementation model defined in DIGEST Annex C, Vector Relational Format (VRF). DIGEST was developed by the Digital Geographic Information Working Group (DGIWG) a group of military map producers from 11 NATO nations. DIGEST, NATO Allied Geographic Publication 3 (AGeoP 3) has been ratified as NATO Standardization Agreement 7074 (STANAG 7074). In keeping with the DoD trend of moving away from the use of military standards, future producers and users implementing this vector relational model will drop the reference to the VPF Military Standard, and instead reference the internationally controlled DIGEST, STANAG 7074.

## REFERENCES

Danko, D.M. August 1992, "The Digital Chart of the World Project," *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 58, No. 8, pp. 1125-1128.

Defense Mapping Agency, 1994, *Digitizing the Future*, Edition 4.

Defense Mapping Agency System Center, June 1994, *User's Guide MUSE Version 1.0*.

US Department of Defense, 13 April 1992, *Vector Product Format*, MIL-STD 600006, Philadelphia, Department of Defense, Defense Printing Service Detachment Office.

US Department of Defense, Under Secretary of Defense (Acquisition & Technology), September 1994, *Modeling and Simulation Master Plan (Draft)*.

# INTEGRATION ET HARMONISATION DES DONNEES CARTOGRAPHIQUES DANS UNE BASE DE DONNEES ENVIRONNEMENTALES A L'ECHELLE NATIONALE

**A. M. DIEYE**

Centre de Suivi Ecologique, Dakar, Sénégal

L'élaboration d'une politique sur l'environnement repose logiquement, sur une connaissance assez approfondie des ressources naturelles au sens large et tous les divers facteurs qui les influencent. C'est la raison pour laquelle, dans le cadre de l'élaboration d'une stratégie en matière d'environnement au Sénégal, la Banque Mondiale et le Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature du Sénégal ont jugé nécessaire la construction d'une base de données environnementale, à l'échelle nationale. Le Centre de Suivi Ecologique du Sénégal (CSE) a été chargé de préparer cette base.

Les données portant sur les ressources naturelles majeures du pays (le sol, l'agriculture, l'élevage, la foresterie) aussi bien des données socioculturelles et démographiques, et celles relatives à la répartition des investissements ont été ciblées dans l'étude proposée. Tandis que, le simple assemblage de toutes ces données pose peu de problème si elles sont disponibles, leur saisie dans un format commun et standardisé peut, par contre être délicat. Sachant que les données ciblées ont été élaborées, à l'origine pour des raisons diverses et répondant à des préoccupations variées (échelle, précision, nomenclature, unité d'agrégation de statistiques, etc.), la probabilité d'erreur consécutive à des opérations de superposition dans un système d'information géographique, devient très importante. Cette communication présentera les démarches de conception et de réalisation de la base de données et les efforts considérables qui ont été menés pour minimiser dans la mesure du possible les impacts d'un manque d'harmonisation entre les différentes couches d'information.

# AFRICA DATA SAMPLER

## A GEOREFERENCED DATABASE FOR ALL AFRICAN COUNTRIES

**N. HENNINGER**

WRI, Africa Data Sampler Project, Washington DC, USA

### **BACKGROUND**

The World Resources Institute has initiated a project to develop and distribute an internationally comparable set of digital maps at a scale of 1:1 million for every country in Africa. The Africa Data Sampler (ADS) will help meet a growing demand from African organizations and donor agencies for digital and paper base maps that can be used to visualize and assess environment and development conditions for the whole country. The ADS will be based on the Digital Chart of the World (DCW) which contains data on drainage, topography, and infrastructure. Additional data on protected areas, forests, mangroves, and wetlands will come from the World Conservation Monitoring Centre (WCMC). Sub-national administrative boundaries with corresponding selected demographic statistics will be provided by the National Center for Geographic Information and Analysis (NCGIA).

These data will be introduced through a series of Guided Tours and Views. The data sets will be stored in geographic-referenced map features with descriptive tabular data. The Guided Tours will use a Windows-based map viewing and query software and are accompanied by descriptive text in a User's Guide. The digital format will allow users equipped with readily available hardware and software to view, query, print, and distribute maps.

Data Samplers will be available for all African countries. Maps from different countries can be easily combined to create regional, watershed, and other transborder maps (albeit with varying data quality within and among countries). Data Samplers for each African country will be distributed on diskette and for the continent as a whole on CD-ROM.

With the release of this prototype Africa Data Sampler, the World Resources Institute and its collaborators, the World Conservation Monitoring Centre and Planning and Development Collaborative International, Inc. (PADCO), are hoping to increase the availability of international digital maps and data, bring spatial information into the policy planning and decision making process, and provide a tool for high quality presentation of environmental information. The distribution and use of the ADS should ultimately work as a catalyst to invest in the construction of more up-to-date and accurate georeferenced databases, especially at the national and local level.

### **USERS AND USES OF THE AFRICA DATA SAMPLER**

The data and structure of the ADS can support three broad levels of expertise and use:

- The Guided Tours and Views in the ADS can be used by non-GIS experts who are interested in reading and analyzing maps. The Tours provide these users with an overview of the data, introduce them to major tools and applications of the map viewing and query software, ArcView, and allow them to prepare simple maps of national parks and forest areas, roads and cities, population densities, and other features which can then be incorporated in reports and presentations.

- Policy analysts can integrate the ADS's internationally comparable data sets (assuming the data quality is judged as adequate) into their own digital maps. Those familiar with spreadsheet programs and ArcView can add and modify attribute data. For example, the data can be used to assess growing stress on critical habitat or cropland. Policy analysts can also use these data to assess national conditions and compare them to conditions in neighboring countries and regions. The ADS can be used in training students to prepare and analyze their own maps.
- Because the ADS is distributed in the ARC/INFO software format in decimal degrees, geographic information from the ADS can be used in GIS applications. GIS experts can either use all or parts of these data in ARC/INFO software or import the data to other widely-available GIS and mapping programs (e.g., Atlas\*GIS, MapInfo, Idrisi). These programs can then be used to edit the data, produce quality cartographic output, or add geographic information. For example, location of projects and project information can be added to the ADS. This information can then be used to help program planners in locating projects in areas of need and assist in project management.

#### **WHAT THE AFRICA DATA SAMPLER IS NOT**

The Africa Data Sampler is not an official national base map for any country. The digital data sets are not comprehensive. They are rather a sample of international digital information made available at a country level. Because of the limitations in scale, compatibility, and data quality inherent in the ADS, it cannot be used in its present form as an analytical tool for a country's planning and decision making in areas such as infrastructure management, environmental impact assessments, forestry concession, or agricultural extension.

#### **HOW TO OBTAIN THE AFRICA DATA SAMPLER**

Country diskettes and the CD-ROM with the continental data set are expected to be released in summer 1995. The CD-ROM will be available for purchase from WRI.

WRI will provide key African institutions such as national environmental information centers, resource planning departments, national NGOs, and universities with a complementary copy of the country specific diskette version and accompanying User's Guide. You can request a data sampler by contacting us directly, indicating briefly the intended use and that you have the necessary hardware and software to run the data sampler. We recommend an IBM or compatible PC with an 80486 or higher processor, a minimum of 8 Megabytes of RAM, and PC ArcView 1 for Windows to run the Guided Tours.

201

**LIST OF PRINCIPAL GEOGRAPHIC LAYERS**

<b>Layer</b>	<b>Feature</b>	<b>Description</b>	<b>Source</b>
<b>BOUNDARIES/BUILT-UP AREAS</b>			
Country boundary	Polygon/Line	Political boundary	DCW
Coastal islands	Point	Islands (part of national territory)	DCW
Land cover features	Polygon	Selected surface features	DCW
Cultural landmarks	Point	Mines, power stations, ruins, etc.	DCW
Urban areas	Polygon	Built-up areas (general shape & name)	DCW
Settlements	Point	Location and name	DCW
<b>INFRASTRUCTURE</b>			
Roads	Line	Primary, secondary roads, and trails	DCW
Railroads	Line	Railroad lines	DCW
Utilities	Line	Power transmission lines & pipelines	DCW
Transport. structures	Line/Point	Bridges, tunnels, etc.	DCW
Airports	Point	Airports	DCW
<b>HYDROLOGY</b>			
Perennial water	Polygon	Lakes and large rivers	DCW
Drainage	Line	Drainage network	DCW
Drainage	Point	Dams, rapids, wells, etc.	DCW
Small lakes/islands	Point	Small lakes and islands	DCW
<b>TOPOGRAPHY</b>			
Contours	Polygon/Line	Elevation contours	DCW
Spot elevations	Point	Points with recorded elevation	DCW
Supplemen. contours	Line	Supplemental line contour information	DCW
Supplemen. spot elev.	Point	Supplemental elevation points	DCW
<b>FORESTS, WETLANDS, AND PROTECTED AREAS</b>			
Forests	Polygon	Tropical forest by type	WCMC
Wetlands	Polygon	Types of wetlands	WCMC
Classified forests	Polygon	National forests and forest reserves	WCMC
Protected areas	Polygon	Parks and managed areas	WCMC
<b>SUB NATIONAL BOUNDARIES</b>			
First Level	Polygon	Administrative units and population	NCGIA
Second Level	Polygon	Administrative units and population	NCGIA

Note: Some data layers may not be available for some countries.



# EXEMPLAIRE DE DONNEES SUR L'AFRIQUE UNE BASE DE DONNEES DE GEO-REFERENCEMENT POUR TOUS LES PAYS AFRICAINS

**N. HENNINGER**

WRI, Africa Data Sampler Project, Washington DC, USA

## GENERALITES

Le World Resources Institute (WRI) à initié un projet afin de développer et distribuer un service de cartes digitalisées au niveau international, à une échelle de 1:1 million pour chaque pays d' Afrique. L'Exemplaire de Données sur l'Afrique (EDA) servira à satisfaire une demande croissante de la part d'organisations africaines et d'agences de donation en ce qui concerne les cartes digitalisées et imprimées qui pourront être utilisées pour représenter et estimer les conditions de l'environnement et du développement dans chaque pays. L'EDA sera basé sur la Carte Digitalisée du Monde (CDM) qui contient des données sur le drainage, la topographie et l'infrastructure. D'autres données sur les zones protégées, les forêts, les mangroves et les marécages seront fournies par le World Conservation Monitoring Centre (WCMC). Le découpage administratif régional ainsi que les statistiques démographiques sélectionnées correspondantes, seront fournis par le National Center for Geographic Information and Analysis (NCGIA).

Ces données seront présentées grâce à une série de Tours Guidés et de Vues. Les bases de données seront mises en réserve sous des caractéristiques de cartes de referencement géographiques avec des données tabulaires descriptives. Les Tours Guidés utiliseront une carte (visible sur Windows) et un logiciel pour visiter et questionner et ils seront accompagnés d'un texte descriptif disponible dans un Manuel d'Utilisation. Le format digitalisé permettra aux usagers qui seront munis du hardware et du software nécessaires de voir, questionner, imprimer et distribuer les cartes.

Les Exemplaires de Données seront disponibles pour tous les pays Africains. Des cartes de différents pays pourront être facilement combinées pour créer des cartes régionales, ou trans-frontalières (avec cependant des qualités de données qui varient au sein et parmi les pays). Les Exemplaires des Données pour chaque pays Africain seront distribués sous diskette, ainsi que sur CD-ROM pour le continent en entier.

Grâce à la sortie de ce prototype d'Exemplaire de Données sur l'Afrique, le World Resources Institute et ses collaborateurs, le World Conservation Monitoring Centre et Planning and Development Collaborative International, Inc (PADCO) espèrent accroître la disponibilité internationale de cartes et de données digitalisées, diffuser l'information spatiale pour les processus de planification et de prise de décisions politiques et fournir un outil pour la présentation de haute qualité de l'information sur l'environnement. La distribution et l'utilisation de l'EDA servira finalement de catalyseur pour investir dans le développement de systèmes de données de géo-referencement plus précis et actualisés, particulièrement au niveau national et local.

## USAGERS ET UTILISATIONS DE L'EXEMPLAIRE DE DONNEES SUR L'AFRIQUE

Les données et la structure de l'EDA peuvent s'accorder à trois vastes niveaux de compétence et d'utilisation:

- Les Tours Guidés et les Vues de l'EDA peuvent être utilisés par des non-experts en SIG qui s'intéressent à la lecture et à l'analyse des cartes. Les Tours offrent aux usagers une vue d'ensemble des données, et les

familiarisent aux principaux outils et aux applications de vue et de questionnement de cartes et de logiciels, ArcView, et leur permettent de préparer des cartes simples sur des parcs nationaux, des zones forestières, des routes et des villes, les densités des populations et autres caractéristiques qui pourraient être ensuite incorporées dans les rapports et les présentations.

- Les analystes politiques pourront intégrer les systèmes de données des EDA qui pourront être comparés au niveau international (en supposant que la qualité des données soit jugée comme étant satisfaisante) dans leurs propres cartes digitalisées. Ce qui sont familiarisés avec les programmes de tabulation (spreadsheet) et ArcView peuvent ajouter et modifier les données attribuées. Par exemple, les données peuvent être utilisées pour évaluer la tension accrue sur les habitats critiques ou les terres cultivables. Les analystes politiques pourront également utiliser ces données pour évaluer les conditions nationales et les comparer aux conditions régionales et celles des pays voisins. L'EDA pourra être utilisé pour entraîner des élèves à préparer et analyser leurs propres cartes.
- Puisque l'EDA est distribué sous le format ARC/INFO software en degrés décimaux, l'information géographique des EDA pourra être utilisée pour des applications SIG. Les experts en SIG pourront alors utiliser soit toutes ces données, soit une partie des données dans le logiciel ARC/INFO, ou importer l'information des données dans d'autres SIG largement disponibles ainsi que des programmes cartographiques (par exemple Altas GIS, MapInfo, Idrisi). Ces programmes pourront être ensuite utilisés pour éditer les données, produire des présentations de cartographie de qualité, ou compléter l'information géographique. Par exemple, la localisation et l'information de projets peut être ajoutée à l'EDA. Cette information pourra alors être utilisée pour aider ceux qui programment les projets, à les localiser dans des zones d'intérêt et contribuer à leur gestion.

#### **CE QUE L'EXEMPLAIRE DES DONNEES SUR L'AFRIQUE N'EST PAS**

L'Exemplaire des Données sur l'Afrique n'est pas une base officielle de cartes nationales pour aucun pays. Les systèmes de données digitalisées ne sont pas exhaustives mais plutôt des échantillons d'information internationale digitalisée qui sont accessibles au niveau national. L'EDA ne peut pas être utilisé sous sa forme actuelle comme un outil d'analyse pour la planification et la prise de décisions d'un pays en ce qui concerne la gestion de l'infrastructure, les évaluations de l'impact sur l'environnement, les concessions forestières, ou l'extension de la frontière agricole. Ceci est dû aux limitations au niveau de l'échelle, la comptabilité et la qualité des données propre à l'EDA.

#### **COMMENT OBTENIR L'EXEMPLAIRE DE DONNEES SUR L'AFRIQUE**

La sortie des diskettes pour les pays, et le CD-ROM accompagné des systèmes de données continentales, est prévue pour l'été 1995. Le CD-ROM sera mis en vente par WRI.

WRI offrira des copies complémentaires de la version spécifique du diskette et un Manuel d'Utilisation aux institutions Africaines clefs, c'est-à-dire aux centres d'information nationaux de l'environnement, aux départements de planning de ressources, aux Organisations Non-Gouvernementales (ONG) nationales et aux universités. Vous pouvez désormais demander un exemplaire de données en nous contactant et en indiquant brièvement l'utilisation voulue et en spécifiant le hardware et le logiciel disponibles pour exploiter l'exemplaire de données. Nous recommandons un IBM ou un compatible-PC muni d'un processeur de 80486 ou supérieur, ainsi qu'un minimum de 8 Mégaoctets de mémoire vive et un PC Arc-View 1 for Windows pour utiliser les Tours Guidés.

## LISTE PRINCIPALE DES COUCHES GEOGRAPHIQUES

Couche	Traits	Description	Source
<b>FRONTIERES /ZONES AMENAGEES</b>			
Frontières du pays	Polygone/Ligne	Frontière politique	CDM
Iles côtières	Point	Iles (qui font partie du territoire national)	CDM
Traits de la couche terrestre	Polygone	Certaines caractéristiques de la surface	CDM
Points de repères culturels	Point	Mines, stations d'énergie, ruines, etc.	CDM
Zones urbaines	Polygone	Zones aménagées (forme générale et nom)	CDM
Agglomérations	Point	Emplacement et nom	CDM
<b>INFRASTRUCTURE</b>			
Routes	Ligne	Routes primaires et secondaires et chemins	CDM
Chemins de fer	Ligne	Lignes des chemins de fer	CDM
Utilités	Ligne	Transmissions d'énergie et tuyauteries	CDM
Structures de transport	Ligne/Point	Ponts, tunnels, etc.	CDM
Aéroports	Point	Aéroport	CDM
<b>HYDROLOGIE</b>			
Eaux Pérennes	Polygone	Lacs et rivières larges	CDM
Drainage	Ligne	Réseaux de drainage	CDM
Drainage	Point	Digues, rapides, puits, etc.	CDM
Petits lacs/îles	Point	Petits lacs et îles	CDM
<b>TOPOGRAPHIE</b>			
Contours	Polygone/Ligne	Contours d'élévation	CDM
Points d'élévation	Point	Points à élévation enregistrée	CDM
Contours supplémentaires	Ligne	Information de lignes suppl. de contours	CDM
Points suppl. d'élévation	Point	Points supplémentaires d'élévation	CDM
<b>FORETS , MARECAGES, ZONES PROTEGEES</b>			
Forêts	Polygone	Forêts tropicales par type	WCMC
Marécages	Polygone	Genres de Marécages	WCMC
Forêts classifiées	Polygone	Forêts nationales et réserves de forêts	WCMC
Zones protégées	Polygone	Zones et parcs aménagés	WCMC
<b>FRONTIERES REGIONALES</b>			
Premier niveau	Polygone	Unités administratives et population	NCGIA
Deuxième niveau	Polygone	Unités administratives et population	NCGIA

Remarque: Certaines données des couches peuvent ne pas être disponibles pour certains pays.

# AN INTEGRATED SPATIAL MODEL FOR RESOURCE MANAGEMENT, NORTH WEST COAST, EGYPT

**F. H. ABDEL-KADER**

Soil and Water Science Department, Faculty of Agriculture, Alexandria University

## SUMMARY

1. Goal and purposes: The overall goal of this study is to examine the bio-physical and socio-economic dynamics of the Wadi Naghamish/Wadi El Garawla area of the NW-Coast of Egypt. The six main components of the study are:

- 1- Understanding Production Systems;
- 2- Evaluating Water and Soil Constraints;
- 3- Soil and Landform Evaluation;
- 4- Land Use Dynamics;
- 5- Interrelationships between Water, Soils and Land Use; and
- 6- Linking Biophysical Constraints with Indigenous Knowledge
- 7- Geographic Information System (GIS) as an integration tool.

2. Technical approach: A comprehensive resource and socioeconomic database is being developed in a spatially referenced manner for Wadi Naghamish and Wadi El Garawla region east of Marsa Matrouh. The research was done by an integrated team with focus in four areas: hydroclimate, soil-land use, socio-economics, and GIS-modelling (Fig. 1).

3. Training requirements: Training was provided in the use of the GIS technology (Terrasoft) and in the use of Rapid and participatory Rural Appraisal (RRA, PRA) and farming systems analysis techniques.

4. Data sources and quality: A geo-referenced data base has been developed and additional information is being compiled as it becomes available from the soils, hydrology and socio-economic teams. Six 1:25,000 topographic map sheets are used as the base map. Thematic information includes slope, aspect, elevation, climatic and hydrological monitoring stations, check dam and cistern locations, land cover, soil sample locations, soil unit boundaries, household boundaries, subtribe boundaries and land ownership.

5. Product generation and distribution: GIS based production limitation map will be produced that consists of the following components: winter precipitation and key storms, nutrient deficiencies, salinity, moisture, soil depth, stoniness limitation, fuelwood, platability and carrying capacity. A combined production limitation map will be produced and distributed.

6. Use and Impact: The model will enable an evaluation of the resource constraints, potential environmental degradation processes and resource use options of the local inhabitants given the current internal and external pressures on people and resources.

216

# WADI NAGHAMISH PROJECT NORTH WEST COAST, EGYPT

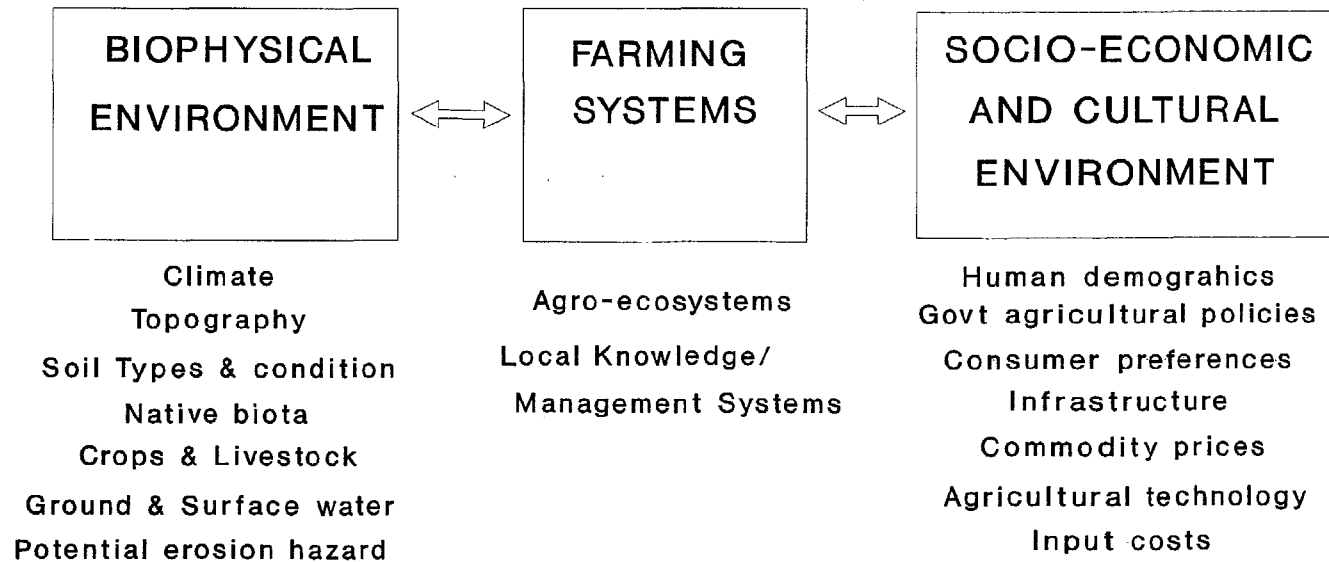


FIG. (1): BASIC CONCEPTUAL FRAMEWORK

# MONITORING VEGETATION COVER AND ESTIMATES OF TIMBER POTENTIAL BY REMOTE SENSING IN THE FRAME OF NATURAL RESOURCES MANAGEMENT IN WEST AFRICA (CASE STUDY OF BENIN)<sup>11</sup>

**K. U. KOMP**

EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, Münster, Federal Republic of Germany

## ABSTRACT

Agricultural development in great parts of West Africa is increasingly hampered by the deterioration of natural resources. The demand for arable land, resulting from population growth, has reduced the duration of the fallow period, led to the cropping of land normally only suitable for grazing and undermined the tree cover. This general problem has led in the case of the Republic of Benin to unfavorable results like: a loss of production potential due to decreased soil fertility; significant erosion on cultivated hillsides and growing pressure on protected land. Sustainable balance between food supply and demand requires the improvement of land assets and management, sedentarization and intensification of agriculture, improved growing methods, and hence protection of natural resources.

The inventory of actual vegetation is a basic need for any effort towards a natural resource management to stop this degradation process. Remote sensing methods have proved to contribute essential information to those regions. Benin's newly Natural Resource Management Project (PGRN) demonstrates how remote sensing and GIS can be integrative tools of a national environmental pilot project. Unlike former times a multidonor community of World Bank, Germany, France and FAO have evaluated the project commonly and set up a financial scheme of 24.5 million dollar for the first project phase. This paper analyses the relation of the project components, located in different pilot sites and first results of remote sensing activities.

## 1.0 NATURAL RESOURCES

### 1.1 GENERAL SITUATION

In the tropical zone of our planet, natural resources are more and more put under pressure due to a strong increase in population coinciding with the continuation of archaic forms of land use and rural life. Shifting cultivation together with overgrazing and timber exploitation for export have led to deforestation processes of different kinds.

While the rain forest zones are affected by forest exploitation and land reclamation for settlement and agriculture degradation processes in tropical dry forest regions the problems are different. In the Sahelian and Sub-Saharan Africa cattle husbandry has been extended during the last decades above the ecological potential. Some years with less rain turned out to be critical for the survival of the mostly transhumant herds of cattle. Penetrating the savannah zones during the dry seasons cattle herds are now reaching the dense dry forest zones where they start an irreversible process. The dense forest areas become partly interrupted in their canopy closure, which enables not only the development of grassland in the forest but also the process of bush fires. Within a few years those forests are transformed into tree savannahs and later even into bush savannahs.

<sup>11</sup> Presented at the International Symposium "Operationalization of Remote Sensing", 19-23 April 1993, TTC Enschede, The Netherlands.

## 1.2 PROBLEMS AND SOLUTION ATTEMPTS

All the solution attempts in the last years have more or less failed, like the TFAPs (Tropical Forest Action Plan), because they were not centered on the interests of the rural population concerned. Where the struggle for surviving is predominant, there is hardly no chance to make people sensitive for long-term or mid-term perspectives of a greater community of people - not to mention global change ideas.

New approaches try to start off from the rural population concerned to help them define development strategies of their own. The positive effects of self-motivation will lead to more sustainability - if successful. That means that nobody shall impose the villagers to cut forest trees anymore but to show them how to use their available resources in such a way that will not destroy the ecological functions of the forest coverage. Nobody should believe that rural population in Africa is unable to see ecological needs, but their perception is well different from those in industrialized country who discovered their environmental responsibility only after having used their own as well as the Third World resources without care. On the other hand villagers have already started to realize that consecutive costs are created because of their miss-management of natural resources. Simple examples are the sometimes unbearable costs for mechanical deep-drilling of new water wells after even several generations of hand digged wells don't give water anymore due to ground-water level reduction. The other direct experience is that women sometimes already have to spend more than a whole day away from their herds to collect fire wood in quantities their mothers still could collect within two or three hours. Even if the costs of the degraded environment are not always directly measured in terms of money, a lot of the opinion leaders of the rural population have already realized that the natural resources within their action field are no longer unlimited.

## 2.0 MANAGEMENT OF NATURAL RESOURCES

### 2.1 THE REPUBLIC OF BENIN

Benin has an area of 113,000 km<sup>3</sup> and a population of 5,2 million estimated for end of 1992, 65% of whom live in rural areas. The population is increasing at an average of about 3,2%. Most of the population is concentrated in the south of the country, belonging to the sub-equatorial climatic zone with 900 to 1500 mm annual precipitation. The next zone to the north of the Guineau-Sudanese type is characterized by 1000 to 1200 mm precipitation and well marked seasonal temperature variations. The north is characterized as semiarid zone of the Sudanese type with rainfall between 900 and 1100 mm and high evapotranspiration (cf. BRIZZI 1992, 1-2). The socioeconomic situation is characterized by 75% of the employment in the primary sector, but this primary sector only contributes about 40% to the GDP which was about US\$ 380 in 1989. Apart from some cash cropping in the south, mostly cotton and some palm oil is produced. The agrarian production is subsistential which makes the country self-sufficient.

Stockraising with about 1 million cattle, 2 million small ruminants and half a million hogs, represents one fifth of the agricultural production. About 7 million ha of available pasture are only partially utilizable because of the absence of watering points. Three quarters of this area is in the northern provinces, where the low utilization of space gives rise to traditional extensive stockraising.

Fuelwood consumption, currently estimated at 5,2 million tons, is increasing in line with the growth of the rural population: this has led to significant deforestation effects in some regions and to uncontrolled exploitation throughout the whole country. Although some tree cover is still found in about 65 % of the country, most of the vegetation is greatly degraded. The competition between farming, stockraising and forestry, the spread of bush fires, the disappearance of the forest cover as a source of fuelwood, the decrease of soil fertility, possible climatic changes, the silting up of lagoons and the consequently disappearance of fish resources, are all being

accelerated by increasing demographic pressure. Shifting cultivation is still the most common practice, to the detriment of the natural savannah. Increasingly, fallow land is subject to bush fires and overgrazing with secondary effects of disappearance of gallery forests and bush, resulting in lowered groundwater levels and increased run off trigger soil losses, riverbank erosion and silt-up of watercourses and village wells.

## 2.2 MULTI DONOR PROJECT

Based on the awareness of the environmental problems described, a Natural Resources/Environment Project was identified in March 1989 by the government of Benin with the assistance of a number of donors. In November 1989 the International Development Agency (IDA) approved a project preparation fund to finance preparatory activities and specific studies with the participation of the World Bank, Germany, France and the United Nations (FAO and UNDP). In 1992 the project was approved with an financial schema of 24.5 million US\$, shared between IDA (58%), Germany (21%), France (9%), UNDP (3%) and the Government of Benin (9%).

The project has started with its Central Management Unit in 1992 and since then the different project components are being installed: They will combine institution-building activities on national level with site-specific field activities of three types (see figure 1). The main components are:

### \* Institution-building

- \* Institution support, comprising strengthening of the planning, management and monitoring/evaluation capability;
- \* Training of farmers and local communities, multidisciplinary extension agents, specialized technicians, land management teams and planners.

### \* Site-specific activities

- \* Management of forest resources at three pilot sites (see fig. 1), comprising the formulation of sustainable development concepts by the local population;
- \* Watershed development at four pilot sites (see fig. 1) with active participation of the village communities concerned in planning and management;
- \* Land tenure operations at the same pilot sites in view of introducing improved national land legislation;
- \* Research and development activities to be tested at the pilot sites to improve the agro-silvo-pastoral land use towards a sustainable balance;
- \* Wildlife management to be promoted on two pilot sites of the natural park and game reserve areas.



## 2.3 ROLE OF OPERATIONAL REMOTE SENSING

### 2.3.1 Methodology

Remote sensing techniques have been developed and used for cartographic and regional inventory purposes of many disciplines like geology, forestry, agriculture, settlement analysis, etc. Rapid changes in world trade relations have a direct influence on the economic suitability of soils or other resources. They demand new knowledge about productive potentials or other related basic data which can be gained neither from experience nor from old maps. Under the conditions of a restricted time and financial budget the method of integrated thematic evaluation of remote sensing data is highly effective in providing the required reliable planning data. The combination of planning methods with evaluation of remote sensing data have recently developed from a tool for regional analysis to an instrument of decision making.

Decision for future development very often has to rely on the analysis of former changes. But who can exactly tell how the environment has changed during the past by just regarding recent problems without comparable data of the previous situation? The systematic and sequential monitoring provided by the various remote sensing techniques allow the reinterpretation of existing data for new problems arising. Examples of deforestation and its consequences on soil erosion and regional climate show the political impact.

Two decades after the beginning of regular satellite earth observation programs with the launch of LANDSAT 1 the benefits of air and space technologies for earth resources observations, environmental monitoring and regional rural development programs have been demonstrated all over the world. Recent improvements in techniques of data acquisition and especially in evaluation methods pave the way towards a new, cost-effective application in both urban and rural areas. Remote sensing gives a rapid overview of an entire region and provides in combination with GIS techniques (Geographical Information Systems) important new informations.

For the application of remote sensing techniques with respect to vegetation, landuse and assessment of development potential there are possibilities for evaluating multispectral reflection characteristics. The only solution for obtaining informations within reasonable time and budget is a multispectral and multi-source evaluation of remote sensing data combined with GIS technology for the integration of additional information from existing maps.

The approach is to provide a set of thematic maps appropriate for the planning of natural resource management. Possible data sources are SPOT-XS scenes with preference from the time December to March, but the most important data material however is Landsat-TM acquired from the beginning of the dry season to use under conditions of full vegetation cover the bands 3, 4, 5, 7 for their discriminating capabilities. In areas with great settlement changes and without actual maps 1:50.000 additional SPOT-P data or aerial photographs are used to define the road network and smaller settlements.

The evaluation process starts with the determination of reference points from existing topographic maps at a scale of 1:50,000, geometric resampling of each band to the same cartographic reference system (UTM). After mosaicking the scenes from this multiband data set two preliminary products for a field sample survey are prepared. The first document to use in the field is a geometric corrected satellite image map. For the quality of integration of data with different ground resolutions the method using IHS-transformation is applied in combination with specific filtering techniques. The second field document contains a preliminary classification map derived from unsupervised classification to lead the survey team to sample sites where class definitions can be verified.

# Natural Resources Management Project

## P G R N BENIN

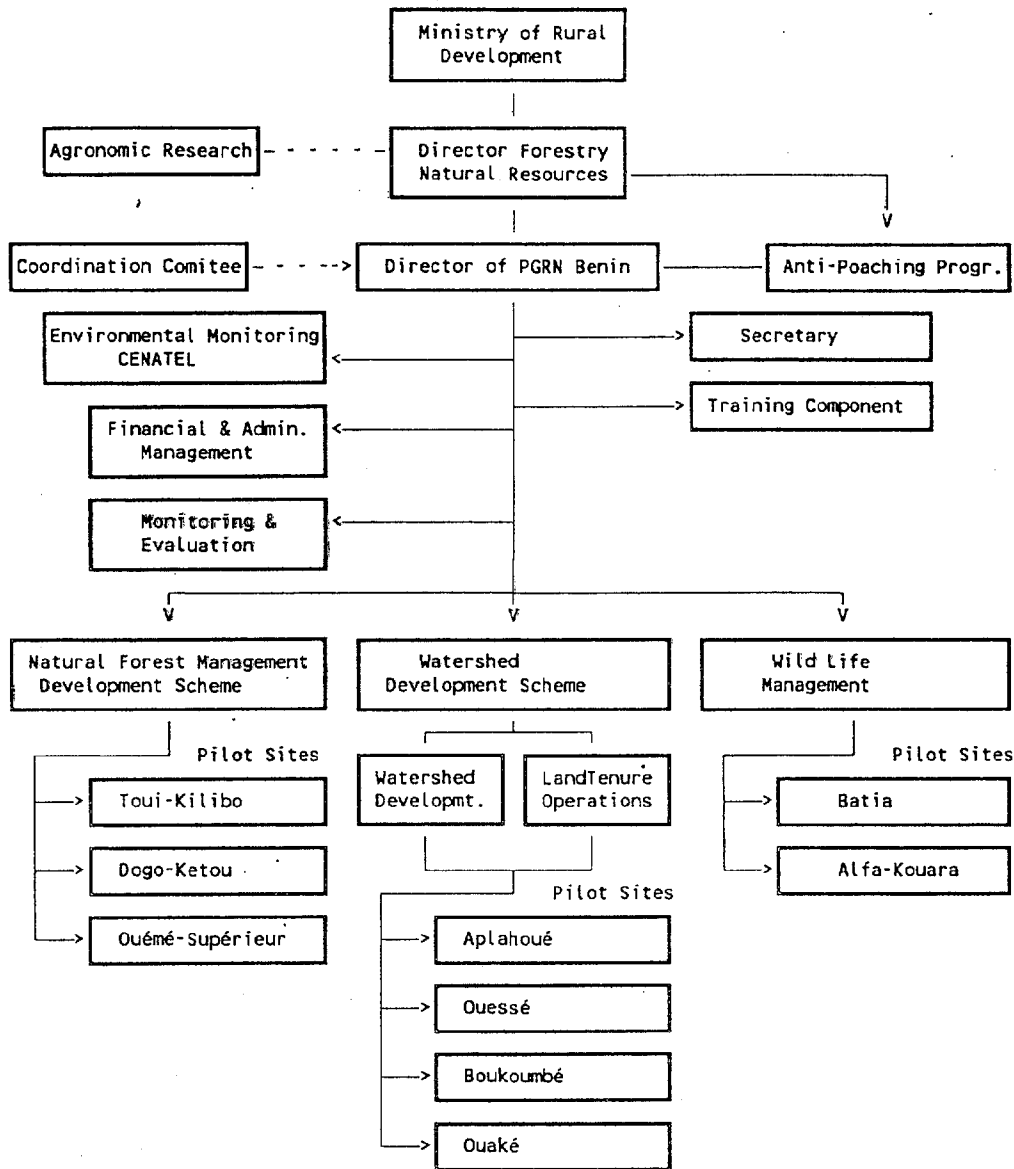


Figure 1: Organization structure of PGRN Bénin

The second phase focusses on the sample survey in the field where specialists like foresters, agronomists or land use planners - both with remote sensing background - are conducting the sampling in collaboration with the specialists from the Ministry of Agricultural Development, Bénin.

The third phase consists of the incorporation of the results from the field sampling, the existing thematic maps and the existing topographical base map 1:50,000 into a common data base together with the remote sensing data sets. For this purpose selected map informations are digitized as well as the locations of the sample survey. The results from the sample survey are used as training areas for a supervised classification of the remote sensing data. In combination with the other data stored in the GIS-data bank the following thematic maps will be derived:

- \* Inventory map of vegetation cover, infrastructure and current landuse
- \* Change detection map with respect of degradation of natural resources.

### 2.3.2 Institution Building

The National Remote Sensing Center of Benin (CENATEL) has been created with the end of the study for an eco-floristic map at scale of 1:500.000 which has been published by the FAO. This small operational unit continued services in the frame of the Forestry Directorate and for other projects in the field of photointerpretation, cartography and black & white photo lab processing. During the evaluation missions this structure has been chosen to be taken as a nuclear cell for further strengthening towards processing of satellite data and GIS technique.

The CENATEL will be responsible as part of the natural Resources Management Project for environmental monitoring and for updating of other relevant information on natural resources through remote sensing. The organisational set-up of the center (see fig. 2) seems to be quite exaggerated with four technical divisions and one administrative service to organize a permanent staff of 8 on the state budget and some 6 occasionals. But during the course of the project there may be the need to fill this organisational frame with the appropriate staff to assure service of remote sensing and thematic cartography.

In the meantime the activities for the first year of the project are mainly concentrated on the training and the upgrading of equipment. A long term technical consultant will sustain the director of CENATEL in organisation and technical matters. Short term experts will secure the training components and technical installations, additional limited individual training schemes to be conducted abroad have been set up and started as well.

221

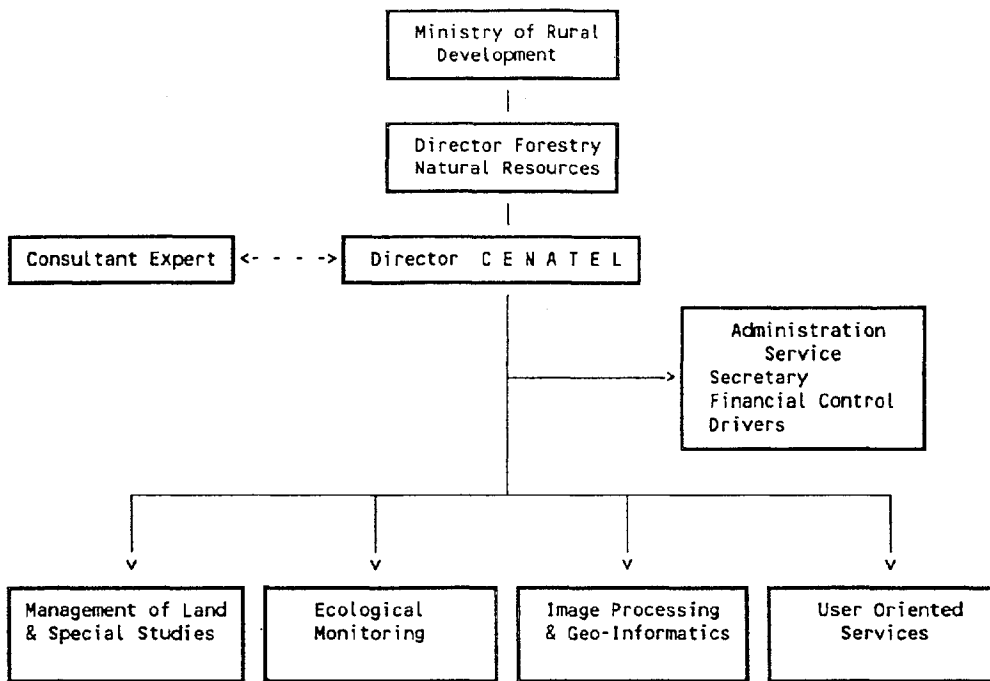


Figure 2: Organisation of National Center for Remote Sensing CENATEL BENIN

### 3.0 MONITORING VEGETATION COVER

#### 3.1 CARTOGRAPHIC SITUATION IN BENIN

Topographic mapping gives a first spatial information for various planning purposes. The situation of topographic mapping in Bénin is suffering from the former french colonial efforts without updates. While the whole country has been covered in an international reference system by topographic maps 1:200.000 the maps at 1:50.000 have only been issued for 35% of the area. But regarding the actuality of the maps, most of them are based on aerial photographs taken between 1947 and in the early 1950ies, except one sheet 1:200.000 issued in 1987. The situation for thematic maps is not better.

The absence of uniform thematic maps of the entire country has often been pointed to as a serious lack. Such maps are necessary not only for planning and as an aid to decision making in rural development, but also for the identification and appraisal of existing natural resources and their level of degradation.

#### 3.2 THEMATIC MAPPING 1:100.000

In addition to specific local needs, involving the management of watersheds, forest sites, pasture, etc., there is an urgent nationwide need to inventory resources, to update existing maps, and to monitor erosion and plant cover. The map of current land use and plant cover is necessary for the following activities:

- \* location of watersheds, forests and land use units;
- \* interrelation of farming, herding, infrastructure etc.;
- \* identification of transhumance patterns and agro-silvo-pastoral interactions;
- \* monitoring of forest ecosystems and forest resources.

In view of the map printing capabilities available in the country the sheet layout has been set to 30 minutes by 30 minutes, resulting to 46 maps for the nationwide coverage. After one pilot sheet to be contracted out, in 1993 five maps will be prepared, to be followed by annual lots of 10 sheets to achieve a complete coverage within five years (see table 1). The image processing will start in March 1993 with special training courses on the ERDAS software, installed on two PC based working places. During the year of 1994 an additional installation of a workstation with a network to the PCs and other peripherals will complete the hardware equipment of the center.

**Table 1: Operational System for Vegetation Map 1:100,000 of Bénin**

Results	Activities
1. Vegetation Map 1.1. Field documents	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Selection and acquisition of satellite data</li> <li>* Purchase of topographic maps</li> <li>* Digitization of administrative boundaries, ecological zones etc.</li> <li>* Determination of reference points</li> <li>* Preparation of geometric correction according to map projection and mosaics of satellite data with radiometric balancing</li> <li>* Unsupervised classification</li> <li>* Issue of rectified Image Map (Field Doc.1)</li> <li>* Issue of preliminary map of land use (FD 2)</li> </ul>
1.2 Field Sample Survey	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Field sampling for interpretation key</li> <li>* integration of results as reference sites</li> </ul>
1.3 Classification	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Supervised classification of vegetation cover and land use</li> <li>* GIS-operations to integrate results of RS and digitized information</li> <li>* Calculation of statistics of land use</li> <li>* D/A conversion of the results on color separation film for printing</li> </ul>
2. Map Printing	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Polychrome offset printing (subcontract)</li> </ul>
3. Diachronic Study	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Digitization of old documents/ maps and Integration into GIS data base</li> <li>* Acquisition of old satellite data</li> <li>* Recalculation of the old data for the criteria of the new map</li> <li>* Classification of a change detection map</li> <li>* Issue of Color change detection map</li> </ul>
4. Report	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Preparation of a working report</li> <li>* Preparation of an explanatory note</li> </ul>

### 3.3 GIS SET UP

Satellite images require additional later analysis by foresters, geomorphologists, city planners, agronomists, agrostologists, etc. in order to build up a Geographic Information System (GIS) by "layers" and provide maps derived from it. The GIS chosen for the CENATEL of Benin is ArcInfo with the link to ERDAS. The maintenance outlooks for the world-wide distributed software is most promising. While parts of the training will be organized during the preparation of the pilot sheet, special training courses will be held at Cotonou during the second year of the project after the staff has received intensive image processing training.

223

## 4.0 PILOT SITE OF FOREST MANAGEMENT

### 4.1 GAZETTED FOREST OF TOUI-KILIBO

In 1942 the forest of Toui-Kilibo was placed under state ownership like many other forests at that time in order to protect specially the source regions of important watersheds against clearing, logging and overgrazing. As these gazetted areas became extraterritorial of the rural communities no one felt really responsible for those forests except the forestry directorate which was in the last decades too weak either to protect the forests nor to make the reasons for their classification to the rural population around them understandable. The gazetted forest of Toui-Kilibo being one of three pilot sites is located between 250 and 300 km north of Cotonou along the river Okpara which constitute the frontier to Nigeria in this part. Its area is estimated to be about 43,500 ha from which about 20 % of its forest has been cleared and about half of it degraded (cf. BRIZZI 1992 p.42, MAMA 1992b, OUARAKPE 1992).

### 4.2 VEGETATION COVER

In the frame of the first project activities a first inventory map of the gazetted forest of Toui-Kilibo has to be prepared by means of satellite data together with an estimate of the ligneous potential. As due to technical and meteorological constraints the aerial photographs to be planned for the early dry season of 1991/92 became not available in time, the survey was based on the integration of LANDSAT-TM and SPOT-XS data and additional field sampling. During the field sampling for reference sites (cf. table 1) for this area additional relascope measurements (ZÖHRER 1980) were made to receive samples on stocking rates, heights and quality aspects of the forest formations to be defined in collaboration with foresters and plant scientists (cf. LETOUZEY 1982, MAYDELL 1983). The classes determined are shown in the legend of figure 3 which gives an overview of the cartographic presentation of the results.

During the field sampling 467 sites have been recorded as reference sites from which 145 have been used as training sites for the supervised classification. The classification results were compared with the digitized 467 sites of the field survey and showed a 89 % agreement (gallery forests) and still a 73,5 % agreement for the cultivated/ fallow class where the effects of bush fires led to some ambiguities with bush fires in savanna strata. The rocky outcrops, settlements and earth roads couldn't be recognized at all, they had to be digitized from visual interpretation of the satellite data in comparison with B&W aerial photography which became additional available towards the end of the evaluation activities. The statistical results are presented in the last column of table 3.

### 4.3 ESTIMATE OF LIGNEOUS POTENTIAL

During the field sampling survey additional relascope measurements were carried out at 174 circular sample sites presenting 0,02 % of the total area, or 0,05 % of the area with tree cover. The unsupervised classification was used to make an a-priori stratification to assure that each of the strata will be presented with a minimum number of sample sites (cf. HILDEBRANDT 1991, ZÖHRER 1980). The problem was that for the natural savanna formations of Bénin no volume tables have been prepared up to now, so that the evaluation could only work with alternative form coefficients of 0.5, 0.7, and 0.9. Taken the most pessimistic estimate into consideration the forest of Toui-Kilibo contains actually some 2.6 million m<sup>3</sup> of overall ligneous volume, of which some 1.1 million m<sup>3</sup> is of timber with more than 10 cm in upper diameter. This could allow in the frame of the PGRN a moderate exploitation more than a million Dollar per year without reducing the resources but with positive income effects for the local population which may reduce the stress of shifting cultivation on the forest.

#### 4.4 DEVELOPMENT ASPECTS

The quality of vegetation cover within the gazetted forest of Toui-Kilibo has dramatically changed since the last 20 years due to increased population pressure and increased grazing by transhumant cattle troops. The impression arises that the gazetted area is partly subjected to heavier human and animal pressure than neighbored forests which remain under local ownership of villages and rural communities. To give an example of the land use pressure figures 4 and 5 show the area of the village Ayétoro situated in the gazetted forest in one meander of the Okpara river near the Nigerian border in 1992 and the forest formations 18 years ago.

Besides the problem of degradation of the forest cover this village shows also the problem of the lacking infrastructure. Ayétoro is one of the rare settlements already equipped with a school and football field (left of the village) due to the initiative of the small community itself. But concerning water, communication or medical care it is one of the unexistent places in the gazetted forests without any subsidies from the state.

A preliminary diachronic study based on the evaluation of older aerial photographs is reported by MAMA 1992b, but cannot be compared throughout all classes because of some differences in nomenclature and methodology of interpretation. However it is obvious that in 1949 when there were no settlements in the gazetted area, still 98 % were covered by forest. The most dramatic reduction of the clear forest formation took place only after 1975 when cultivated and fallow area rised by factor 10 nearly (table 2).

**Table 2: Dynamic of land use and vegetation cover of the Gazetted Forest of Toui-Kilibo**

Vegetation Cover/ Land Use	1 9 4 9	1 9 7 5		1 9 9 2	
	Area [%]	Area [%]	Change [%]	Area [%]	Change [%]
Galery Forest	2.25	1.99	-11.6	2.4	*
Galery Forest, degraded				4.0	*
Clear Forest/ Wooden Savannah	75.69	69.70	- 7.9	26.3	-62.3
Tree Savannah (S. arborée)	10.56	12.15	+15.1	34.1	+180.6
Bush Savannah (S. arbustive)	10.41	13.08	+25.6	9.2	-29.7
Plantation	-	0.59	+100.0	0.2	-66.1
Rocky Outcrops	0.3	0.3	0.0	0.5	+66.7
Cultivation/ Fallow	0.79	2.13	+169,7	21.2	+895.3
Settlement	-	0.06	+100.0	0.2	+233.3
Watercourse/ periodical W.				1.5	*
Earth Road	-			0.3	*
<b>Total</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>		<b>100.0</b>	

\* Not comparable due to methodological differences

\*\* see MAMA 1992

\*\*\* see EFTAS 1992

205

## 5.0 CONCLUSIONS

In the frame of the Natural Resources Management Project PGRN of the Republic of Bénin various applications of remote sensing and GIS techniques will play an important role for basic planning information as well as for monitoring the project effects. The gazetted forest of Toui-Kilibo has been surveyed as the first of seven pilote sites because of its known degradation by transhumance activities together with strong settlement and agriculture pressure. For the area of 43,500 ha a remote sensing based survey has been carried out in 1992 to set up a GIS. Results have been prepared in form of a vegetation inventory map 1:25.000, an estimate of ligneous volumes to judge the potential for natural rehabilitation and statistics on land cover. Together with the newly discovered settlements in the gazetted area the next step will be the formulation of a strategy to manage and protect the resources still remaining with the participation of the rural population concerned.

## 6.0 REFERENCES

- BRIZZI, A. (1992): "Republic of Benin - Natural Resources Management Project" Staff Appraisal Report No. P-9982-BEN of the World Bank, Washington Febr. 18, 1992, 75pp.
- CENTRE TECHNIQUE FORESTIER TROPICAL (Ed.) (1983): "Bois Tropicaux" = Publication no 12 du CTFT, Nogent-s/M, 143 pp.
- DELVINGT, W., HEYMANN, J.-C., SINSIN, B. (1989): "Guide du Parc National de la Pendjari", Bruxelles
- EFTAS GmbH (1992): "Forêt Classée de Toui-Kilibo - Carte de Végétation - Rapport final" Technical Report for the Natural Resources Management Project of Bénin, Münster, 75 p.
- ERDAS (Ed.) (1991): "Erdas Field Guide" - Second Edition, Version 7.5, Atlanta, xxii, 394 pp.
- HILDEBRANDT, G. (1991): "On the use of high resolution satellite data for forest mapping and monitoring in developing countries", manuscript, Freiburg 201pp.
- KOMP, K.-U. (1991): "Remote Sensing - Tools for Development" = Schriftenreihe der GTZ 221., publié par Office allemand de la Coopération Technique (GTZ), TZ Verlagsgesellschaft mbH, Roßdorf, 63 pp.
- LETOUZEY, R. (1982): "Manuel de Botanique Forestière - Afrique Tropicale", Tomes 1, 2a, 2b, Nogent-s/M, 193 pp, 210 pp, 461pp.
- LILLESAND, T.M., KIEFER, R.W. (1986): "Remote Sensing and Image Interpretation", New York ..., 612pp.
- MAMA, V. J. (1992a): "Etude du couvert végétal et de ses modifications", en: Suivi Ecologique, Bulletin d'information du Centre National de Télédétection et de surveillance du couvert forestier, Cotonou, pp. 14 - 28.
- MAMA, V. J. (1992b): "Contribution de la Télédétection à l'aménagement de la Forêt Classée de Toui-Kilibo" Symposium on recent developments in cartography and remote sensing, 30.11.-04.12.1992, Ile-Ife, Nigeria.



MAMA, V.J., ZOUNDOH, L.Y., HINVI, T. (1992): "Les forêts classées: un patrimoine en danger", en: Suivi Ecologique, Bulletin d'information du Centre National de Télédétection et de surveillance du couvert forestier, Cotonou, pp. 29 - 40.

MAYDELL, H.-J. v. (1983): "Arbres et arbustes du Sahel - Leurs caractéristiques et leur utilisation", = Schriftenreihe der GTZ, Nr. 147, publié par Office allemand de la Coopération Technique (GTZ), TZ Verlagsgesellschaft mbH, Roßdorf, 531 pp.

OUARAKPE, B. (1992): "Inventaire de la forêt classée Toui-Kilibo - approche méthodologique", en: Suivi Ecologique, Bulletin d'information du Centre National de Télédétection et de surveillance du couvert forestier, Cotonou, pp. 50 - 57.

REHM, S., ESPIG, G. (1976): "Die Kulturpflanzen der Tropen und Subtropen", Stuttgart.

SCANVIC, J.-Y. (1983): "Utilisation de la Télédétection dans les Sciences de la Terre". = BRGM, Manuels et Méthodes No. 7, Orléans.

TONI, E.O. (1992): "Etude de la dynamique des écosystèmes de la forêt classée de Toui-Kilibo", en: Suivi Ecologique, Bulletin d'information du Centre National de Télédétection et de surveillance du couvert forestier, Cotonou, pp. 41 - 49.

ZÖHRER, F. (1980): "Forstinventur - Ein Leitfaden für Studium und Praxis" = Pareys Studentexte 26., Hamburg/Berlin, 207 pp.

# GIS PERSPECTIVE ON MODELLING LAND USE AND ENVIRONMENTAL CHANGE IN THE AFRAM PLAINS OF GHANA

**S. K. KUFOGBE**

Dept. of Geography & Resource Devt., University of Ghana, Legon, Ghana

## **1. BACKGROUND**

This report summarises part of an on-going Ph.D. research which seeks to examine the relevant biophysical and socio-economic parameters which underpin the rapidly changing pattern of land use and the environment in the northern forest-savannah transition zone of Ghana. The study sites are selected from the Afram Plains (Kwahu North) district in the Eastern region (Fig. 1). The area, which until the last two decades was generally pristine, has become the most rapidly increasing agricultural frontier in Ghana (Dickson & Benneh, 1989; Diaw and Schmidt-Kallert, 1990). It has, in recent times, experienced the highest incidence of in-migration as well as unprecedented government and NGO investments in agriculture and infrastructure in Ghana. These activities, in a cause and effect relationship, are bound to have serious consequences in terms of ecological stability and the sustainability of the prevailing agricultural land use systems, notably through deforestation and soil nutrient depletion. Already, there appears to be signs indicating scarcity of forest land for cocoa and yam cultivation in some parts of the area.

Unlike the better known agricultural frontiers of Akyem, Akwapem, Ashanti and Brong Ahafo in Ghana where accelerated anthropomorphic processes dating as far back to between 100 - 300 years have led to widespread environmental degradation and noticeable threats to the life support systems, the Afram Plains is still largely pristine and therefore provides excellent location for monitoring and modelling land use patterns, processes and policies (Hill, 1963 & 1970; Boateng, 1966).

One major drawback for effective land use planning and environmental monitoring in LDC's is the lack of spatial data and its manipulation for optimum utilisation of natural resources. The potential for using Remote Sensing techniques and GIS in this regard has been recognised (Prince et. al. 1990; Reenberg & Rasmussen, 1990)

## **2. DATA REQUIREMENTS**

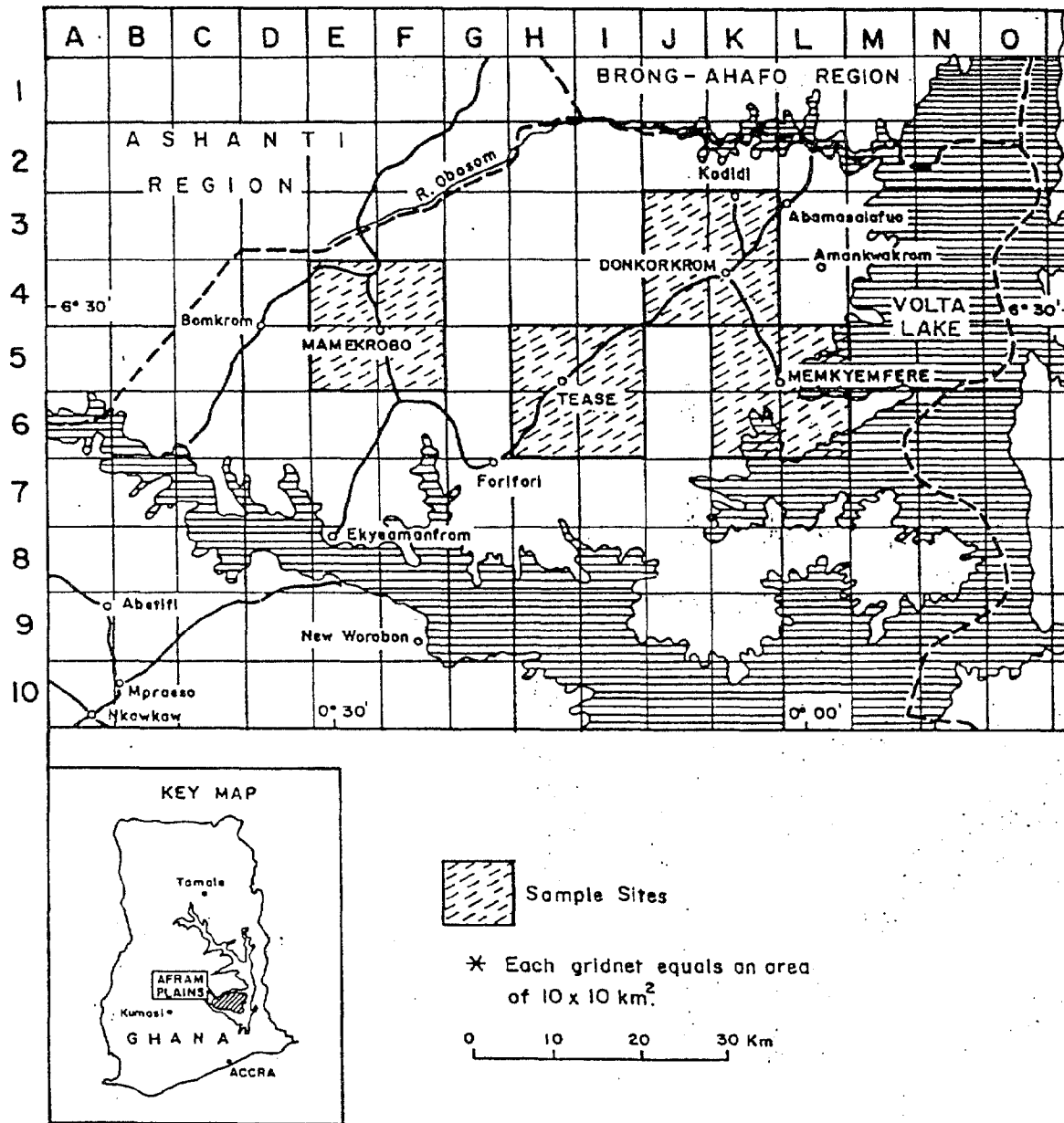
The basic data for the study comprise SPOT-XS images for 1988, 1990 and 1992; Landsat MSS for 1986; black and white aerial photographs on scale 1: 30,000 for 1960s and 1972; and topographical maps of 1974 on scale 1:50,000.

Ground field data would be collected on soil and vegetation parameters. Additional field data will be collected on socio-economic indicators of change, notably on population, settlement and land use practices.

## **3. TECHNICAL APPROACH**

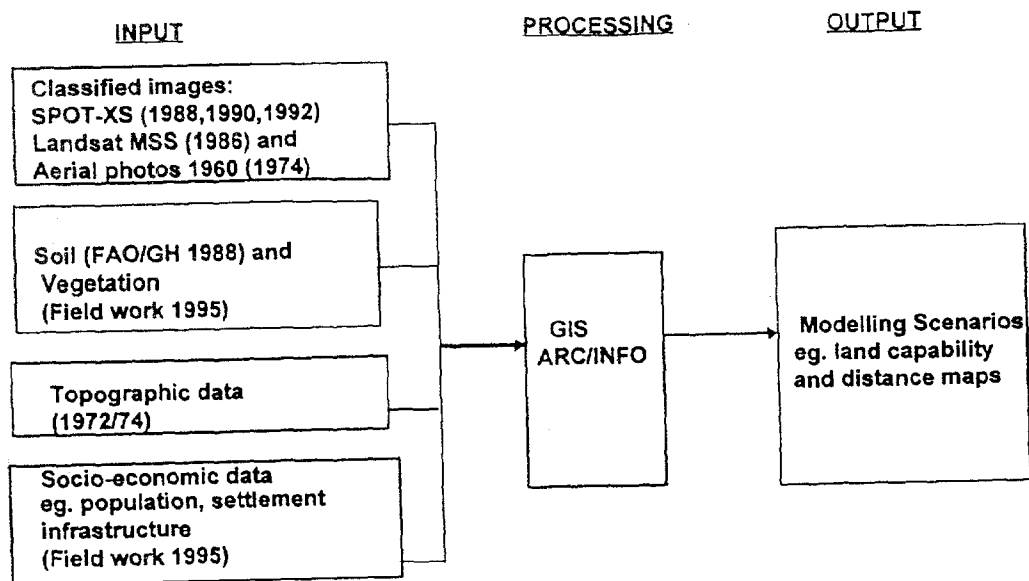
The methodology for this paper emphasises the integration of both visual and digital techniques of image interpretation for generating the required change-detection data for integration into GIS to produce the requisite outputs (Fig 2). Data are being collected from district, community as well as the farm/household levels within the context of an experimental spatial sampling frame (Reenberg, 1993).

Fig. 1 LOCATION OF AFRAM PLAINS DISTRICT  
(KWAHU NORTH)



229

Fig. 2 Methodology



Work has started on the digital image processing on SPOT -XS images using the CHIPS<sup>12</sup> software. The images have been geometrically corrected using ground control points (gcps) derived from topographical maps on scale 1:50,000 for 1974 and GPS measurements. The results, so far, are satisfactory.

Box classification has been carried out to provide the framework for selecting training area for maximum likelihood and textural classifications. Aerial photo interpretation is also being carried out on sample localities in order to provide some "ground truth" for the digital analysis and also for details not covered by the satellite data.

It is expected that in addition to ground truthing of land use/cover information being derived from satellite imagery and aerial photographs, field methods comprising identification of vegetation and soil parameters will also be conducted.

Output from remote sensing and field data/measurements will be formulated as requisite information layers for integration into GIS for generating modelling scenarios using the ARC/INFO software.

<sup>12</sup> The Copenhagen Image Processing System (CHIPS) was developed by the Institute of Geography, University of Copenhagen, Denmark.

230

#### **4. EXPECTED OUTPUTS**

- Change detection maps at district and locality level
- Tabular data of land use characteristics and parameters
- Analytical data on the changing status of soils, species composition of the flora and fauna
- GIS modelling scenarios from relevant spatial data eg. capability maps

Preliminary field work was conducted in October -November, 1994 and detailed field work is scheduled to be completed by December, 1995.

#### **ACKNOWLEDGEMENT**

This study is being supported by University of Ghana, and DANIDA through the Institute of Geography University of Copenhagen, Denmark.

#### **REFERENCES**

- Boateng, E.A. (1966) A Geography of Ghana. CUP. Cambridge.
- Dickson, K.B. & Benneh, G. (1988) A New Geography of Ghana. Longman.
- Diaw, K and Schmidt-Kallert, E. (1990) Effects of Volta Resettlement in Ghana - A Reappraisal after 25 years. Institut fur Afrika-kunde. Hamburg
- Hill, P. (1963) The Migrant Cocoa Farmers in Southern Ghana. C.U.P.
- Hill, P. (1970) Studies in Rural Capitalism in West Africa. C.U.P.
- Prince, S.D., C.O. Justice & S.O. Los (1990) Remote Sensing of the Sahelian Environment. A Review of the current status and Future Prospects. EEC DGVIII
- Reenberg, A. & Rasmussen, K. (1990) Remote Sensing of Agricultural Production and Land Use in northern Burkina Faso. Report to DANIDA. Institute of Geography, University of Copenhagen, Denmark.
- Reenberg, A. (1993) Landscape mapping in Diffa Department, Niger. Proceedings of seminar on Satellite Remote Sensing of the Environment and Agriculture in Developing countries: Held of Institute of Geography, University of Copenhagen 24-25 May, 1995 p.135-145.

231

## PRESENTATION DES PROBLEMES ET DES ENJEUX DE LA NORMALISATION EN AFRIQUE

**M. LUMEAUX, M. POULAIN**

IGN, PARIS, France

La condition du réemploi de données issu de projet réside dans une connaissance claire de leurs conditions de fabrication : précision, exhaustivité, nomenclature utilisée. L'une des voies consiste à définir des classes de qualité couvrant si ce n'est l'ensemble au moins la grande majorité des opérations susceptibles d'être conduites. La définition de cahier des charges types et de critères de qualité des travaux favoriserait la réutilisation des données d'information géographique dans des systèmes nationaux ou régionaux d'information.

Utiliser des données cohérentes déjà produites selon des normes strictes suppose en outre que leur existence soit connue, que leur conservation soit assurée dans de bonnes conditions, que leur diffusion soit facilitée techniquement et juridiquement. Sans aller jusqu'à des projets comme le MSDI américain, la nécessité d'informer sur la consistance des données existantes doit être réaffirmée et la mise en place au niveau national de systèmes documentaires chargés de l'archivage dans des conditions satisfaisantes de la documentation géographique sous toutes ses formes (numérique ou papier, photos aériennes ou satellites) et de sa diffusion sans discrimination auprès de tout utilisateur public ou privé soit être encouragée. En terme de normalisation ceci implique des normes de documentation et d'archivage; en terme d'harmonisation de définir les règles juridiques facilitant la diffusion des données.

Ces différents problèmes ne sont et ne seront pas traités sous cette forme au sein des instances internationales de normalisation comme l'ISO qui se préoccupent en priorité de la normalisation des systèmes plutôt que de celle des données qui reste du ressort des structures normatives ou réglementaires nationales, régionales ou par catégorie d'utilisateur (DGIWG, Organisation hydrographique internationale, industriels de l'automobile). Ce sont les Africains eux-mêmes qui doivent prendre à leur compte la normalisation des données en Afrique.

Dans quelque contexte que ce soit, la normalisation a pour objectif d'améliorer les performances économiques en facilitant la circulation des produits, en réduisant les coûts de production et en protégeant le consommateur. Dans ces conditions, la définition d'une politique nationale ou régionale de normalisation ne peut être élaborée en dehors des modes de fonctionnement du système économique concerné. Ces principes, vrais dans le cadre général, s'appliquent bien entendu à l'information géographique africaine. Il n'est pas certain, de ce fait, que les normes élaborées dans les instances internationales essentiellement orientées vers le monde économique développé soient celles dont, par priorité, a besoin l'Afrique. Quel que soit l'intérêt pour elle, que des normes soient produites permettant l'interopérabilité des systèmes et la circulation de l'information géographique sur les autoroutes de l'information, celles-ci ne résoudront pas les problèmes de cohérence et de disponibilité de l'information géographique et cartographique qui sont d'abord, pour elle, à résoudre.

La connaissance du territoire et de ses ressources est une clé du développement tant par ses aspects fonciers, qu'environnementaux, agricoles, miniers ou industriels. Or malgré les efforts financiers réalisés par les pays ou par les bailleurs de fonds pour constituer des fonds d'informations géographiques dans le cadre des projets de développement, trop peu d'information localisée est accessible et utilisable en dehors des projets ayant justifié leur constitution.

Cette situation tient, entre autre cause, à la diversité des donneurs d'ordres bailleurs de fonds multilatéraux ou bilatéraux, opérateurs publics ou privés, organisations non gouvernementales qui appliquant chacun ses propres règles ne contribuent que peu à la constitution d'un fonds cohérent de documentation sur le territoire.

Un tel objectif, pour être rempli, suppose que les données issues des différentes opérations soient géographiquement cohérentes, qu'elles répondent à des critères de qualité connus et mesurables, que leur existence soit connue, leur archivage et leur diffusion assurés. Ces quelques règles permettent de définir une stratégie de normalisation pour l'Afrique.

La cohérence géographique ne peut être assurée que par l'utilisation d'un système de référence et d'un système de coordonnées obligatoire par pays, ces systèmes permettant l'utilisation à pleine capacité des moyens modernes de positionnement. Le rattachement des systèmes nationaux à un système de type WGS84 est la condition première de cette normalisation.

# BREAD MAKING AND DESIGNING RESOURCE INVENTORIES: THE GIS CONNECTION

**H. G. LUND, W. GIBSON**

USDA Forest Service, Washington, DC, USA

**W. H. WIGTON**

Agricultural Assessments International Corp., Upper Marlboro, MD, USA

## **Abstract:**

The output from a geographic information system (GIS) can be no better than the input. The sources of much data that feeds a GIS are resource inventory and mapping activities. If inventories are to be entered into a GIS then they must be designed with that use in mind. Considerations for the data collection efforts include appropriateness of the sampling designs, sampling and non-sampling errors, objectivity and quality control of measurements, and methods used for geo-registering field plots and map lines. Using an analogy of the steps needed to make bread in a bread making machine, the authors present an overview of geographic information and recommendations for data collection.

## **The Bread Making Machine**

My wife often works in the evenings, I do most of the cooking. She frequently gives me new kitchen implements to use. I am not sure what message she is trying to convey, but I do appreciate them and use them. This past Christmas, my wife gave me with a bread-making machine. To use the machine, one selects the kind of bread to be made, assemble the ingredients, puts them into the machine in layers, press the proper buttons and in two to three hours later, a tolerable loaf of "home-made" bread is produced. That is all there is to it! The machine does the mixing, kneading, rising, punch-down and baking - all automatically.

The bread machine reminds me of a geographic information system (GIS): Data are put into it in layers, buttons are pushed, and a nice product is produced. Unlike the bread machine, however, one can dump nearly any data into a GIS and still produce a nice-looking product. And, unfortunately, people are often impressed by appearances rather than quality.

There is an old computer saying - GIGO - Garbage In - Garbage Out. There is another old saying that you cannot make a silk purse out of a sow's ear. Unfortunately with today's computer technology we can unintentionally make sow's ears look like silk purses and garbage seem like gold with the users never being the wiser. And appearances of maps and map-like products do influence people (Monmonier 1991 and Wood 1992).

## **The Recipe**

The goal of AFRICAGIS '95 is to lay down the basis for GIS activities in Africa. The key to success is the "I" in GIS - the information or ingredients going into it. As with a bread machine, there are some rules for using a GIS, that must be followed to ensure a good product:

1. Determine the what decisions the administrator needs to make (what kind of bread he or she wants).



2. Identify the analyses to be done and what information needs to be gathered to meet those needs (the ingredients and amounts).
3. See what is available (check your shelves for the ingredients)
4. Determine the suitability of existing information (check your ingredients for quality, quantity and expiration data)
5. If the data are not available, then you collect the needed information (go to the market).
6. Maintain objectivity and quality control in the data collection process (acquire, measure, and handle ingredients carefully and according to the recipe).
7. Enter data into the computer (put stuff in the bread machine).
8. Perform the analysis (start the machine).
9. Evaluate the results (taste the bread) and change as needed.

This paper discusses steps 1-6. Other papers in this conference deal with the remaining steps.

### **The Ingredients**

The first step in developing any information system is to determine the information needs. Since the theme of this conference is "integrated geographic information systems useful for a sustainable management of natural resources in Africa," the term "sustainable" implies some very specific information needs.

By sustainable, we mean that we can maintain or increase the current production of the natural resource. To achieve sustainability, we may need not only information about the resources themselves but also the factors that can impact the resources. Factors, for example, which contribute to deforestation are grazing, fuel gathering, and shifting agriculture. Factors contributing to fuel wood gathering and shifting agriculture in turn are increase populations and urbanisation. To halt deforestation, one *must* mitigate population growth and increase the productivity of lands already devoted to agriculture. To expand the forest resource one needs to know the capability of the non-forested lands. Thus to sustain the forest resources the decision-maker not only needs information about the forested lands but about non-forested lands as well including those devoted to food production and urbanisation. If a GIS is to be used *in* the analysis, then data about these sectors have to be geo-referenced.

### **The Shelf**

Those of us in the information business owe it to our employers and publics to provide them with the best information available. Unfortunately as we are populating our GIS data bases, we often grab the data we have residing on our shelves. This may or may not be appropriate depending on the decisions to be reached, how the data were initially collected and the quality control that went into the data collection process. Simply put, you cannot make the right decisions with the wrong data.

If your data were collected before you got your GIS, chances are it may not be what you need. In all probability the data were collected with a specific purpose in mind and not designed to be combined with data sources. The acquisition and mapping may have been nothing more than a person's perception of the status of

235

a resource crudely draw on a map using a grease pencil. Since the primary user of the data was the person collecting it, this sufficed his or her needs.

Keep in mind that two or more data source will be combined in a GIS. By doing so, general information tends to override specific, bad drives out good, and errors in data tend to multiply not divide.

Data bases and maps concerning natural resources are especially complex. Boundaries, although gazetted a site specific, are often fuzzy. Mapped polygons usually contain many inclusions. Data recorded and stored are often averages for the site. When such information is overlaid with more specific data or higher resolution data sources, error in interpretations can be made.

### **Check Quality of Ingredients**

Assuming the kinds of information you need are available and are geo-referenced, there are several things to look for in evaluating the existing information -including the source of the information, objectivity of data collection methods, standards followed, and when the information was gathered (Lund and Thomas 1995).

In looking at the source, make sure it is credible - done by a group that knows what it is doing. Have there been any problems noted about the data or the data source? Next look at how the data were collected. Is the method statistically valid? Is there an accuracy assessment, what is the "resolution" of the data or mapping? Why were the data collected, who is using it and for what purpose? When were the data obtained or the maps produced? Has there been any updates?

### **The Market**

In addition to sustainability, this conference focuses on "integrated geographic information systems." By integration, we mean the parts have to come together into a whole. This means there has to be some continuity and commonality between the parts. In most GIS applications this means often means that data sources have to be similarly geo-referenced and to same scale and resolution. In resource inventory this may mean that data are collected in a multiple resource inventory (MRI) data collection, unbiased and un-interpreted, and made available for all sectors to use. Data are essentially collected once and used by many. Guidance on how to design integrated inventories may be found in Lund (1986).

With data in a GIS, there is more likelihood that someone else will be using the information that you gather. Therefore the data residing in a GIS should be objective and unbiased. The more people who will be using the data the more "correct" it needs to be and the more one needs to document how the data base were created and upon what information. This includes: the source of information, who was responsible, why and for what reason how the data were collected and what was the quality assurance and control.

If you need to collect new information, use this opportunity to see partners in the venture. Partners would be those who need similar information at the local, national, regional or global level including both government organizations and non-government organizations. These partners may be potential sources of funds, expertise, and perhaps additional data.

There are three areas for consideration for resource inventories - 1. the objectivity by which the samples were chosen, 2) the objectivity and quality control in the actual field measurements, and 3) the methods used to geo-register the location where the observations were obtained with the coordinate system to be used in the GIS.

Objectivity of inventory sample selection - Use statistically valid or scientifically based sample designs and avoid curbside cruises or windshield surveys. A variety of sampling designs applicable to inventorying natural resources may be found in Lund and Thomas (1989) and other sampling texts.

Measurements - "The important thing is not what you do, but how you measure it" (Horwood n.d.). Make measurements as precise as possible. Record and store actual measurement, instead of interpretations or

classes. For example if measuring forest canopy coverage record the actual measurement (e.g. 15 percent) instead of a class such as "open."

Geo-referencing - Register plot locations, stand boundaries, etc. to coordinate system that will be used in the GIS. The use of global positioning systems are a preferred method of getting coordinates. Fall backs include annotating plot locations or stand boundaries on aerial photographs and then either register the photographs electronically or to transfer the information using stereoplotters to a control base. The last resort is to "eyeball" transfer data from aerial photographs to base maps and then digitize that information.

### **The Handling**

Have a program of quality assurance and control. Follow national or international standards. Spot check field crews and photo interpreters to see that standards and procedures are being followed correctly. Have a penalty or reward system for assuring quality.

Calculate the reliability of the inventory or resource mapping activity.

Most sampling texts such as Lund and Thomas (1989) give procedures for calculating sampling errors in resource inventories. Similarly, many recent mapping and GIS texts such as Congalton (1994) have procedures for determining the accuracy of spatial information.

Include the information on the reliability of the inventory or maps with the documentation for the GIS. Document the source date, and quality of data being entered in the GIS and make this information readily available to the users and decision makers.

### **Conclusions**

In this paper, we have briefly looked at some potential problems with using existing information in a GIS for sustainable development of natural resources. We have looked at how to evaluate existing information and steps to go through in collecting new data for use in a GIS.

Administrators and decision-makers need good data. People's lives, livelihoods, and futures may depend on it.

### **References**

Congalton, E.G, ed. 1994. Unlocking the puzzle. Proceedings International Symposium on the spatial accuracy of natural resource data bases. 1994 May 15-20; Williamsburg, VA. Bethesda, MD: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. 271 p.

Horwood, Edgar M.n.d. 10 Laws of data processing and information systems. Seattle, WA: University of Washington. 1p.

Lund, H. Gyde. 1986. A primer on integrating resource inventories. Gen. Tech. Report W0-49. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 64 p.

Lund, H. Gyde; Thornu, Charles E. 1989. A primer on stand and forest inventory designs. Gen. Tech. Report W0-54. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 96 p.

Lund, H. Gyde; Thomas, Charles E. tech. coords. 1995. A primer on evaluation and using existing information for corporate data bases. Gen. Tech. Report W0-62. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. In press.

Monmonier, Mark. 1991. How to lie with maps. Chicago, IL: The University of Chicago Press. 176 p.

Wood, Denis. 1992. The power of maps. New York: The Guilford Press. 248 p.

# L'EXPERIENCE DE DEUX ANNEES D'ACQUISITION DE DONNEES SATELLITAIRES DANS LE CADRE DU PROJET DE GESTION DES RESSOURCES NATURELLES

**V. J. MAMA**

Centre National de Télédétection et de Surveillance du Couvert Forestier, Côte d'Ivoire

**K. KOMP**

EFTAS, Münster, R.F. d'Allemagne

## Résumé

La République du Bénin qui est l'un des pays à étendue modeste de la côte du Golfe de Guinée, souffre des effets économiques de la dégradation de ses ressources naturelles. Les effets résultant de l'agriculture itinérante avec des périodes de jachère de plus en plus courtes, de la transhumance, du surpâturage et de l'accroissement de la demande en bois de chauffe ont alerté les autorités nationales du Bénin qui ont sollicité l'assistance des bailleurs de fonds qui sont la Banque Mondiale, la GTZ (RFA), la CFD (France), le PNUD pour initier le projet de Gestion des Ressources Naturelles dont le financement de la première phase s'élève à 24,5 millions de Dollars US.

Afin de pallier la situation cartographique du Bénin, devenue obsolète pour servir de base à la gestion environnementale, il a été donc question de s'appuyer sur des techniques de la télédétection pour produire les informations de base sur le couvert végétal, l'utilisation des terres et des ressources forestières. Conformément à cette politique sus visée, une composante du projet devra renforcer le Centre National de Télédétection pour produire les cartes thématiques à la demande des volets dudit projets. Ce renforcement inclut l'installation d'équipements de traitement d'image et de système d'information géographique, l'assistance technique à long terme et la formation des cadres.

Après environ deux ans, 80 % du pays sont couverts par les données de satellites à haute résolution qui sont archivées au CENATEL. L'expérience accumulée dans le domaine de l'acquisition des données satellitaires se trouve présentée dans ce document.

Elle comprend non seulement la recherche, l'achat et l'exploitation des données satellitaires mais aussi la collecte des données existantes dans les autres projets et leur centralisation au CENATEL.

Les problèmes rencontrés, souvent les moins attendus sont entre autres: la station de réception de Maspalomas est devenue non fonctionnelle pour l'acquisition des données LANDSAT, décalage entre les positions nominales des données SPOT, maintenance du matériel, querelles entre institutions, etc..

L'expérience d'utilisation d'autres données comme ERS-1, IRS ou KW-100 n'a pas été concluante pour des raisons techniques.

Les leçons qui se dégagent de ce projet peuvent être d'un certain intérêt pour les pays en développement qui constamment se plaignent de n'avoir pas d'accès aux données en raison de l'insuffisance des mécanismes de financement. L'expérience du CENATEL mérite d'être présentée, comme un cas pratique à développer pour résoudre les problèmes techniques, météorologiques, institutionnels et commerciaux relatifs à l'indroduction de la télédétection dans les pays en développement.

# EXPERIENCES GAINED WITH THE ACQUISITION OF SATELLITE DATA IN THE FRAME OF THE NATURAL RESOURCES PROJECT OF BENIN (PGRN)

## Summary

The Republic of Bénin - being one of the minor states at the coast of the Guinean Gulf - is suffering from the economic effects of its declining natural resources. The major factors are an increase of the population of about 4% combined with the continuation of archaic forms of exploitation of the natural resources. Shifting cultivation with reduced fallow periods, transhumanting cattle husbandry and increasing demand for fire wood have alerted national responsables and international donor agencies to set up an important project of natural resources management. In its first phase a financial scheme of 24.5 million US dollars has been allocated by the World Bank, Germany, France and FAO to start the project in 1992.

As the mapping situation of Bénin was about three decades behind and even worse for environmental information, it has been decided to rely on remote sensing techniques to provide the necessary informations on vegetation cover, land use and forest resources. In line with the development policies of the donors there was a project component designed to strengthen the existing structure of the Centre National de Télédétection to provide the thematic mapping for the demands of the project by means of a long term consultancy including installation of image processing equipment, GIS facilities and training on the job.

After two years about 80% of the country are covered by high resolution satellite data archived by the CENATEL. The experience accumulated during this time is subject to the paper presented. It comprises not only the search and purchase of data but also the transfer of tapes acquired by other projects on the name of the Republic of Bénin into the CENATEL in order to built up a central facility of satellite information. Different kind of difficulties occurred mostly unexpected: the failure of the Maspalomas ground station for the acquisition of LANDSAT data, unconventional shifts between nominal and real location of SPOT data, the jealousy of other public institutions in Bénin to acknowledge the new competence for space data, etc. The attempts to other data like ERS-I or Russian KWR-1000 failed for technical reasons. The lessons from this project may be certainly of interest for other developping countries as well, who mostly complain only that they have no access to the data they want because of insufficient funding. The experience of CENATEL will be pointed out in practical hints which knowledge has to be developped to tackle the various technical, meteorological, institutional and commercial problems related to the introduction of remote sensing data into developping countries.

## DONNEES DE BASE

### **Situation initiale**

Manque d'information géographiques et lorsqu'elles existent, elles sont obsolètes.

ex: des 19 feuilles de la carte topographique au 1/200.000 couvrant le pays, 1 seule feuille a été révisée et ce depuis 1987.

La seule carte présentant l'état du couvert végétal date de 1980.

### **Conséquence**

Cette situation ne permet pas de disposer des données fiables et actuelles sur les Ressources naturelles:

Empêche l'optimisation des prises de décision en matière de gestion des Ressources Naturelles.

### **Approches**

- Mise en place du projet de Gestion des Ressources naturelles avec plusieurs volets, aménagement forestier, bassins versant, foncier, faune, formation et suivi environnemental.

- Les nouvelles techniques de télédétection et de SIG sont utilisées pour produire les informations de base nécessaires au suivi environnemental.

Le Centre National de Télédétection et de Surveillance du Couvert Forestier a été renforcé pour satisfaire le PGRN en données géographiques pour l'exécution des activités des autres volets et pour le suivi environnemental.

Entre autres activités, le CENATEL élabore dans le cadre du PGRN la carte de végétation du Bénin à partir des données satellitaires.

Le présent document expose l'expérience de deux années d'acquisition de données satellitaires.

## DONNEES SATELLITAIRES DISPONIBLES

### **Scènes d'images SPOT:**

- Acquisées par PGRN: 36/52

- Acquisées par autres projets: 6

Total: 42

Superficie couverte: 80%

Valeur estimée à 40 millions CFA

### **Scènes Landsat TM**

- Acquisition par PGRN:

- Acquisition par autres projets: 2

Total: 9

Superficie couverte: 95%

### **Scènes Landsat MSS**

- Par PGRN: néant

- Par autres: tous pays 100%

% de superficie couverte: 100%

Valeur données LANDSAT estimée à 23.5 millions de FCFA.

### **Autres données**

- ERS-1: Le Bénin est situé juste en bordure du périmètre

L'acquisition est prévue mais il faut attendre la mise en service de la station mobile de Libreville.

- Données NOAA: Acquisition est prévue mais pas prioritaire le Bénin ne couvre que 250 \* 700 pixels.

Atelier:  
Accès aux Données

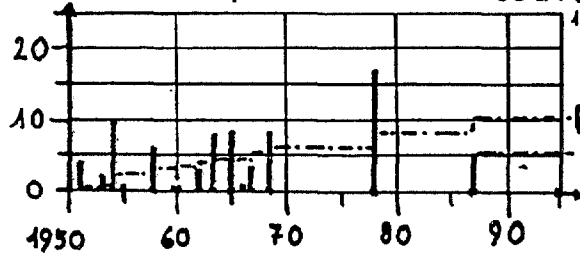
# Africa GIS '95

Abidjan/Côte d'Ivoire

V. J. MAMA  
(CENATEL) Cotonou

K. U. KOMP  
(EFTAS) Allemagne

Nombre Feuilles publiées

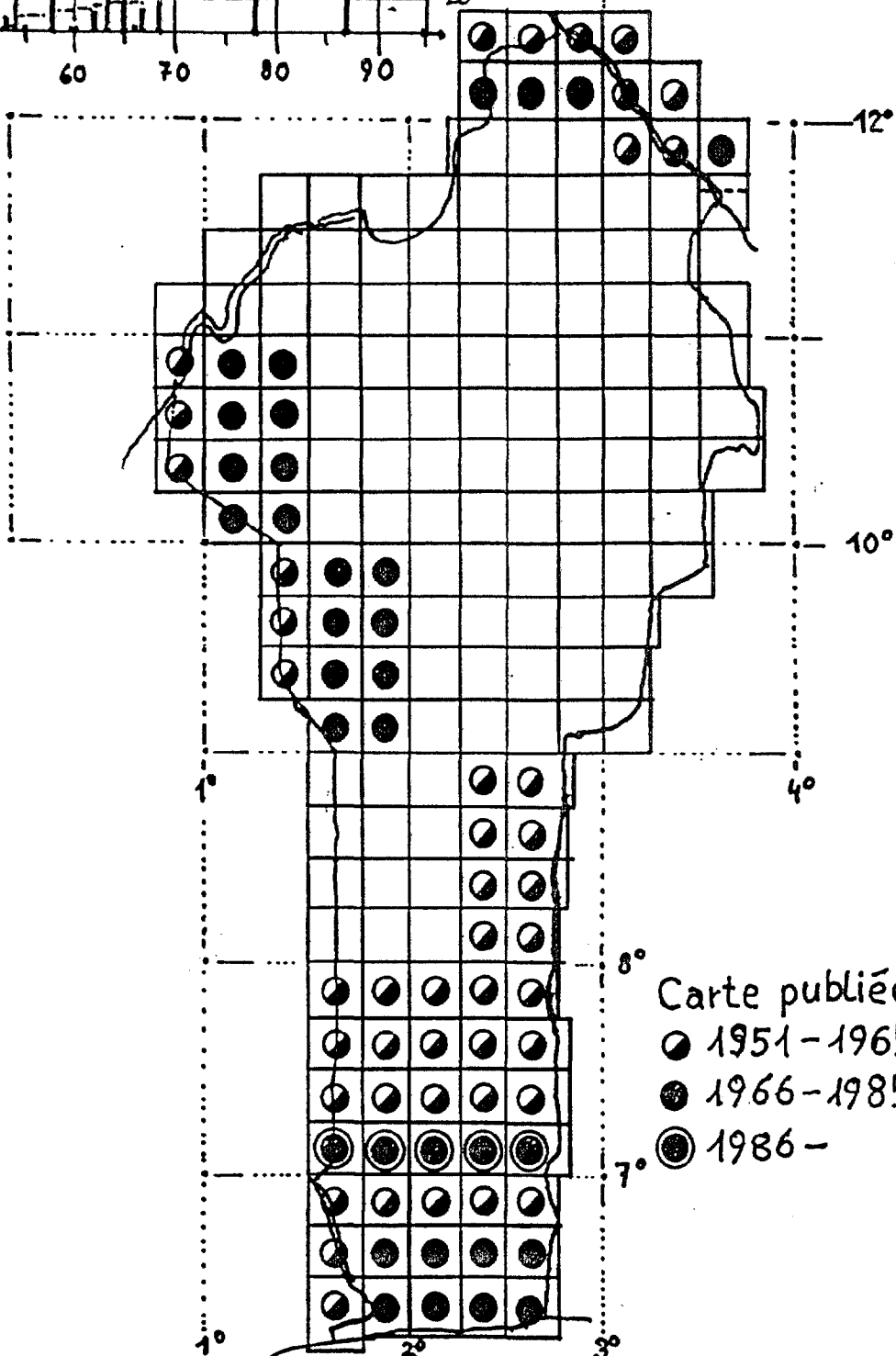


Couverture

100 %  
80 %  
60 %  
40 %  
20 %

République du Bénin

Cartographie 1/50.000

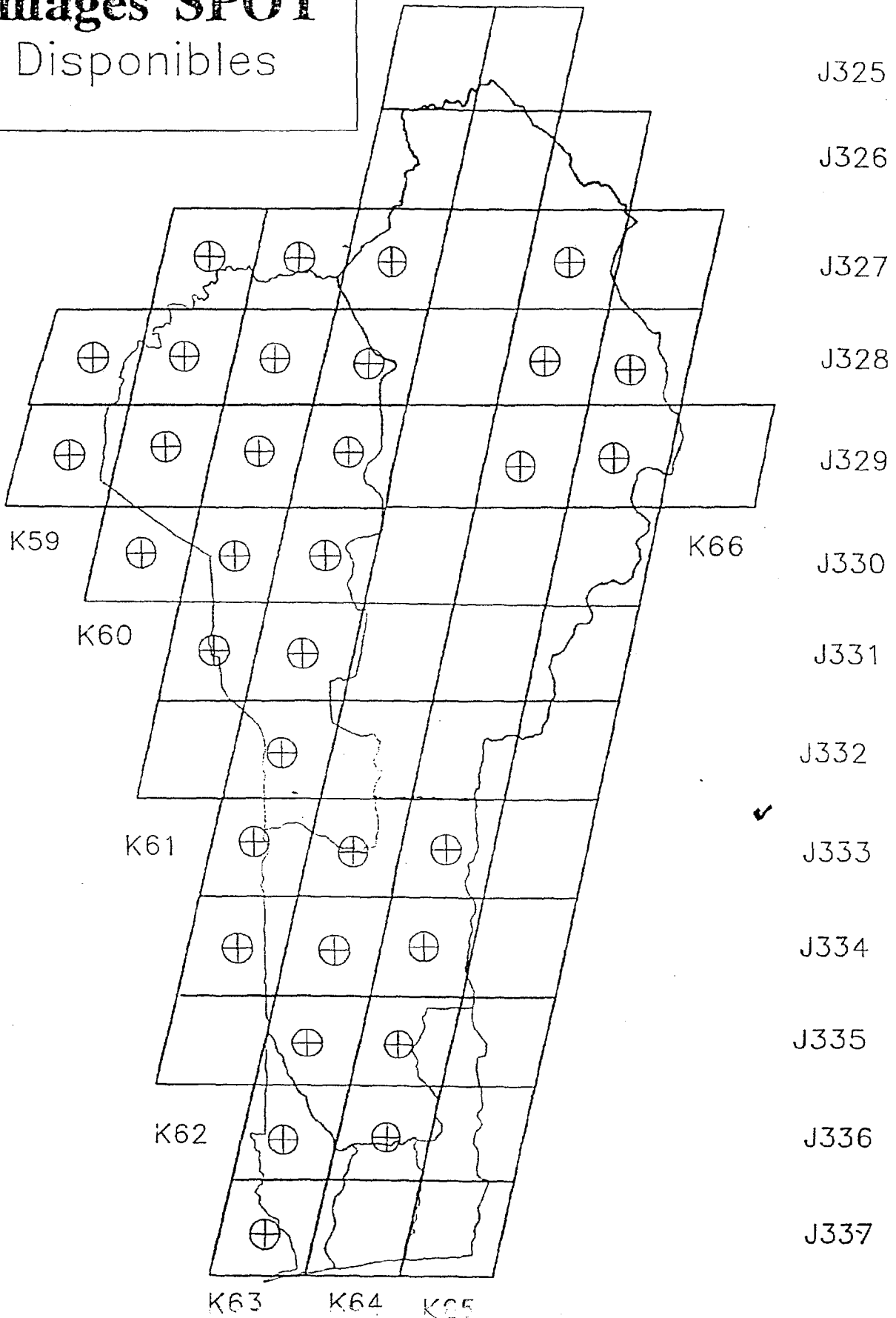


Carte publiée

- 1951-1965  $\cong 20\%$
- 1966-1985  $\cong 37\%$
- ◐ 1986-  $\cong 40\%$

BENIN  
**Images SPOT**  
 Disponibles

⊕ centre de scènes disponibles





Atelier:

Accès aux Données

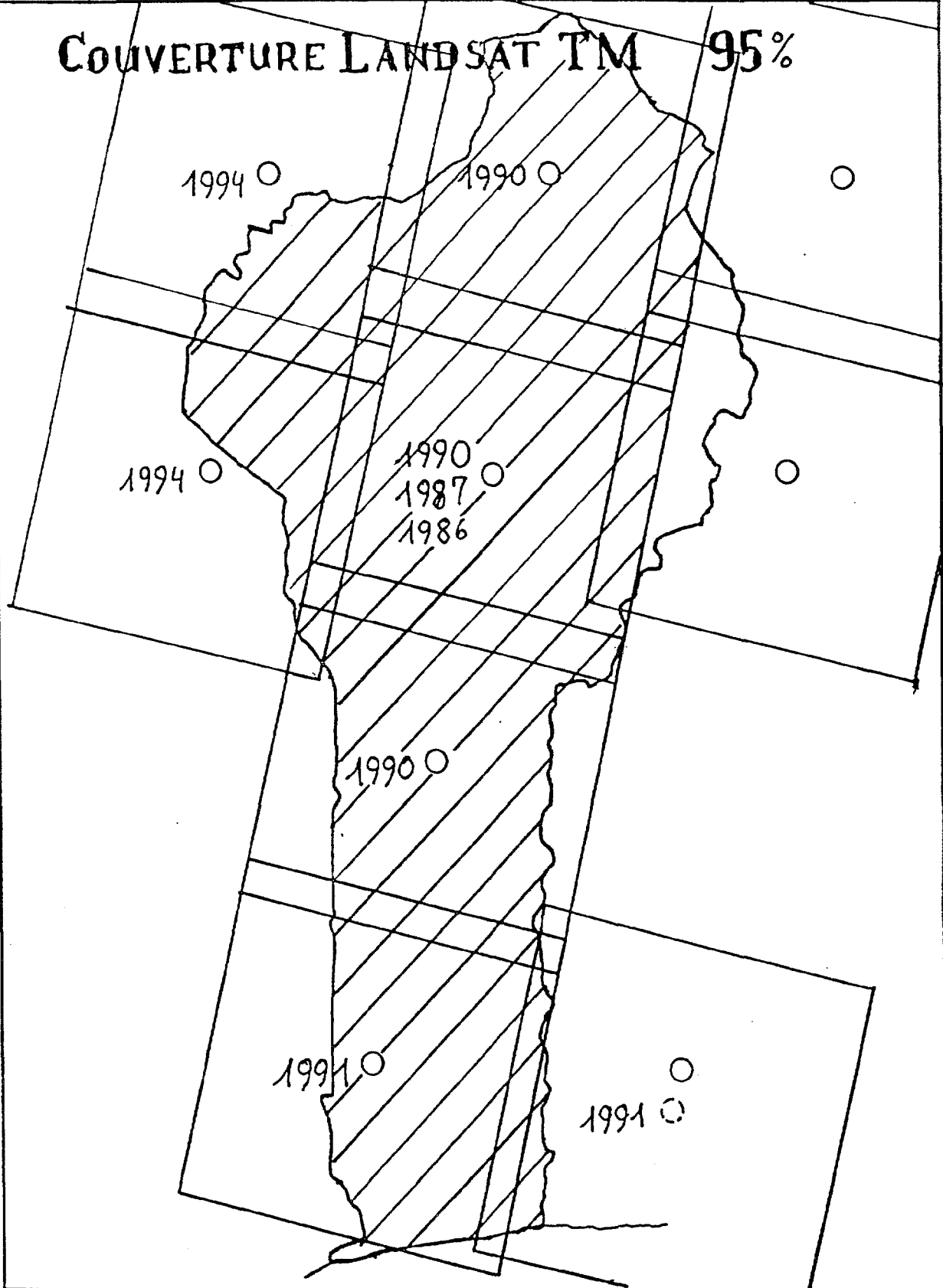
# Africa GIS '95

Abidjan/Côte d'Ivoire

V. J. MAMA  
(CENATEL) Cotonou

K. U. KOMP  
(EFTAS) Allemagne

## COUVERTURE LANDSAT TM 95%



243

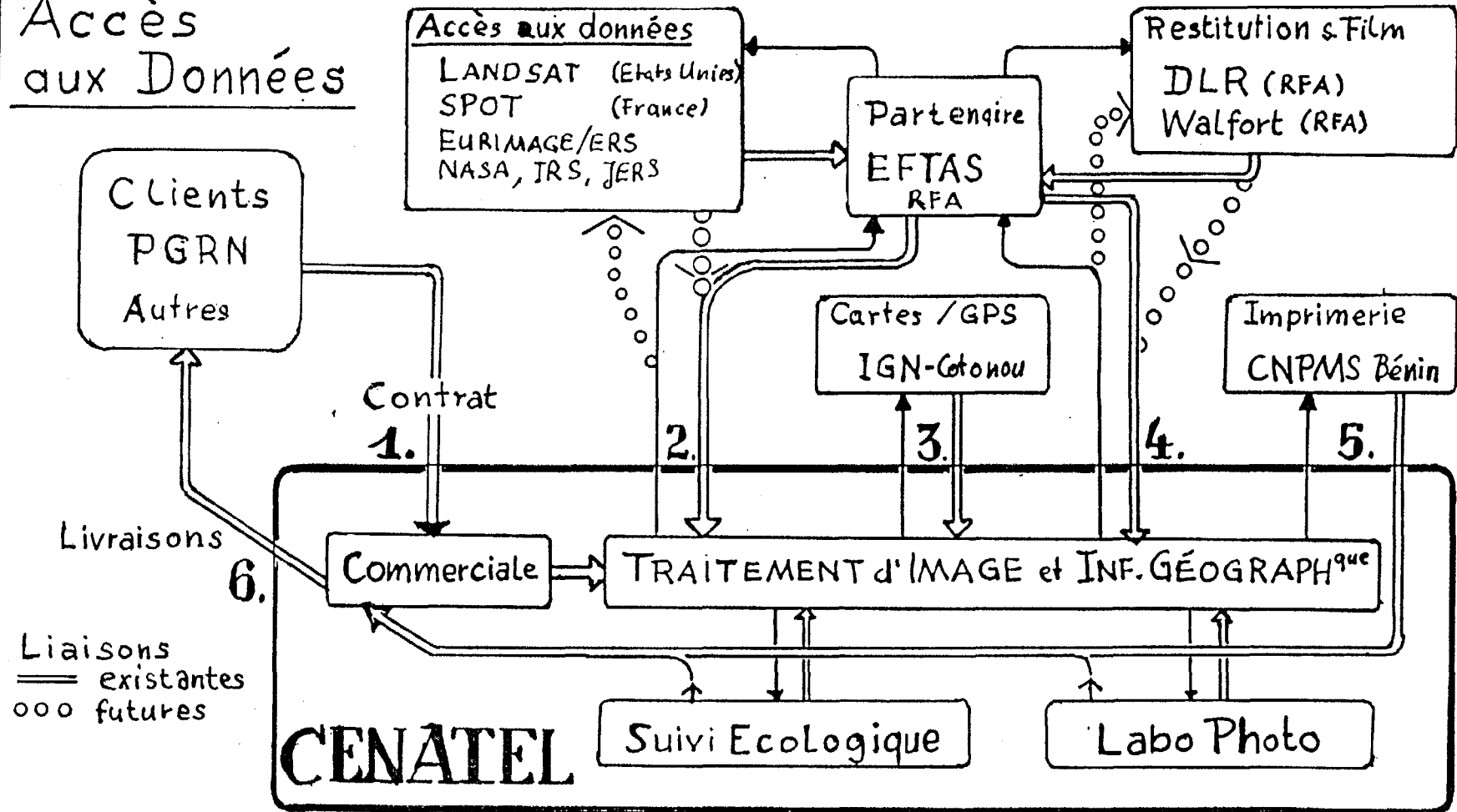
Atelier:  
Accès aux Données

# Africa GIS '9.

Abidjan/Côte d'Ivoire

V. J. MAMA  
(CFIATEL) Cotonou  
K. U. KOMP  
(EFTAS) Allemagne

## Accès aux Données



hfr

## TRAITEMENT DES DONNEES SATELLITAIRES

Réalisation de la cartes de Végétation du Bénin au 1/100.000EN 46 Feuilles

Production de la carte

Choix technique

### 1) Echelle

Echelle de 1/100.000è choisie pour

- favoriser un plus grand nombre d'utilisateurs
  - permettre un calcul facile des superficies
- 1 cm de la carte = 1 km sur le terrain

### 2) Coupure des feuilles

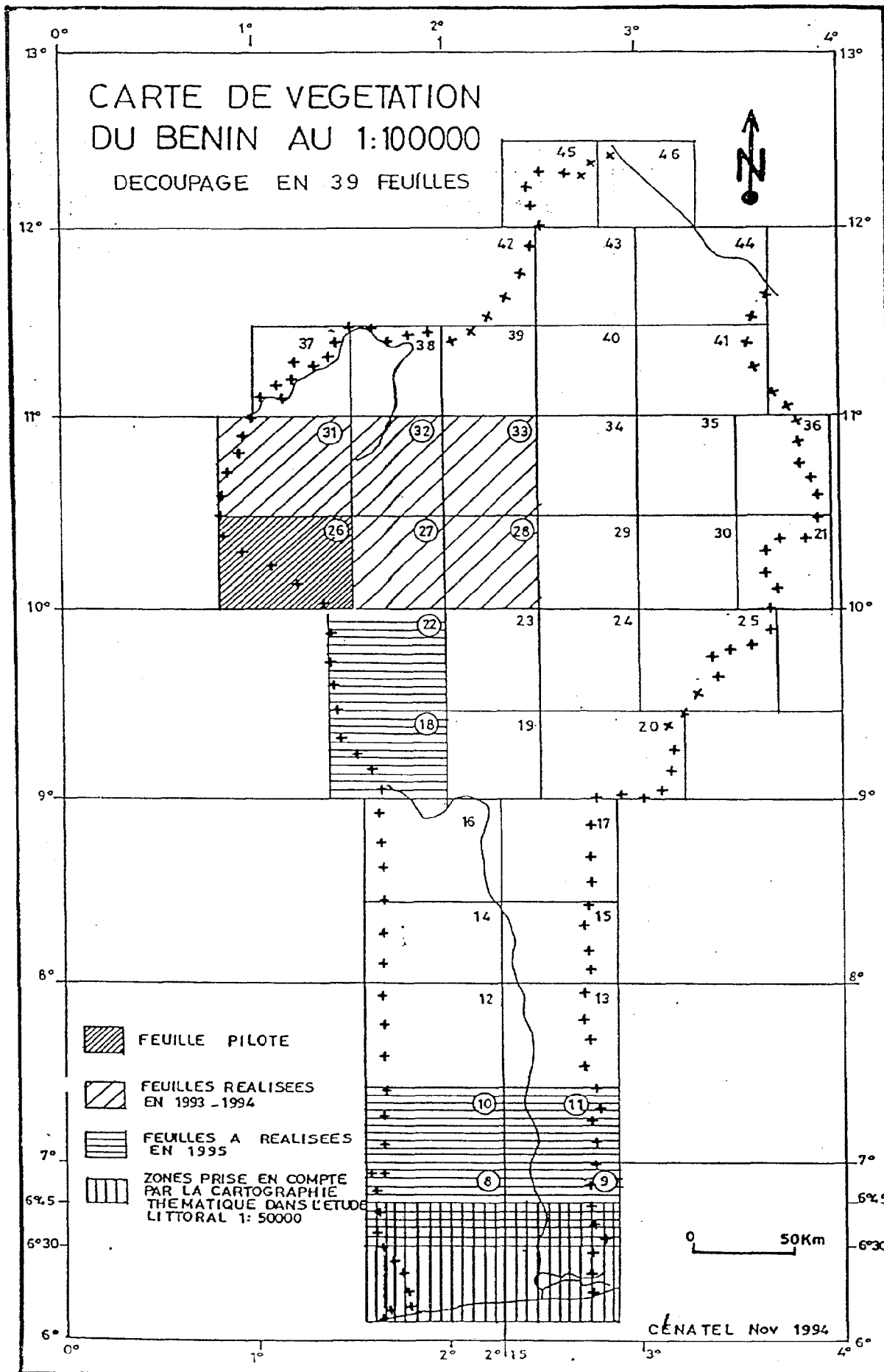
- Redressement dans le système UTM
- Feuille standard à 30' x 30'
- 46 feuilles pour couvrir tout le pays

### 3) Légende

- 20 classes de légende standarisées dont:
  - 6 classes de végétation
  - 3 classes d'association culture végétation
  - 7 classes pour les autres facies

### 4) Etapes

- Réception et lecture des images
- Redressement géométrique
- Production de la carte d'image
- Production de la carte thématique de classification non supervisée
- Contrôle sur le terrain
- Intégration des données de terrain
- Classification supervisée
- Amélioration de la classification
- Numérisation des vecteurs
- Voies de communication; cours d' eau, habitations, limites forêts classées, limites sous-préfectures et limites départements.
- Intégration des vecteurs à l'image
- Production de la carte thématique de classification supervisée
- Mise en place de la légende
- Finalisation de la carte
- Transfert sur bande et expédition
- Conversion des données et préparation des clichés (Allemagne)
- Impression couleur (CNPMS)



246

**FONCTION**  
(Logiciel)

**EQUIPEMENTS**

**PERIPHERIQUES**

**ENTREE/ SORTIE**

Serveur/ Réseau

Traitement d'image  
I  
ERDAS Imagine

Traitement d'image  
II  
ERDAS Imagine

GIS  
III  
ArcInfo/ AtlasGIS

GIS  
IV  
ArcInfo/ ArcView

Traitement d'image  
V  
PC-ERDAS 7.5

Traitement d'image  
VI  
PC-ERDAS 7.5

PC 486/66  
T810-R60000

Ecran

PC 486/66

Ecran 20"

PC 486/66

Ecran 20"

PC 486/66

Ecran 17"

PC 486/50

Ecran 17"

PC 386/33

Ecran Vidéo couleur  
512x512

PC 386/25

Ecran Vidéo couleur  
512x512

Dérouleur/Enregistreur  
Cypher 6250 bpi

Disque Optique  
Ricoh 520 MB

Exabytes 8200  
2.3 GB

Thermotransfert  
Plotter  
Tektronics Phaser3

Unité CD-ROM

Table à numériser  
24" x 36" Calcomp 9360

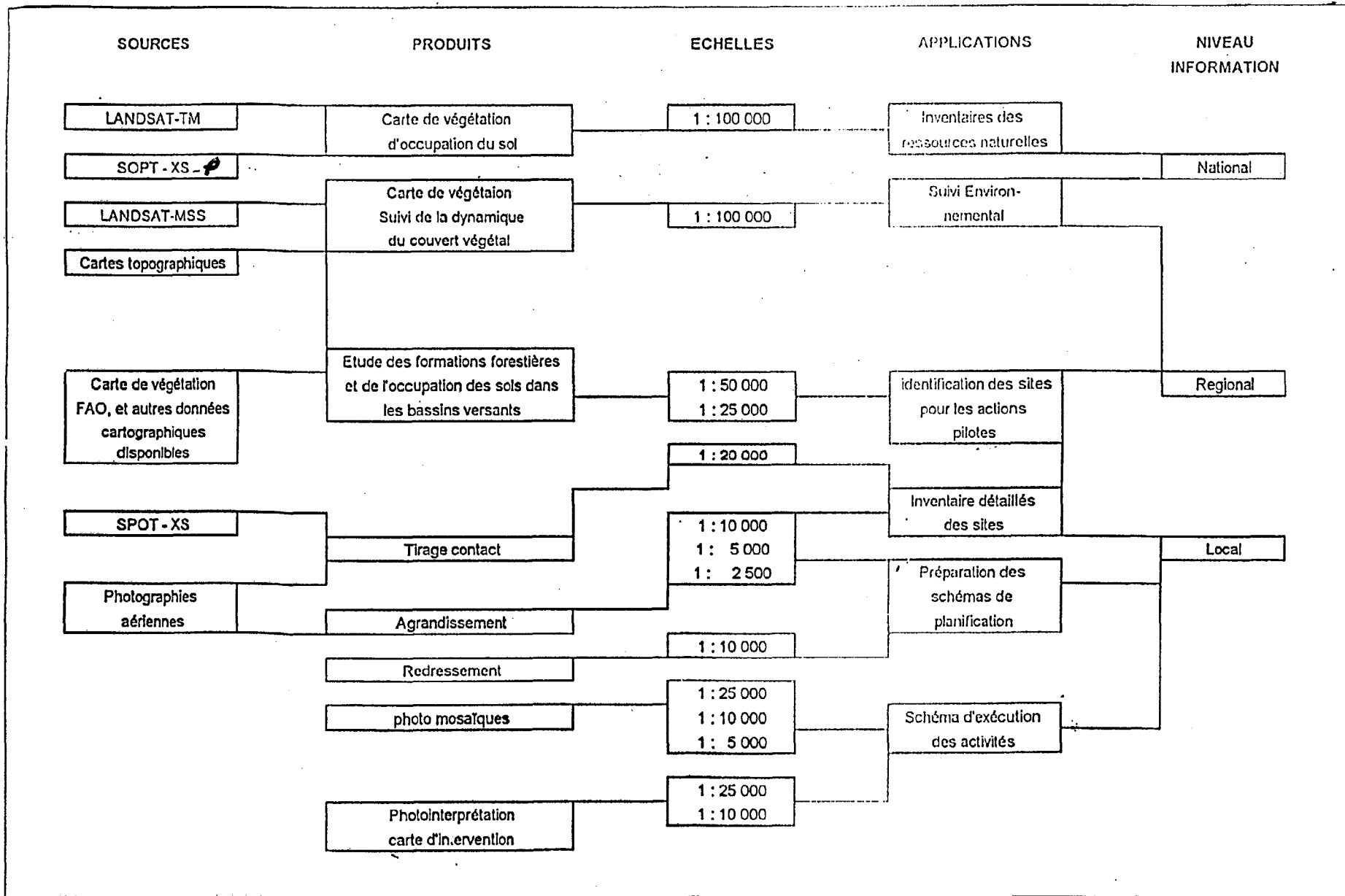
Traceur couleur A1  
Calcomp Designmate

Table à numériser  
24" x 36" Calcomp 9360

Imprimante à jet  
d'encre couleur  
Tektronics

BEST AVAILABLE COPY

247



Chaire de recherche

049

## **PROBLEMES RENCONTRES ET DISPOSITIONS PRISES**

Ils sont de plusieurs ordres. Entre autres, on citera:

### **La Formation**

Le personnel n'avait aucune formation en traitement d'image au départ.

La solution - Formation "on job training" avec des appuis des experts de EFTAS.

Evolution du matériel de traitement: Le matériel est mis en place de façon évolutive:

en 1993 ERDAS 7.5

en 1994 Mise en place du réseau avec ERDAS IMAGINE - SIG ATLAS GIS et ARC INFO

### **Maintenance du matériel**

Des pannes fréquentes ont été enregistrées tant au niveau du hardware qu'au niveau du software, la solution a été:

- Collaboration étroite avec EFTAS pour résolution de certains problèmes,
- Recrutement d'un informaticien,
- Contrat sur place avec une personne ressource en matière de maintenance électronique.

### **Acquisition des données**

Les données utilisées ne répondent pas exactement à certaines de nos exigences:

La disponibilité des images est un problème majeur.

La fermeture de la station de réception de Maspalomas a un impact important.

Les données les plus utilisées sont: SPOT et LANDSAT TM. En revanche, les images ERS & IRS n'ont pas été utilisées pour des raisons techniques.

### **Les utilisateurs**

Les utilisateurs notamment de la carte de végétation ont spécifiquement des besoins d'où la nécessité de travaux complémentaires.

### **Les leçons à tirer de l'expérience béninoise en matière d'acquisition et de traitement des données satellitaires**

Mise en place des programmes intégrés de développement comportant des volets de renforcement des structures existantes de TD et de SIG.

Formation adaptative du personnel en relation avec l'équipement.

Mise en place de l'équipement et matériel de façon évolutive. Production assurée d'où gain d'expérience du personnel.

Génération de moyens pour permettre de maintenir de façon durable la structure.

La liste est longue et les adaptations dépendront des réalités de chaque pays.

## **SOURCES**

BRIZZI A. (1992): "Republic of Bénin - Natural Resources Management Project" Staff Appraisal Report N° P-9982-BEN of the World Bank, Washington, Febr. 18, 1992, 75pp.

CENTRE TECHNIQUE FORESTIER TROPICAL (Ed.) (1983): "Bois Tropicaux", Publication N° 12 du CTFT, Nogent-s/M, 143pp.

DELVINGT, W., HEYMANN, J.-C., SINSIN, B. (1989): "Guide du Parc National de la Pendjari", Bruxelles

EFTAS GmbH (1992): "Foret Classée de Toui-Kilibo Carte de Végétation - Rapport final" Technical Report for the Natural Resources Management Project of Bénin, Munster, 75 pp.

ERDAS (Ed.) (1991): "Erdas Field Guide" - Second Edition, Version 7.5, Atlanta, xxii, 394 pp.

- HILDEBRANDT, G. (1991): "On the use of high resolution satellite data for forest mapping and monitoring in developing countries", manuscript, Freiburg, 201pp.
- KOMP, K.-U. (1991): "Remote Sensing - Tools for Development", Schriftenreihe der GTZ 221., public par Office allemand de la Coopération Technique (GTZ), TZ Verlagsgesellschaft mbH, Rossdoff, 63pp.
- KOMP, K.-U. (1993): "Monitoring végétation Cover and Estimates of Timber Potential by Remote Sensing in the Frame of the Natural Resources Management in West Africa (Case Study of Bénin)", en: Proceedings of the International Symposium „Operationalization of Remote Sensing", 19-23 April 1993, ITC Enschede, The Netherlands, vol. 8, pp. 139 - 150.
- KOMP, K.-U. (1994): "Remote Sensing and GIS in the Natural Resources Project of Bénin", en: GIM International Journal for Surveying, Mapping and applied GIS, Lemmer, vol. 8, no. 3, pp. 54 - 59.
- LETOUZEY, R. (1982): "Manuel de Botanique Forestière - Afrique Tropicale", Tomes 1, 2a, 2b, Nogent-s/M, 193 pp, 210 pp, 461pp.
- LILLESAND, T.M., KIEFER, R.W. (1986): "Remote Sensing and Image Interpretation", New York, 612pp.
- MAMA, V.J. (1992a): "Etude du couvert végétal et de ses modifications", en: Suivi Ecologique, Bulletin d'information du Centre National de Télédétection et de surveillance du couvert forestier, Cotonou, pp. 14 - 28.
- MAMA, V.J. (1992b): "Contribution de la Télédétection a l'aménagement de la Forêt Classée de TouiKilibo" Symposium on recent developments in cartography and remote sensing, 30.11.04.12.1992, 11e-Ife, Nigeria.
- MAMA, V.J., ZOUNDOH, L.Y., HINVI;T. (1992): "Les forêts classées: un patrimoine en danger", en: Suivi Ecologique, Bulletin d'information du Centre National de Teledetection et de surveillance du couvert forestier, Cotonou, pp. 29 - 40.
- MAYDELL, H.-J. v. (1983): "Arbres et arbustes du Sahel - Leurs caractéristiques et leur utilisation", Schriftenreihe der GTZ, Nr. 147, publié par Office allemand de la Coopération Technique (GTZ), TZ Verlagsgesellschaft mbH, Rossdoff, 531pp.
- OUARAKPE, B. (1992): "Inventaire de la forêt classée Toui-Kilibo approche méthodologique", en: Suivi Ecologique, Bulletin d'information du Centre National de Télédétection et de surveillance du couvert forestier, Cotonou, pp. 50 - 57.
- REHM, S., ESPIG, G. (1976): "Die Kulturpflanzen der Tropen und Subtropen", Stuttgart.
- SCANVIC, J.-Y. (1983): "Utilisation de la Télédétection dans les Sciences de la Terre", BRGM, Manuels et Méthodes No. 7, Orléans
- TONI, E.O. ( 1992): "Etude de la dynamique des écosystèmes de la forêt classée de Toui-Kilibo", en: Suivi Ecologique, Bulletin d'information du Centre National de Télédétection et de surveillance du couvert forestier, Cotonou, pp. 41 - 49.
- ZÖHRER, F. (1980): "Forstinventur - Ein Leitfaden für Studium und Praxis" = Pareys Studentexte 26., Hamburg/Berlin, 207pp.



## DATA ACCESS IN AFRICA

**M. Y. SAÏD**

African Elephant Database Project, Nairobi, Kenya

Information is a basic tool for nearly all development effort in Africa, yet much available information is not used because decision-makers are unaware of its existence. This paper cites the approach adopted by the African Elephant Database (AED) in setting up a Geographical Information System in aiding the decision-makers develop long term conservation strategies for the species. The AED is among the only source of country-wide data on the African Elephant and has therefore become a valuable tool in the management and conservation of the species, at national, regional and continental levels. Not only can it be a source of up-to-date, objective information on numbers and distribution, but it also has the potential for a wide range of analyses, the results of which can help to determine population trends and set management and conservation priorities.

Over the last 10 years since its inception the database has evolved with time. To improve its accessibility, utilization and to meet the needs of users, the data must be intelligible, up-to-date, and available in time. To meet this challenge most of the database updates procedures (categorization of data, statistical reports and map production) have been automated. Also the communication between the members of AESG have improved through the use of fax and email networks. This has facilitated the collection and dissemination of data to various governments, non-governmental organisations or any other relevant clients.

To achieve this goal the AED had to look at organization structure of the Information System, decision making process, the information requirements and a database design to meet these goals at the various levels of data requirements. This paper highlights some strategies used in the development of the system and also looks at possible ways of improving data accessibility to various users in Africa and World wide at large.

# RECEPTION D'IMAGES SATELLITAIRES AU CENTRE AGRHYMET DE NIAMEY

**N. F. TALL COUNDOUL, I. ALFARI**

AGRHYMET, Niamey, Niger

## **Résumé**

L'objectif de cet exposé est de décrire les quelques années d'expérience du Centre AGRHYMET en matière de réception et d'exploitation des données satellitaires: la collecte, l'archivage et la diffusion des données.

Créé il y a 20 ans, le Centre est doté depuis 1988 d'une station HRPT pour la réception des images NOAA, d'une PDUS, installée en 1991 pour les images METEOSAT et d'une station MDD en 1992. Ces deux dernières stations sont exploitées en collaboration avec le Centre Africain d'Applications Météorologiques pour le Développement (ACMAD). L'acquisition des images METEOSAT et NOAA est supportée par la même machine, un VAX-4000-200. Toutes les images NOAA et METEOSAT sont archivées sur disques optiques, d'où une série complète de données de 1989 à 1994.

## **I. Introduction**

Le Centre AGRHYMET, institution spécialisée du CILSS (Comité Permanent Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse au Sahel) qui regroupe 9 Etats africains (Cap-Vert, Mauritanie, Sénégal, Gambie, Guinée Bissau, Mali, Burkina, Niger, Tchad) est un centre régional (CRA) qui a pour vocation la collecte, l'analyse et la diffusion de l'information concernant l'alerte précoce, la détermination des zones à risques et le suivi des ressources naturelles aux services techniques des 9 pays communément appelés composantes nationales (CNA).

Le Centre, pour atteindre ses objectifs, a accordé une attention particulière à l'utilisation des images satellitaires pour le suivi de la végétation, particulièrement de l'écosystème pastoral, pour le suivi de la pluviométrie, et d'une manière générale pour l'alerte précoce. En 1988, le Centre s'est doté d'une station HRPT (High Resolution Picture Transmission), de type Celwave-Sofreavia, qui a été pleinement opérationnelle en 1989.

En 1991, en collaboration avec le Centre ACMAD (Centre Africain d'Applications Météorologiques pour le Développement), le Centre a mis en exploitation une station PDUS (Primary Data User Station) et en 1992, une station MDD (Meteorological Data Dissemination).

## **II. Collecte des données**

### **II.1 Données NOAA**

Depuis 1989, la réception et le traitement des images se font, au Centre, sur un VAX 4000-200, connecté à la station HRPT.

La station, composée d'un ensemble tourelle avec antenne mobile et haute fréquence, d'un tiroir de poursuite pour la programmation des orbites, d'un synchro-trames, d'un synchro-bits et d'un tiroir simulateur, a permis de recevoir les satellites NOAA09, NOAA11, NOAA12 et actuellement le dernier NOAA14.

Les orbites de NOAA11 étaient revues 2 fois par jour, de 14 h à 16 heures avant que son radiomètre ne tombe en panne en Septembre 1994. L'acquisition concerne, actuellement, un passage pour NOAA12 du matin et deux pour NOAA09 entre 9h et 11h (heure de Niamey) et 2 passages, pour NOAA14, entre 13h et 15h.

Le traitement des données NOAA, pour l'obtention de l'indice de végétation (NDVI), se fait à l'aide de la chaîne ADAPS composée essentiellement des modules du logiciel LAS (Land Analysis System) de EROS DATA CENTER/USGS (SIOUX FALLS).

Seules les données du satellite NOAA11 étaient utilisées pour le calcul du NDVI jusqu'en septembre 1994; actuellement, l'indice est calculé à partir de celles de NOAA09 et NOAA14.

Le Centre a reçu de EROS DATA CENTER les images de 1987 à 1989 pour compléter sa base de données.

## II.2. Données METEOSAT

La PDUS est composée d'une antenne fixe (METEOSAT est un satellite géostationnaire), d'un synchro-bits et d'un synchro-trames. Elle est également connectée au VAX 4000-200 qui sert de machine de réception et de traitement.

Les images sont revues toutes les 30 minutes. Le satellite METEOSAT émettant 3 types de format A, B et X, seuls les formats A qui couvrent l'Afrique sont archivés; les formats B couvrant l'Europe s'intéressent pas le CRA. Le logiciel de réception permet de recevoir aussi les formats X. Pour chaque format, on dispose de trois canaux: Infrarouge, Visible et Vapeur d'eau. Seuls les 2 premiers canaux sont archivés au Centre AGRHYMET.

A partir de ces images brutes infrarouges, des synthèses journalières, puis décennales sont effectuées. Différents indicateurs sont produits: occurrences de nuages à -35, -40, -50 et -60°Celsius, minimum de température de sommet de nuage et maximum de température au sol.

Le programme d'estimation des pluies, actuellement utilisé, intègre les données de pluie au sol des différents postes pluviométriques, envoyées par les DMN des composantes nationales, aux synthèses décennales pour élaborer une image décennale de pluie estimée dénommée "champs pluviaux". Avec la collaboration de l'ORSTOM-Niamey, le Centre a complété sa base de données de 1989 à 1992.

## III. Archivage des données

Les images brutes de NOAA sont sauvegardées quotidiennement ainsi que celles de METEOSAT. Pendant la campagne, les synthèses journalières, après avoir servi à la synthèse décennale, sont archivées à la fin de chaque décennie sous projection plate carrée sur la bande sahéenne (zone de longitude comprise entre -20° et 25° et de latitude comprise entre 1,5° et 24°). Les résultats de synthèses sont sauvegardés ainsi que les "champs pluviaux" obtenus.

La base de données images est composée comme suit:

### 1. pour les images METEOSAT:

- images brutes de 1989 à 1995 dont celles de 1989 à 1992 récupérées auprès de l'ORSTOM-Niamey,
- synthèses journalières et décennales de 1989 à 1994,
- pluies estimées de 1993 à 1994, les données de 1989 à 1992 étant en cours de traitement.

### 2. pour les images NOAA:

- données brutes de 1989 jusqu'à ce jour stockées sur bandes magnétiques,
- données NDVI GAC (Global Area Coverage) de résolution 5 km, non corrigées sur le Sahel de 1989 à 1994,
- données NDVI GAC corrigées atmosphériquement sur le Sahel de 1993 à 1994,
- données NDVI LAC (Local Area Coverage) de résolution 1 km sur disques optiques (DO) de 1990 à 1994,
- données brutes de 1987 à 1989 revues de EROS DATA CENTER (EDC) en 1994 sur cassettes Exabyte et bandes magnétiques; le traitement de ces données a commencé et se terminera vers la fin de 1996,
- données NDVI GAC de résolution 7 km de 1983 à 1987 pour le Niger, Burkina, Mali et Tchad récupérées auprès de l'EDC.

Aussi bien pour METEOSAT que pour NOAA, les données sont archivées sur disques optiques, bandes magnétiques et cassettes Exabyte. Les problèmes rencontrés actuellement sont liés souvent au vieillissement du matériel (lecteur de disque optique ATG depuis 1989, lecteur SONY en réparation).

La base de données s'agrandissant et les bandes magnétiques prenant trop de place, le Centre est en train de réviser son équipement d'archivage et s'est déjà doté de CD-Rom inscriptibles pour économiser de l'espace-terrain et être en conformité avec la nouvelle technique.

#### **IV. Diffusion des données**

AGRHYMET participe au projet GLOBAL LAND I-KM, par l'intermédiaire de l'ESA-Frascatti qui reçoit du Centre, depuis 1991, les images brutes NOAA. Ces images sont fournies sous format standard AGRHYMET (SAF) par courrier rapide DHL dans des cassettes Exabyte. Les cartes d'indices de végétation sont envoyées, par DHL, par décade, à toutes les CNA, qui les utilisent pour le suivi de la campagne et à certains organismes ou instituts qui en font la commande (USAID Maroc, FAO, OCLALAV, etc.).

Les données numériques sont aussi envoyées aux 9 pays qui disposent d'équipements et de logiciels pour le traitement des images (IDA, IDRISI).

Des formations sont organisées dans les pays pour l'interprétation des cartes NDVI et le traitement des données numériques. Les CNA doivent mettre ces produits à la disposition des utilisateurs intéressés.

Les images METEOSAT sont utilisées en animation pour les informations météorologiques à la télévision nigérienne et surtout en synthèses décennales permettant une estimation de la pluie sur la bande sahélienne pour différentes périodes.

Les cartes de pluie estimée sont diffusées dans les différents bulletins périodiques du Centre AGRHYMET: Flash décennaire, bulletin mensuel, Flash-SGR (criquet pèlerin).

L'utilisation des "champs pluviaux" estimés est en cours pour la détection des zones à risques et la prévision des rendements.

Le Centre, à la demande de l'ORSTOM et de l'Université de Niamey, fournit à ces institutions des images METEOSAT pour leur programme de suivi des vents de sable sur le Sahel. Avant que l'ACMAD obtienne une PDUS en Juin 1994, le Centre lui fournissait, pour ses prévisions météorologiques, deux animations sur l'Afrique (au Nord et au Sud de l'équateur), ainsi que des images de synthèse sur l'Afrique (cartes d'ennuagement à -40°Celsius).

Jusqu'en 1993, le Centre a diffusé des produits satellitaires à travers le canal Bracknell de la MDD.

#### **V. Conclusion**

AGRHYMET, pour atteindre ses objectifs de Centre régional fournisseur de données pour l'alerte précoce et le suivi de l'environnement, a perçu depuis bientôt une décennie toute l'importance de l'utilisation des images satellitaires pour renforcer l'information. D'où ses efforts considérables d'équipements et d'investissements entrepris dans ce domaine.

Son expérience en la matière lui a valu d'être présent de nombreux colloques scientifiques et d'être sollicité pour engager des collaborations: par exemple, le logiciel de réception des images NOAA développé au Centre a été installé, en accord avec la société SOFREAVIA, dans les Centres météorologiques de Nairobi au Kenya et à Harare au Zimbabwe qui ont la même station HRPT que le Centre.

Des formations en réception et traitement d'images satellitaires sont à l'étude pour aider, dans ces domaines, les experts des CNA, qui sont appelés à s'équiper de stations.

Des études sont en cours au niveau de la division Télédétection du Centre pour faire un système expert sur l'utilisation des données satellitaires pour l'alerte précoce et le suivi de l'environnement, pour informer les propriétaires de stations et d'images des réelles possibilités offertes.

# INTEGRATION DES DONNEES SOCIO-ECONOMIQUES DANS LES SIG: CAS DE LA COMMUNAUTE RURALE DE MBELACADIAO AU SENEGAL

## A. TOURE

Environnementaliste, Centre de Suivi Ecologique, Dakar, Sénégal

Un Système d'Information Géographique (SIG) a été réalisé pour les besoins de la gestion des ressources naturelles dans la Communauté rurale de Mbélacadio dans la région de Fatick. L'exécution de ce travail nécessite l'élaboration d'un certain nombre d'informations de base. Celles-ci sont sous la forme de cartes et de bases de données. Cependant, comme dans tout SIG, elles doivent être numériques donc sous forme de couches d'information géoréférencées.

Une partie des couches d'information sont issues de données satellitaires SPOT traitées selon des procédures de classifications et de validation assez connues. Il s'agit, entre autres, de cartes relatives :

- aux limites de la zone, aux routes et aux villages,
- à l'occupation des sols,
- à la sensibilité à l'érosion éolienne,
- à l'aptitude des terres.

Une seconde partie des informations concernent les données socio-économiques collectées dans pour l'ensemble des villages de la communauté rurale. Elles ont trait, parmi d'autres, à :

- aux populations de 1976 et 1988; ces données seront par la technique du krigeage converties en cartes numériques.
- aux infrastructures scolaires, hydrauliques (puits, forages), urbaines (maisons), au nombre de foyers.

Ces différentes couches, élaborée principalement avec ARC/INFO, sont exportées dans "ArcView" qui est un logiciel de SIG facilement utilisable par des agents de terrain pour avoir des informations biophysiques et socio-économiques sur la communauté rurale avant toute action.

<b>Groupe de Travail 4:</b>	<b>TECHNOLOGIES RELATIVES AUX SIE EN AFRIQUE</b>
<b>Working Group 4:</b>	<b>EIS TECHNOLOGIES IN AFRICA</b>

**CONCEPTS AND METHODOLOGY FOR THE IMPLEMENTATION OF GIS: DATABASE DESIGN**

A. ANYAMBA, R. EASTMAN .....271

**LEGAL AND INFORMATION POLICY ISSUES FOR SPATIAL DATABASES**

C. J. COTE .....275

**ASPECTS METHODOLOGIQUES ET ECONOMIQUES DE LA MISE EN PLACE DES SIG  
GIS IMPLEMENTATION: METHODOLOGICAL AND ECONOMICAL ISSUES**

J. DENEGRE, P. DEROUET, M. DIDIER .....276

**L'APPROCHE MALGACHE POUR LA MISE EN OEUVRE DU SYSTEME D'INFORMATION  
SUR L'ENVIRONNEMENT (SIE)**

A. MADHOW .....291

**DYNAMIC ASSET REGISTER: A BASE FOR GIS ESTABLISHMENT IN TANZANIA**

E. MUGEREZI .....299

**CONCEPT AND METHODOLOGY FOR THE IMPLEMENTATION OF A GIS  
(THE EASTERN AFRICAN PERSPECTIVE)**

C. SEBUKERA .....301

**INTEGRATION DU "LIVRE BLANC" DE L'ENVIRONNEMENT EN COTE D'IVOIRE SOUS GEOSCOPE**

C.N.T.I.G. / P.N.A.E. ....303

**TABLEAU DE BORD DE LA CÔTE D'IVOIRE: MISE A JOUR ET ADAPTATION AUX BESOINS NATIONAUX**

C.N.T.I.G. / W.R.I. / P.A.D.C.O. ....304

256

# CONCEPTS AND METHODOLOGY FOR THE IMPLEMENTATION OF GIS: DATABASE DESIGN

**A. ANYAMBA, R. EASTMAN**  
Clark University, Worcester MA, USA

## **Elements of Database Design**

### **1. Data Model**

A model of some aspect of reality that a group or organisation must monitor and archive. Consists of:

#### **Entities**

**Real world phenomena**

#### **Attributes**

Qualities or characteristics that entities possess

#### **Relationships**

Logical or physical associations between entities based on their attributes. These include:

geometrical relationships  
topological relationships      (connectivity, containment, etc.)  
class / value relationships

### **2. Standards**

#### **Entity Coding Standards**

Indicate the manner in which entities will be represented in the database (e.g., a line as a logically connected set of points)

### **Attribute Coding Standards**

Give explicit and detailed descriptions of attributes as well as the numeric codes that will be used to represent them.

### **Relationship Coding Standards**

Give explicit details on how relationships are to be encoded in the database. Chief among these are:

geometrical (spatial) relationships -- i.e., georeferencing

- geodetic datum
- projection
- grid referencing system

topological relationships

- node / arc connectivity
- arc / polygon connectivity
- line / polygon dictionaries
- containment

### **Accuracy Standards**

#### **Spatial Representation**

- well-defined points versus normal points
- hypsometric versus planimetric
- angular error limits
- areal error limits
- distance error limits

#### **Attributes**

- RMS for quantitative data
- Proportional error for qualitative data

### **Documentation Standards**

Describe all aspects of documentation, but give special emphasis to the reporting of data quality

### **Data Exchange Standards**

Vendor-specific formats are rarely sufficient since they have been designed around the needs of the software and not the needs of the database.

Key missing element in vendor formats is the ability to document data quality.



Finding programmers to create conversion programs to/from national formats is often not difficult (try the universities).

## An example from the US Spatial Data Transfer Standard ( SDTS )

### Data Model

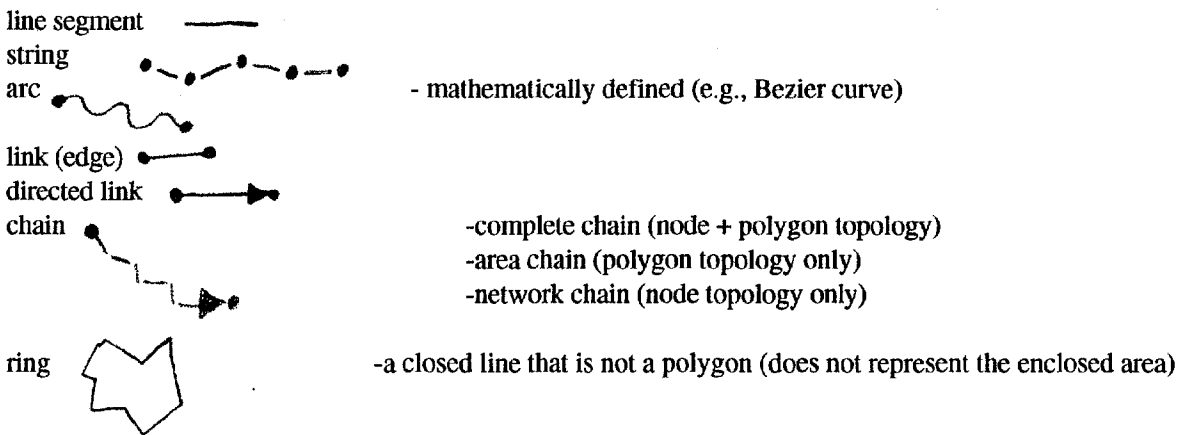
-Defines a line (1-dimensional) entity called a 'watercourse'

This 'standard term' incorporates 50 'included terms' with definitions and information on proper spelling. e.g.,

river	gully	
stream	brook	
gulch	arroyo	etc., etc.

### Entity Coding Standard

Defines the specific representation for line features. e.g.,



### Attribute Coding Standard

'Watercourse' has over 40 standard attributes, including:

name	
width	
depth	
volume	
length	etc., etc.

### Accuracy Standards

#### Spatial

##### Planimetric

- Not more than 10% of well-defined points will be in error by more than 1/30 inch (0.85 mm) at scales larger than 1:20,000, or by more than 1/50 inch (0.5 mm) at scales smaller than 1:20,000

### **Hypsometric**

- Not more than 10% of tested elevations will be in error by more than a half contour interval

### **Attributes**

- proportional error of land use categories will not exceed 15%

### **Data Exchange Standards**

SDTS defines a platform-independent coding structure for the storage of digital data. Within that system, specific 'profiles' are developed for the storage of different database layer types. In many cases, these build upon existing formats. e.g.,

#### **Digital Line Graph (DLG) Profile**

Original DLG format included:

- level 1: cartographic (no topology)
- level 2: limited topology
- level 3: full topology
  
- standard format (internal coordinate system)
- optional format (external grid referencing)
  
- fixed-length ASCII
- variable length ASCII
  
- defines nodes, lines and areas
- areas are defined by means of line dictionaries
- permits multiple attribute codes for each feature

### **Documentation Standards**

Sets out guidelines for documents related to the various standards (Entity and Attribute Coding, Data Exchange, etc.), but only provides rough guidelines for the reporting of data quality.

260

# LEGAL AND INFORMATION POLICY ISSUES FOR SPATIAL DATABASES

**C. J. COTE**

NCGLA, State University of New York at Buffalo, USA

The legal and policy constraints on sharing and acquiring spatial data can be a fundamental problem for all professionals involved with GIS and EIS technologies. Remotely sensed spatial data is collected and archived for every part of the globe. These and other global datasets are keys to spatial analysis at the regional and national level, particularly for environmental applications. Legal and policy considerations are 1) access to spatial databases from national and regional governments and international development agencies, 2) privacy for individuals and indigenous peoples, 3) liability for spatial databases, and 4) intellectual property rights for those who compile spatial databases, and develop GIS applications and software. One aspect of access is cost recovery for databases that are compiled by one institution and are requested by other parties. Also, public and private access policies may vary considerably due to the commercial value of spatial databases. The access rights of one country to information collected about it by institutions and other nations is a topic that needs resolution and is being considered by the United Nations. Privacy from surveillance by remote sensing and inclusion in socioeconomic spatial databases is a basic human right. However, privacy rights are not being enforced where indigenous people are living in areas with valuable natural resources, and by some governments in their socio-economic data collection procedures. Liability is another fundamental issue that GIS professionals must consider. The technical and conceptual errors in data selection, processing, and manipulation can be detrimental to all participants: data collectors, distributors, and consumers. Information policies for inclusion of good metadata with all spatial data are essential. Intellectual property rights, such as copyright protection, as applied to spatial databases are complex when involving data from two or more institutions or nations. Incompatible laws can prevent distribution of databases that are not entirely original in selection and arrangement. This can be a fundamental problem for regional analysis of environmental issues that transcend international borders, and policies must be established for protecting new types of intellectual property, such as spatial databases. These issues must be considered by environmental decision makers and GIS and EIS professionals prior to development of large GIS-based programmes requiring a variety of data from many sources at different scales and resolutions. Additionally, it is appropriate that information policies are developed at the agency, sub-national, and national levels. The global agenda on law and public policy for databases will be shaped by consideration of spatial databases, as GIS technology rapidly diffuses in developing countries and developed countries alike, and spatial elements are common links for urban, social, and environmental analysis.

# ASPECTS METHODOLOGIQUES ET ECONOMIQUES DE LA MISE EN PLACE DES SIG

## GIS IMPLEMENTATION: METHODOLOGICAL AND ECONOMICAL ISSUES

**J. DENEGRÉ**

Institut Géographique National, France

**P. DEROUET**

IGN France International

**M. DIDIER**

Conservatoire National des Arts et Métiers, France

**Abstract:** *Setting up geographic information systems (GIS) implies considerable investments both in equipment, human resources and data acquisition. Then a rigorous methodology is essential for preparing such a setting-up and verifying system adequation to targetted aims. This methodology is not only technical but also organizational and economical, even legal. It proceeds by duly identified steps and must be sanctioned by verifications allowing to control costs and evaluate performances obtained.*

*Users' requirements analysis must constitute the setting-up process starting point, as it is the sole means for defining targets to be attained, applications to be developed and economic indicators which will allow justifying, to decision-makers' eyes, investments required. Actually, it is from all practical applications of a GIS that can be determined its real utility and evaluated the advantages it offers. Those can be often assessed in financial terms :*

- spared costs (cost price reduction for a same final product),
- extra revenues : sales expansion to increasing users owing to a better product adequation to their requirements, but also in non financial terms :
- improvement of products quality,
- reduction of manufacturing and distribution deadlines,
- improvement of working conditions, etc.,
- improvement of decisions made downstream of the GIS and with its help.

*From evaluating these various advantages, which can be made in quantitative or qualitative, monetary or non monetary terms, derives the cost/benefit analysis accounting for the GIS economical interest and allowing to compute its profitability.*

*Examining several GIS cases among various activity sectors shows that their profitability can amount to a ratio of 2, 3 or more, provided it could be worked out over a number of years sufficient for these systems to find their full field of application. According to studied cases, this number of years could exceed 6, 8 or 10 years, on account of specific costs linked particularly to initial and ongoing training, technologies evolution, hardware and software renewal, data maintenance and updating.*

*Then one must be well aware that applications number, variety and volume are playing a primary part in the GIS success and that duration must be taken into account in evaluating their economic performances. Therefore a compromise has to be found between the technological offer logic, first defining systems and products and then searching for users, and the demand logic starting from concrete field problems and afterwards looking for technical solutions to solve them. Such requirement should lead to a close concertation between producers, manufacturers and users, applicable as well to both developed and developing countries.*

252

## Résumé:

La mise en place de systèmes d'information géographique (SIG) suppose des investissements importants, tant en moyens matériels qu'en ressources humaines et en collectes de données. Il est donc capital de suivre une méthodologie rigoureuse pour préparer une telle mise en place et vérifier l'adéquation du système aux objectifs visés. Cette méthodologie n'est pas seulement d'ordre technique, elle est aussi d'ordre organisationnel et économique, voire juridique. Elle procède par étapes bien identifiées et doit être sanctionnée par des contrôles permettant de maîtriser les coûts et d'évaluer les performances obtenues.

*L'analyse des besoins des utilisateurs* doit constituer le point de départ du processus de mise en place, car elle seule permet de définir les objectifs à atteindre, les applications à développer et les indicateurs économiques qui permettront de justifier, aux yeux des décideurs, les investissements nécessaires. En fait, c'est à partir de l'ensemble des applications pratiques d'un SIG qu'on peut déterminer son utilité réelle et évaluer les avantages qu'il procure. Ces avantages sont souvent chiffrables en termes financiers:

- coûts évités (diminution des prix de revient pour un même produit final),
- recettes supplémentaires : accroissement des ventes auprès d'usagers plus nombreux grâce à une meilleure adéquation du produit aux besoins,

mais aussi en termes non financiers :

- amélioration de la qualité des produits,
- réduction des délais de fabrication ou de diffusion,
- amélioration des conditions de travail, etc.,
- amélioration des décisions prises en aval du SIG et avec son aide.

De l'évaluation de ces différents avantages, qui peut se faire en termes quantitatifs ou qualitatifs, monétaires ou non monétaires, découle l'*analyse coût/avantage* qui rend compte de l'intérêt économique du SIG et permet d'en calculer la rentabilité.

L'examen de plusieurs cas de SIG dans différents secteurs d'activités montre que leur rentabilité peut se chiffrer par un ratio de 2, 3 ou davantage, à condition de le calculer sur un nombre d'années suffisant pour que ces systèmes puissent trouver pleinement leur champ d'application. Suivant les cas étudiés, ce nombre d'années peut dépasser 6, 8 ou 10 ans, en raison de coûts spécifiques liés notamment à la formation initiale et continue, à l'évolution des technologies, au renouvellement des outils matériels et logiciels, à la maintenance et à la tenue à jour des données.

Il faut donc bien être conscient à la fois du rôle primordial que jouent le nombre, la diversité et le volume des applications dans la réussite des SIG, et de la nécessité de prendre en compte la durée dans l'évaluation de leurs performances économiques. C'est pourquoi un compromis doit être trouvé entre la logique de l'*offre* technologique, qui définit d'abord des systèmes et des produits et cherche ensuite des utilisateurs, et la logique de la *demande* qui part des problèmes concrets rencontrés sur le terrain et cherche ensuite des solutions techniques pour les résoudre. Cette nécessité débouche sur celle d'une concertation étroite entre producteurs, fabricants et utilisateurs, qui vaut aussi bien pour les pays développés que pour les pays neufs.

## 1. Introduction

L'importance des investissements en matière de systèmes d'information géographique est souvent source de désillusions quand on les compare avec les résultats et les performances que l'on obtient au bout de plusieurs années. Dans ce domaine comme ailleurs, il est nécessaire, avant de se lancer dans une démarche de mise en place d'un SIG, de se doter d'une méthode rigoureuse, comportant non seulement un volet technique et organisationnel mais aussi un volet économique présentant les données du problème de financement et les perspectives d'évolution à moyen et long terme.

La réalisation d'un projet de SIG comporte plusieurs étapes. Parmi celles-ci, l'analyse initiale des **besoins** présente une importance particulière. Nous y insisterons donc, en soulignant le fait que c'est l'adéquation du système aux besoins des utilisateurs qui permettra seule d'obtenir une efficacité satisfaisante. A partir de cette analyse des besoins, on peut définir le cahier des charges du projet, et donc les **coûts** à prévoir pour sa mise en place. De même, l'analyse des besoins permet d'identifier les applications à développer et les **avantages** que l'on pourra retirer du SIG. Cette démarche débouche donc sur l'**analyse coût/avantage**, qui est le coeur de l'évaluation économique du SIG.

Nous décrivons, dans la suite de l'exposé, ces deux analyses, étapes clés de la mise en place d'un SIG, en insistant sur les aspects méthodologiques et économiques, souvent méconnus dans la réalité. La plupart des éléments de réflexions qui seront présentés proviennent d'un ouvrage rédigé sous la direction de Michel DIDIER, professeur d'économie au Conservatoire National des Arts et Métiers. Cet ouvrage a été entrepris à la demande du Conseil National de l'Information Géographique (CNIG), organisme de concertation rassemblant les partenaires du secteur français de l'information géographique, tant publics que privés, tant producteurs qu'utilisateurs.

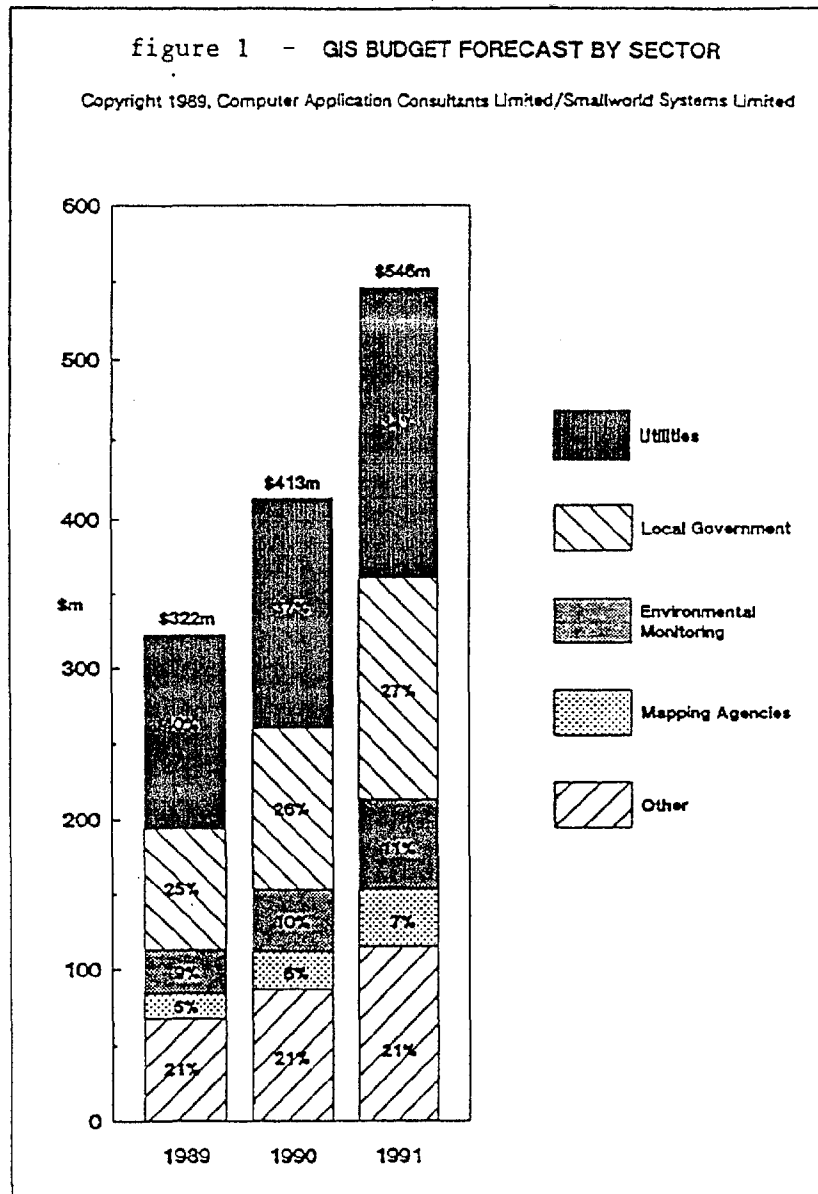
### 1.1 L'importance des investissements

---

La mise en place des SIG suppose des investissements importants, tant en moyens matériels qu'en ressources humaines et en collectes de données. Des évaluations sont faites périodiquement du marché des SIG, pour en suivre la croissance et montrer la répartition des maîtres d'ouvrage. La figure 1 montre les résultats d'une enquête faite par SMALLWORLD sur le marché européen sur les années 1989-1991. Il montre une croissance assez régulière, de l'ordre de 30%, avec une répartition relativement stable dans le temps :

- de l'ordre de 35% pour les gestionnaires de réseaux
- de l'ordre de 25% pour les collectivités territoriales
- de l'ordre de 10% pour la surveillance de l'environnement
- de l'ordre de 6% pour les services cartographiques
- et environ 20% pour le reste, qui rassemble divers utilisateurs : administrations d'Etat, industriels, aménageurs, etc.

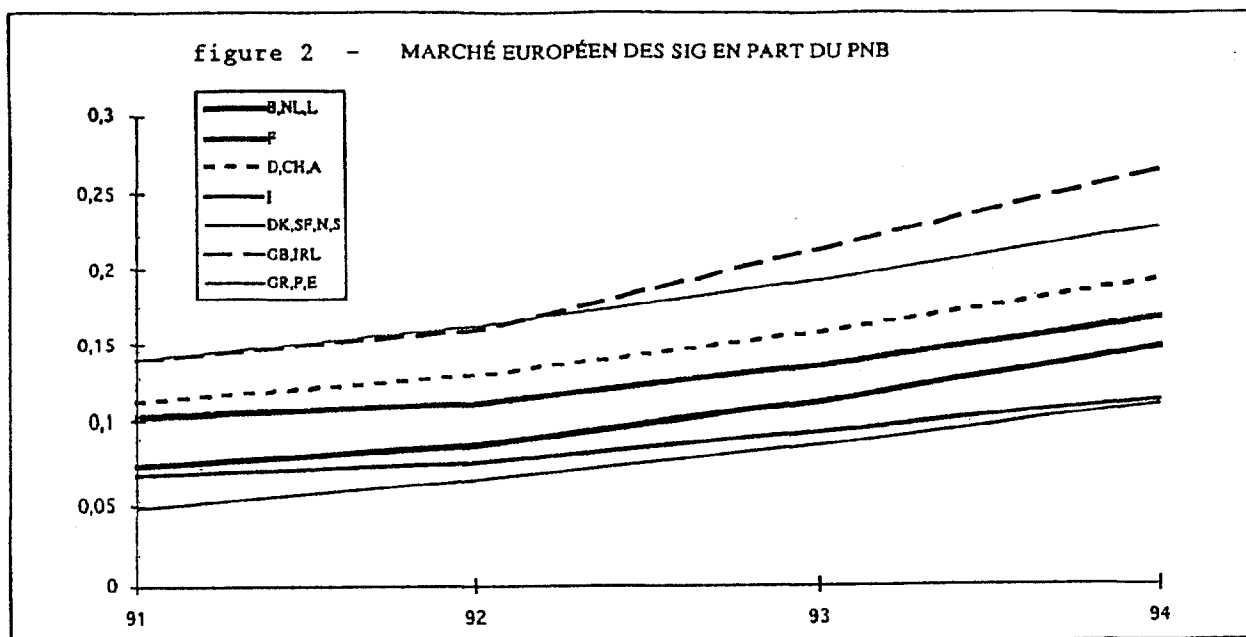
>>> figure 1 <<<



La croissance du marché des SIG est bien entendu variable suivant les pays : une autre enquête menée de 1991 à 1994 montre comment la part de ce marché, en proportion du Produit National Brut (PNB), évolue au cours de ces quatre années. La moyenne s'établit en 1991 autour de 0,10% pour atteindre 0,16% en 1994, avec une "pointe" à 0,25% pour la Grande Bretagne. La France semble se situer plutôt au-dessous de la moyenne des pays européens, qui est constituée par les pays germaniques (Allemagne, Autriche, Suisse). Toutefois, ces statistiques ne prennent pas en compte les dépenses pour les données d'origine **satellitaire**, pour lesquelles la France fournit un effort considérable (l'essentiel du programme SPOT, une forte participation dans l'ESA, concernant notamment le programme ERS, etc.).

BEST AVAILABLE COPY

265



### 1.2. Nécessité d'une méthode rigoureuse

L'objectif de la démarche SIG est de disposer d'un ensemble d'informations pouvant être analysées, traitées et enfin visualisées sur des plans à l'aide d'outils informatiques, pour prendre des **décisions**. Cette démarche implique

- la définition précise des objectifs que l'on cherche à atteindre,
- le choix de la solution organisationnelle et informatique,
- le chargement et la mise à jour des données,
- leur traitement en fonction des besoins.

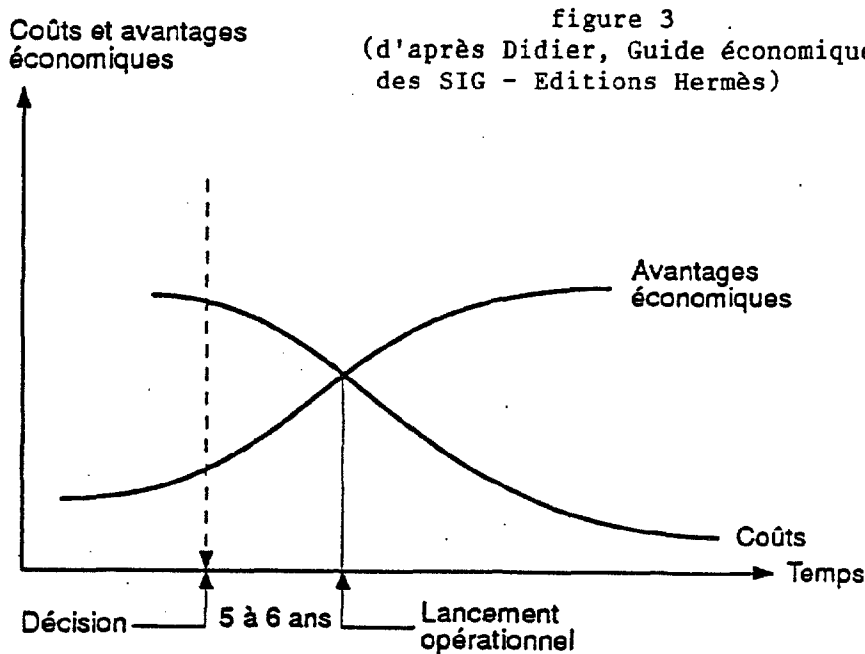
En matière de conduite de projet informatique, des méthodes classiques existent, telles que la méthode MERISE, appliquée à de nombreux projets d'informatisation de l'administration française dans les années 80, pour rationaliser les étapes depuis le **schéma directeur** jusqu'à la production du **logiciel** et à la **mise en oeuvre**. La caractéristique de MERISE, en particulier, est de subordonner les développements de logiciels à la **stratégie d'ensemble** du système d'information.

### 1.3. Nécessité d'une évaluation économique

Comme tout projet, un SIG doit être mis en oeuvre lorsque les avantages qu'il procure sont supérieurs à son coût. Mais cette comparaison doit être faite sur une certaine échelle de **temps**. En effet les investissements initiaux sont importants et ils ne sont compensés qu'à partir d'une certaine date, lorsqu'apparaissent les bénéfices recueillis grâce à la nouvelle technologie, aux nouveaux processus, aux nouveaux produits. Il est donc important d'étudier, non seulement les coûts et les bénéfices prévisibles, mais aussi le **calendrier** correspondant, de façon à être conscient des durées nécessaires pour que les efforts financiers portent leurs fruits.



D'une manière générale, nous nous trouvons à un moment où le coût du traitement des données baisse. A l'inverse, la densification et l'encombrement du territoire, son aménagement et sa gestion deviennent plus difficiles : en conséquence les avantages que l'on retire du SIG ont tendance à augmenter, dans la mesure où les applications se multiplient et où les enjeux économiques croissent. Cette évolution est favorable à la mise en place de SIG, qui voient ainsi la courbe des coûts passer **au-dessous** de celle des bénéfices et leur rentabilité croître au cours du temps, à condition bien entendu que leur durée de vie ait été prévue en conséquence.



## 2. Réalisation d'un projet de SIG

La réalisation d'un SIG comporte plusieurs étapes.

1. Dans un premier temps, les objectifs, les acteurs et les spécifications doivent être précisés, afin de définir le cahier des charges du projet et les outils nécessaires. C'est l'analyse des **besoins**. Nous y reviendrons au paragraphe suivant.
2. Ensuite vient l'évaluation du projet, avec l'estimation des coûts et des avantages, l'actualisation de ceux-ci en fonction du calendrier, et le calcul de la **rentabilité** prévisible. C'est l'analyse **coût/avantage**.
3. Le choix de la **solution technique** intervient seulement après ces deux premières étapes. Il s'agit de choisir les outils matériels et logiciels, mais aussi les données et leurs sources, les méthodes de montée en charge du système, les processus d'exploitation, de mise à jour, etc.
4. L'initialisation du SIG consiste à tester les matériels et logiciels, à former l'équipe technique et les utilisateurs, à collecter les données, les contrôler et à effectuer la **montée en charge** du système.

5. La 5ème étape consiste à valider le SIG, en testant les produits attendus, en contrôlant leur qualité, en validant les résultats auprès de chaque utilisateur, en vérifiant l'aptitude du SIG à réaliser ses objectifs, enfin en évaluant a posteriori les performances économiques (coûts, avantages, rentabilité).

Il faut insister sur le fait que les aspects humains jouent un grand rôle à chacune des étapes de réalisation d'un SIG. Les acteurs clés sont les utilisateurs "aval", ceux dont les besoins dimensionnent le système, et l'équipe technique qui assure le fonctionnement quotidien. A un moindre degré, interviennent les fournisseurs de matériels et de logiciels, les formateurs, et les fournisseurs de données.

### **3. Analyse des besoins**

---

Un SIG est réussi lorsqu'il répond pleinement aux besoins des utilisateurs. La réussite d'un SIG dépend donc de la bonne identification des besoins des utilisateurs **potentiels** du système. L'étude doit donc porter non seulement sur les besoins en produits traditionnels (cartographiques, le plus souvent), mais aussi sur les besoins en produits inédits, répondant à des problèmes nouvellement apparus.

L'analyse des besoins peut être décrite selon les 9 étapes suivantes :

1. Choisir le réalisateur de l'analyse des besoins : celui-ci peut être recherché parmi le personnel de l'organisme ou à l'extérieur (consultant).

2. Identifier les utilisateurs : ils peuvent être définis comme les personnes ou organismes qui utiliseront effectivement le système pour produire ou qui travailleront avec les produits fournis par le système. Un SIG produira des bénéfices d'autant plus importants qu'il sera utilisé par un plus grand nombre d'utilisateurs.

3. Définir les produits : il est recommandé de les visualiser par des exemples (maquettes ou échantillons) pour donner une idée des types d'informations, des formats, des niveaux de précision, etc. aux futurs usagers.

4. Déterminer les flux d'information du SIG : il importe d'évaluer les entrées et sorties de données du système, avec leurs caractéristiques (volumes, cadences, formats, ...)

5. Identifier les données nécessaires et leurs sources : le coût le plus important d'un SIG est en général celui des données nécessaires à sa mise en oeuvre. Il importe donc de bien définir les jeux de données et leur origine : pour les données venant de l'extérieur (cas des données de base, par exemple), il faut s'assurer de l'homogénéité de celles-ci et de l'aptitude du fournisseur à les tenir à jour.

6. Préciser les caractéristiques des produits du SIG : celles-ci découlent de la définition des produits (point 3 ci-dessus), qu'elles traduisent en termes techniques de structure interne, de présentation, d'interface, etc.

7. Définir les cadences de production : elles découlent des flux d'information et dimensionnent la capacité du SIG et sa configuration.

8. Estimer la taille des outils informatiques nécessaires : mémoire, supports, formats, etc.

9. Etablir le rapport d'analyse final : il doit être diffusé auprès des responsables de l'organisme et auprès des utilisateurs et discuté avant d'être validé. Il servira de base au cahier des charges du SIG, qui servira notamment lors de l'appel d'offres.

A titre d'exemple, voici quelques exemples d'applications d'un SIG en milieu urbain : elles vont de la voirie à la culture ou à l'action sociale, en passant par l'assainissement, l'architecture, ou la fiscalité. A chacune d'elles correspond une série d'utilisateurs, avec leurs paramètres, leurs contraintes, leurs exigences.

### Exemples d'applications en milieu urbain

Domaine	Applications
Voirie	Etat, numérotation, chantiers
Circulation	Gestion comptage stationnement
Eau	Gestion réseaux, consommation
Assainissement	Gestion réseaux, ruissellement
Eclairage public	Localisation, entretien
Espaces verts	Localisation, entretien
Architecture	Gestion chantiers, permis constr.
Nettoyement	Calcul d'itinéraires
Ordures	Localis. dépôts, calcul d'itinér.
Environnement	Zones inondables, nuisances
Sécurité	Localisation des zones dangereuses, secours, calcul d'itinéraires
Patrimoine	Localisation des monuments, bâtiments
Urbanisme	POS, plans d'aménagement
Etat-civil	Localisation des naissances, décès
Fiscalité	Impôts fonciers, cadastre
Politique	Découpages électoraux, résultats
Culture	Localis. établissements culturels
Sports	Localis. établissements sportifs
Action sociale	Localis. des interventions
Transports	Statistiques, fréquentations
Géomètres	Localis. canevas, archivage levés

On peut distinguer les **applications opérationnelles** (qui consistent à réaliser des opérations concrètes : chantiers, circulation, imposition...) et les **études** (qui permettent de préparer des projets ou de fournir des éléments de décision aux responsables). Il est facile de voir qu'en milieu urbain, qui est un concentré d'activités et d'acteurs, les applications sont particulièrement nombreuses. Ceci explique l'essor précoce pris par les SIG urbains. Mais le raisonnement est évidemment transposable à des territoires plus étendus comme les départements ou les régions, voire les Etats.

#### 4. Evaluation du projet (analyse coût/avantage)

---

Elle peut se résumer à 4 étapes :

**1. Estimer les coûts** : études, outils, personnels, en tenant compte de la répartition entre les diverses parties prenantes (partenaires participant à la mise en place du SIG).

**2. Estimer les avantages** : baisse des coûts de production, nouveaux produits, unicité du système, possibilité d'intégration de nouvelles applications, meilleure adaptation à la prise de décision, rapidité et fiabilité, corrélation d'informations, etc.

**3. Actualiser les coûts et les avantages** sur la période de référence (durée de vie du SIG, par ex.) : compte tenu du taux d'intérêt moyen  $i$  pendant cette période, un avantage  $A$  obtenu l'année  $n$  ne vaut que  $A/(1+i)^n$  si on comptabilise tout en valeurs homogènes correspondant à la première année.

**4. Calculer le ratio avantage/coût** en cumulant les avantages et les coûts actualisés : ceci donne une estimation de la rentabilité du SIG. Comme nous le verrons, des valeurs de 2 ou de 3, ou davantage, ne sont pas rares sur des périodes de l'ordre de 10 ou 15 ans.

#### 4.1 Estimation des coûts

---

On doit distinguer 3 catégories de coûts :

- l'investissement initial, qui correspond à l'achat des grands équipements, des données, à l'installation du système, à la mise en base des données (conversion, structuration, etc.) ainsi qu'à la formation du personnel,
- les investissements courants, qui correspondent à la maintenance des outils et des données, à l'extension du système, à certains renouvellements (*upgrade*),
- le fonctionnement courant : personnel d'exploitation, matières premières, personnel support, assistance aux utilisateurs, formation continue, diffusion des produits, etc.
- l'actualisation financière (pour mémoire).

Naturellement les coûts peuvent être partagés entre les partenaires concernés par la mise en place du SIG. En ce qui concerne les données, notamment, des apports en nature peuvent être effectués par les producteurs de données sous réserve, par exemple d'une redevance versée sur les bénéfices ultérieurs réalisés grâce au SIG. Des contrats de partenariats peuvent être conclus de façon à limiter la charge des dépenses initiales, qui sont en général les plus lourdes.

A titre d'exemple, deux cas de collectivités urbaines sont donnés dans les tableaux ci-dessous. L'un concerne une grande ville (400 000 habitants, 12 000 hectares) l'autre une petite ville (18 000 habitants, 1 600 hectares). On peut remarquer que le rapport des coûts, cumulés sur 6 ans, s'établit autour de 5 à 1, alors que le rapport du nombre d'habitants est de l'ordre de 20 à 1 et celui des surfaces de 7,5 à 1 : il y a une économie d'échelle lorsque la taille des villes croît.

### Exemples de coûts cumulés sur 6 ans

#### 1. Pour une grande ville (400 000 hab., 12 000 ha)

Catégories de coûts	Montants
1. Etudes préliminaires	0,5 MF
2. Mise en place du système	
- logiciels	1,0 MF
- matériels	7,0 MF
3. Personnels	7,0 MF
4. Constitution de la base de données	
- canevas	1,5 MF
- lever de corps de rue	13,5 MF
- numérisation du cadastre	2,5 MF
<b>TOTAL</b>	<b>32,5 MF</b>

#### 2. Pour une petite ville (18 000 hab. 1 600 ha)

Catégories de coûts	Montants
1. Investissement	1,6 MF
2. Fonctionnement	
- personnels	2,5 MF
- autres	1,9 MF
<b>TOTAL</b>	<b>6,0 MF</b>

## 4.2 Estimation des avantages

---

Un double classement des avantages économiques peut être opéré : un classement par nature (ou par origine) et un classement comptable (par type d'avantage financier). Le classement par nature décline les différentes causes possibles d'avantages : avantages liés au progrès techniques (meilleurs produits, meilleurs processus), avantages liés à une meilleure organisation (meilleure gestion, meilleur archivage,...) plus grande valeur de l'information créée (applications plus nombreuses, réduction de l'incertitude etc.).

### Tableau des avantages économiques d'un SIG

Classement par nature

#### 1. Avantages liés au progrès technique

- abaissement des coûts et des délais
- nouveaux produits

#### 2. Avantages "organisationnels"

- centrale d'information
- mémoire de terrain
- intégration de nouvelles applications

#### 3. Avantages liés à la valeur de l'information créée

- réduction de l'incertitude (avant chantiers)
- applications plus nombreuses

#### 4. Avantages non quantifiables

- qualité du service
- satisfaction des usagers et des élus
- relations de travail

Le classement comptable distingue cinq classes d'avantages : monétaires, non monétaires mais mesurables, non monétaires et non mesurables, qu'ils soient internes ou externes.

1. Les bénéfices monétaires internes sont ceux qui se traduisent en termes financiers, soit sous forme de recettes supplémentaires (ventes de produits, subventions,...), soit le plus souvent sous forme de coûts évités par rapport aux pratiques antérieures : ils permettent de **dépenser moins** qu'auparavant, au sein de l'organisme concerné.

2. Les bénéfices monétaires externes sont de même nature mais concernent les organismes extérieurs au SIG, utilisateurs de ses produits ou de ses fonctionnalités.

3. Les bénéfices non monétaires mesurables (internes ou externes) sont d'ordre quantitatif mais ne se traduisent pas directement en recettes ou en coûts évités : augmentation de la vitesse de production, de la fiabilité, de la satisfaction des usagers, etc.

4. Les bénéfices non mesurables sont d'ordre qualitatif : amélioration des conditions de travail, de la technicité des personnels, de la qualité des décisions, de l'image de marque du maître d'ouvrage, etc.

BT

## 5. Quelques exemples (Toulouse, Edmonton, IGN France)

---

### 5.1 Ville de Toulouse

---

Les bénéfices monétaires sont presque tous des **coûts évités**. Parmi ceux-ci, on peut souligner:

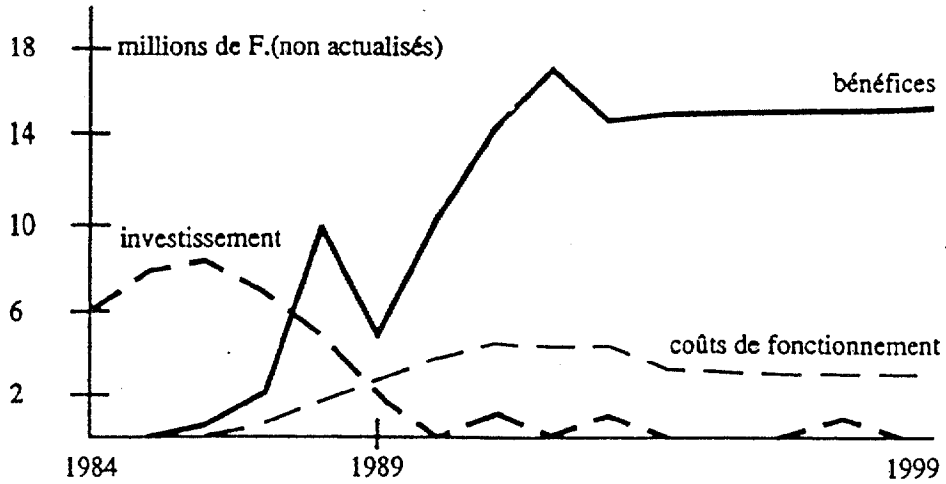
- l'automatisation de la production des plans, qui s'avère plus économique que les processus traditionnels,
- la réalisation de nouveaux produits (en sous-produits de la BDU)
- la réduction des moyens pour les études d'urbanisme,
- la diminution des incidents de travaux publics, grâce à une meilleure connaissance du sol et du sous-sol,
- l'auto-entretien des points de calage (canevas photogrammétrique très dense, rattachés à de nombreux objets urbains)
- la diminution des travaux de tranchées (pour l'entretien des réseaux d'eau, d'assainissement, d'électricité, de gaz, etc.)
- la réduction des moyens cartographiques nécessaires à l'établissement du schéma directeur d'aménagement et d'urbanisme, etc.

Quelques avantages portent sur d'une augmentation des recettes comme celle de la Dotation Globale de Fonctionnement de l'Etat aux communes, grâce à une meilleure précision du recensement de la population. D'autres sont d'ordre non monétaire comme la réduction des délais pour l'instruction des permis de construire. Il en résulte le graphique suivant (voir figure 4), qui montre l'évolution des coûts et des bénéfices sur 15 ans (de 1984 à 1999). Compte tenu d'un taux d'actualisation de 5%, la courbe de la rentabilité peut être tracée : elle montre qu'un ratio compris entre 2,4 et 3 peut être obtenu sur 15 ans, selon l'hypothèse retenue pour les bénéfices prévisibles. Le ratio de 1 (récupération économique de l'investissement) est obtenu au bout de 8 ans, ce qui donne un ordre de grandeur significatif des **délais** nécessaires pour commencer à recueillir les bénéfices du SIG.

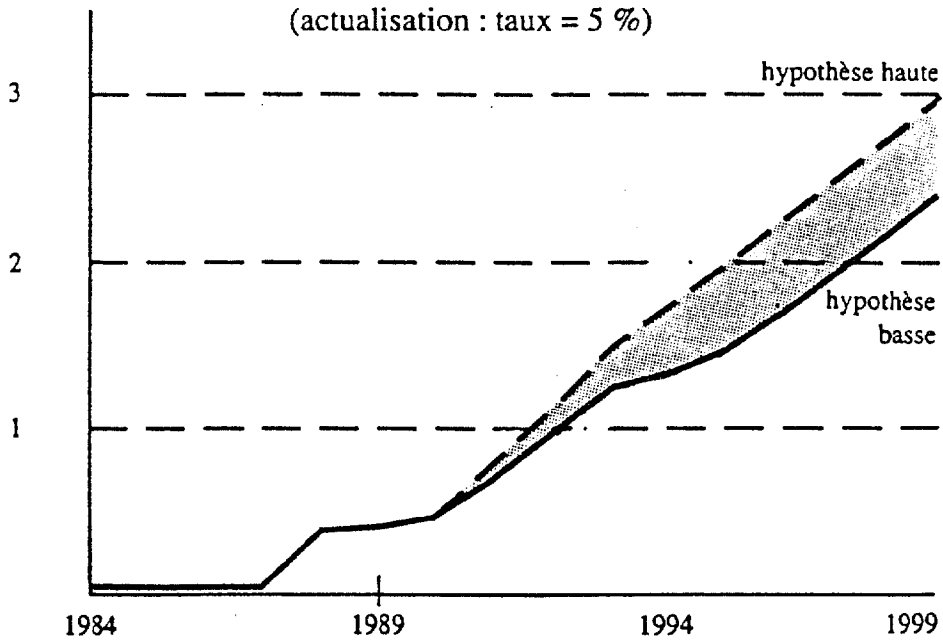
273

>>> figure 4 <<<

**Coûts et bénéfices de la banque de données urbaines de Toulouse**  
(d'après Didier, "Utilité et valeur de l'information géographique"  
Editions Economica, 1990)



**Rentabilité sociale**  
**de la Banque de données : bénéfices / coûts**  
(actualisation : taux = 5 %)



274



## 5.2 Le programme cartographique d'Edmonton (Canada)

Le département des transports a conduit une démarche d'informatisation portant sur 1600 cartes de base à 1:1 000. Une première phase (1978-1985) a conduit à informatiser 993 cartes, puis une deuxième phase (1986-1990) à produire 629 nouvelles cartes sur la périphérie de la ville. Les chiffres fournis par le service montrent que des économies très sensibles ont pu être réalisées grâce à l'automatisation. Ces économies portent à la fois sur les coûts initiaux des cartes produites et sur les coûts de mise à jour.

### *The Edmonton Basic Map Program (Canada)*

*(from Joint Nordic Project, 1987)*

#### *Initial mapping : 1st phase*

<i>Manual mapping cost (992 maps)</i>	<i>\$ 3,616,000</i>
<i>Digital mapping cost (d°)</i>	<i>\$ 1,152,000</i>
<i>Benefits 1978 - 1985</i>	<i>\$ 2,464,000</i>

#### *Initial mapping : 2nd phase*

<i>Manual mapping cost (629 maps)</i>	<i>\$ 3,400,000</i>
<i>Digital mapping cost (d°)</i>	<i>\$ 2,100,000</i>
<i>Benefits 1986 - 1990</i>	<i>\$ 1,300,000</i>

#### *Revision benefits : 1st phase*

<i>One time manual revision cost</i>	<i>\$ 1,200,000</i>
<i>Department manual update cost (*)</i>	<i>\$ 1,500,000</i>
<i>Digital one time revision cost</i>	<i>\$ 500,000</i>
<i>Benefits 1978 - 1985</i>	<i>\$ 2,200,000</i>

#### *Revision benefits : 2nd. phase*

<i>One time manual revision cost</i>	<i>\$ 1,700,000</i>
<i>Department manual update cost (*)</i>	<i>\$ 2,200,000</i>
<i>Digital one time revision cost</i>	<i>\$ 700,000</i>
<i>Benefits 1986 - 1990</i>	<i>\$ 3,200,000</i>

*(\*) the automated method has eliminated the need for other departments to maintain and update base maps*

L'essentiel des économies porte sur les temps passés par les personnels affectés aux travaux cartographiques, qui diminuent dans de fortes proportions en mode numérique (de 3 à 1).

#### *General productivity improvements :*

- 1. Initial creation : manual drafting takes 2 to 3 times the man hours of automated drafting*
- 2. Updates : manual drafting [...] 5 to 20 times [...]*
- 3. Maps and plans can be produced at different scales with no extra effort.*
- 4. Only one map is required in the city, eliminating the need for departmental duplicating, storage and update.*
- 5. Information provided is more timely, consistent and accurate.*

6. *Turn-around time for utility searches and information requests is reduced from days to hours.*

7. *Once the base is complete, incremental cost for other uses is negligible.*

8. *Maps do not deteriorate over time.*

Les autres avantages portent sur des applications déjà citées dans l'exemple de Toulouse : diversification des produits, centralisation de l'information produite, qui alimente les différents services utilisateurs, avec une meilleure homogénéité, actualité et rapidité, conservation des données sans détérioration de l'information.

### **5.3 Base de données géodésiques sur Minitel (IGN France)**

A l'occasion de la constitution de la base de données géodésiques (BDG), l'IGN a mis en place un service télématique de consultation destiné aux utilisateurs dotés d'un Minitel (terminal alphanumérique connecté au réseau téléphonique). Le coût de la BDG, qui comprend le descriptif des 80 000 points géodésiques et des 450 000 repères de nivellement est très important (il se chiffre en plusieurs dizaines de millions de francs) mais il est rendu nécessaire par la modernisation du service et celle du réseau, qui comportera désormais des points mesurés avec GPS avec une précision centimétrique et des points recalculés selon une nouvelle compensation.

Le coût de la mise sur serveur télématique de la BDG est relativement faible par rapport à celui de la mise en base. Par contre les avantages résultant du service télématique sont importants. Ils consistent surtout dans des **avantages externes**, qui concernent les usagers :

- économie de déplacement (consultation à domicile) - ce sont des coûts évités ;
- souplesse d'interrogation : à toute heure, sur n'importe quelle partie du territoire,
- meilleure actualité des informations : mise à jour mensuelle.

Pour l'IGN, les avantages sont de deux types :

- des avantages monétaires internes (redevances de consultation)
- des avantages non monétaires internes : information en retour (de la part des usagers) sur l'absence éventuelle ou la détérioration de certains repères.

### **6. Conclusion**

On voit que ces quelques exemples présentent de nombreux points communs et ouvrent des perspectives intéressantes. Toutefois il convient d'être prudent sur l'évaluation qui peut être faite a priori des avantages attendus de la mise en place d'un SIG. L'intérêt d'une étude coût-avantage n'est pas seulement de faire apparaître un *taux de rentabilité*. Celui-ci est très incertain et la décision peut être prise pour un autre motif. Un autre intérêt, peut-être le principal, est de contraindre les responsables du projet à l'exercice difficile, mais essentiel de réflexion en profondeur sur les **besoins des utilisateurs**. Il ne faut pas oublier que la définition de la **qualité** est *l'ensemble des propriétés et caractéristiques d'un produit ou service, qui lui confère l'aptitude à satisfaire les besoins exprimés ou explicites* (norme AFNOR X 50120). C'est l'analyse interactive techniciens-utilisateurs qui permet de révéler ces besoins et de concevoir un SIG en fonction de ceux-ci. Jointe à l'analyse économique, elle permet d'orienter dans la bonne direction les décisions des responsables.

### **Bibliographie**

Didier Michel et Bouveyron Catherine, "Guide économique et méthodologique des SIG" Editions Hermès, 1993

Pornon Henri, "Systèmes d'information géographique: des concepts aux réalisations", Editions Hermès, 1991

Rouet Paul, "Les données dans les systèmes d'information géographique", Ed. Hermès 1991

Didier Michel, "Utilité et valeur de l'information géographique", Ed Economica, 1990

Joint Nordic Project, "Digital Map Data Bases", Economics and Users Experiences in North America, 1987

# L'APPROCHE MALGACHE POUR LA MISE EN OEUVRE DU SYSTEME D'INFORMATION SUR L'ENVIRONNEMENT (SIE)

## A. MADHOW

Responsable du Système d'Information sur l'Environnement à l'Office National de l'Environnement, Madagascar

### La gestion de l'environnement à Madagascar

A Madagascar, la Politique Nationale de l'Environnement est définie à travers une Charte de l'Environnement. Le Plan d'Action Environnemental (PAE) comprend les dispositions permettant la mise en oeuvre de cette politique.

#### **Les Objectifs du PAE sont:**

- La Protection de la biodiversité
- L'Amélioration du cadre de vie de la population
- Le Développement des outils cartographiques et de la télédétection dans la gestion des ressources naturelles et dans le processus de sécurisation foncière et cadastrale
- La Promotion de l'éducation environnementale et de la communication
- La Réalisation de recherches sur les écosystèmes
- La Mise en place de mécanismes et d'outils pour le suivi et la gestion de l'environnement

#### **La première phase du PAE ( le Programme Environnement 1 -PE1-) a, comme principaux objectifs :**

- La Gestion et la protection de la biodiversité
- La Conservation des sols et la reforestation
- Le Développement des Systèmes d'information cartographiques permettant un meilleur suivi de l'état de l'environnement dans les zones prioritaires
- L'Amélioration de la sécurité foncière et l'établissement des limites des aires protégées
- La Promotion de la sensibilisation, de la formation et de l'éducation environnementale
- La mise en oeuvre de Recherches environnementales concernant les différents écosystèmes (milieux terrestre, côtier, marin)
- La mise en oeuvre d'activités d'appui : Etudes d'impact, gestion des données, suivi-évaluation du programme,...

Les Institutions chargées de l'exécution de ces différentes composantes sont les *Agences d'exécution du Programme*. Ce sont les organismes suivants : ANGAP (Association Nationale pour la Gestion des Aires Protégées), ANAE (Association Nationale d'Action Environnementale), FTM (Institut Géographique et Hydrographique National), DD (Direction des Domaines), DEF (Direction des Eaux et Forêts), ONE (Office National de l'Environnement).

### Concept de Système d'Information sur l'Environnement

Le Système d'Information sur l'Environnement est conçu comme un outil permettant le suivi de l'état de l'environnement et de son évolution afin de permettre une plus grande sensibilisation des acteurs de la vie économique

aux questions environnementales, d'évaluer les impacts environnementaux des différentes politiques et activités économiques, et d'orienter la politique des décideurs et les activités des différents acteurs dans le domaine.

### Objectifs

Les objectifs d'un tel système sont :

1-Le rassemblement des informations sur l'environnement à travers un réseau thématique et/ou régional constitué avec les Agences d'Exécution, les divers organismes et institutions oeuvrant dans le domaine ainsi que les opérateurs de terrain;

2-La conception d'indicateurs permettant un meilleur suivi de l'environnement selon le modèle : Etat-Pressions-Réponse, autrement dit d'informations synthétiques permettant d'évaluer la situation environnementale à un moment donné, de voir quelles sont les pressions qui s'exercent sur cet état de l'environnement et de constater les efforts entrepris vis-à-vis des contraintes identifiées;

3-La diffusion d'informations auprès des décideurs, des opérateurs et du public par l'édition, entre autres, de Rapports périodiques sur l'Etat de l'Environnement ainsi que d'autres publications présentées sous différentes formes (lettres d'information, revues, bulletins statistiques, etc...).

4-L'élaboration d'un système statistique devant aboutir à une comptabilité de l'environnement (comptes du patrimoine naturel -physiques et/ou économiques-, comptes satellites de l'environnement tels que les dépenses pour la protection et/ou l'amélioration de l'environnement) pouvant être éventuellement intégrée à terme dans la comptabilité économique nationale.

### Les différents aspects du SIE

#### Aspect institutionnel

L'Office National de l'Environnement (ONE), placé sous la tutelle du Ministère de l'Environnement, a pour mandat, entre autres, de coordonner les systèmes de gestion de données sur l'environnement, d'animer la collecte des informations et de promouvoir leurs diffusions. Dans ce sens, une Commission Statistique sur l'Environnement a été instituée (par arrêté interministériel) avec comme rôle principal de valider toutes les informations et statistiques sur l'environnement et, partant, de veiller à une optimisation de la gestion des données environnementales.

D'autre part, les relations de travail de l'ONE avec les différentes institutions gestionnaires de données sur l'environnement (publiques ou privées) devront être concrétisées par des protocoles d'accord qui devront définir les rôles respectifs de chaque partenaire ainsi que les conditions de ce partenariat. (Voir Fig.2)

#### Aspect organisationnel

Le Système d'Information sur l'Environnement, comme mentionné plus haut, devra être constitué à partir de réseaux thématiques. Cette structuration est décrite comme suit (Voir Fig. 3):

Chaque réseau thématique comprendra des sites secondaires (collecteurs de données régionales ou à un niveau sous-thème), et un site principal (point focal du réseau) qui aura à rassembler et synthétiser les données des sites secondaires, en vue d'alimenter le tableau de bord environnemental global institué à l'ONE.

Le site principal du système (ONE), à travers le tableau de bord sur l'environnement, intégrera les données agrégées de chaque point focal thématique en vue de produire les indicateurs, présentés sous diverses formes (indices pertinents, rapports-notamment le Rapport sur l'Etat de l'Environnement, cartes, autres documents), susceptibles de répondre aux besoins des différents utilisateurs.

### Aspect technique

Actuellement, un Logiciel (GMS, pour GEOMANAGEMENT SYSTEM) est utilisé dans le cadre d'un projet pilote pour la réalisation technique du Tableau de Bord. Il permet de constituer des catalogues thématiques à partir des données en provenance du réseau (Une Démonstration du logiciel est proposée au Stand Da Vinci-GMS). Ce logiciel a été choisi par sa capacité d'intégrer plusieurs types de données et d'informations (textes, graphiques, cartes), de saisir des cartes (scannerisation, numérisation) et les géoréférencer, et donc de permettre des sorties cartographiques très élaborées.(Voir Fig. 4)

Cependant, la nécessité d'une uniformisation des formats devra s'imposer (référentiels cartographiques, découpage géographique, compatibilité des formats d'échange des données). A ce propos, le logiciel permet d'importer plusieurs formats de données à partir de SGBD ou de tableurs, d'importer des cartes à partir de différents SIG (Map Info, Arc Info, Roots,...) .

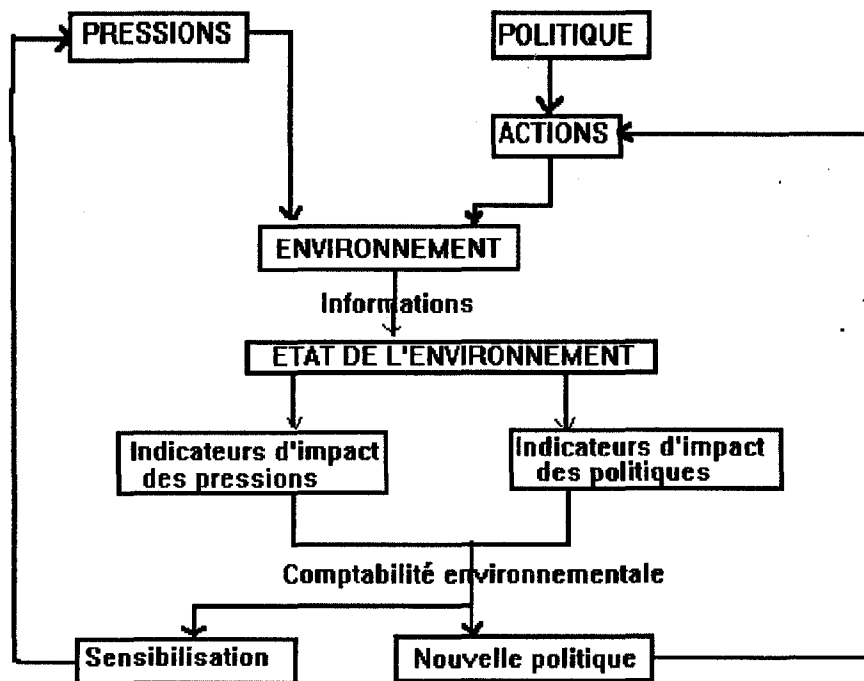
Toutefois, un Comité technique national est chargé de se pencher sur les problèmes de formats d'échange, de coûts d'acquisition des informations, des aspects techniques liés à l'évolution technologique et aussi de la mise à jour et de la qualité des données.

### Les informations existantes

Actuellement, quelques catalogues ont déjà été constitués à partir du logiciel :

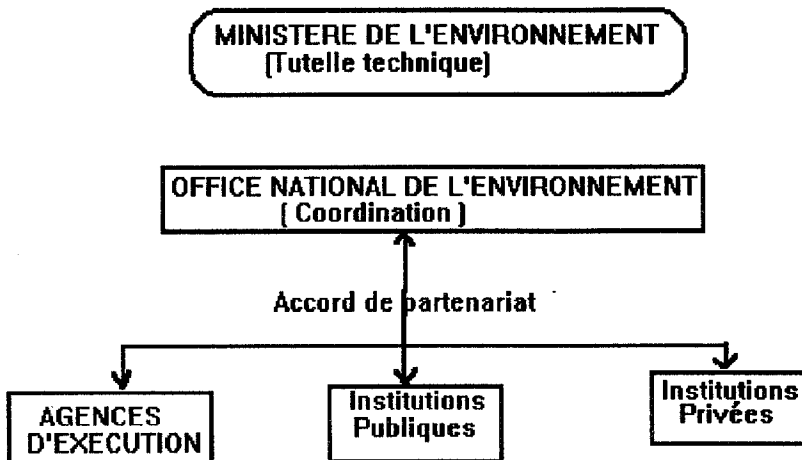
- Catalogue des informations existantes et des sources de données
- Inventaire des ONG sur l'Environnement
- Inventaire des compétences sur l'environnement
- Informations sur les différentes réalisations de l'Institut Géographique et Hydrographique National -FTM- (Cartes thématiques, photographies aériennes, etc...)
- Informations sur les aires protégées
- Inventaire forestier
- Mini-projets de conservation et de développement communautaire
- Informations cadastrales

**FIG. 1 - CADRE DE MISE EN OEUVRE DU SYSTEME D'INFORMATION SUR L'ENVIRONNEMENT**

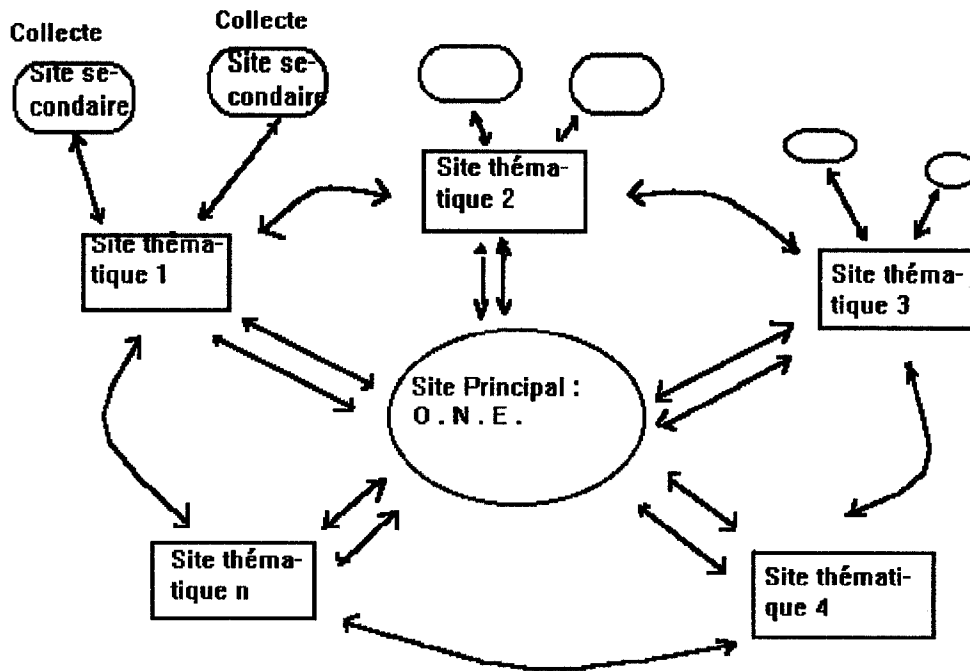


290

**FIG. 2 - ASPECT INSTITUTIONNEL DU S.I.E.**



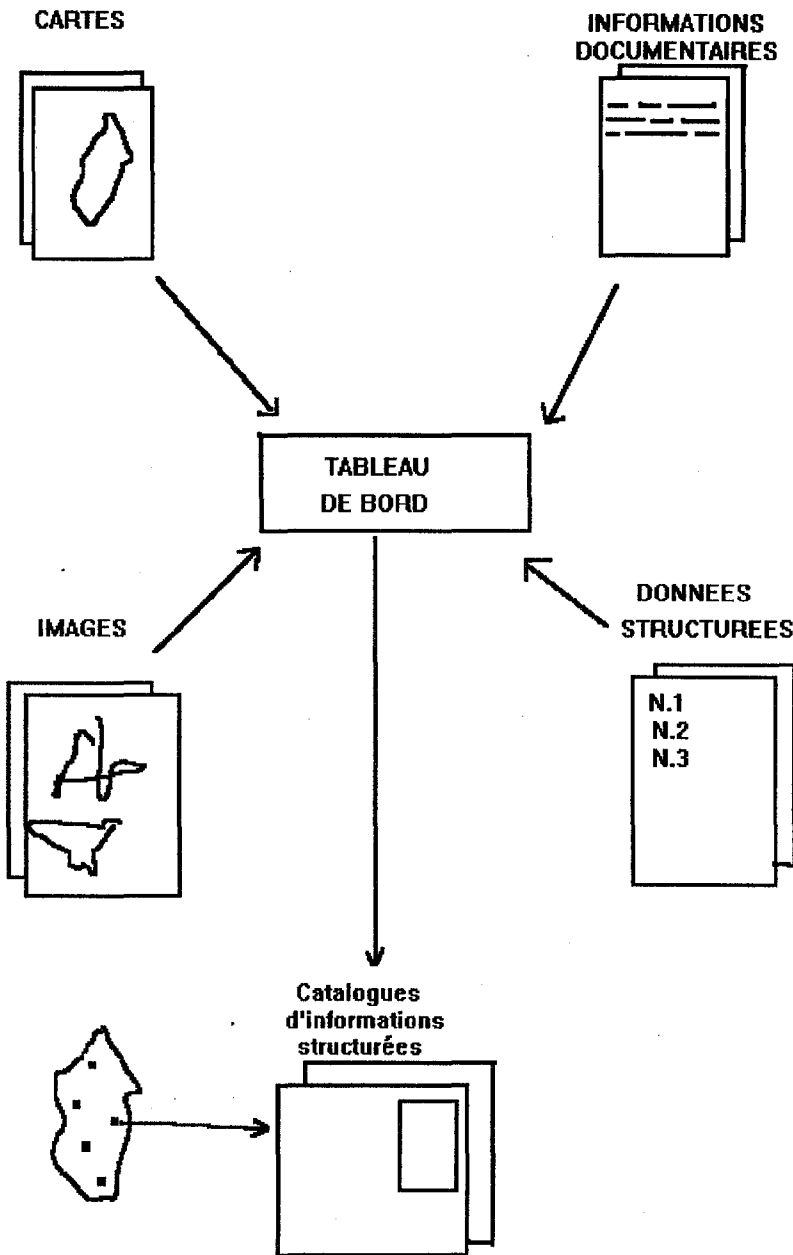
**FIG. 3 - ASPECT ORGANISATIONNEL DU S.I.E.**



2462

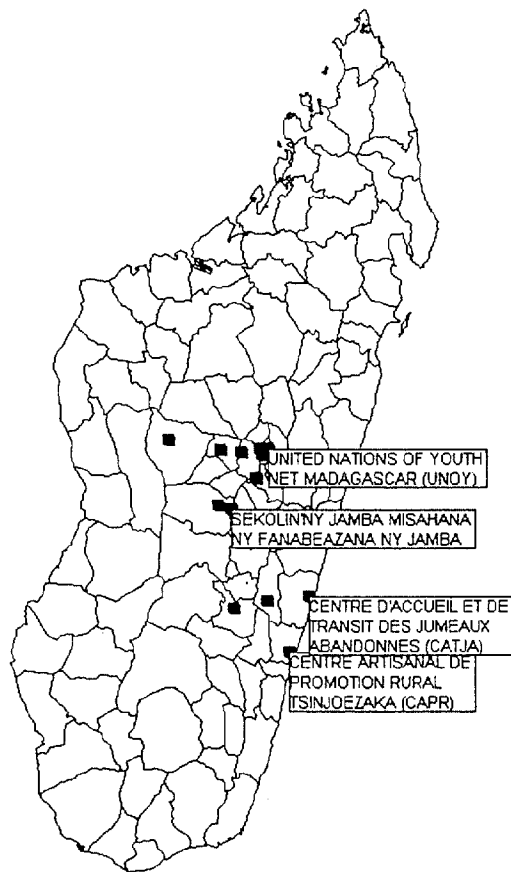


**FIG. 4 - ASPECT TECHNIQUE DU S.I.E.**



**EXEMPLE DE CATALOGUE : Organisations Non Gouvernementales (ONGs) à MADAGASCAR**

*(Echantillon de données avec quelques points renseignés)*



284

# DYNAMIC ASSET REGISTER: A BASE FOR GIS ESTABLISHMENT IN TANZANIA

## E. MUGEREZI

Managing Director, INFO BRIDGE Consultants, and Lecturer, Ardhi Institute, Dar es Salaam, Tanzania.

There are a number of problems in introducing Geographic Information Systems (GIS) in African countries. Already there are efforts in some organisations/institutions to establish GIS-related projects. Most of these projects are foreign funded with consultants from abroad.

The problem we are seeing is that of priority!. Considering all the capabilities and applications of GIS, and considering the existing problems in African countries, given the opportunity to choose, which GIS project should be given the first priority? There have been tremendous development in GIS technology (concepts, hardware and software) for the past 20 years, but this technology is very new and it is not easy for many people to understand it and its benefits. GIS must be introduced, first, to projects which give results which have direct positive impact to people and their government. Therefore the question of priority should be an issue to all those assisting to introduce GIS in Africa.

**ARDHI INSTITUTE**, a higher learning Institution in Dar es Salaam and **INFO BRIDGE Consultants** a private GIS company in Dar es Salaam have studied the situation in Tanzania and concluded that the priority in establishing the GIS should be to have **land records properly managed**. The study revealed that in many government offices, especially those concerned with mapping, cadastral, utilities and buildings, records are poorly kept and out of date. While Ardhi Institute is concentrating with GIS training, INFO BRIDGE Consultants is developing an application program called **DA\_Register**, for the purpose of improving the land recording system. This application program will assist organisations to manage and maintain land related records, as a preliminary step towards establishing a GIS.

In the Dynamic Asset Register (**DA\_Register**) every physical object is considered to be an asset, and for each asset there is a person's interest either as a owner or a user. The concept of **asset owner/asset user [AO/AU]** is used to develop a dynamic asset register. The **DA\_Register**, records controls and updates the location and properties of an asset. This register is useful to both small and big organisations.

**DA\_Register** contains seven main registers: Parcel, Title, Owner, Building, Unit, Occupier and Movable Asset. A parcel is a basic unit on which all other information is attached. To ensure that this program becomes popular, to decision makers and to have support from those concerned with finance, we have included asset values, and a means of automatically adjusting the asset values with time and inflation. In this way, the **DA\_Register** becomes an important input in the organisation's accounting system, such that, at any given time the asset value is known. By using the same coordinate system, fixed assets (land and buildings) and their corresponding movable assets will be digitized. With this approach, while developing an organisation's Asset Register, we will be actually developing a geographic database. The point here is that, many organisations in Tanzania are ready to finance Asset Registers computerisation, due to financial regulations and pressures from financial Auditors.

In **DA\_Register** non-spatial databases are managed using **dBASEIV** and **ORACLE**, while spatial databases are managed using **MICROSTATION**. By linking these two systems, **DA\_Register** is able to store and retrieve

various information concerning an asset. As I have shown above, many GIS project in the country are foreign funded. This means that it is not easy to decide the type of software to acquire because donors may dictate the type of software to buy. Because of this fact, our intention is to have the DA\_Register work with as may GIS/CAD software as possible. The immediate under consideration are IDRISI, ILWIS, ARC/INFO, AUTOCAD, REGIS.

This program intends to create GIS awareness while at the same time solving the pressing problem of managing land-related records. The following organisations have already shown interest with DA\_Register: National Housing Corporation (NHC), Tanzania Posts Corporation, Dar es Salaam City Council.

The success of this project will be a breakthrough to the establishment of GIS in Tanzania.

256

# CONCEPT AND METHODOLOGY FOR THE IMPLEMENTATION OF A GIS (THE EASTERN AFRICAN PERSPECTIVE)

**C. SEBUKERA**

NEIC, Uganda

## BACKGROUND

The potentials of GIS as an important tool in NRM was realised way back in Mid 1980's. Although not exactly new in the region, the introduction of computer based GIS with capacities to provide relatively quick answers and prediction on NRM trends generated quite a lot of excitement. It was quickly embraced by many institutions involved in NRM particularly those which were benefiting from donor support. Since that time it has received wide applications in:

- Ecological monitoring
- land use/land cover mapping
- livestock and wildlife inventory
- crop forecasting
- drought monitoring
- biodiversity studies.

The principal in most of these cases has been to integrate existing (old) information with satellite based information to monitor the dynamics in real time. Although computer based systems have played a major role to enhance capacities in change detection in the region, the method still benefits heavily from the traditional methods of visual interpretation and unsung transparency overlays to extract much of the information. In a way we can say our traditional GIS methods are being supplemented by the computer based systems.

## CONSTRAINTS

### 1. Lack of capacity/knowledge among the users.

- the development of GIS in the region has sometimes taking an academic angle with systems generating information without due regard users needs and ability to use the information.

- As the main clients in the region are often governments, lack of knowledge and appreciation of GIS capabilities among policy makers has led to inadequate funding provisions and lack of commitments to the technology from our governments. Unless this is changed the technology may remain donor funded for sometime.

### 2. Lack of accurate/consistent data on resource status.

3. Inadequate funding leading to low technology capabilities. Most GIS establishments in the region are turn-key, P C-based systems donated for projects. The concept of local area network systems has not yet attracted good funding except for DRSRS (Kenya) which has a relatively longer history in GIS applications.

4. Lack of co-ordination in GIS development. There are duplications in some instances with institutions in the same country establishing GIS on the same things e.g. soils, forestry, etc.

5. A similar problem is lack of harmonisation of GIS. development programmes in the countries. Different donors here introduced different softwares and systems, some of which may not necessarily be compatible with existing systems in the country or even in the same institution. This creates a problem of putting in place a comprehensive training program.

#### 6. Staff mobility

- Some people are trained on GIS but are not facilitated to work, due to lack of equipment or low funding so they move elsewhere. Other are promoted or transferred from institutions which were meant to benefit from GIS programmes.

### **STRATEGIES FOR IMPROVEMENT**

- Users needs assessment.
- Development of network systems for information generation and information users.
- Development of local capacities in GIS training.
- Integration of cost recovery in the GIS development programmes.
- Intensification of GIS awareness campaign programmes starting with the policy makers
- Increasing data access to the public.

## INTEGRATION DU "LIVRE BLANC" DE L'ENVIRONNEMENT EN COTE D'IVOIRE SOUS GEOSCOPE

**C.N.T.I.G. / P.N.A.E.**  
CÔTE D'IVOIRE

La maîtrise des problèmes environnementaux est un sujet préoccupant pour l'ensemble de la communauté mondiale. L'illustration en est les conférences de STOCKHOLM en 1972 et de RIO en 1992.

Il est évident que l'exploitation des ressources naturelles sans précaution entraîne toujours une dégradation irréversible des écosystèmes. Cette approche indispensable à la réalisation de projets dans le cadre d'un développement durable est désormais adoptée par les autorités ivoiriennes. Ceci se matérialise par la mise en oeuvre du Plan National d'Action pour l'Environnement (PNAE) en 1992. Après avoir mené une étude prospective et des réflexions relatives à la gestion de l'environnement le PNAE a fait un certain nombre de recommandations consignées dans le "LIVRE BLANC".

Ce projet dont l'ampleur et l'intérêt ne sont plus à démontrer se présente sous l'aspect d'un rapport illustré par des documents statistiques et des cartes.

L'objectif que nous nous sommes assigné en menant la présente étude est d'apporter notre contribution à une diffusion plus conviviale des résolutions adoptées dans le "LIVRE BLANC" en l'intégrant dans un programme informatique sous le logiciel GEOSCOPE.

Le résultat obtenu est une animation informatique d'utilisation très aisée dans laquelle toute la documentation écrite a intégré des données cartographiques, photographiques et tabulaires.

Ce procédé permet un approfondissement de tous les thèmes en faisant ressortir les résolutions adoptées et consignées dans le "LIVRE BLANC" de l'environnement en COTE D'IVOIRE. Ceci facilite les prises de décisions rapides sur les différents problèmes environnementaux.

N.B. : Le Logiciel GEOSCOPE qui a servi de support à nos travaux est un don de l'Agence Canadienne de Développement International (A C D I).

## TABLEAU DE BORD DE LA CÔTE D'IVOIRE: MISE A JOUR ET ADAPTATION AUX BESOINS NATIONAUX

### C.N.T.I.G. / W.R.I. / P.A.D.C.O.

Dans le cadre d'une gestion rationnelle des ressources naturelles et des projets de développement, l'élaboration de la première version du Tableau de Bord de la Côte d'Ivoire avait suscité un intérêt considérable.

Ce projet qui est issu d'une collaboration entre le Comité National de Télédétection et d'Information Géographique (CNTIG), le "World Ressources Institute" (WRI), le "United States Agency for International Development" (USAID) et le PADCO proposait un vaste inventaire, sous forme de données numériques représentant les ressources naturelles le découpage administratif et les projets de développement entrepris à travers l'ensemble du territoire.

Cette seconde étape qui constitue une mise à jour de la base de données disponibles se situe dans le prolongement des objectifs de la première. elle a permis d'apporter les rectificatifs nécessaires, les compléments d'information et d'améliorer la base :

- découpage administratif en vigueur,
- le réseau routier,
- le réseau hydrographique,
- les projets,
- les données socio-économiques...

Toutes ces données ont été projetées dans un système de coordonnées adaptée à la norme nationale.

L'objectif visé à travers la présente version du Tableau de Bord est de mettre à la disposition des Décideurs un outil de gestion et de prise de décision rapide répondant à leurs préoccupations majeures.



**Groupe de Travail 5:           GESTION DES PÂTURAGES**

**Working Group 5:           PASTORALISM**

**UN SIG POUR LE SUIVI DES PARCOURS EN MILIEUX ARIDES ET SEMI ARIDES (MAROC)**

J.-P. LACOMBE, M. A. BELAÏD, M.-J. LEFEVRE .....307

**METHODOLOGIE DE CARACTERISATION DES PARCOURS SUBDESERTIQUES  
(REGION DE OUARZAZATE - MAROC)**

T. BENNOUNA, M. KAEMMERER, R. MANIERE, A. ZOUHRI, M.-J. LEFEVRE .....320

**UN SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE (SIG) ET SA BASE DE DONNEES AU SERVICE  
D'AGROPASTORALISME DU LABORATOIRE DE RECHERCHES VETERINAIRES ET  
ZOOTECNIQUES DE FARCHA**

L. MBAIRANADJI .....336

# UN SIG POUR LE SUIVI DES PARCOURS EN MILIEUX ARIDES ET SEMI ARIDES (MAROC)

**J.-P. LACOMBE**

Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Toulouse, France

**M. A. BELAÏD**

Centre Royal de Télédétection Spatiale, Rabat, Maroc

**M.-J. LEFEVRE**

Centre National d'Etudes Spatiales, Toulouse, France

## **Résumé**

*Les écosystèmes des milieux arides occupent près de 30% de la surface des continents. Ils sont soumis à de fortes contraintes de l'environnement (climat, action de l'homme ... ). Leur gestion et leur contrôle au cours du temps deviennent possibles grâce à l'utilisation d'images de télédétection et de bases de données. Ces écosystèmes intéressent de nombreux pays du bassin méditerranéen, d'Afrique, du moyen-orient et d'autres continents; Ils sont parcourus par des troupeaux (ovins, caprins, bovins ... ) dont l'élevage est souvent la principale ressource économique.*

*Notre étude a été conduite au Maroc (projet GEOSTAT-Maroc). Ce pays est situé dans une zone continentale aride dont les paysages naturels et agricoles sont variés et où l'élevage extensif prélève largement un fourrage naturel rare et dispersé. Le surpâturage qui en résulte, associé aux contraintes socio-économiques du pays, souligne la nécessité d'assurer un suivi des terres de parcours.*

*La couverture exhaustive de ces milieux arides par des images satellitaires à haute résolution spatiale n'est pas réalisable pour des raisons évidentes. Notre but est donc d'élaborer un plan de sondage de manière à constituer une série d'images satellitaires sur un réseau de sites représentatifs. Ce réseau devrait permettre un suivi régulier de ces milieux. La technologie du SIG doit nous aider à positionner le plan de sondage, à élaborer une stratification du territoire et à constituer une grande base de données géographiques.*

## **1- introduction**

Les écosystèmes des milieux arides tiennent, dans le monde, une place non négligeable puisqu'ils occupent près de 30 % de la surface des continents. L'élevage extensif constitue la ressource alimentaire principale des pays concernés. En raison de son importance socio-économique, la gestion de ces écosystèmes des régions arides devient une préoccupation majeure. En accord avec de nombreux auteurs (Sherbrooke et Paylore, 1973; Walker et Robinove, 1981; Dregne, 1987) la fragilité générée par leur exploitation intensive (surpâturage, prélèvements de l'homme, déforestation ...) et par des conditions climatiques aggravantes justifie l'intérêt que les responsables portent au suivi des écosystèmes en milieux arides (UNESCO, 1979).

L'étude, à petite échelle, de vastes surfaces ne peut être envisagée qu'avec le recours de la télédétection satellitaire associée aux SIG. La couverture, par images spatiales, de territoires aussi vastes n'est pas réaliste en raison des coûts exorbitants qu'elle génère. On a donc recours à une méthodologie statistique qui consiste, en premier lieu, à échantillonner le territoire (les unités statistiques étant des sites représentatifs) et, en deuxième lieu, à extrapoler les résultats à l'ensemble du territoire. Cette méthodologie s'appuie sur la

connaissance du terrain et doit conduire à une description pertinente de l'espace étudié. Les caractéristiques de telle ou telle région doivent apparaître au travers de la zonation ainsi réalisée. On doit aboutir à l'identification de strates homogènes qui serviront de support au plan de sondage statistique. Le projet GEOSTAT-Maroc (C.N.E.S.-E.N.S.A.T, 1992) est résumé dans l'organigramme de la **figure 1**.

Nous avons appliqué cette méthodologie au territoire marocain (**figure 2**). Le Maroc couvre une surface de 711 000 km<sup>2</sup>. Il appartient à la sphère des pays du sud de la méditerranée concernés par les effets de la sécheresse et touchés par les problèmes de désertification. Le Maroc, selon les biogéographes comme Le Houérou (1990), recoupe les grandes divisions climatiques septentrionales, centrales et méridionales. Le régime des précipitations est donc très variable. La pluviométrie, dans les régions arides, est inférieure à 450 mm par an. L'élevage y occupe une place prépondérante, ce qui renforce l'intérêt que l'on doit porter aux terres de parcours qui sont soumises aux effets de la sécheresse et du surpâturage.

La première étape de notre travail consiste à élaborer une *méthodologie de stratification* du territoire à partir d'une base de connaissance experte. La seconde étape nous permettra de constituer une *base de données cartographiques*, à l'aide d'un SIG, conduisant, par des croisements appropriés, à l'élaboration du *zonage* et à la production d'une *carte de fragilité du milieu*. Dans une dernière étape, qui ne sera pas présentée ici, le SIG doit permettre une aide à la photo-interprétation des images satellites par des requêtes élémentaires dans la base de connaissances.

## 2 - Méthodologie

### 2.1- Etude thématique

L'utilisation de tous les facteurs sociaux, économiques, physiques et biologiques ne permet pas d'apporter une réponse simple et rapide à l'élaboration de la stratification. Pour pouvoir être transposable à d'autres régions similaires dans le monde, la méthodologie de stratification doit faire appel à des *paramètres simples, universels et globaux*.

En accord avec Hellden (1982) nous avons donc pris en compte des *paramètres universels* (climatiques, géomorphologiques, biologiques et anthropiques) et des *paramètres spécifiques* au pays ou à la région étudiée (structuration et organisation). Ces paramètres existent souvent sous forme associée. L'Atlas des Ressources Naturelles du Maroc a constitué notre source principale de documentation, sous un format cartographique. Nous avons retenu quatre cartes thématiques de base (**Tableau I**) pour lesquelles les niveaux ont été réduits selon un *modèle de regroupement* pour chaque couverture. Ce modèle prend en compte les potentialités agronomiques, climatiques et topographiques.

L'étude thématique à petite échelle est suivie d'une étude thématique à grande échelle (que nous ne présenterons pas ici) à partir de trois sites-tests : région d'Oujda, de Khénifra et de Zagora (**Figure 2**). Il s'agit d'identifier les terres de parcours, à partir d'images satellites à haute résolution, et de poser les bases d'une méthodologie de leur suivi.

## 2.2 - Utilisation d'un SIG

Nous définirons une strate comme étant un espace homogène où les paramètres pris en compte présentent, en tout point de cet espace, des caractéristiques identiques. Cette précision est utile pour le positionnement ultérieur d'images ou de segments d'images dans le cadre de l'étude statistique.

Les plans cartographiques ont été enregistrés dans la base de données du SIG ArcInfo. D'autres plans complémentaires de repérage ont été ajoutés (ligne de côtes, frontières, réseau hydrographique, villes principales etc...). Les cartes ont été digitalisées à deux échelles : 1/3 500 000 ou 1/5 000 000 et fournies en mode de coordonnées géographiques Lambert Nord Maroc. Le SIG permettra ainsi de réaliser l'opération de stratification puis le positionnement du plan de sondage après l'introduction, dans la base, de la grille SPOT.

La stratégie de croisement retenue est hiérarchique. Les classes sont croisées deux à deux puis trois à trois. Le croisement du plan des sols avec le plan des bioclimats conduit à une carte des contraintes édapho-climatiques. Cette carte, combinée au plan des grands systèmes agro-pastoraux de la région, permettra d'extraire le *zonage* ainsi qu'une carte de *fragilité potentielle au surpâturage*.

## 3 - Résultats

Nous présenterons ici le croisement de trois plans : pour un système agro-pastoral donné nous analyserons l'effet des bioclimats et le rôle des types de sols. Ce croisement a été retenu pour caractériser la stratification. Ensuite, compte-tenu des interactions entre ces trois paramètres, nous présenterons la carte de fragilité potentielle au surpâturage.

### 3.1 - Le zonage

Cinq strates principales, concernant les terres de parcours, ont été retenues. Nous avons écarté la strate « Steppes des régions désertiques » (camélins et nomadisme) en raison de sa grande spécificité. La steppe est présente, à des degrés divers et dans des compositions floristiques diverses, dans toutes les strates. La nomenclature proposée fait ressortir les caractères bioclimatiques dominants.

#### 3.1.1 - Steppes des régions subdésertiques (*Caprins dominants + ovins + céréales extensives*) -

*Classe « CaOv » : 128 056 km<sup>2</sup>*

C'est la plus grande strate (**Figure 3**). Elle couvre 36 % de la superficie totale. Les bioclimats aride et saharien prédominent à plus de 97%.

Dans l'étage saharien qui occupe près de 50% de la strate, les sols sont exclusivement du groupe A. Trois grandes zones, au sud de l'Atlas, permettent de positionner aisément des images satellites.

Dans l'étage aride, les sols A sont largement présents et forment deux grandes zones. Les sols C (5.5% de la strate) se situent à l'ouest du Haut et du Moyen Atlas. Une seule aire est assez étendue pour être échantillonnée. Les sols D sont plus rares mais présentent un secteur homogène dans l'Anti-Atlas.

#### 3.1.2 - Pelouses et forêts de haute montagne (*Transhumance, mode sylvo-pastoral*) -

*Classe « SP/T » : 55 126 km<sup>2</sup>*

Elle est centrée sur la chaîne de l'Atlas et, contrairement à la précédente, elle est hétérogène. Cette strate est découpée en parcelles polymorphes dont la plupart sont étroites et allongées. Sa surface est importante (15% des terres de parcours).

L'étage humide est bien représenté. Les sols de type C délimitent de vastes secteurs compacts dans le Haut et dans le Moyen Atlas. Les sols des types D et A sont très morcelés.

Dans l'étage aride, les sols A colonisent 23% de la strate sous forme de nombreuses zones en lanières. Les sols C, bien que représentés par 18% de l'espace, offrent une structure éclatée. Enfin les sols D, eux aussi, présentent un morcellement accentué. Seul un secteur sur quatre est suffisamment homogène pour recevoir un segment d'image.

### **3.1.3 - Forêts et matorrals** (mode agro-sylvo-pastoral) - Classe « ASP » : 44 788 km<sup>2</sup>

Cette strate est de l'importance de la précédente par sa superficie mais offre une homogénéité supérieure. Elle se dissocie en deux grands secteurs, l'un dans le nord (Rif) l'autre au sud-ouest du Haut Atlas et de l'Anti Atlas. Les trois étages bioclimatiques sont représentés.

L'étage aride est surtout colonisé par les sols D (30% de la strate) puis par les sols du groupe C (21% de la strate). Enfin, avec 14% de la surface, viennent les sols A dont le morcellement rend difficile leur exploitation statistique.

L'étage humide est surtout caractérisé par les sols D qui occupent 20% de la strate en une zone homogène et compacte. A l'inverse, les sols C se présentent sous la forme de quatre secteurs étirés.

### **3.1.4 - Steppes des régions arides** (Ovins dominants + caprins + céréales extensives) - Classe « OvCa » : 39 721 km<sup>2</sup>

Seul l'étage bioclimatique aride est représenté dans cette strate. Elle est homogène et se situe dans la grande plaine de Marrakech allant jusqu'à la bordure océanique. Les sols les plus pauvres (sols A) couvrent 60% de la strate et délimitent deux vastes secteurs, l'un près de Marrakech l'autre près d'Agadir. Les sols C complètent le recouvrement avec 35% de la superficie et présentent quatre zones dont deux, de grande taille, sont situées autour de Chiadma et Kourigba.

### **3.1.5 - Steppes à Alfa des régions sub-arides** - Classe « Alf » : 26 147 km<sup>2</sup>

Avec seulement 7% des terres de parcours (**figure 4**) elle a, cependant, une grande importance par son homogénéité et sa production fourragère. En effet, elle est dominée par l'alfa sur des sols presque exclusivement squelettiques (sols A) et situés dans l'étage aride. Cette strate occupe le plateau du Rekkam, dans le nord-est du pays.

Dans l'ensemble, les strates montrent une certaine unité. En effet, les modes d'exploitation agricole se superposent assez bien aux grands ensembles édapho-climatiques. Nous n'avons pas présenté le plan *densité de population*. Ce plan confirme que la population se concentre dans les secteurs où les conditions édapho-climatiques sont les plus favorables (plaine du Gharb, du Saïs, bande côtière, oasis de vallées). L'eau représente, dans tous les cas, le facteur limitant au développement de ces écosystèmes fragiles.

## **3.2 - Carte des fragilités**

La fragilité des sols, donc leur aptitude à la dégradation, est liée à leur structure physique, à leur nature physico-chimique ainsi qu'à l'effet des conditions climatiques amplifié par la faible présence végétale, voire parfois son absence. L'action de l'homme, par le prélèvement de biomasse à des fins domestiques ou par le surpâturage de ses troupeaux, constitue une circonstance aggravante. L'écosystème naturel offre alors une sensibilité particulière que l'on peut quantifier selon une échelle de 0 à 4 (**Tableau II**) et représentée graphiquement par la carte *de fragilité potentielle au surpâturage* (**Figure 5**).

Il est donc essentiel de prendre en compte cette fragilité et de déclarer les écosystèmes concernés comme appartenant à des zones à risques. Le déficit hydrique associé au surpâturage, aux exportations de

2015

l'homme et à l'érosion de sols pauvres et squelettiques conduisent irrémédiablement à une désertification. Celle-ci ne peut que déclencher des phénomènes migratoires de la population vers des zones moins défavorables où la densité de population ne cesse d'augmenter (Grégoire, 1990). Le plan de sondage devra prendre en compte cette réalité et permettre de mettre en place un véritable observatoire des zones à risques.

#### 4 - Conclusion

Avec l'aide du SIG il a été possible d'élaborer la méthodologie GEOSTAT-Maroc. Celle-ci présente de nombreux avantages :

- ♦ Elle constitue un *modèle méthodologique extrapolable* à d'autres régions homologues du globe. Ce modèle est *simple* car il s'appuie sur des paramètres universels, globaux dont l'acquisition ne pose pas de problèmes,

- ♦ L'utilisation du SIG nous a permis de réaliser un *zonage* du territoire marocain en unités homogènes répondant au besoin de l'étude des *parcours en milieu aride*. Une carte des contraintes a pu être établie, soulignant la nécessité de constituer un *observatoire des zones à risques*,

- ♦ L'élaboration de la base de données GEOSTAT-Maroc, à partir d'un SIG, a permis de positionner le *plan de sondage* pour la phase statistique actuellement en voie d'achèvement,

- ♦ La base de données ainsi constituée a permis d'acquérir une meilleure *connaissance* des écosystèmes en milieux arides et, par voie de conséquence, l'acquisition d'outils pour mieux maîtriser leur *environnement*.

La méthodologie GEOSTAT-Maroc doit être nécessairement associée à *une méthodologie d'identification et de suivi des parcours* (Bennouna, Lacombe, Lefèvre, 1995). Selon de nombreux auteurs (Pilon et all, 1987; Prince et all, 1990; Zouhri, 1992) cette méthodologie doit recourir à l'utilisation d'images satellites à haute résolution. Cette phase, actuellement en cours de réalisation, s'appuie également sur une connaissance experte du terrain avec ses composantes pédologiques et géologiques, comme l'affirment Merzouk et all (1990) mais aussi écologiques et agronomiques.

#### 5 - Remerciements

*Nous remercions particulièrement V. Mariette du C.N.E.S. et M. Kabbaj du C.R.T.S. pour la confiance qu'ils nous ont accordée au cours de ce projet, M. Yessef et O. Berkat de l'I.A.V. Hassan II pour leurs conseils et la définition des objectifs de l'étude, J.C. Revel et M. Kaemmerer de l'E.N.S.A.T. pour les analyses pédologiques réalisées sous leur autorité, M. Dubucq pour ses connaissances thématiques et techniques, A. Husson et C. Crépeau de Scot Conseil pour avoir facilité nos contacts avec les institutions marocaines, M. Le Pr Guédari et M. Zouhri de l'O.R.M.V.A.O. pour leur soutien et leur expertise au cours des missions de terrain, S. Potier de Silogic pour ses compétences SIG et enfin la Direction de l'Elevage au Maroc pour son aide au cours de ce projet.*

## 6 - Références

Bennouna T., Lacombe J.P., Lefèvre M.J. (1995), *Méthodologie d'identification et caractérisation des parcours pastoraux dans l'étag aride présaharien (Maroc)*. Photo-Interprétation, à paraître.

C.N.E.S. - E.N.S.A.T. (1992), *Inventaire et suivi des terres de parcours - étude thématique : stratification du territoire (Maroc)*. Projet GEOSTAT-Maroc, 78 p.

Dregne H.E. (1987), *Desertification : Man's abuse of the land*. Journal of Soil and Water Conservation, v.33, 11-14.

Gregoire R. (1990), *L'expérience communautaire en matière d'utilisation de la télédétection dans la lutte contre la sécheresse et la désertification en Afrique de l'Ouest*. Télédétection et sécheresse. Ed AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. Paris., 95-109.

Hellden U. (1982), *Approaches to desertification monitoring in the Sudan using Landsat data - A test of a geographical data base approach - preliminary results*. First Thematic Conference : "Remote Sensing of Arid and Semi-arid Lands", Cairo, 427-435.

Le Houerou H.N. (1990), *Définition et limites bioclimatiques du sahara*. Sècheresse n°4, vol 1, 246-259.

Merzouk A., Badraoui M., Fassi D., Akeskouss H., Bonn F., Hinse M., Gwyn H. (1990), *Essai méthodologique de classement et cartographie des terres en vue de la conservation des sols et des eaux en zones semi-arides : apport de la télédétection*. Télédétection et sécheresse. Ed AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. Paris. 163-171.

Pilon P.G., Howarth P.J., Bullock R.A., Adeniyi P.O. (1987), *Problems of change detection in a semi-arid region of west Africa using Landsat MSS data*. Presented at the 11th Canadian Symposium on Remote Sensing, University of Waterloo, Ontario, June, 22-25, 117-124.

Prince S.D., Justice C.O. Et Los S.O. (1990), *Télédétection de l'environnement sahélien, revue de l'état actuel et des projets futurs*. Commission des Communautés Européennes., 136 p.

Sherbrooke W.C., Paylore P. (1973), *World desertification : cause and effect*. A literature review and annotated bibliography : Tucson, Univ. of Arizona, Office of Arid Land Studies, 168 p.

UNESCO, PNUE, FAO (1979), *Les écosystèmes pâturés tropicaux : un rapport sur l'état des connaissances préparé par l'UNESCO, le PNUE et la FAO*. Paris, 1979, 656 p. (Résumé in Nature et Ressources, vol. XV, n°3, juillet-septembre 1979, 2-9.).

Walker A.S., Robinove C.J. (1981), *Anonoted bibliography of remote sensing methods for monitoring desertification*. Geological Survey Circular, 851, 25 p.

Zouhri A. (1992), *Utilisation des images SPOT pour la cartographie de la végétation steppique des zones arides, exemple des parcours Aït Zekri à Ouarzazate (Maroc)*. Mémoire de DESS, GDTA, France, 27 p.

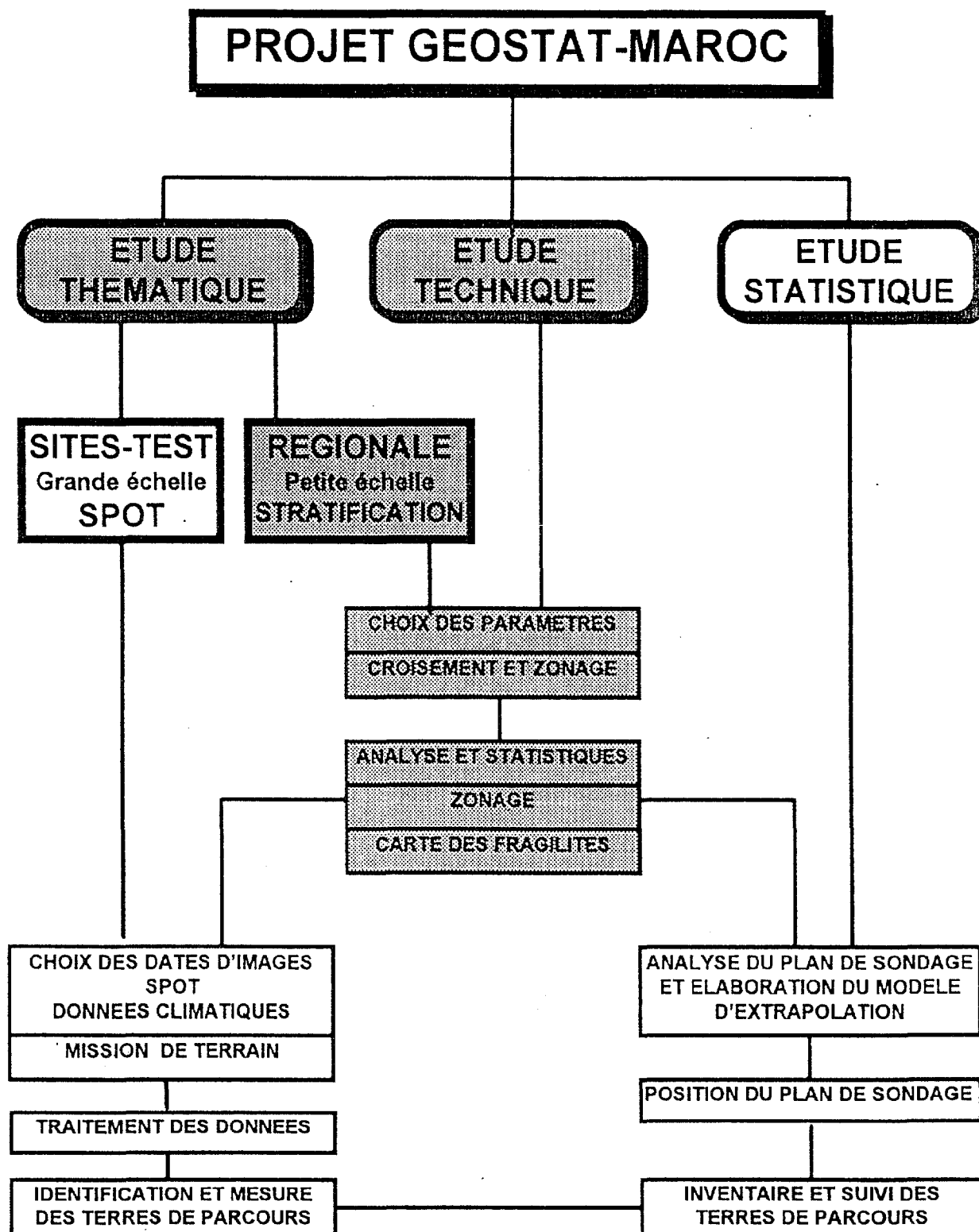


Figure 1 : Schéma méthodologique du projet GEOSTAT

(en grisé, l'objet du travail présenté ici)

298



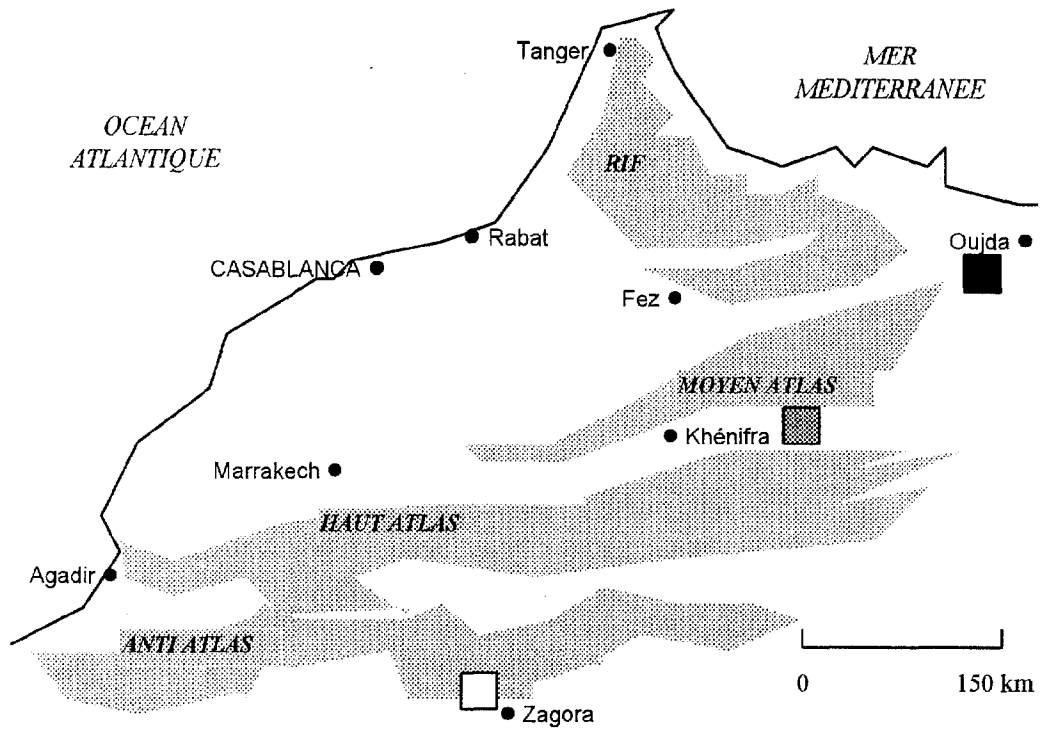



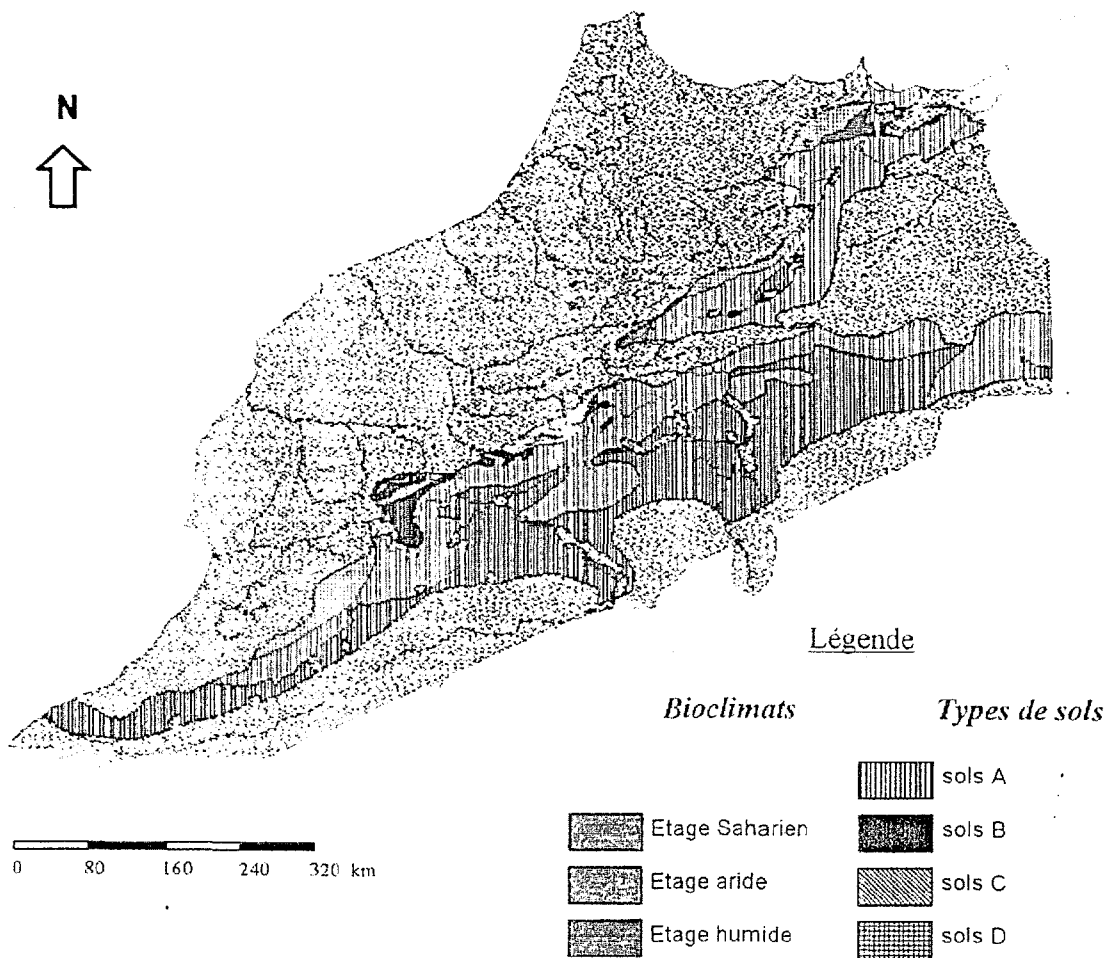


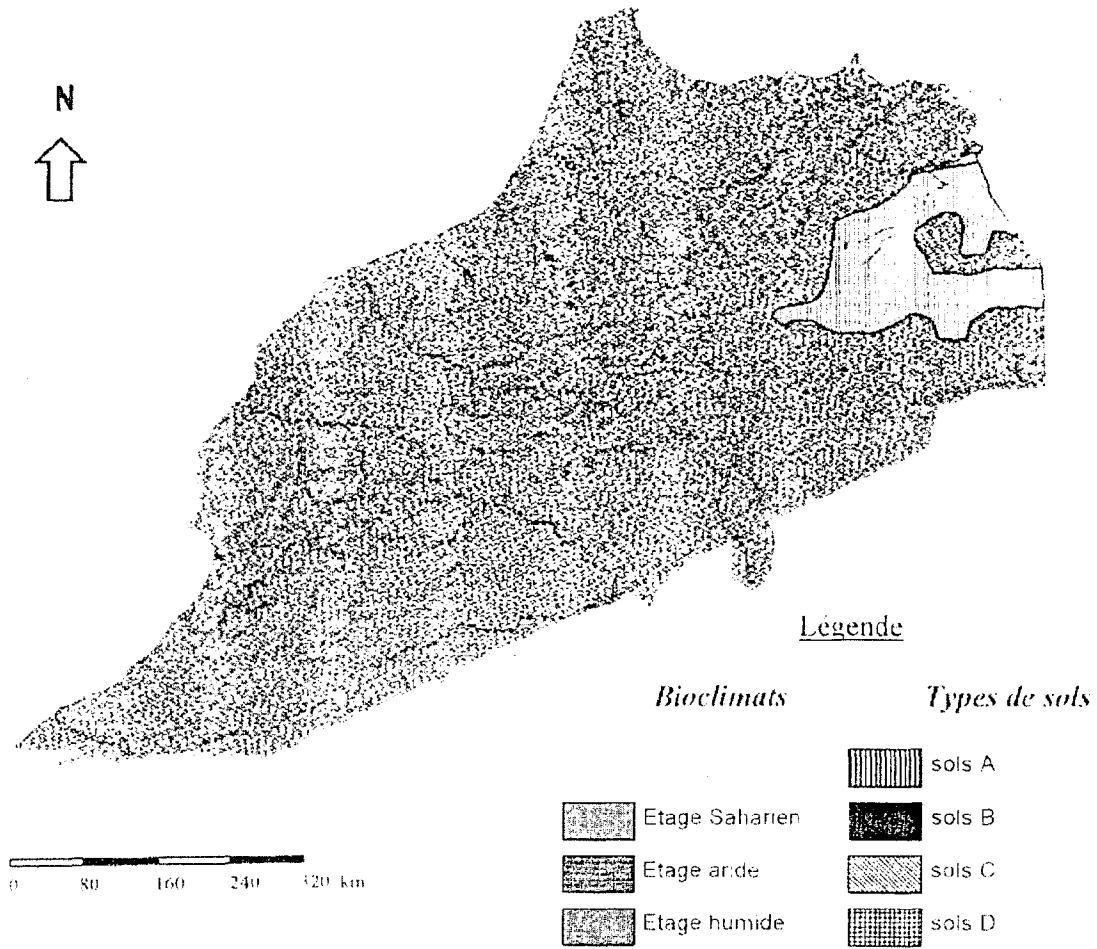
Figure 2 : Extrait de la carte du Royaume du Maroc

-  Site de Ktaoua
-  Site de Midelt
-  Site de Ain Beni Mathar

299



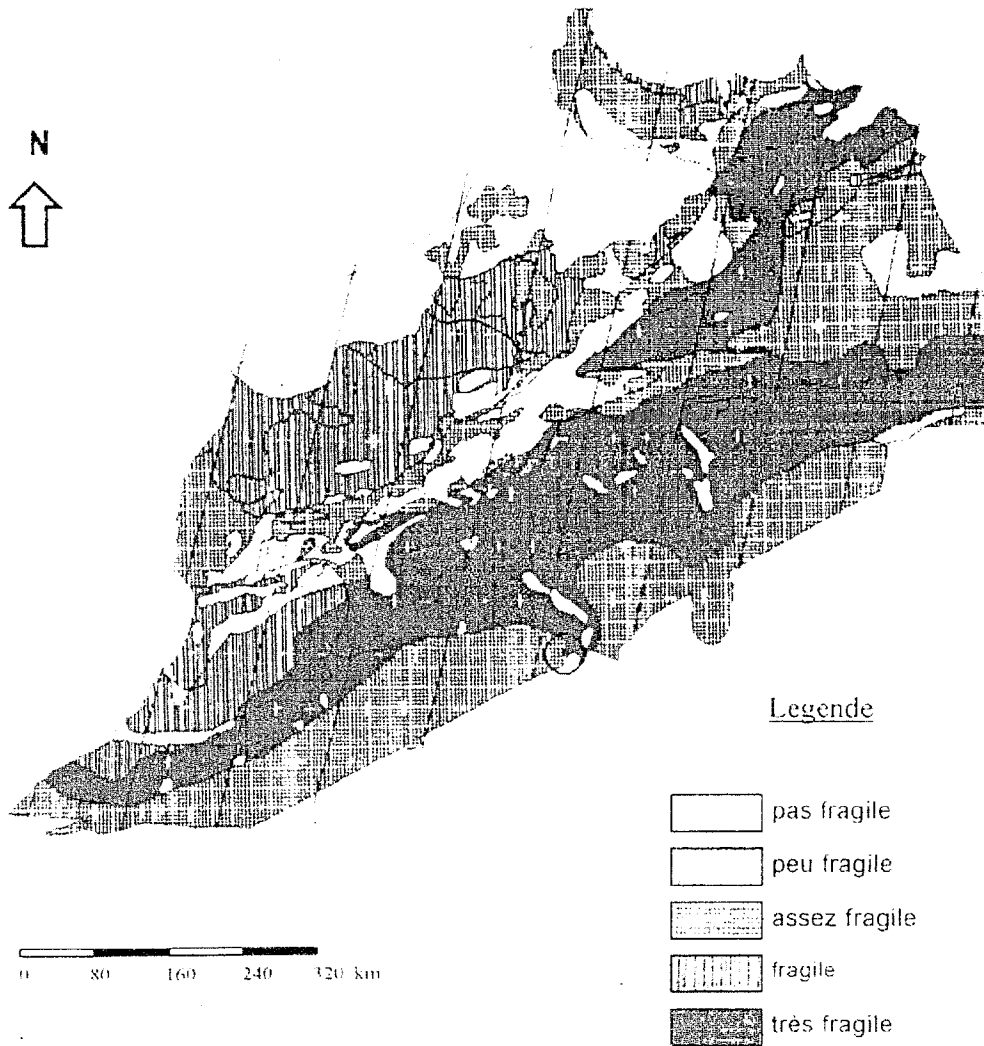
**Figure 3** Strate de la « Steppe des régions sub-désertiques »  
(Extrait de la carte du Maroc)



**Figure 4** Strate de la « Steppe à alfa des régions sub-désertiques »  
(Extrait de la carte du Maroc)

361

1995 BEST AVAILABLE COPY



**Figure 5** : Carte des risques potentiels liés à la fragilité des sols et au surpâturage (Extrait de la carte du Maroc)

BEST AVAILABLE COPY

302

CLASSES	DESCRIPTION DES NIVEAUX	Nomenclature
1 - BIOCLIMATS	<ul style="list-style-type: none"> <li>♦ Sub-humide, humide, montagnard .....</li> <li>♦ Aride et semi aride .....</li> <li>♦ Saharien .....</li> </ul>	humide aride saharien
2 - SOLS	<ul style="list-style-type: none"> <li>♦ Sols minéraux bruts + sols peu évolués + sols éoliens + sols sodiques .....</li> <li>♦ Vertisols + sols hydromorphes .....</li> <li>♦ Sols calcimagnésiques + sols bruns peu évolués + sols humiques brun-châtain + sols fersialitiques + andosols .....</li> <li>♦ Sols lessivés brunifiés .....</li> </ul>	A B C D
3 - SYSTEMES D'EXPLOITATION AGRO-PASTORALE	<ul style="list-style-type: none"> <li>♦ Agrosylvopastoral extensif à ovins et caprins ....</li> <li>♦ Agrosylvopastoral extensif à caprins et ovins ....</li> <li>♦ Sylvopastoral et transhumance .....</li> <li>♦ Agrosylvopastoral à forêts et matorals.....</li> <li>♦ Zones alfatières à ovins .....</li> <li>♦ Zones désertiques - nomadisme à camélidés ...</li> </ul>	OvCa CaOv SP/T ASP Alf Camel
4 - POPULATION	<ul style="list-style-type: none"> <li>♦ Plus de 60 habitants/km<sup>2</sup> .....</li> <li>♦ de 20 à 60 habitants/km<sup>2</sup> .....</li> <li>♦ de 1 à 20 habitants/km<sup>2</sup> .....</li> <li>♦ Moins de 1 habitant/km<sup>2</sup> .....</li> </ul>	>60 20-60 1-20 <1

**Tableau I** : Classes et niveaux retenus pour la stratification

303

STRATES ET MODES PASTORAUX	Fragilité au surpâturage	ETAGES BIO CLIMATIQUE S	SOLS	Fragilité des sols	FRAGILITE TOTALE
<b>Pelouses et forêts de haute montagne</b> <i>Mode sylvopastoral et transhumance</i>	★★	ARIDE	A	★★	★★
			C	★★	★★
			D	★★★	★★★
	★	HUMIDE	A	★	★
			C	★	★
			D	★★	★★
<b>Forêts et Mattorals</b> <i>Mode agro-sylvo-pastoral</i>	★	ARIDE	A	★	★
			C	★★	★★
			D	★★★	★★★
	0	HUMIDE	A	0	0
			B	0	0
			C	★	★
			D	★★	★★
	★★★	SAHARIEN	A	★★	★★★
<b>Steppes à alfa des régions sub-arides</b> <i>Ovins</i>	★★	ARIDE	A	★	★★
			D	★★★	★★★
<b>Steppes des régions arides</b> <i>Céréales extensives</i> <i>Ovins et Caprins</i>	★★★	ARIDE	A	★	★★★
			B	★	★★★
			C	★★	★★★
			D	★★	★★★
<b>Steppes des régions sub-désertiques</b> <i>Céréales extensives</i> <i>Caprins et Ovins</i>	★★★★	SAHARIEN	A	★★	★★★★
	★★★★	ARIDE	A	★	★★★★
			C	★★	★★★★
			D	★★★	★★★★
	★★	HUMIDE	A	0	★★
			C	★	★★

**Tableau II :** Surpâturage - Risques potentiels

0 pas de fragilité  
★ faible fragilité  
★★ fragilité moyenne  
★★★ forte fragilité  
★★★★ très grande fragilité

# METHODOLOGIE DE CARACTERISATION DES PARCOURS SUBDESERTIQUES (REGION DE OUARZAZATE - MAROC)

## **T. BENNOUNA**

Cisi-Toulouse, France

## **M. KAEMMERER**

Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Toulouse, France

## **R. MANIERE**

Université d'Aix-Marseille III, Faculté des Sciences et Techniques de St Jérôme, France

## **A. ZOUHRI**

Office Régional de Mise en Valeur Agricole, Ouarzazate, Maroc

## **M.-J. LEFEVRE**

Centre National d'Etudes Spatiales, Toulouse, France

## **RESUME**

Dans le cadre du projet GEOSTAT-MAROC qui propose une méthode d'inventaires statistiques des zones pastorales au Maroc, nous avons mené une étude de faisabilité sur les potentialités de SPOT à cartographier les parcours en milieu désertique. Une méthodologie d'identification et de caractérisation des zones pastorales a été mise au point sur la zone désertique de KTAOUA. Cette méthode a été validée sur une région subdésertique, site de "TAZNAKHT". En perspective, une banque de données est en cours de réalisation. Elle doit permettre à travers un S.I.G. de répondre aux besoins de gestion des zones pastorales à l'échelle communale, voire régionale.

## **I- INTRODUCTION**

La dégradation de l'environnement en milieu aride se traduit généralement par la réduction plus ou moins irréversible du couvert végétal, aboutissant à une diminution de la phytomasse épigée et à la mise en place de nouveaux paysages végétaux désertiques. C'est la désertisation au sens de **LE HOUEROU, 1969**. Les zones subdésertiques (précipitations annuelles comprises entre 100 et 200 mm) et désertiques (précipitations inférieures à 100 mm par an) présentent une plus grande sensibilité à ce phénomène. En effet, restées longtemps à l'écart d'une influence humaine destructrice, ces zones et particulièrement les subdésertiques, ont connues ces derniers décennies l'accroissement démographique, l'introduction de la culture mécanisée, l'exploitation industrielle, pharmaceutique et ménagère des ressources végétales, le surpâturage, etc. Le résultat en est un déséquilibre généralisé entre la demande sociale et l'offre de la nature. Ce constat, a eu pour conséquence la mise en place de programmes d'aménagement de ces milieux. L'introduction dans les conventions de Lomé IV (par rapport aux précédentes) d'un titre spécialement consacré à l'environnement (**T.CLARKE, 1994**) est une innovation dans ce domaine. Reste à savoir comment procéder en vue de préconiser des moyens de lutte contre la dégradation de ces zones ?

Au Maroc, la dégradation de la végétation et des sols qui lui succède est active ou susceptible de le devenir sur les 8/10 du pays, tel a été le constat de **G. FAY** en 1986. Les parcours représentent les écosystèmes les plus touchés par ce fléau. Une gestion rationnelle et équilibrée de ces milieux passe d'abord par la réalisation

305

d'inventaires prenant en compte aussi bien les ressources naturelles disponibles, que les données géographiques, climatiques et édaphiques conditionnant la richesse des parcours en végétation. Le projet GEOSTAT-MAROC se propose d'élaborer une approche statistique spécifique permettant de réaliser cet inventaire à partir des données terrain associées aux données de télédétection.

Une méthodologie de caractérisation, par imagerie SPOT, des parcours pastoraux en régions subdésertiques est présentée dans cet article. Elle a pour principe de combiner les données de terrain et les données SPOT (T. BENNOUNA et al., 1995). En parallèle à ce travail, une base de données est en cours de réalisation. Elle doit permettre à travers un S.I.G. de répondre aux besoins de gestion des zones pastorales à l'échelle communale, voire régionale.

## II- LE CONTEXTE

Dans le cadre du Programme SPOTAVAL, le CNES réalise le projet méthodologique GEOSTAT, qui porte sur la recherche de plans d'échantillonnage statistiques permettant, compte tenu de diverses contraintes thématiques et techniques, d'apprécier des objets et/ou phénomènes perceptibles et mesurables à grande échelle et intéressant de vastes surfaces. Le projet GEOSTAT porte sur le thème général "du suivi des écosystèmes naturels en milieu aride/semi-aride". Le Maroc a été choisi comme site d'étude, les parcours pastoraux comme thème de l'étude. Cependant, l'étude que nous avons menée aura un souci de généralisation de la méthode et se proposera d'évaluer, à terme son degré d'adaptation à d'autres sites que celui qui est choisi, voire d'autres thématiques. (M.J. LEFEVRE et al., 1993). Les principales étapes de la méthodologie "GEOSTAT-MAROC" sont illustrées par l'organigramme de la **figure 1**. La **figure 2** représente la stratification servant de base au plan de l'échantillonnage statistique.

Une étude thématique détaillée a été réalisée sur 3 sites-tests (**figure 1**). Son objectif était de démontrer la faisabilité des données numériques SPOT pour la cartographie et l'identification des différentes classes pastorales. Les sites-tests ont été choisis sur les formations steppiques les plus représentatives des terres de parcours au Maroc : Le site d'OUJDA, sur les parcours steppiques à alfa, le site de KHENIFRA sur les parcours de transhumance à alfa et armoise, et le site de KTAOUA sur les parcours subdésertiques. Les sites d'OUJDA et KHENIFRA se localisent sur des parcours steppiques à biomasse végétale relativement importante même en période estivale. Par la méthode de classification supervisée, jusqu'à 5 classes pastorales ont été cartographiées avec une précision moyenne de 83,6 % (AIT BELAID et al., 1994). Le site de KTAOUA se situe dans les parcours subdésertiques dans lesquels la végétation peut avoir un recouvrement nul. Les conditions environnementales sévères qui caractérisent ce site, nous ont amené à proposer une méthode combinant les données de terrain, les données SPOT, et utilisant à la fois les méthodes de classification et d'Interprétation Visuelle Assistée par Ordinateur (I.V.A.O.). Cette méthode a été précisée et validée sur un autre site (TAZNAKHT) localisé également dans les parcours subdésertiques. Notre but ici, est de présenter cette méthodologie.



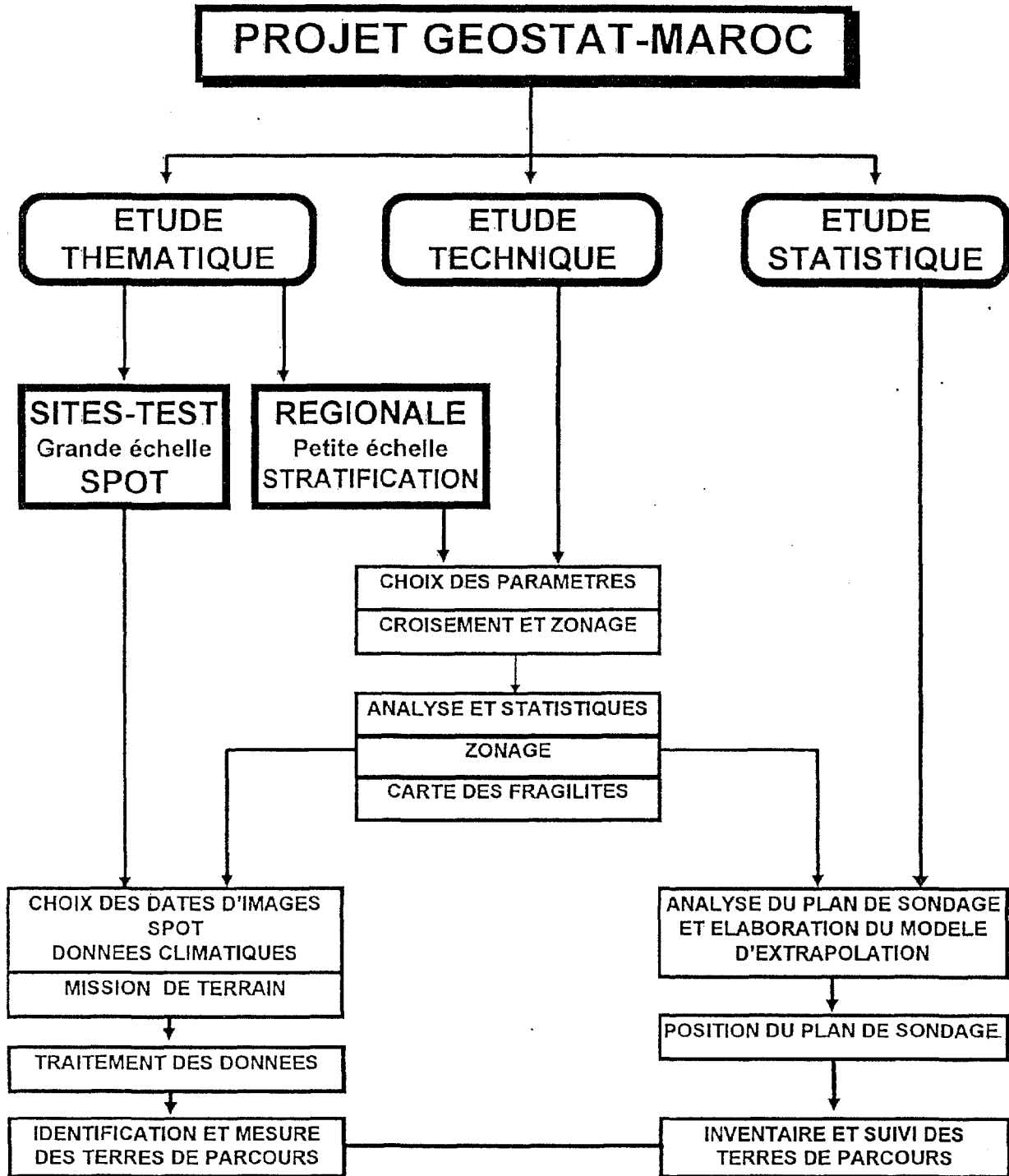
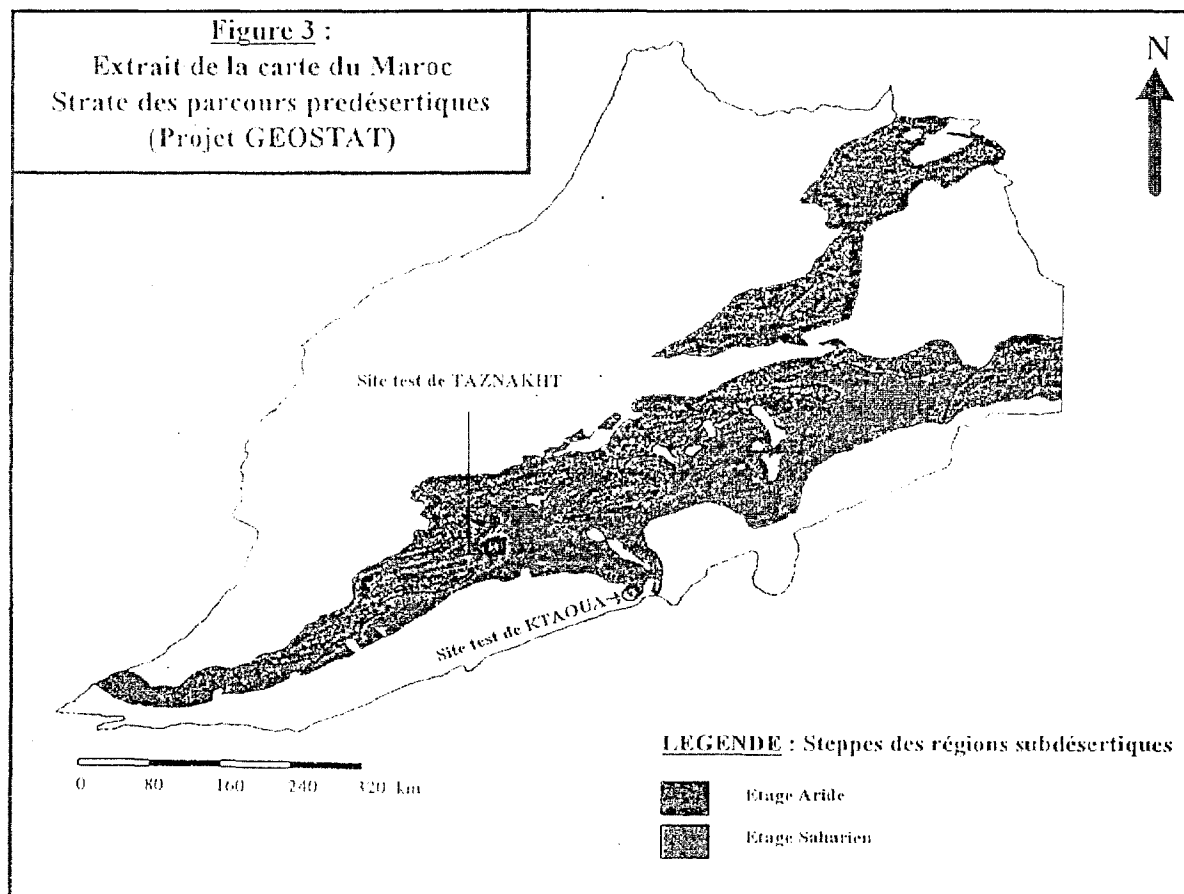
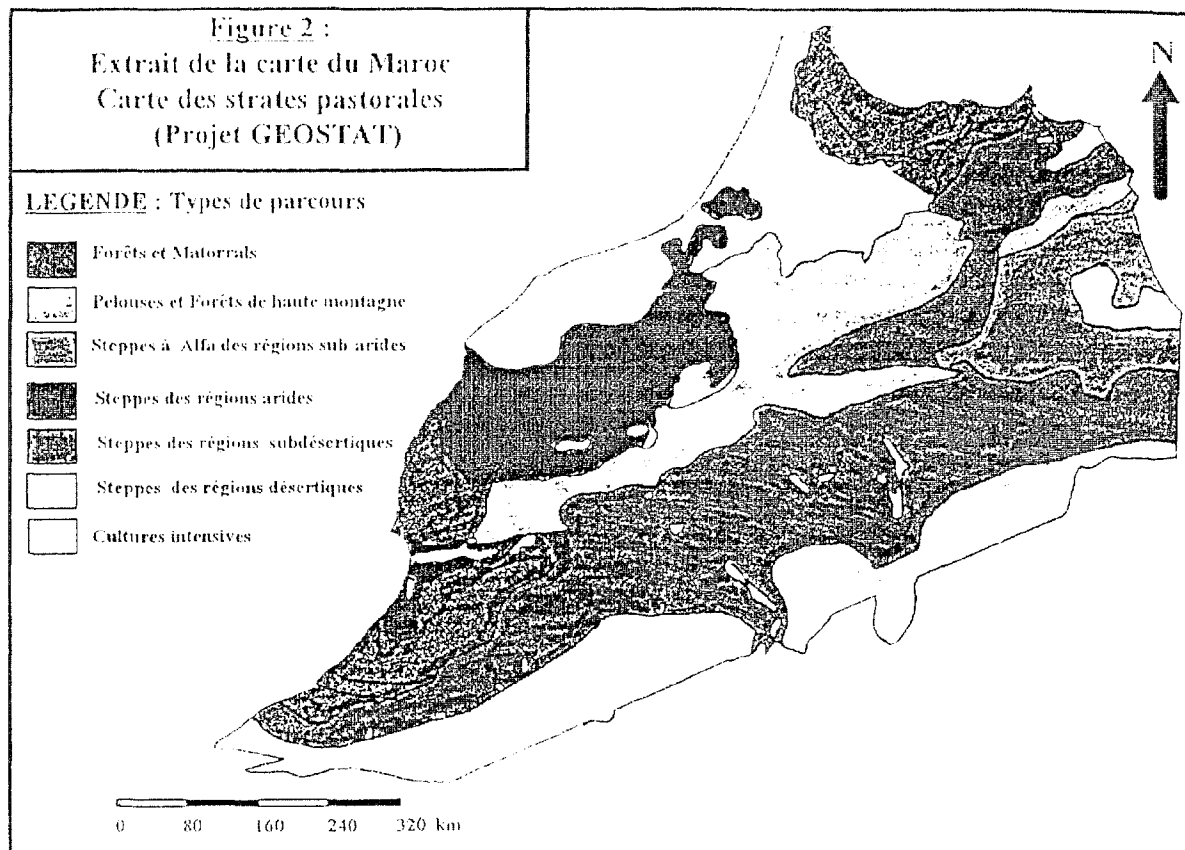


Figure 1 : Schéma méthodologique du projet GEOSTAT

307



### III- ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LA CARTOGRAPHIE DES PARCOURS :

Les méthodes couramment utilisées pour la cartographie des parcours sont basées sur l'utilisation des données de terrain associées aux photographies aériennes. Les méthodes de cartographie par télédétection spatiale ne sont qu'un prolongement des premières. Grâce à leur vue synoptique et diachronique de la Terre, les images satellitaires apportent, en plus, la possibilité d'effectuer un suivi régulier de ces zones. Ces images peuvent fournir les paramètres physiques et biophysiques de la surface de la terre, tels que le type de végétation, son taux de recouvrement, sa biomasse etc. (**CHOUDHURY, 1992 ; WILLIAMSON et ELDRIDGE, 1993**). Les images de l'AVHRR de NOAA et METEOSAT sont ainsi utilisées pour la cartographie de la végétation sur de vastes territoires à l'aide des indices de végétation normalisés (NDVI) (**GOMBEER 1980**). Dans le cadre du projet ARTEMIS de la FAO, des cartes mensuelles d'indices de végétation sur toute l'Afrique sont ainsi produites. Sur le Sahel, ces données ont été utilisées sur une période de 9 ans pour la prévision précoce des périodes de sécheresse et l'organisation des pâturages (**GASTON, 1993 ; PRINCE et al., 1990**). Cependant, en raison de la grande résolution spatiale des facteurs de dégradation des parcours, l'utilisation de ces images à une résolution de 1, 4 ou 5 km, n'est certainement pas appropriée pour étudier cette thématique, ou d'autres comme : la déforestation, la désertification ...etc.

La cartographie détaillée des parcours à l'échelle locale, puis régionale, exige l'usage des données satellitaires à moyenne et haute résolution spatiale : MSS de LANDSAT (80m), TM de LANDSAT (30 m) ou XS et XP de SPOT (20 et 10m). L'utilisation de ces images a contribué significativement à la cartographie des parcours dans plusieurs régions du globe (**VOGT et SCHNEIDER, 1984 ; THOMSON et al., 1985 ; MANIERE et CHAMIGNON, 1985 ; LACAZE et LAHRAOUI, 1987 ; MANIERE et al., 1989 ; ESCADAFAL, 1989 ; MANIERE 1990 ; ZOUHRI, 1992 ; BASSISTY et al., 1994**). Les méthodes proposées par ces auteurs n'ont jamais associés, à travers des analyses multidimensionnelles de type BENZEKRI, des données images et de terrain pour affiner une typologie (Nomenclature).

Il n'y a pas actuellement de convergence vers une méthode de cartographie systématique des parcours, à l'aide de l'imagerie spatiale à haute résolution.

### IV- PROBLEMATIQUE DES PARCOURS :

La problématique des parcours en zones subdésertiques est liée à l'insuffisance et à la qualité médiocre des ressources fourragères naturelles ainsi qu'à l'insuffisance de l'eau de surface servant d'abreuvement pour le bétail. Il s'agit de trouver assez d'énergie et de protéines pour les animaux, au moment opportun. C'est donc le problème primordial de l'élevage sur les parcours au Maroc en général, et sur les parcours subdésertiques en particulier. Le besoin des pastoralistes est de disposer d'un approvisionnement suffisant et régulier de fourrage vert, par rapport aux besoins du cheptel, pendant les saisons particulièrement critiques pour la croissance des végétaux (Eté et Automne) et pendant la période hivernale. Dans ces conditions, la prise en compte du milieu (sol-climat) est très importante. En effet, **DONADIEU (1984)** souligne que "les interventions d'aménagement qui peuvent être envisagées dans l'espace pastoral dépendent des connaissances acquises sur les pratiques d'élevage et sur les caractéristiques écobiologiques des pâturages et des espèces végétales qui les composent. Si cette connaissance fait défaut ou n'est pas suffisamment précise, il est difficile, voire impossible, de proposer une typologie des parcours et des niveaux d'exploitation pastorale adaptés aux zones que l'on souhaite aménager". C'est dans ce même esprit que le travail de caractérisation des parcours de nos sites a été entrepris. Un inventaire et un suivi, avec l'imagerie SPOT, implique de rapprocher la vision biophysique apportée par les images et les besoins spécifiques des pastoralistes décrits ci-dessus.

## V- METHODOLOGIE :

### V-1 Présentation des sites-tests :

Les parcours steppiques subdésertiques au Maroc s'étendent d'est en ouest, au sud du grand Atlas et de l'Anti-Atlas. Ils constituent ainsi une zone de contact entre les paysages méditerranéen au nord et désertique au sud (figure 2). Cette situation leur confère des traits originaux qui se manifestent dans tous les aspects du milieu : bioclimat aride à saharien, sols squelettiques minéraux, éoliens, peu évolués et sodiques etc....

Deux sites-tests représentant les deux principales tendances bioclimatiques de ces parcours ont fait l'objet de cette étude (figure 3) :

- Le site de "TAZNAKHT" se localise au coeur de l'Anti-Atlas ; Il se caractérise par une altitude moyenne de 1450 m et des précipitations moyennes annuelles comprises entre 100 et 200 mm.
- Le site de "KTAOUA" se situe à la limite sud de l'Anti-Atlas, son altitude moyenne est de 570 m, les précipitations moyennes annuelles sont inférieures à 100 mm.

### V-2 Choix des images :

Pour cette étude de faisabilité, nous avons volontairement choisi des images SPOT enregistrées pendant la période estivale (figures 4 et 5), correspondant au minimum de développement de la végétation. Dans ces conditions, l'imagerie SPOT est elle utilisable pour la cartographie des parcours ?

Les caractéristiques des images choisies et un rappel climatique (total mensuel des précipitations (P mm) et les températures moyennes mensuelles (T°C)) des trois mois précédant l'enregistrement des images sont résumés dans le tableau I suivant :

TABLEAU I : Les images et le contexte climatique						P	T °C	P	T °C	P	T °C
						mm		mm		mm	
Site test	KJ	A I*	HRV	SPOT	DATE	Mars		Avril		Mai	
TAZNAKH T	33- 289	2,2	1	1	27/05/1993	2,80	20,20	0,00	20,00	1,40	24,50
						Mai		Juin		Juillet	
KTAOUA	36- 290	5,0	1	2	19/07/1991	0,00	23,40	0,00	30,60	0,00	35,00

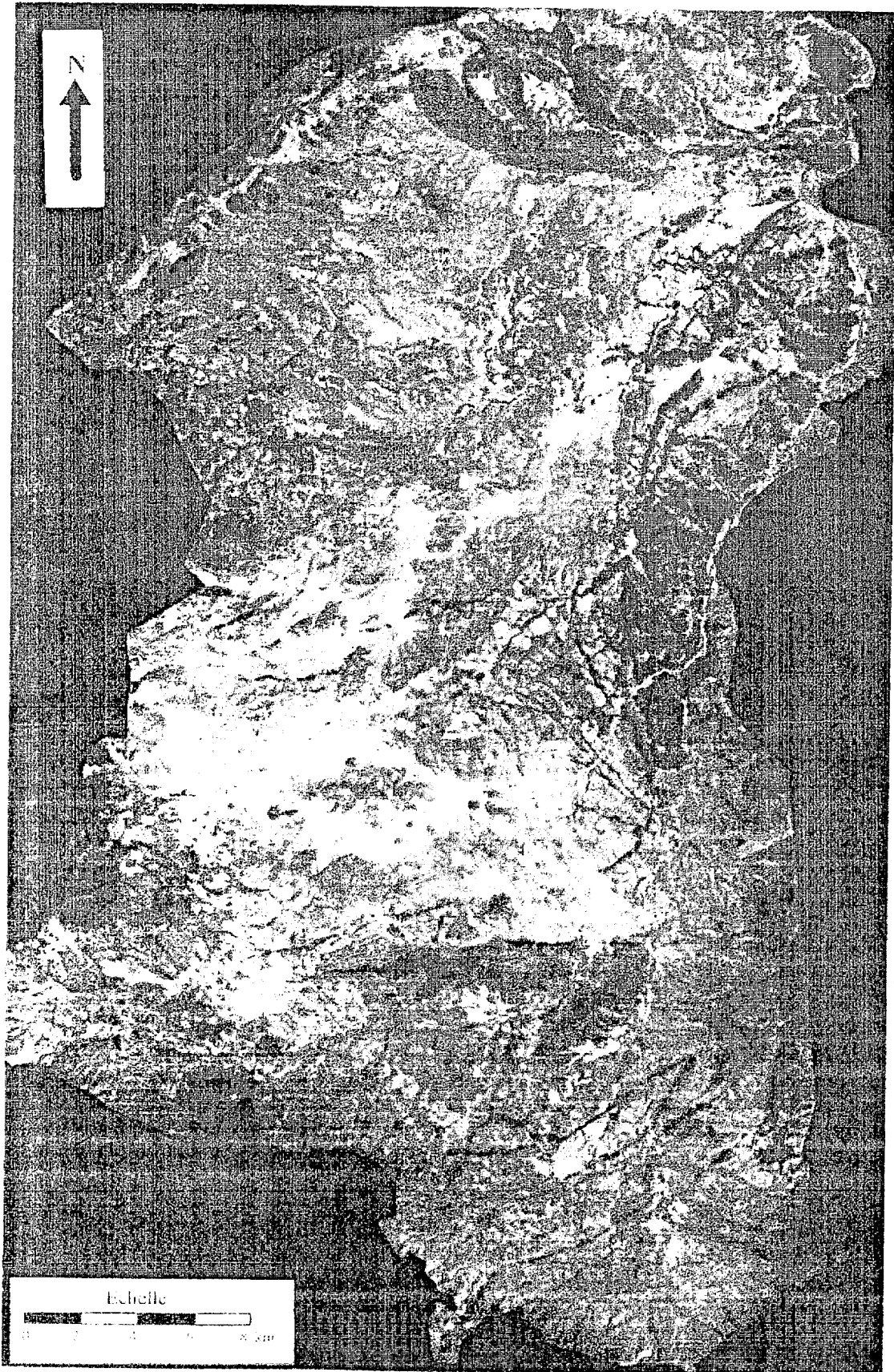
\* A I = Angle d'Incidence

Pour le site de KTAOUA, l'image du mois de Juillet 1991 correspond au maximum de températures annuelles et à l'absence de précipitations depuis 3 mois. En ce qui concerne le site de TAZNAKHT, l'image choisie correspond également à la période estivale ; Elle est contemporaine de la mission de terrain (20 Mai au 10 Juin 1993).

### V-3- Caractérisation des parcours :

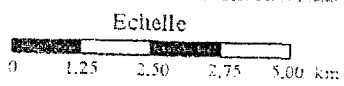
Dans ce type de milieu, le taux de couverture de la végétation est souvent très faible. C'est le cas en particulier pendant l'été. Sur les images SPOT enregistrées pendant cette période, la végétation n'est pas observable. Les faciès perçus sur les images correspondent aux différents états de surface de la zone étudiée. Notre premier

Figure 4 : Extrait de l'image K-J : 33-289, Cuvette de TAZNAKHT, le 27/05/1993



311

Figure 5: Extrait de l'image K-J : 36-290, Région de KTAOUA, le 19/07/1991



objectif a été de mettre en relation ces états de surfaces (décrits sur le terrain) et la végétation, cela permet d'obtenir une première typologie des parcours. Nous intégrons ensuite à cette typologie, les critères de l'Interprétation Visuelle Assistée par Ordinateur (I.V.A.O.) ainsi que les données radiométriques. Cette opération permet ainsi de caractériser l'ensemble des classes pastorales selon un mode combinant à la fois les composantes du terrain et les données satellitaires.

Notre méthode comporte les étapes suivantes :

- 1- Missions de terrain.
- 2- Analyses multidimensionnelles.
- 3- Cartographie des parcours.

#### **V-3-1 Missions terrain :**

La reconnaissance de terrain a été réalisée du 26 Avril au 16 Mai 1992 sur le site de KTAOUA. Le site de TAZNAKHT a fait l'objet de deux missions (20 Mai au 10 Juin 1993, 20 Mars au 10 Avril 1994). Pour chacun des 2 sites, nous avons réalisé un premier zonage en unités pastorales. Ce zonage s'appuie sur les informations des cartes topographique, géologique, et d'une composition colorée de l'image SPOT. A l'intérieur de chaque unité pastorale, un échantillonnage sous forme de relevés de terrain a été réalisé. Le positionnement géographique de ces relevés a été facilité par l'utilisation du G.P.S.

Au niveau de chaque relevé, les observations et mesures suivantes ont été réalisées :

- Description générale du relevé (géomorphologie, pente ...etc.)
- Identification de la formation géologique.
- Détermination de la couleur des éléments minéraux de surface (cailloux, graviers et sables).
- Recouvrement linéaire des éléments minéraux de surface (cailloux, graviers, sables)
- Profil pédologique
- Prélèvement d'échantillons au sol pour les analyses physico-chimiques.
- Liste floristique exhaustive.
- Recouvrement linéaire des espèces végétales.

**65** relevés-terrain représentant toutes les caractéristiques de la région de KTAOUA ont été ainsi établis. L'ensemble des parcours de TAZNAKHT et leurs caractéristiques ont été décrits par **125** relevés.

#### **V-3-2 Analyse multidimensionnelle :**

##### **- Données de terrain :**

L'ensemble des données collectées sur le terrain, et celles issues des analyses physico-chimiques constitue une liste exhaustive d'informations sur les terres de parcours de chaque site. L'analyse statistique multidimensionnelle de ces données est primordiale, elle devrait permettre de faire apparaître des classes pastorales bien caractérisées. L'Analyse Factorielle des Correspondances (A.F.C.), a été utilisée. Dans un même système d'axes unique, les données sont représentées de manière à mettre en évidence leur proximité spatiale. On établit ainsi des correspondances statistiques intra-critères et inter-critères permettant de définir des sous-ensembles caractéristiques.



Dans un premier temps, nous avons effectué une A.F.C. entre les relevés, les critères édaphiques et les états de surface. Cette première analyse nous a permis de regrouper les relevés en classes édaphiques. Les espèces végétales ont été ensuite introduites pour obtenir des classes pastorales caractérisées par les espèces végétales dominantes, l'état de surface et les critères édaphiques.

Les classes pastorales ainsi obtenues sur le site de TAZNAKHT sont :

- La classe à état de surface **caillouteux**, regroupe les parcours sur **nappes de gravats**. *Stipa retorta*, *Teuchrium sp.*, et *Echinops spinosum* caractérisent cette classe.
- La classe à état de surface **gravelo-caillouteux-sableux** regroupe les parcours marqués par la dominance d'*Anabasis articulata* et *Launaea acconthoclada*.
- La classe à état de surface **gravelo-sableux**, regroupe les parcours sur **anciens affluents**. *Stipa parviflora* et *Aristida pungens* sont les principales espèces qui caractérisent ces parcours.
- La classe à état de surface **sablo-caillouteux** regroupe les parcours sur **lits majeurs des oueds**. *Peganum harmala*, *Lygeum spartum* et *schismus barbatus* caractérisent ces parcours.
- La classe à état de surface **sableux** caractérise les parcours sur **calcaires lacustres**. *Thymus hesperidum*, *Echium horridum* et *Atractylis sp.* Caractérisent ces parcours.

Au niveau de KTAOUA, les classes pastorales obtenues sont :

- La classe à états de surface **caillouteux** regroupe l'ensemble des **regs** de la zone. La végétation est dominée par quelques pieds dispersés d'*Acacia radina*, et *Arthrophytum scoparium*.
- La classe à état de surface **très caillouteux** rassemble essentiellement **les cônes de déjection**. La végétation sur ces cônes est dominée par des pieds très épars d'*Acacia radina*.
- La classe à état de surface à dominance **sablo-caillouteuse**, elle est représentée par les **chenaux** descendant les versants du Jbel Bani . Ils présentent une végétation plus riche à base de *Gymnocarpus decander*, *Antirrhinum ramosissimum*, *Retama retam*, *Zizyphus lotus* et *Farsetia hamiltonii*.
- La classes à état de surface **sableux** : Les **ergs**, les **ravines ensablées**, les **épanchages sableux** et les **dunes semi-fixées** présentent cet état de surface. Les espèces végétales les caractérisant sont : *Calligonum comosum* et *Crotalaria saharae*, *Aristida pungens*, *Rhanterium adpressum*, *Traganum nudatum* et *Pennisetum dichotomum*
- La classe à état de surface **limono-sableux** qui regroupe La plaine de **la feija** et les **lits majeurs des oueds** de la zone. C'est sur ces milieux que la végétation naturelle est la plus dynamique et la plus dense. Les principales espèces qui s'y développent sont : *Acacia radina*, *Aristida obtusa*, *Aristida plumosa*, *Antirrhinum ramosissimum* et *Panicum turgidum*.



### - données de télédétection

L'A.F.C., basée uniquement sur les intervalles radiométriques des relevés, génère des confusions. En effet, en milieu aride, les différences radiométriques entre objets mesurés sont très faibles. Afin de lever cette ambiguïté, nous avons introduit les critères de l'I.V.A.O.. Les résultats obtenus correspondent à ceux des données de terrain. Lors de l'I.V.A.O., le photo-interprète intègre en effet, automatiquement toute sa connaissance de terrain.

On peut donc dire en conclusion, qu'en milieu subdésertique, la meilleure caractérisation des parcours passe par la combinaison de l'ensemble des paramètres de terrain et les données de télédétection.

### **V-3-3 Cartographie des parcours :**

Pour une localisation simple et immédiate des relevés de terrain sur les images SPOT, nous avons corrigé géographiquement ces dernières. On a généré ainsi des Spatio-Cartes correspondant à la projection Lambert Sud Maroc, et à l'ellipsoïde de Clark 1880. Cette opération est en effet indispensable car elle nous permet de superposer infailliblement images multi-temporelles et inventaires au sol (également multi-temporels).

Compte-tenu des résultats obtenus par les A.F.C., nous avons basé notre méthode de cartographie sur l'I.V.A.O. associée à la classification supervisée. En effet, dans un premier temps, les grandes formations homogènes, visibles sur l'image, ont été délimitées. Les relevés de terrain de chaque formation ont été ensuite localisés et tracés. Ainsi une typologie par des critères de l'I.V.A.O. (teinte, intensité de la teinte, texture, et structure) a permis la caractérisation de chaque formation. La méthode de classification supervisée a été par la suite appliquée sur chacune d'elles en masquant les autres : On obtient ainsi des classes pastorales. Les résultats cartographiques sont représentés par la **figure 6** (TAZNAKHT) et la **figure 7** (KTAOUA). Ces cartes ainsi obtenues, serviront de **référence** pour le suivi régulier de ces zones.

### **VI- DISCUSSION :**

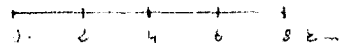
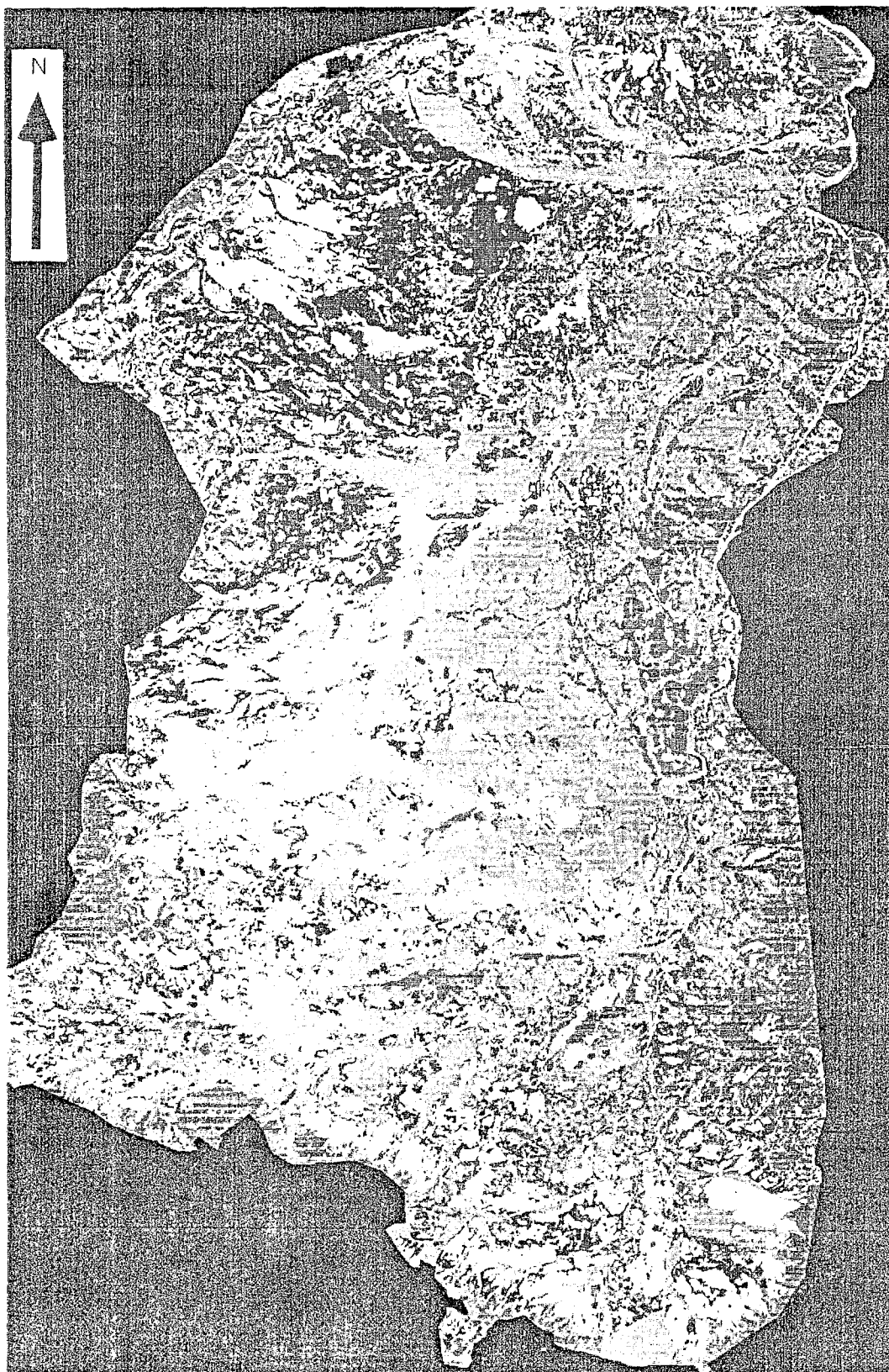
L'étude qui vient d'être présentée montre la possibilité d'extraire des caractères communs à des régions relativement différentes (bien qu'appartenant aux mêmes parcours steppiques prédésertiques). Un site Algérien frontalier à celui de KTAOUA est actuellement l'objet de l'application de cette méthode. La multiplication des sites-tests permettra d'affiner cette méthodologie. C'est en effet, une condition majeure pour sa validation et sa généralisation. Une fois achevée, cette méthodologie devrait s'appliquer à l'ensemble des territoires de la frange nord saharienne et aux zones du globe ayant les mêmes caractéristiques. La multiplication des sites devrait également à terme, nous permettre de poser les bases d'une nomenclature commune des parcours steppiques, à travers l'utilisation des données de télédétection à haute résolution, voire de nouvelle génération (SPOT 4 MIR, SPOT 5 ...etc.). Il est évident que le modèle ne sera complet que lorsqu'il inclura l'évolution de ces zones.

Dans cette intention, nous proposons deux approches complémentaires :

- une mise à jour de la carte des parcours obtenue, par la même méthode sur un certain nombre d'années (à déterminer),
- utilisation d'indices appropriés permettant le suivi annuel et pluriannuel des parcours.

A terme, ces deux approches complémentaires devraient permettre la mise en évidence d'indices de dégradation des parcours (indices de désertification ou autres indices de dégradation.).

Figure 6 : CARTE DES PARCOURS DE LA CUVETTE DE TAZNAKHT



7

Extrait de l'image K-J : 36-290, Carte des parcours de la region de KTAOUA



317

BEST AVAILABLE COPY

T. BENNDUNA et al

## VII- CONSTITUTION D'UN SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE :

Dans tout projet de lutte contre la dégradation de l'environnement, il est important d'inventorier les données socio-économiques, géographiques, bioclimatiques...etc, qui peuvent caractériser la zone étudiée.

La réalisation de la carte des parcours devient possible à partir de la méthodologie qui vient d'être présentée. Cette carte est un document nécessaire mais insuffisant pour la prise de décision concernant l'aménagement de ces zones. En effet, il faut prendre en compte la densité de population, la densité du cheptel, la nature de ce dernier, le sens de déplacement des troupeaux, le climat local ....etc. Ainsi on devrait pouvoir mieux évaluer le mécanisme d'évolution de ces zones pour leur aménagement. A l'aide des Systèmes d'Information Géographique, il est possible de créer une base de données intégrant tous les paramètres précités. Un S.I.G. sur la cuvette de TAZNAKHT est en cours de réalisation.

### La base de données cartographiques :

Les données suivantes ont été digitalisées avec ARC-INFO :

- La carte géologique.
- La carte topographique.
- Les routes et pistes.
- Le réseau hydrographique.
- Les zones urbaines.

Cette base de données a été complétée par :

- Un Modèle Numérique de Terrain de la zone.
- La carte des parcours obtenue.
- Six images SPOT (27/05/1993, 26/06/1986, 07/10/1987, 28/05/1988, 01/05/1989, 12/04/1992).

- Des données exogènes :

- \* Densité de population par douar
- \* Densité du cheptel par douar
- \* Nature du cheptel
- \* Sens de déplacement du cheptel dans la région
- \* .....etc.

En fonction des besoins des pastoralistes, ce S.I.G. devrait permettre, à travers une logique de requêtes, de croisement et de pondération de contraintes, de proposer les meilleurs plans pour la gestion appropriée des parcours de la cuvette de TAZNAKHT et, à terme, de la province de OUARZAZATE.

## VIII- CONCLUSION

Notre objectif , dans cette étude, était de développer une méthodologie combinant données satellitaires et données de terrain pour la caractérisation des parcours pastoraux en milieu subdésertique.

Le traitement par I.V.A.O. nous a permis d'atteindre cet objectif en utilisant des critères simples de différenciation entre les formations visibles sur l'image. La connaissance du terrain reste, cependant, un préalable pour cette méthode dont le résultat cartographique est tout à fait satisfaisant.

La multiplication des sites-tests permettra d'affiner cette méthodologie. L'intégration d'une approche mettant en évidence l'évolution de ces zones, et la constitution d'un SIG intégrant aussi bien les données cartographique, socio-économiques que les données de télédétection est, à notre sens, la meilleure méthode pouvant à terme apporter une solution à la problématique de dégradation des parcours.

## Remerciements

Nous tenons à remercier pour leur confiance, conseils et aides : V. MARIETTE du CNES, M. KABAJ du CRTS (Maroc), le Pr. REVEL et M. DUBUCQ de l'ENSAT, G. FISSE de CISI. Les missions de terrain ont bénéficié du soutien de la direction de l'ORMVAO et de l'expertise de M. ZOUHRI (Maroc).

## BIBLIOGRAPHIE

**AÏT BELAÏD M., LEFEVRE M.J., HUSSON A., YESSEF M., BERKAT O., et EL GHARBAOUI A., 1994 :** Faisabilité de la cartographie des parcours steppiques à Alfa et Armoise. Geobservateur, N°4, Avril, Rabat, Maroc, pp. 37-46.

**BASSISTY E., MANIERE R., et MELZI., 1994 :** Inventaire des ressources naturelles renouvelables en zone aride méditerranéenne. Photo-Interprétation. Images aériennes et Spatiales, 94-3 et 4 (2) : 109-124.

**BENNOUNA T., LACOMBE J.P., LEFEVRE M.J., 1995 :** Méthodologie de caractérisation des terres de parcours dans l'étage aride présaharien, région de Zagora (MAROC). Photo-Interprétation. Images aériennes et Spatiales, à paraître en juin 1995.

**BENZEKRI J.P., 1973 :** L'analyse des sonnées. Vol. 2, "L'analyse des correspondances".

**CLARKE T., 1994 :** le courrier n° 145 - Mai - Juin.

**CHOUDHURY B.J., 1992 :** Multispectral satellite Observations for Arid Land Studies. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 47, pp. 101-126.

**DONADIEU P., 1984 :** Méthode d'inventaire et d'évaluation des pâturages. Polycopié.

**ESCADAFAL R., 1989 :** Caractérisation de la surface des sols arides par observations de terrain et par télédétection, applications : Exemple des la région de TATAQUINE (Tunisie). Etudes et thèses, Editions de l'ORSTOM, 313 p.

**FAY G., 1987 :** L'aménagement des espaces ruraux du Maroc : Un impératif et une urgence. In Hommage à Gérard Maurer ; Etudes Méditerranéennes, Centre Inter-universitaire d'Etudes Méditerranéennes (Poitiers), p. 391-413.

**GASTON A., 1993 :** Gestion des ressources pastorales au Sahel par télédétection. Sécheresse, N°1, Vol. 4, p. 56.

**GOMBEER R., 1980 :** Soil and Land-Use Distribution as Discernible on Meteosat -1 Imagery over West-Africa. Pedologie, XXX, 1, pp. 127-136.

**LACAZE B. Et LAHRAOUI L., 1987 :** Télédétection des formations géomorphologiques et de la végétation dans un territoire du Haut Atlas Oriental Marocain à partir des données du satellite SPOT. Int. J. Remote Sensing, Vol. 8, N°5, pp. 1968-1971.

**LEFEVRE M.J., BENNOUNA T., DUBUCQ M., KAEMMERER M., LACOMBE J.P., 1993 :** Image satellites pour la cartographie et les systèmes d'Information Géographiques. Tunis 6-9 Décembre

**LE HOUEROU H.N., 1969 :** La végétation de la Tunisie steppique. Ann. Inst. Natl. Rech. Agron. Tunis., 42,5,622p. + ann.

**MANIERE R., et CHAMIGNON C., 1985 :** Cartographie de l'occupation des terres en zone aride par télédétection spatiale (Méchéria au 1/200 000, Hauts plateaux Sud oranais. Ecologia Mediterranea, XII (1-2), 159-185.

**MANIERE R., COURBOULES J., CHAMIGNON C., CELLES J.C, BOUZENOUNE A., DJEBAILI S., MELZI S., et KERMAD M., 1989** : Cartographie à moyenne échelle en zone aride, évaluation des données de MSS de LANDSAT. Photo-Interprétation. Images aériennes et Spatiales, 89-3 et 4 (3), 17-30.

**MANIERE R., 1990** : Imagemaps and desertification control in Yemen. SPOT Newsletter, 14 : 22-24.

**PRINCE S.D., JUSTICE C.O., et LOS S.O., 1990** : Télédétection de l'environnement sahélicn, revue de l'état actuel et des projets futurs. Commission des communautés européennes, 138 p.

**THOMSON K.P.B., GOSSELIN C., ADAMS B.W. et SUTHERLAND I., 1985** : Thematic Mapper Data Used for Rangeland Management in Rough Fescue Grasslands in Western Canada. Canadian Journal of Remote Sensing, Vol. 11, N°2, pp. 162-176.

**VOGT T. et SCHNEIDER C., 1984** : Repérage et classification de formations superficielles en milieu subaride à partir de données LANDSAT MSS, l'exemple de Goulimine (Anti-Atlas Occidental, Maroc). RESORS 1061075, N°27, pp. 43-53.

**WILLIAMSON H.D., et ELDRIDGE D.J., 1993** : Pasture Status in a Semi-Arid Grassland. Int. J. Remote Sensing, Vol. 14, N° 13, pp 2535 - 2546.

**ZOUHRI A., 1992** : Utilisation des images SPOT pour la cartographie de la végétation steppique des zones arides. Exemple des parcours Aït Zekri à OUARZAZATE (Maroc). Mémoire de DESS, GDTA, France, 27 p.

# UN SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE (SIG) ET SA BASE DE DONNEES AU SERVICE D'AGROPASTORALISME DU LABORATOIRE DE RECHERCHES VETERINAIRES ET ZOOTECHNIQUES DE FARCHA

**L. MBAIRANADJI**

Laboratoire de recherches vétérinaires de Farcha, N'Djamena, Tchad

La demande croissante d'acquisition, de stockage, de traitement et d'analyse des données environnementales complexes et volumineuses a conduit à l'usage des ordinateurs pour la gestion des données et à la création des logiciels sophistiqués. L'usage effectif de grandes quantités de données spatiales dépend de l'existence de systèmes capables de transformer ces données en informations utiles; un SIG permet d'analyser l'espace en superposant plusieurs plans d'informations.

Le service d'agropastoralisme dispose depuis 1991 d'un Système d'Information Géographique (SIG). Le SIG utilisé est ILWIS (the Integrated Land and Water Information System) développé sur des micro-ordinateurs par l'ITC (International Institut for Aerospace Survey and Earth Sciences), Enschede, Pays-Bas.

L'objectif de cette plaquette est de faire découvrir aux différents projets, ONG, décideurs politiques et aux bailleurs de fonds qui s'occupent du développement rural, l'intérêt d'un SIG et la compétence du Laboratoire de Farcha dans ce domaine.

## Description d'un SIG et types de données utilisées

Le SIG utilise un écran monochrome pour le texte et les commandes d'utilisation et un écran couleur graphique pour les représentations graphiques; il supporte une table à numériser (CALCOMP 9500) et une imprimante couleur (HP PAINJET). Un système de traitement des images satellitaires est intégré au SIG.

ILWIS utilise trois types de données :

1. Données vecteurs (segments , polygones); il s'agit des éléments ponctuels (points d'eau, villages etc.), linéaires (routes, limites administratives) et surfaciques (unités de paysage) issus des fonds de cartes ou de l'interprétation des images satellitaires et des photographies aériennes;
2. Données raster (points) : ce sont des images satellitaires, des fonds de carte ou des photo-interprétations numérisés, des modèles numériques du terrain etc.
3. Données de terrain : situation géographiques (positionnement des ouvrages, délimitation des terroirs), relevés phyto-écologiques, données socio-économiques (effectif des troupeaux), observations agronomiques, données climatiques, etc.

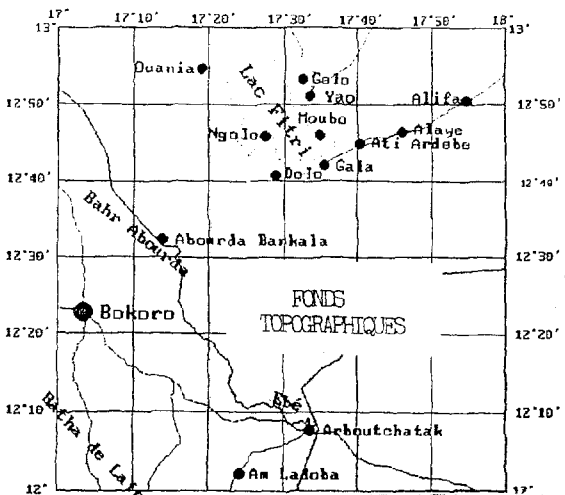
## Types de travaux réalisables

- Diverses cartes thématiques sur la végétation, l'écosystème, la dégradation de l'environnement, l'occupation des sols, le peuplement forestier, les pâturages, l'habitat, les flux d'animaux, de biens, de matériel, de population, etc.
- Mise à jour des cartes thématiques à partir des nouvelles données vectorisées, rastérisées ou de terrain
- Réalisation des documents cartographiques en couleur ou en noir et blanc pour l'illustration des rapports, thèses, plaquettes, etc.
- Edition des cartes thématiques sur support transparent ou papier à tous les formats désirés.

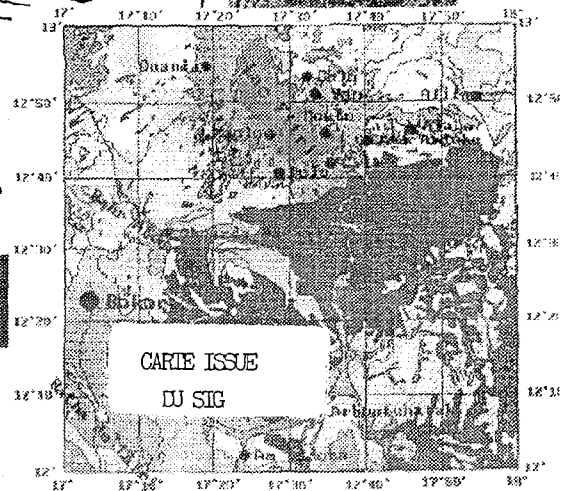
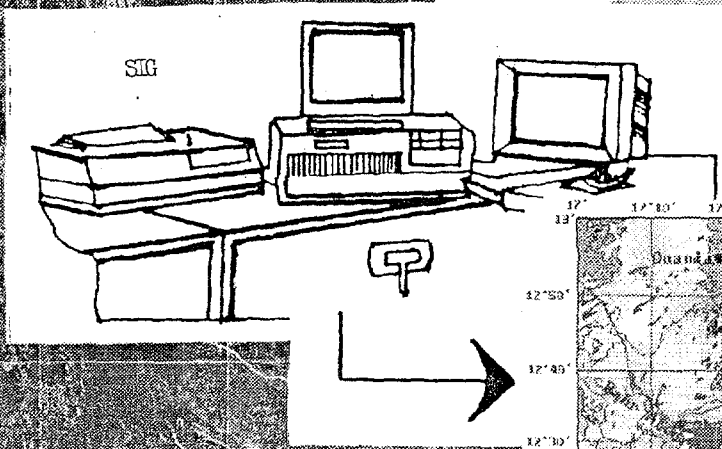
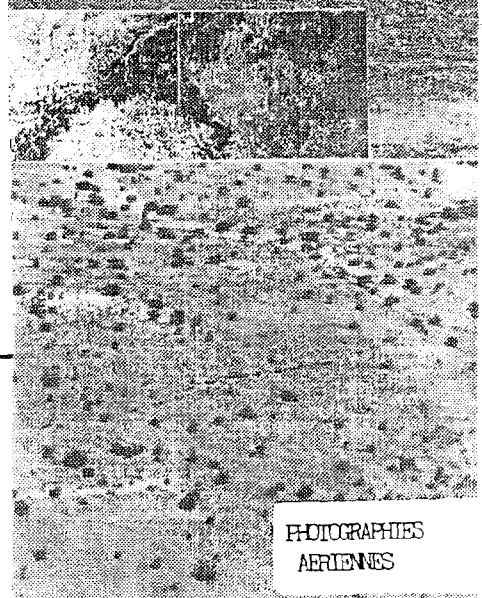
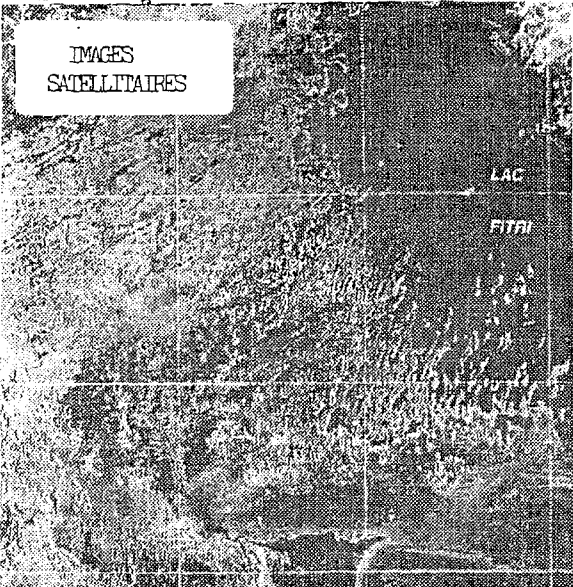
## Synergie avec les autres institutions

Par le biais de cet outil et de la compétence dans son utilisation, le service d'agropastoralisme du Laboratoire de Recherches Vétérinaires et Zootechniques se donne des moyens de réflexion et d'analyse performants qui permettent des échanges fructueux avec d'autres organismes.





L. MBAIRANADJI  
 Laboratoire de recherches vétérinaires de Farcha, N'Djamena, Tchad



DONNEES NECESSAIRES POUR LA REALISATION  
 D'UNE CARTE THEMATIQUE A L'AIDE D'UN SIG



**Groupe de Travail 6: AGRICULTURE**  
**Working Group 6: AGRICULTURE**

**"S.I.S.P. - SYSTEME INTEGRE DE SUIVI ET PREVISION": AN INTEGRATED INFORMATION SYSTEM FOR MONITORING CROPPING SEASON BY METEOROLOGICAL AND SATELLITE DATA AN APPLICATION IN NIGER**

C. DI CHIARA, A. DI VECCHIA .....341

**AIDE A LA DECISION DANS L'AMENAGEMENT INTEGRE A TRAVERS UN SYTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE (BASSIN VERSANT D'OUED LEBEN)**

M. C. DEROUICHE, A. MTIMET .....356

**UTILISATION DES SYSTEMES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE ET DES PHOTOGRAPHIES AERIENNES PRISES A BASSE ALTITUDE POUR UNE MEILLEURE GESTION DES STATIONS DE RECHERCHE AGRONOMIQUE**

B. GERARD .....357

**USE OF GIS AND MODELLING FOR INCREASED SUSTAINABLE AGRICULTURE IN COMPLEX INLAND VALLEY AGRO-ECOSYSTEMS**

P. N. WINDMEIJER .....364

# "S.I.S.P. - SYSTEME INTEGRE DE SUIVI ET PREVISION": AN INTEGRATED INFORMATION SYSTEM FOR MONITORING CROPPING SEASON BY METEOROLOGICAL AND SATELLITE DATA AN APPLICATION IN NIGER

**C. DI CHIARA, A. DI VECCHIA**

CeSIA, Firenze, Italia

## **The SISP - Système Intégré de Suivi et Prévision**

The SISP has been developed by CeSIA (Centre for Informatics Application in Agriculture) and IATA (Institute of Agrometeorology and Environmental Analysis for Agriculture) of Florence in collaboration with the Meteorological Service of Niger, the CILSS (Comité International pour la Lutte contre la Secheresse au Sahel), and Italian Cooperation Department.

SISP has been developed after several years of experience in Niger and in the sahelian region and field experiments oriented to get a deeper knowledge of millet ecophysiology, traditional agricultural production systems and of the effect of water stress. The publication by WMO "Agrometeorology of Millet" (Edited by C.Cantini, 1994) resumes the experiences achieved in this field, while a number of scientific publications dealt with different problems regarding millet production systems in Niger, application of simulation models and satellite image processing for crops monitoring and yield forecasting.

In collaboration with the AGRHYMET Centre of Niamey, some international workshops have been organized and training for Nigerian personnel has been assured during the project activities.

The SISP is actually developed for Nigerian conditions but non difficulties exist for its application in other Meteorological Services of CILSS countries, where the AGRHYMET Program has already improved the meteorological network and database. Anyway, because of the modular structure of SISP, with a limited number of adjustments, the system can be exported to other countries and agricultural conditions.

## **General overview of SISP**

The main aim of SISP is to use and to integrate different information sources and different analysis procedures to allow the meteorological services a dekadal growing season monitoring and to provide national early warning systems with useful information about the evolution of crop conditions.

Principal tools of SISP are:

- statistical analysis procedures on historical series of rainfall data, to produce agroclimatic characterizations and to allow comparison between actual and reference values.
- a millet simulation model to be run at station level to estimate millet crop conditions and the effect of rainfall distribution on crop growth and yield.
- NOAA NDVI images analysis procedures to extract NDVI temporal profiles on relevant sites, in order to monitor vegetation conditions on both pasture lands and on main crop production areas of the country.
- analysis procedures of METEOSAT images of estimated rainfall for early estimation of sowing dates and risk areas.
- production of tables, graphs and maps for dekadal reports usually produced by national meteorological services and national early warning units.

Figure 1 shows a schematic representation of SISP tools as they are organized in the main menu.

The great importance given to rainfall analyses is due to the fact that in the actual conditions of agriculture in Sahel, rainfall can be considered the main limiting factor of crops production and annual rainfall amount can explain about 70% of yield variability in this region. Notwithstanding this, an high variability exists in spatial rainfall distribution, cultural systems and, finally, in crops and vegetation conditions. This justifies the necessity of developing procedures for satellite images analysis in order to evaluate this variability which cannot be appreciated by simple spatial interpolation techniques of meteorological data or agrometeorological parameters.

The system has been conceived following some basic criteria:

- the package must be sufficiently user-friendly to be easily applied by agrometeorologists and technicians of national meteorological services of CILSS countries, tacking into account the actual facilities, SW and HW, they dispose;
- a little number of inputs should be required, due to reduced amount of information provided in real time from meteorological network and terrain observation sites;
- spatial units should correspond, for the moment, to administrative ones, in order to facilitate interpretation of results by decision makers at different levels;
- final results and products should facilitate and complete edition of dekadal agrometeorological bulletins;
- integration with actually available SW already used should be assured, in order not to duplicate functions and facilities already provided by other packages.

### **Statistical analyses**

By the statistical approach several agrometeorological parameters can be evaluated, first at station level: annual and dekadal average rainfall, probabilities of rainfall amounts for each dekade, date of the onset of the growing season (definition of reference dates for early, normal and late onset), drought risk during the rain season. In a territorial approach and on the base of historical series of data, as a first task, main risk areas for agricultural production can be identified by an agrometeorological characterization of the region. As a result of this analysis, a database of average and probable values of onset of the growing season, season length and dekadal precipitation is obtained. These values will be used for ten-days-period-based evaluations of the actual season.

Table 1 shows the early evaluation of the onset of growing season in 1993; it has been published in the dekadal agrometeorological bulletin of 2<sup>nd</sup> of July by the National Meteorological Service of Niger. It includes the estimated length of season, calculated on the base of correlation obtaines with the statistical analysis. Similar comparisons on total rainfall amount for each station showed in the first dekade of July of 1993 the late onset of the season, the scarce amount of precipitation in several areas if Niger and some critical areas where detected, showing rainfall amounts less than 1984 (at the same date), which was a very dry year.

### **The millet simulation model**

The most important aspects in the growing season of millet crop in the sahelian region are the timing of the onset of rain season (and so the sowing date, which can be early, normal or late compared with crop requirements for the normal development of cycle), the distribution of rainfall in the following months, the water balance in the most sensitives phases of the crop growth and the effective length of the growing season. Based on these criteria, a simple model of crop development has been developed to evaluate crop conditions during the season, based on daily rainfall data arriving any ten-days period at the Meteorological Service of Niamey.

By the model, once defined the list of meteorological stations to be used, millet varieties with different cycle length can be simulated (75, 90 120 days); the sowing date can be assigned by the user or detected by the program on the base of a rainfall threshold defined by the user. Yield reductions (compared with a no water limited potential production) are calculated as a function of the delay of the sowing date and of the potential water balance. Differences in millet sensitivity to water stress during its cycle are taken into account by three reduction functions for the three main phenological phases: growing period (the less sensitive one), flowering (the most sensitive one) and grain filling. The cumulative effect of more than one stress during the crop cycle is multiplied by the potential crop yield of the area to obtain the estimated actual yield. Figure 2 shows a flow chart of the model, with emphasis on the main steps of the procedure. After looking for the first sowing date, the program evaluate rainfall distribution in the following days to verify conditions for germination and crop establishment. If not enough rain will follow seeding, then a new sowing date has to be detected. In the case of long cycle varieties, if a delay in the sowing date makes too short the growing period available for the crop development before the end of rain season, a first reduction coefficient is calculated.

During the crop cycle three coefficients will be calculated if a water stress will be experienced by the crop. Water balance is simply based on climatic evapotranspiration and daily rainfall records of each station. Final average yield for each administrative unit is quantified using historical records provided by the Statistical Service of Ministry of Agriculture.

All model outputs can be easily processed to produce graphical representations like those showed in Figures 3a, 3b and 4, using results obtained at station level. Applied on several years of data, the model allows a classification like the one showed in Figure 5 where suitability classes are expressed as the ratio of an estimated yield attained under water limited conditions and a theoretical maximum yield attainable under non water limited management.

Table 2 shows the final yield estimation for each administrative unit obtained at the end of the season (October 1993) compared with data published by the Ministry of Agriculture in February 1994.

### **Satellite images analyses**

A strong relation exists in CILSS countries between national meteorological services and the AGRHYMET Centre; due to this, for satellite based analyses, SISP is actually using dekadal images of NDVI produced by AGRHYMET and regularly distributed to each country. Based on IDRISI (a GIS provided to CILSS countries by USA cooperation to AGRHYMET Program), a number of procedures have been developed in order to extract temporal profiles of NDVI for relevant sites detected in different zones of the country. In 1993 this approach has been tested: 15 sites have been identified in the Department of Tillabery and monitored during the whole season (Figure 7 shows location and distribution of test sites). Phenological and field measurements were taken on millet crop and temporal profiles of NDVI were extracted from the seasonal series of images provided by AGRHYMET. The same processing was applied to images of 1991 and 1992. Figures 6a, 6b and 6c show temporal profiles of the cropped test site of Say and a close one with natural vegetation. In the graph 6c observed phenological phases on the cropped test site are emphasised for comparison with NDVI shape and with development simulated by the model during the same season on the base of rainfall data (Figure 6d). Phenological observations revealed to be strongly correlated with NDVI evolution in all test sites and it was confirmed that flowering corresponds to the maximum value NDVI reaches during the growing season. The regression between measured yields and maximum seasonal NDVI of each site (Figure 8; shows that NDVI explains more than 87% of yield measured in the 15 sites.

In 1994 this approach will be used for monitoring the growing season on the same areas and a number of measurements will be taken in new sites placed in the most important millet cropped areas in the Department of Tillabery.

Although AGRHYMET is not yet providing regularly Meteosat images to CILSS countries, similar procedures are being developed for the evaluation of sowing dates based on Meteosat images of estimated rainfall. This procedures will be developed and tested in order to make them operational in the future as new facilities for meteorological services.

## CONCLUSIONS

The system has a modular structure and an easy user interface oriented to provide national meteorological services with a simple methodology for agroclimatic characterizations, season monitoring, crop growth assessment and yield forecasting, based on the most common and easily obtainable agrometeorological parameters. The system does not pretend to provide the user with all possible facilities needed in early warning and monitoring systems for agriculture; it represents an easy user shell which can be easily enriched with new modules; it actually integrates different approaches and provide the agrometeorologist with a number of useful working tools.

The research activities carried out in Niger in the past years and the collaboration and experience with the Nigerian meteorological service represent the very important background necessary to develop such an operational system.

For these reasons all modules' outputs have been oriented to integrate and complete information to be included in the agrometeorological bulletins edited by national meteorological services and early warning systems.

Actually, one of the most important limitations of the system is that the field of application is limited to millet crop and that phenological data and information about local varieties has been collected mainly for Niger. Although similar cultural systems exist also in the others sahelian countries, application of SISP in other regions should require recovering existing experiences and knowledge on millet local ecotypes. The application of the approach to other crops requires a deeper evaluation of crop requirements and main limiting environmental factors in order to verify the opportunity of developing similar simulation models. On the other side, the statistical approach and image analysis procedures represent approaches more easily applicable, as they are, on other arid and semiarid regions.

## BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

- Barret, C., Hamilton, M. G. Potentialities and problems of satellite remote sensing with special reference to arid and semiarid regions. *Climatic Change*, 9: 167-186, 1986.
- Bacci, L., Benincasa, F., Maracchi, G., Zipoli, G. Ground-based remote sensing measurements for early detection of plant stresses. *Bulletin OEPP-EPPO*, 21(3): 673-681, 1991.
- Boulama M., M.Daouda, C.Di Chiara, M.Labo, M.Montanelli, M.Prudenzano. Programme AGRHYMET, Projet Pilote Agrométéorologie Niger: "Rapport définitif pour l'année 1992, partie I: Experimentation en milieu paysan". CILSS/ AGRHYMET/IATA/CeSIA. Janvier 1993.
- Boulama M., M.Daouda, C.Di Chiara, M.Labo, M.Montanelli, M.Prudenzano. Programme AGRHYMET, Projet Pilote Agrométéorologie Niger: "Rapport définitif pour l'année 1992, partie II: Applications informatiques pour le suivi de la saison". CILSS/AGRHYMET/IATA/CeSIA. Janvier 1993.
- Conese, C., Maracchi, G., Maselli, F., Zipoli, G. Detection of environmental changes in semi-arid environments by means of remotely sensed data. Proc. 10th EARSel Symposium "New European Systems, Sensors and Applications", Tolosa (France), 5-8 Juin, p.357-368, 1990
- Conese, C., Maselli, F., Zipoli, G. Use of NOAA-AVHRR data to monitor crop water status in sahelian regions. Proc. Inaugural Congress of ESA, Parigi, 5-7 Decembre, session 2, p.3-4, 1990
- Conese, C., Maracchi, G., Maselli, F., Bindi, M. Environmental monitoring in the Sahel by means of advances methods of NOAA-AVHRR data processing. Proc. of 11th EARSel Symposium, Graz (Austria), 3-5 July, p.325-333, 1991.
- Conese, C., Maracchi, G., Maselli, F., Bindi, M. Influence of meteorological factors on primary production of Sahelian regions estimated by means of remote sensing techniques. *Bulletin OEPP-EPPO*, 21:643-649, 1991.
- Dancette, C. Estimation des besoins en eau des principales cultures pluviales en zone soudano-sahelienne. *Agronomie Trop.*, 38(4): 281-294.
- Doorenbos, J., Kassam, A. H. Yield response to water. FAO Irrigation and drainage paper, no.33, FAO, Rome, Italia. 1986.
- Daouda, C.Di Chiara, M.Labo, M.Montanelli, M.Prudenzano. Programme AGRHYMET, Projet Pilote Agrométéorologie Niger: "Rapport définitif pour l'année 1993". CILSS/AGRHYMET/IATA/CeSIA. Janvier 1994.
- Frere, M., Popov. G. Suivi agrometeorologique des cultures et prevision des rendements. Paper, FAO, Rome, Italia. 1987.
- Groten S.M.E., NDVI-crop monitoring and early assessment of Burkina Faso. *Int. Journal of Remote Sensing*, 1993, vol.14, No.8, 1349-1368.

Justice C.O., Dugdale G., Townshend J.R.G., Narracott A.S., Kumar M., Synergism between NOAA-AVHRR and Meteosat data for studying vegetation development in semi-arid West Africa. *Int. Journal of Remote Sensing*, 1991, 1349-1368.

Justice C.O., Hiernaux H.Y. Monitoring the grasslands of the Sahel using NOAA AVHRR data: Niger, 1983. *Int. Journal of Remote Sensing*, 1986, 1475-1495.

Mahalakshmi, V., Bidinger, F.R., Rao, G.D.P. Timing and intensity of water deficits during flowering and grain-filling in pearl millet. *Agronomy Journal*, 80:130-135(1988)

Mahalakshmi, V., Bidinger, Raju, D.S. Effect of timing of water deficit on pearl millet. *Field Crops Research*, 15 (1987) 327-339.

Maracchi, G., Conese, C., Maselli, F. Determination de la variabilité spatiale de la température au moyen du satellite NOAA. Actes du Congrès de l'Association Internationale de Climatologie, Pavia (Italie), 1-3 Juin, p.13-17, 1989.

Maselli, F., Conese, C., Petkov, L., Gilabert, M.A.. Use of NOAA-AVHRR NDVI data for environmental monitoring and crop forecasting in the Sahel. Preliminary results. *Int. J. Remote Sensing*, 13(14): 2743-2749, 1992.

Rasmussen M.S., Assessment of millet yields and production in northern Burkina Faso using integrated NDVI from the AVHRR. *Int. Journal of Remote Sensing*, 1992, vol.13, No.18, 3431-3442.

Sivakumar, M.V.K., Wallace, J.S., Renard, C., Giroux, C. (eds.) Soil water balance in the sudano-sahelian zone (Proc.Int.Workshop, Niamey, Niger, February 1991). IAHS Publ. no.199, p.505-514, IAHS Press, Institute of Hydrology, Wallingford, UK. 1991.

Tucker, C. J. Maximum normalized difference vegetation index images for sub-Saharan Africa for 1983-1985. *Int. J. Remote Sensing*, 7(11): 1383-1384, 1986.

Tucker, C. J., Newcomb, W. W., Los, S. O., Prince, S. D. Cover, mean and inter-year variation of growing-season normalized difference vegetation index for the Sahel 1981-1989. *Int. J. Remote Sensing*, 12(6): 1133-1136, 1991.

World Meteorological Organization. Simulation of Primary Production. CAgM Report n.33A (revised). Agricultural Meteorology Programme., World Meteorological Organization, Geneva, CH. 1990.

World Meteorological Organization. AGRHYMET Program: "L'agrométéorologie du mil (*Pennisetum glaucum* [L.] Leeke)", Direction de la Météorologie National du Niger/CeSIA-IATA, Florence, Italie. Avril 1993.

# S.I.S.P.

Systeme Intégré de Suivi et Prévion - Ver. Beta 1.0

SUIVI STATISTIQUES BULLETIN GESTION BD IMAGES

Mi Suivi  
MISU

Statcalson  
StatDec  
PrevSaoh  
PREVEX

1. ConvoPreDec  
2. Bacth SUPER  
CartesPreDec

SUIVI à SISF  
DLB à SISF  
PreDec  
NDPreDec

Creer Zones S  
Calibr. IJDEC  
Entr. IJDEC Zon  
PROFILS IJDEC

Barre d'aide: description du module sélectionné

S.O. PrepINP Vision Edition Sortie



Table 1

Onset of growing season in 1993: estimated situation at July, 20, 1993. List of stations where season is estimated to have begun, as published in the dekadal agrometeorological bulletin of 2nd of July by National Meteorological Service of Niger.

Stations	Moyennes 1961 - 1990		Estimation pour 1993		
	Date de semis	Longueur de saison	Date de semis	Longueur de saison	Ecart à la date moyenne
AYOROU PTT	26-Jun	74	02-Jun	108	-24 jours
BANKILARE	29-Jun	64	14-Jul	52	15 jours
BIRNI N'GAOURE	31-May	114	14-Jun	92	14 jours
BIRNI N'KONNI	07-Jun	104	08-Jul	60	31 jours
DAKORO	06-Jul	64	25-Jun	78	-11 jours
DAN ISSA BRIG.	21-Jun	84	16-Jun	90	-5 jours
DARGOL	29-Jun	78	29-May	114	-31 jours
DIFFA	08-Jul	61	13-Jul	53	5 jours
DIOUNDIOU AGRI	30-May	114	03-Jun	107	4 jours
DOGONDOUTCHI	10-Jun	98	10-Jul	57	30 jours
DOSSO	29-May	114	03-Jun	107	5 jours
FILINGUE	20-Jun	89	14-Jun	92	-6 jours
GAYA	19-May	129	23-May	122	4 jours
GAZAOUA	10-Jun	101	23-Jun	80	13 jours
GOURE	04-Jul	65	24-Jun	79	-10 jours
GUIDAM ROUMDJI	21-Jun	87	06-Jul	63	15 jours
ILLELA	10-Jun	96	04-Jul	65	24 jours
KEITA	25-Jun	79	06-Jun	103	-19 jours
LOGA	06-Jun	102	02-Jun	108	-4 jours
MADAOUA	25-Jun	78	27-Jun	75	2 jours
MADAROUNFA	07-Jun	106	25-Jun	78	18 jours
MAGARIA	16-Jun	94	01-Jul	69	15 jours
MAINE SOROA	30-Jun	73	01-Jul	69	1 jours
MARADI AERO	13-Jun	96	06-Jul	63	23 jours
MATAMAYE	16-Jun	88	24-May	120	-23 jours
MAYAHI	23-Jun	78	28-Jun	73	5 jours
MYRRIAH	18-Jun	87	09-Jul	59	21 jours
NIAMEY AERO	02-Jun	112	04-Jun	106	2 jours
OUALLAM	17-Jun	90	31-May	111	-17 jours
SAY	04-Jun	107	03-Jun	107	-1 jours
TAHOUA	17-Jun	93	31-May	111	-17 jours
TANOUT	09-Jul	54	28-Jun	73	-11 jours
TERA	15-Jun	95	14-Jul	52	29 jours
TESSAOUA	24-Jun	84	06-Jul	63	12 jours
TILLABERY	20-Jun	88	06-Jun	103	-14 jours
TORODI AGRI	02-Jun	111	03-Jun	107	1 jours
ZINDER AERO	26-Jun	81	05-Jul	64	9 jours

Elaborations obtenues par le Système CeSIA à la DMN, Niamey, sur la base des données pluviométriques de 60 postes au Niger; données disponibles jusqu'au 20 Juillet 1993.  
La longueur de saison indiqué a une variabilité de plus ou moins 6 jours.

# Flow chart of millet simulation model

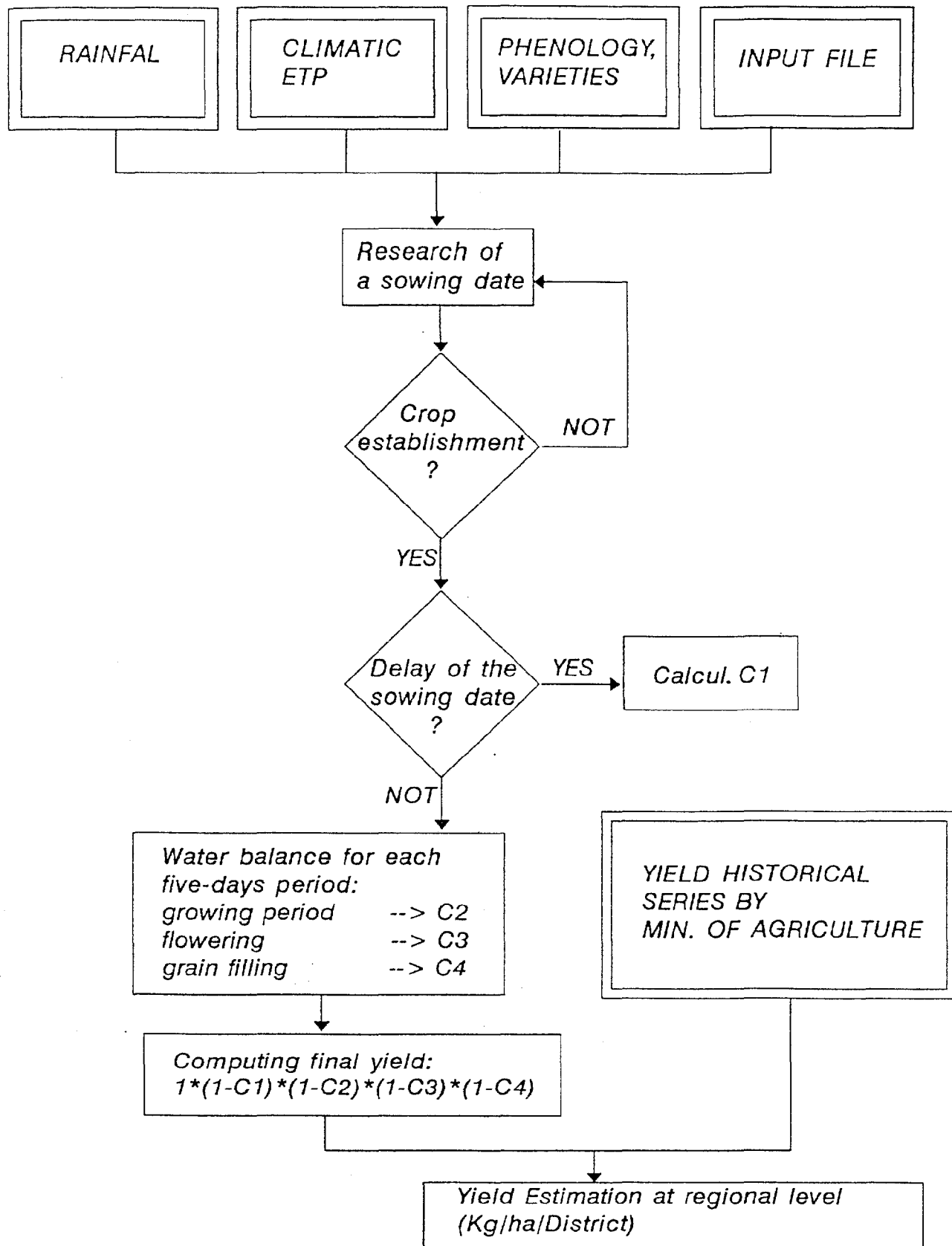
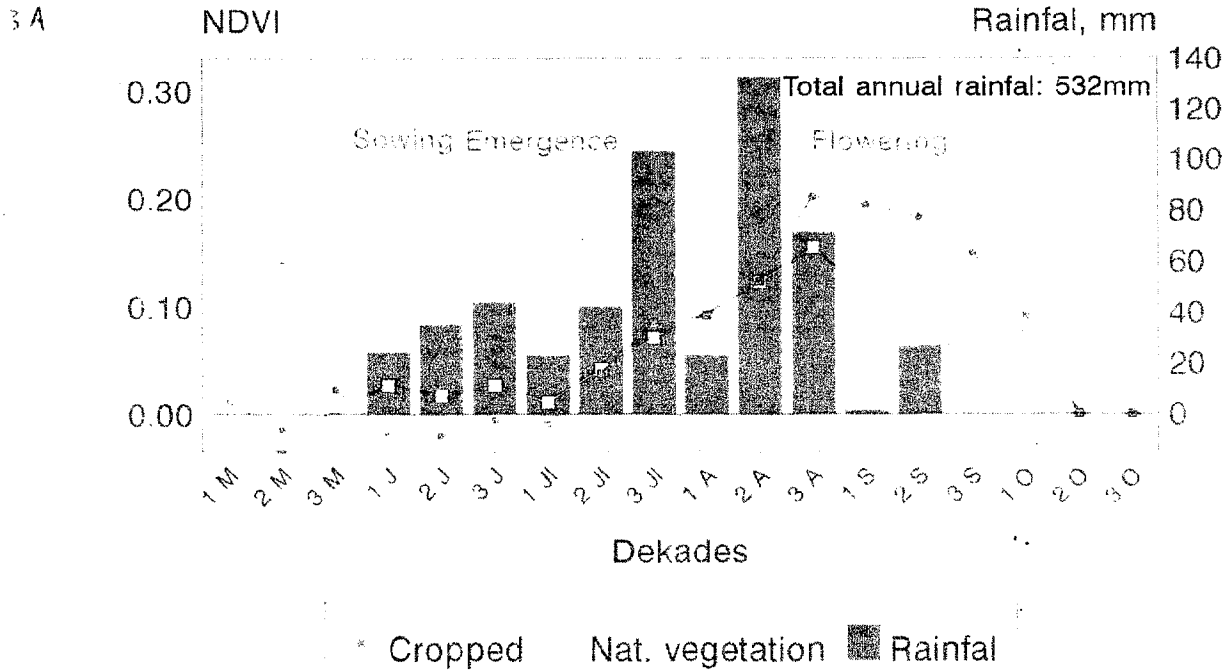


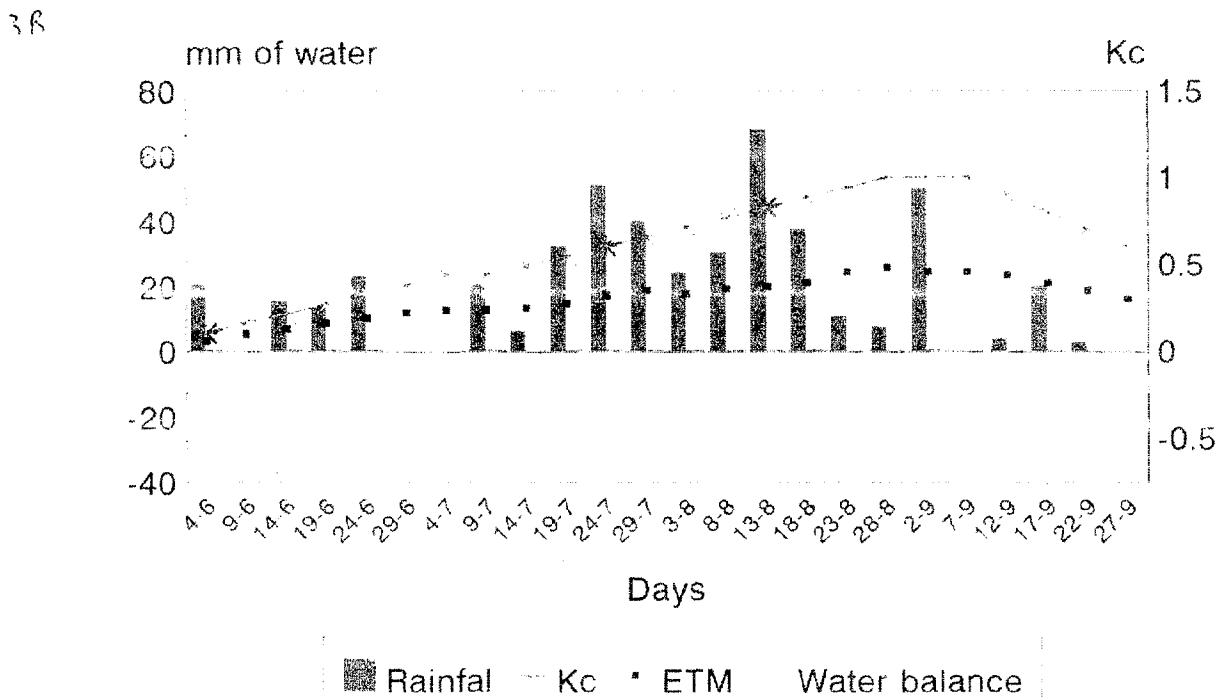
Figure 2

332

Say, Niger. Growing season 1993  
 NDVI seasonal course on two test sites

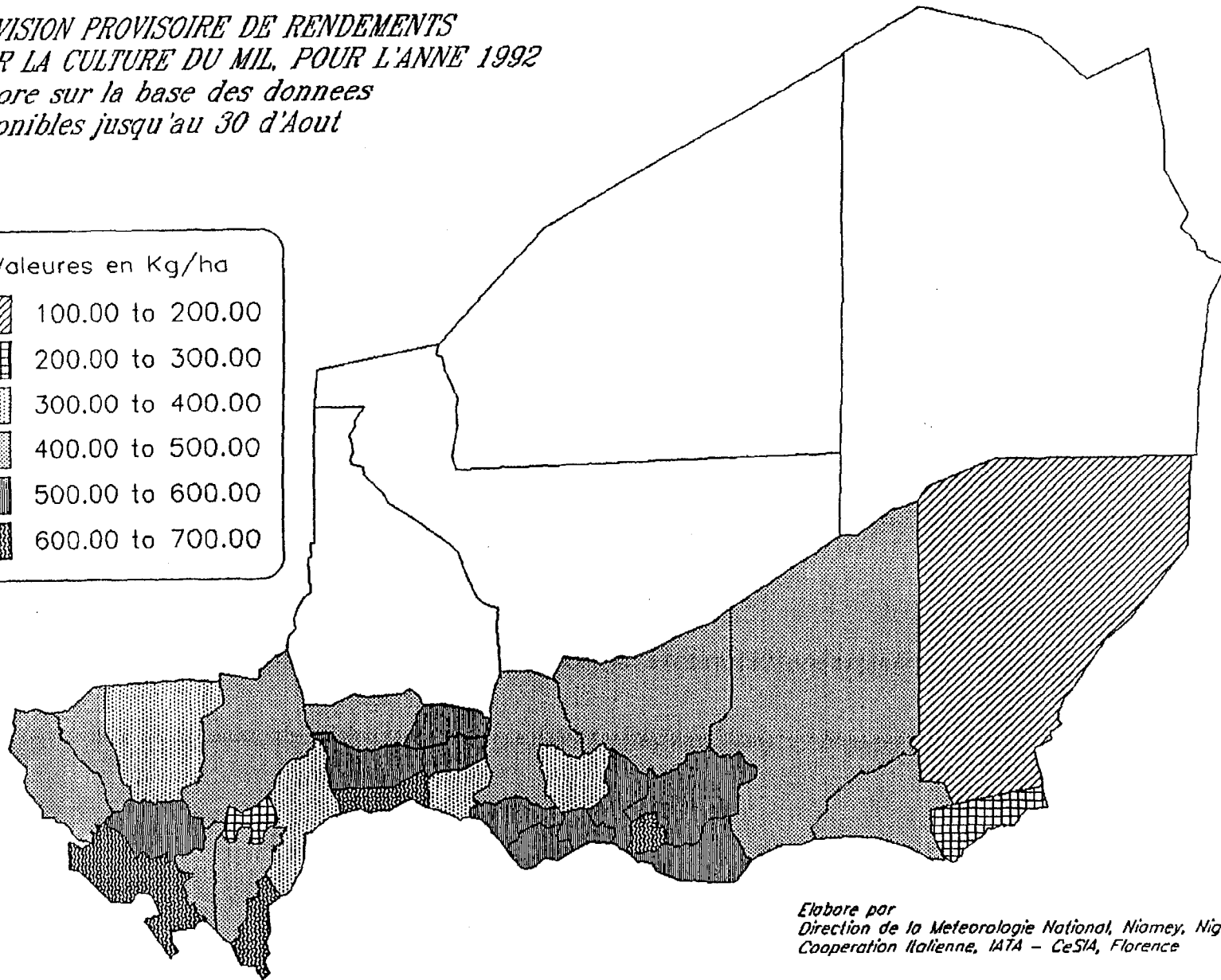
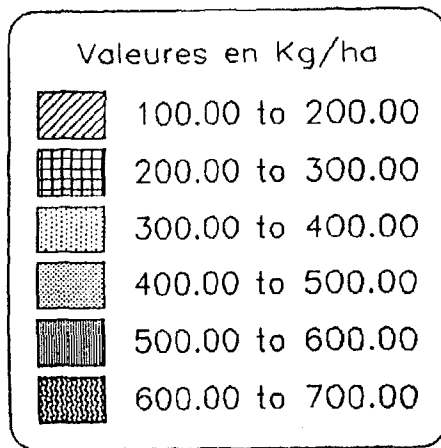


Say, Niger. Growing season 1993  
 Crop development as simulated by CeSIA model



333

*PREVISION PROVISOIRE DE RENDEMENTS  
POUR LA CULTURE DU MIL, POUR L'ANNEE 1992  
Elabore sur la base des donnees  
disponibles jusqu'au 30 d'Aout*



*Elabore par  
Direction de la Meteorologie National, Niamey, Niger, et  
Cooperation Italienne, IATA - CeSIA, Florence*

Figure 4

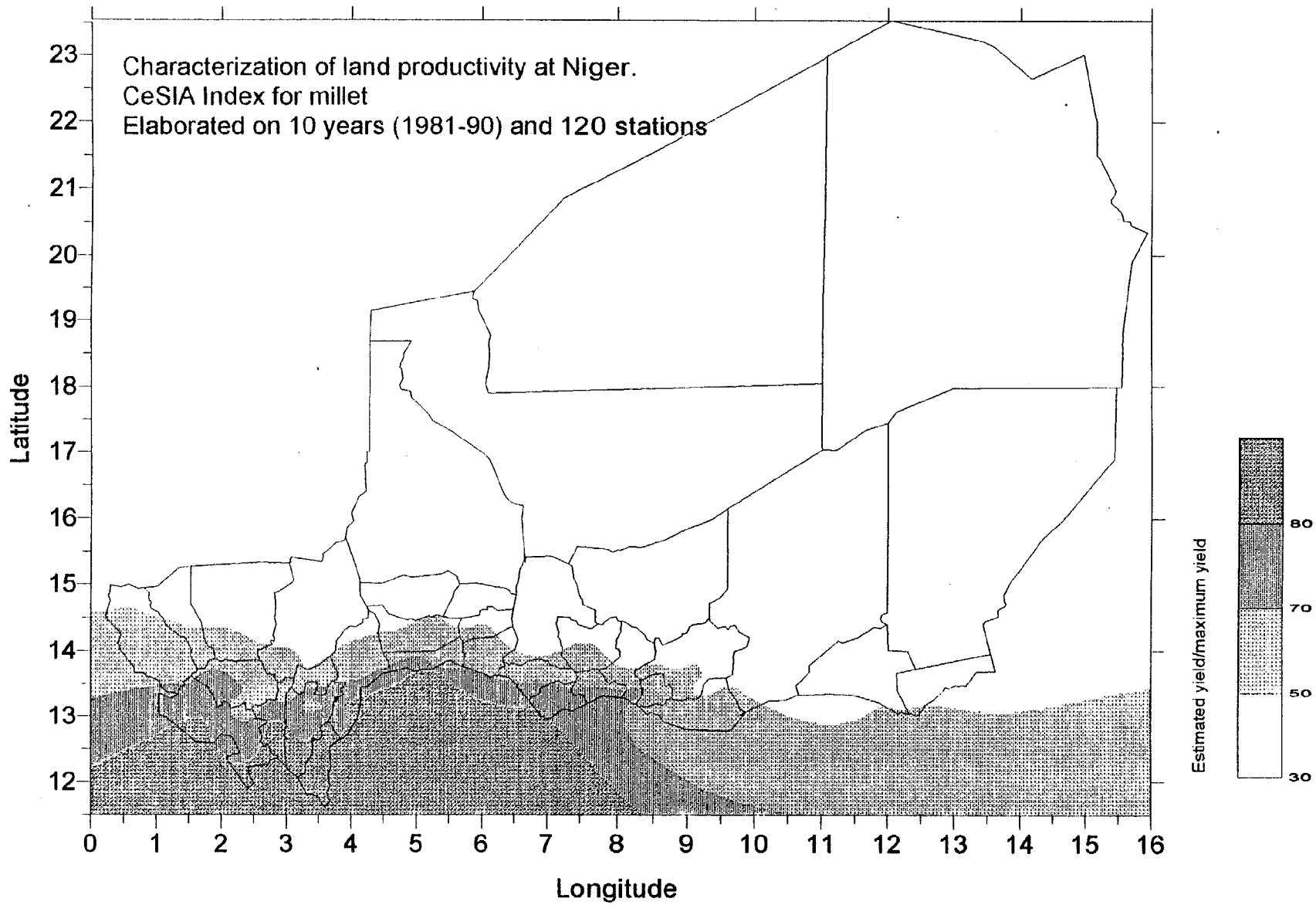
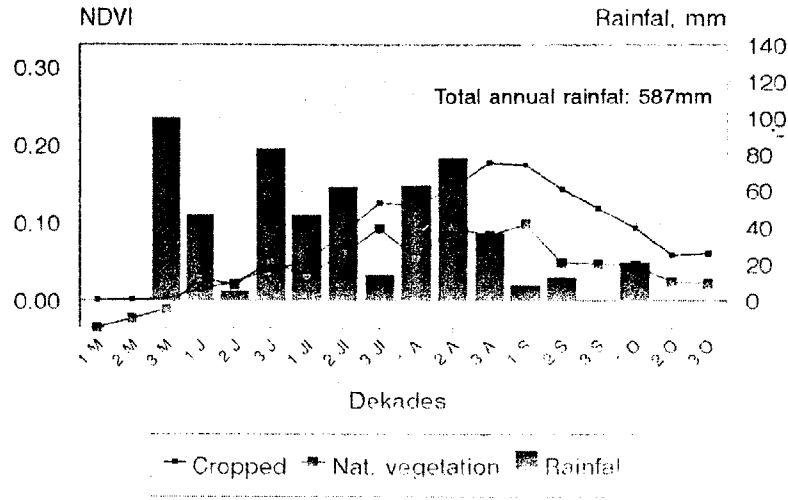


Figure 5

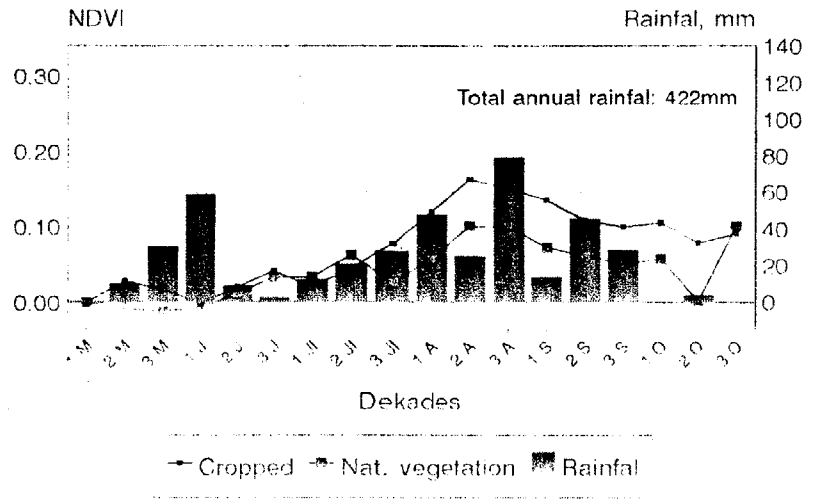
335

Figure 6

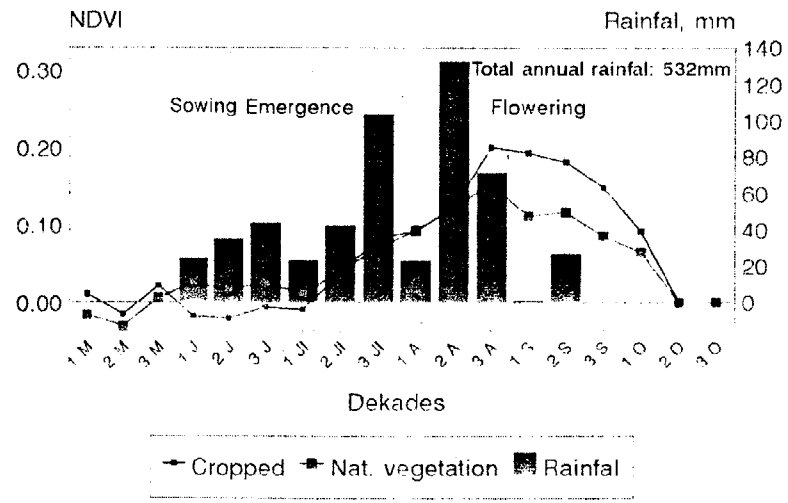
Say, Niger. Growing season 1991  
NDVI seasonal course on two test sites



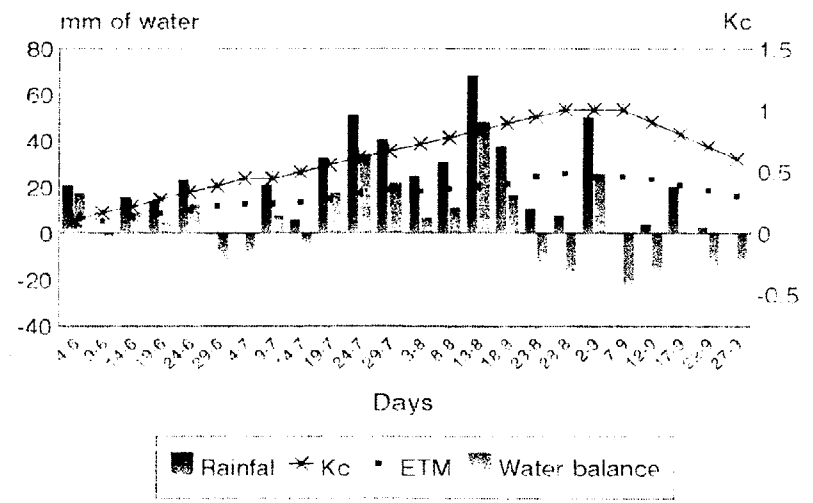
Say, Niger. Growing season 1992  
NDVI seasonal course on two test sites



Say, Niger. Growing season 1993  
NDVI seasonal course on two test sites



Say, Niger. Growing season 1993  
Crop development as simulated by CeSIA model



BEST AVAILABLE COPY

336

Table 2

Growing season 1993.  
Comparison between estimated yield for each arrondissement  
(October 1993) and official values diffused by Ministry of  
Agriculture (February 1994).

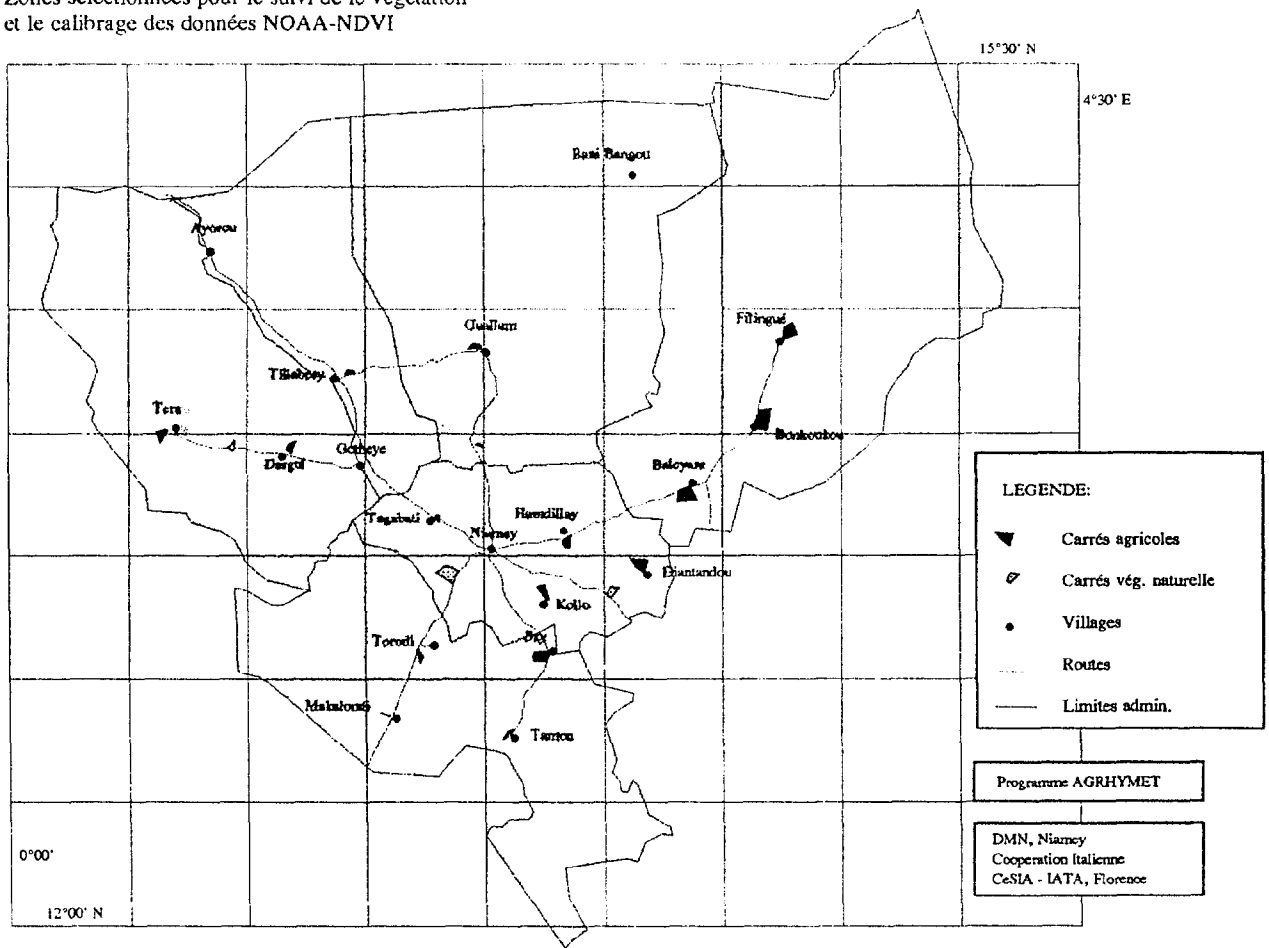
Arrondissement	Estimated	Class	Min. of Agr.
TERA	369	3	398
TILLABERY	519	1	371
OUALLAM	273	3	246
FILINGUE	452	1	308
KOLLO	540	2	518
SAY	612	2	787
BOBOYE	380	3	371
DOSSO	429	2	594
LOGA	425	2	427
GAYA	571	3	728
DOGONDOUTCHI	343	4	370
TAHOUA	331	3	351
ILLELA	215	5	346
BIRNI 'N KONNI	500	3	566
MADAOUA	377	4	613
BOUZA	306	4	200
KEITA	314	4	264
DAKORO	233	4	250
GUIDAN ROUNDJI	374	4	422
MAYAHI	191	5	195
TESSAOUA	324	5	380
AGUIE	321	5	340
MADAROUNFA	473	3	600
MATAMEYE	370	4	400
MAGARIA	419	3	288
MIRRIA	401	3	233
TANOUT	211	4	255
GOURE	291	3	280
MAINE SOROA	223	4	306
NGUIGMI	58	5	69
DIFFA	443	1	534

**Estimated:** values estimated by SISP

**Class:** class of yield, from 1 (optimal yield) to 5 (very scarce yield); class 3 includes yields close to the arrondissement average, calculated on historical series.

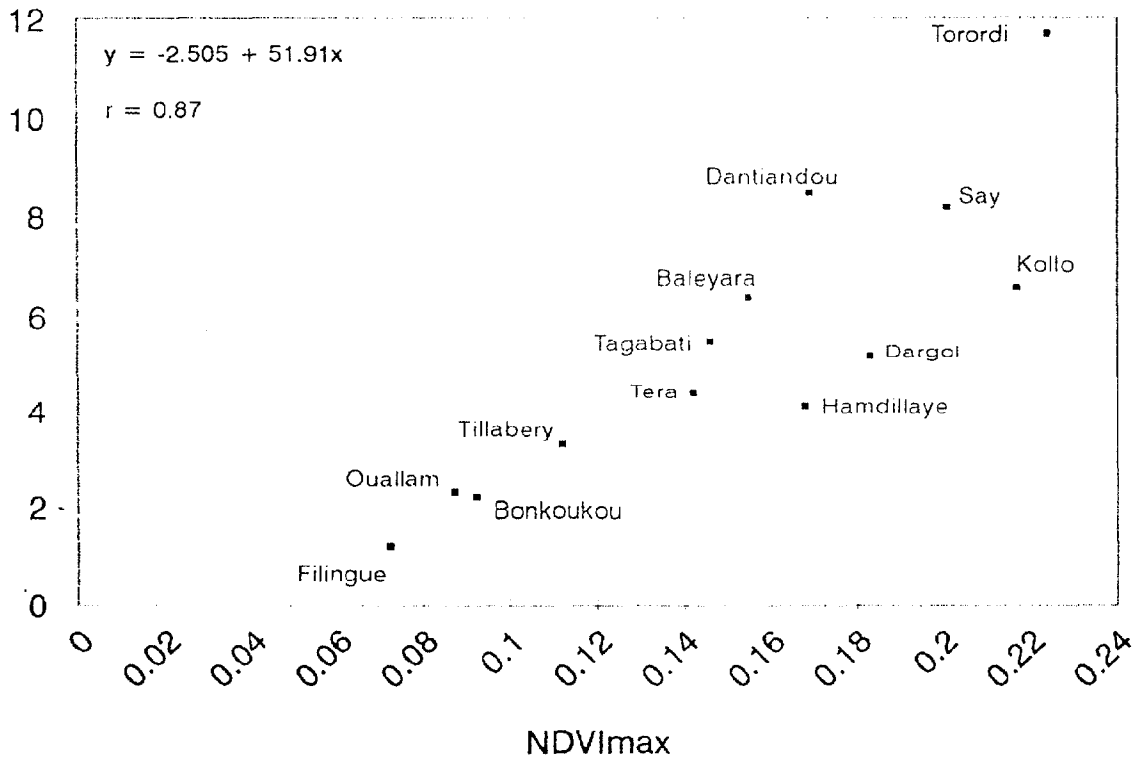
**Min. of Agr.:** official values by Ministry of Agriculture of Niger.

Campagne Agricole 1993 au Niger. Departement de Tillabery.  
 Zones selectionnées pour le suivi de la végétation  
 et le calibrage des données NOAA-NDVI



F. S

Grain yield, q/ha



338



# AIDE A LA DECISION DANS L'AMENAGEMENT INTEGRE A TRAVERS UN SYTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE (BASSIN VERSANT D'OUED LEBEN)

**M. C. DEROUICHE, A. MTIMET**

Direction des Sols, Tunis, Tunisie

Le bassin versant d'oued LEBEN fait partie du gouvernorat de Jendouba (Nord-Ouest de la Tunisie) et couvre une superficie totale estimée à 9000 Ha répartie en deux grand ensembles :

- L'ensemble des collines (partie amont) couvrant une superficie de 5000 ha, caractérisé par une prédominance d'une agriculture pluviale peu productive associé à l'élevage extensif peu rémunérateur. La céréaliculture avec l'élevage constituent la principale source de revenu pour les agriculteurs, les autres cultures servent pour l'autosuffisance en produits agricoles.

- L'ensemble de la plaine (partie aval) couvrant une superficie de 4000 ha exploité surtout en irrigué. En effet, cette unité est intégré au périmètre irrigué de boutherma (2500 ha).

Sur ces deux unités, vivent environ 1200 familles avec en moyenne 5 individus/famille, ce qui donne à peu près 6000 habitants pour toute la zone. La prédominance d'une agriculture extensive devant des activités économiques modestes se traduit par un niveau de vie inférieur à la moyenne nationale. Dans cette région plus ou moins défavorisée, le cloisonnement en de nombreux sous-espaces d'une taille économique insuffisante et l'affaiblissement par un processus ancien de drainage des ressources, font que la région, malgré son potentiel, présente toutes les caractéristiques d'une région dominée par les grands centres d'attraction urbains.

Cette étude appuyée par l'outil SIG /Système d'Information Géographique), se veut essentiellement liée aux problématiques de développement par le biais d'aménagements intégrés. L'approche globale de cet aménagement devrait partir d'un bilan exhaustif des données collectées et des expertises de terrain relatives aux aspects techniques, économiques et sociaux pour aboutir à un schéma global d'aménagement intégré permettant le maintien dans la région de la majorité de la population et de l'accroissement démographique prévisible, dans des conditions de vie améliorées. Ce maintien dépend du développement conjoint du secteur agricole, dont toutes les possibilités d'intensification devront être exploitées et d'un essor industriel vivement soutenu.

# UTILISATION DES SYSTEMES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE ET DES PHOTOGRAPHIES AERIENNES PRISES A BASSE ALTITUDE POUR UNE MEILLEURE GESTION DES STATIONS DE RECHERCHE AGRONOMIQUE

**B. GERARD**

Centre Sahélien de l'ICRISAT, Niamey, Niger

## Résumé.

Grâce aux développements récents des logiciels SIG, les gestionnaires de station de recherche ont à présent des outils leur permettant de renforcer la gestion géographique du domaine qui leur est confié. Pour un grand nombre de stations de recherche dans le monde, les données existantes sont souvent difficilement consultables et non "geo-référencées". L'accès difficile ou impossible à la banque de donnée de la station mène souvent à des décisions malheureuses et prive les chercheurs de cette station d'informations parfois capitales pour la conception et la mise en place d'un protocole d'essai ou pour l'interprétation des résultats de cet essai. A la requête de plusieurs chercheurs du Centre Sahélien de l'ICRISAT, un système d'information a été développé avec comme objectif principal une meilleure gestion des parcelles d'essai de la station. Le SIG comprend actuellement des données cartographiques liées notamment à la topographie, la pédologie, la fertilité des sols, la pluviométrie et l'historique des parcelles d'essai. Durant la saison des pluies 1994, en collaboration avec l'Université de Hohenheim, un ballon gonflé à l'hélium a été utilisé pour réaliser des photographies aériennes basse altitude des essais. Ces données photographiques sont traitées numériquement afin de fournir au chercheur des informations supplémentaires ou pour évaluer la macro-variabilité des parcelles.

## I. Introduction.

Une des composantes essentielles du succès de la recherche agronomique appliquée est la bonne gestion des parcelles d'essai et l'accès à l'information spatiale sur les variables de l'environnement qui influencent la production végétale sur les stations de recherche (ICRISAT, 1994). Ces informations devraient être intégrées à toutes les phases de la recherche, de la conception de l'essai à son analyse et son interprétation. Malheureusement, pour un grand nombre de stations agronomiques, elles sont souvent difficilement consultables, non standardisées et redondantes, non geo-référencées. De plus, une grande partie de ces informations ne repose que sur la mémoire de quelques membres de la station de recherche. Ces carences conduisent à une dégradation ou à une perte partielle ou totale de l'information et à une méconnaissance de l'historique des essais effectués sur la station, l'ensemble pouvant avoir des effets néfastes durables sur la gestion de la station.

Le système d'information développé depuis trois ans au Centre Sahélien de l'ICRISAT a comme objectifs de 1) optimiser l'allocation des parcelles d'essais en fonction des besoins spécifiques des chercheurs, de l'historique, de l'occupation des sols et des caractéristiques de ces parcelles; 2) procurer aux chercheurs des données géo-référencées sur les variables de l'environnement afin de les aider à la conception des essais et à l'analyse de leurs résultats; 3) caractériser la micro-variabilité parfois importante qui existe sur les parcelles d'essais; 4) systématiser le suivi de l'historique des parcelles de la station; 5) assister les chercheurs pour tout travail cartographique.

En association avec le développement du SIG de la station, l'analyse quantitative de photographies aériennes prises à basse altitude est utilisée depuis 1994 afin de remplacer certaines mesures dont le coût serait prohibitif. Un équipement relativement peu coûteux développé à l'Université d'Hohenheim a été utilisé pour la prise de photographies aériennes à des altitudes variant de 20 à 500 mètres (Buerkert et al., 1995). Ces photographies ont servi à caractériser la micro-variabilité naturelle ou artificielle existant dans les parcelles d'essai ou dans les champs paysans.

## II. Méthodologie et discussion.

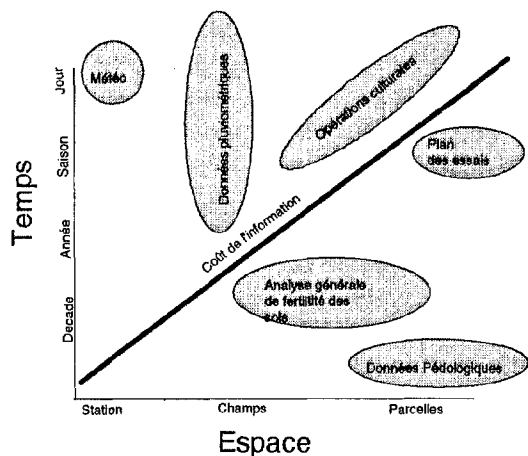


Figure 1. Représentation des données à intégrer sur une échelle spatio-temporelle.

la pédologie, l'occupation avant l'implantation de la station en 1981 (Hiernaux, 1981), une étude de fertilité des sols réalisée en 1992 (Fig. 2), le parcellaire (Fig. 3), l'attribution des parcelles d'essais (jusqu'à la parcelle élémentaire), les opérations culturale et les isohyètes pour chaque pluie (18 pluviomètres sont répartis sur la station).

### II.2 Le choix du matériel.

#### II.2.1 Logiciel.

Les logiciels choisis sont Atlas\*GIS (ver 2.0 pour DOS, ver 3.0 pour Windows) pour les applications vecteurs et Idrisi (ver 4.1 pour DOS) pour le traitement d'image. Ce choix repose sur plusieurs critères. Le système doit pouvoir être consulté par des utilisateurs qui ne sont pas nécessairement des experts en SIG. De plus, la dissémination du système vers d'autres stations de recherche nécessite un logiciel convivial qui ne demande pas de longs mois de formation et d'apprentissage pour une personne ayant déjà des connaissances informatiques de

### II.1 Les données intégrées au SIG.

L'impact de l'utilisation du SIG dépend de la qualité et de la mise à jour régulière des données qui y sont intégrées. Afin d'établir une liste des données nécessaires à la gestion de la station, les informations disponibles ou à collecter ont été classées suivant différents critères: nature de l'information cartographique ou attribut, résolution spatio-temporelle requise (Fig.1), types d'applications à développer. Trois repères ont été établis sur l'échelle spatiale. Ces niveaux sont la station (500 ha), les champs (0.5-4 ha), les parcelles élémentaires (10-100 m<sup>2</sup>). De la même manière, l'échelle temporelle a été jalonnée de repères qui indiquent l'intervalle de mise à jours des différents types de données. Il est évident que le coût de l'information à intégrer est directement lié à la résolution requise. Cette représentation combinée à l'importance des besoins exprimés par les chercheurs et à l'impact potentiel de l'application associé à la situation du type d'information dans l'échelle spatio-temporelle (Fig.1) permettent de dégager des priorités pour l'intégration des données dans le système d'information. Sur base de cette analyse, les données intégrées au SIG sont la topographie générale,

base. Cependant le logiciel doit garder un niveau de performance proche de celui des SIG les plus évolués. Le prix du logiciel a également été pris en compte pour les mêmes raisons. Enfin le logiciel ne devrait pas nécessiter un ordinateur trop 'musclé' afin de pouvoir équiper les stations dotées d'ordinateurs aux performances limitées.

### II.2.2 Système de positionnement.

Le système de positionnement global (Global positioning system, GPS) est utilisé pour géo-référencer les données collectées sur la station. L'équipement utilisé permet une précision de l'ordre de 30 m en mesure directe. Cette précision est ramenée à 1-2 m quand les données sont corrigées en 'post-différentiel' par rapport aux données d'un point de repère fixe, situé dans l'enceinte de la station (Trimble Navigation Ltd, 1989). L'avantage du système utilisé réside dans le transfert direct des données du GPS vers le SIG vecteur. Cela permet un gain de temps considérable dans tous les travaux cartographiques. Une des utilisations du GPS consiste à obtenir les coordonnées géographiques de points de repère pris sur les cartes ou sur les photographies aériennes. Le GPS peut aussi être utilisé pour une cartographie directe de l'emplacement d'échantillons (sols, arbres...) et le pourtour des parcelles d'essais.

### II.3 L'utilisation de photographies aériennes prises à basse altitude.

L'utilisation de photographies aériennes prises à basse altitude n'est pas nouvelle en agriculture (Avery et Berlin, 1985) mais son utilisation a souvent été limitée par le coût élevé de la prise de vue et par une utilisation purement visuelle et qualitative de l'information photographique. A l'échelle de la station de recherche, la photographie aérienne apporte une information non négligeable et pourrait dans certains cas remplacer certaines mesures de terrain coûteuses.

Depuis 1993, une collaboration avec l'ORSTOM et l'Université de Hohenheim en Allemagne, a permis de réaliser des séries de photographies de certains essais sur la station de Sadoré. Durant la saison des pluies 1994, la prise de vue par ballon gonflé à l'hélium (Buerkert et al., 1995) a été testée sur un grand nombre d'essais. Cette technologie relativement peu coûteuse et d'utilisation facile permet d'obtenir des photographies verticales basse altitude (20-500 m) de très bonne qualité couvrant une superficie allant de quelques mètres carrés à 5 hectares.

L'exploitation de ces photographies est numérique de sorte que les données dérivées sont finalement intégrées au SIG vecteur. Les photographies sont numérisées sur un scanner couleur 24 bit à une résolution pouvant atteindre 600 dpi pour produire une image au format TIF (*24-bit band interleaved-by-pixel format*). L'image numérisée est éventuellement retravaillée avec le logiciel Corel Photo-Paint afin d'y apporter des corrections de contraste et d'exposition. Elle est ensuite décomposée en bandes rouge, bleue et verte grâce au module BIPIDRIS du logiciel Idrisi (Eastman, 1993) pour produire trois fichiers au format IMG. Des corrections géométriques peuvent être apportées lorsque les images sont légèrement obliques (module RESAMPLE dans Idrisi). Puis différentes classifications peuvent être réalisées sur les données d'une, de deux ou des trois bandes. Pour la plupart des analyses réalisées, une classification sur la bande rouge est suffisante pour détecter les surfaces couvertes par végétation sur substrat sableux (albedo élevé). L'image classifiée peut générer un fichier vecteur (module POLYVEC d'Idrisi). Le fichier vecteur est exporté d'Idrisi sous un format BNA vers le logiciel SIG vecteur Atlas\*GIS. Il est alors possible de donner un attribut aux polygones obtenus par la classification, ce qui permet une cartographie détaillée de la végétation, de surimposer d'autres informations vecteurs telle la pédologie et les parcelles élémentaires, et d'obtenir des sorties tabulaires reprenant les superficies et les périmètres pour une analyse statistique et une comparaison aux mesures de terrain.

A titre d'exemple, une petite application est présentée sur un essai de provenance de *Ziziphus mauritania* (arbuste sahélien). Une photographie aérienne de l'essai a été prise le 14 septembre 1994 à une altitude de 500

mètres. Durant la même période, une équipe d'observateurs a mesuré le petit et le grand diamètre de la couronne de chaque arbuste afin d'en déduire la surface de couronne. Ces mesures de terrain prennent plusieurs jours. La bande rouge est obtenue après numérisation de la photo (Fig.4.a. et 4.b.) et est classifiée en une classe 'sol' et une classe 'végétation'. La classe 'végétation' a été vectorisée et importée dans Atlas\*GIS afin de mesurer la superficie de la couronne pour chaque arbuste (Fig.4.c). Les données de terrain ont été comparées aux superficies dérivées de la photographie aérienne. La corrélation obtenue est excellente ( $> 0.97$ ) pour les parcelles où les couronnes des arbres ne se rejoignent pas.

Les applications potentielles sur station de recherche sont nombreuses et les avantages de la méthode sont évidents pour beaucoup d'applications. Entre autre, la photographie aérienne permet une couverture instantanée et complète de l'essai ou de la zone étudiée (évite le recours au sous-échantillonnage) de manière non-destructive. La photographie aérienne d'un essai permet également un archivage facile des caractéristiques spatiales et permet une comparaison temporelle de l'essai.

### **III. Conclusions.**

Après plus de trois ans de développement et d'utilisation sur la station de Sadoré, le SIG paraît un outil approprié pour la gestion des stations de recherche. Les informations organisées de cette manière permettent aujourd'hui de prendre des décisions plus rapides et plus objectives pour un large domaine d'application. Les données de fertilité des sols ont permis de dégager des dérives par rapport à la fertilité des champs paysans et de prendre les actions appropriées en matière de gestion de la fertilité. L'allocation des parcelles d'essai à été largement facilitée par l'accès et la manipulation rapide des données de la station. Les études détaillées réalisées à la demande des chercheurs ont facilité la planification et l'analyse d'essais. Sans l'utilisation du GPS différentiel, de nombreuses données n'auraient pu être collectées et/ou leur apport aurait été amoindri par le manque de précision. Enfin, l'utilisation de photographies aériennes prises à basse altitude est appropriée pour la caractérisation des essais et laisse envisager d'autres applications dans un futur proche. Une recherche de techniques alternatives de prise de photographie aérienne doit être poursuivie pour permettre au plus grand nombre de stations dans la région d'accéder à cette technologie. Finalement, une formation des gestionnaires de station devrait se mettre en place pour assurer la diffusion de l'utilisation du SIG sur station de recherche.

### **Remerciements.**

L'auteur tient à remercier les Drs. J.H. Williams et J. Brower pour leur inspiration initiale dans la construction du SIG et leurs suggestions techniques. Ses remerciements vont également à Mr. A. Buerkert sans qui les photographies aériennes n'auraient jamais été réalisées et aux Drs. C. et R. Studer pour leur contribution à l'analyse des photographies aériennes de leur essai.

### **Références.**

- Avery T.E. et G.L. Berlin, 1985. Interpretation of aerial photographs. Macmillan Publishing Company.
- Buerkert A., F. Mahler et H. Marshner, 1995. Productivity management and plant growth in the Sahel. Soumis à Plant and Soil.
- Hiernaux P., 1981. Végétation de la station expérimentale de Tiaguriré. ICRISAT, Niamey (document non publié)
- ICRISAT, 1994. ICRISAT now, sowing for the future. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, Andhra Pradesh, Inde.
- Eastman J.R., 1993. IDRISI Manual version 4.1. Graduate School of Geography, Clark University.
- Trimble Navigation Ltd, 1989. GPS, a guide to the next utility. Sunnyvale, Californie, USA.



Figure 2. Carte thématique de fertilité de la station de Sadoré d'après une étude réalisée en mai 1992 et représentant la capacité d'échange cationique sur les parcelles d'essai. Des cartes similaires peuvent être rapidement produites pour la matière organique, le phosphore disponible, le pH, et d'autres éléments.

344

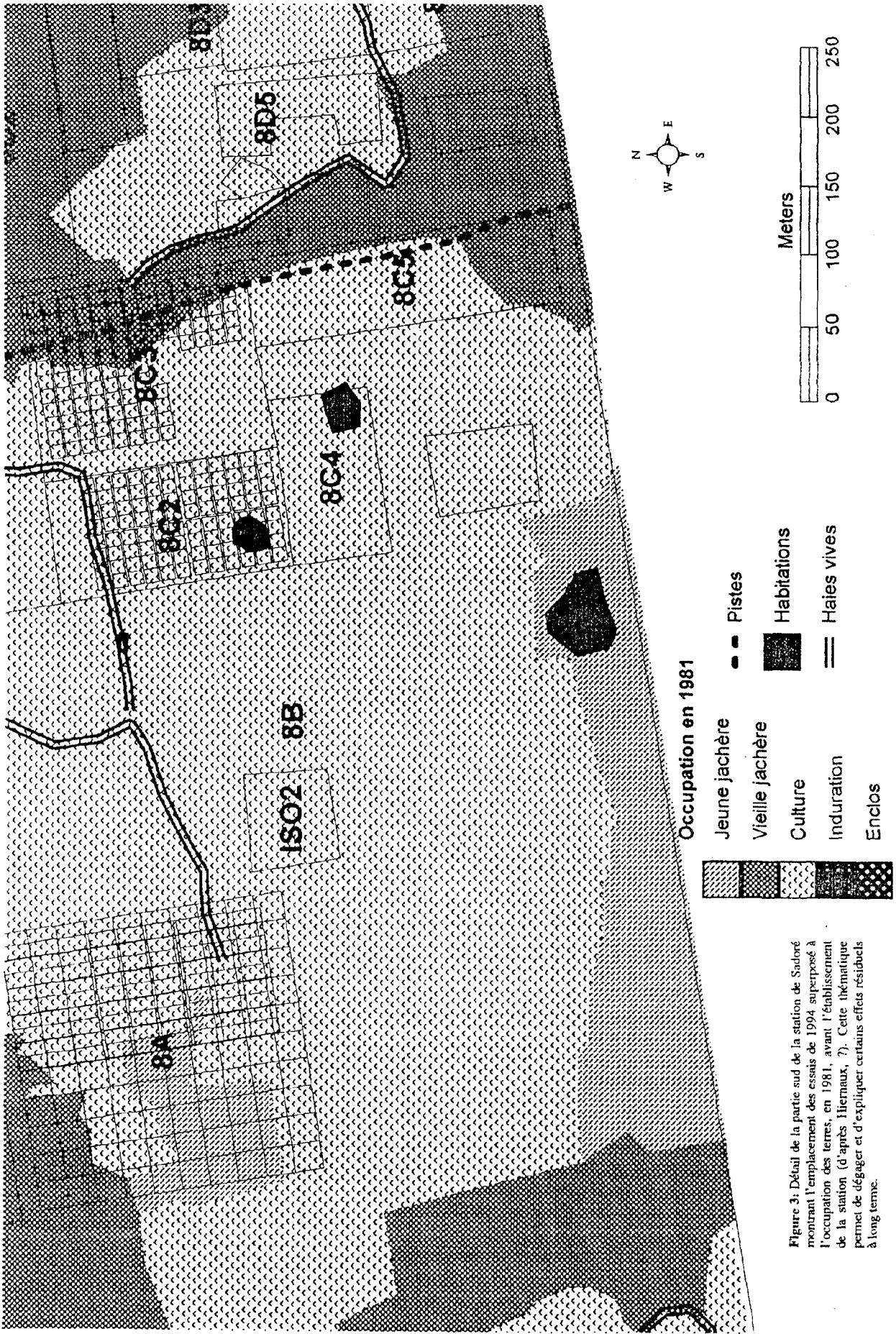


Figure 3: Détail de la partie sud de la station de Sadoré montrant l'emplacement des essais de 1994 superposés à l'occupation des terres en 1981, avant l'établissement de la station (d'après Hleriaux, ?). Cette thématique permet de dégager et d'expliquer certains effets résiduels à long terme.

345

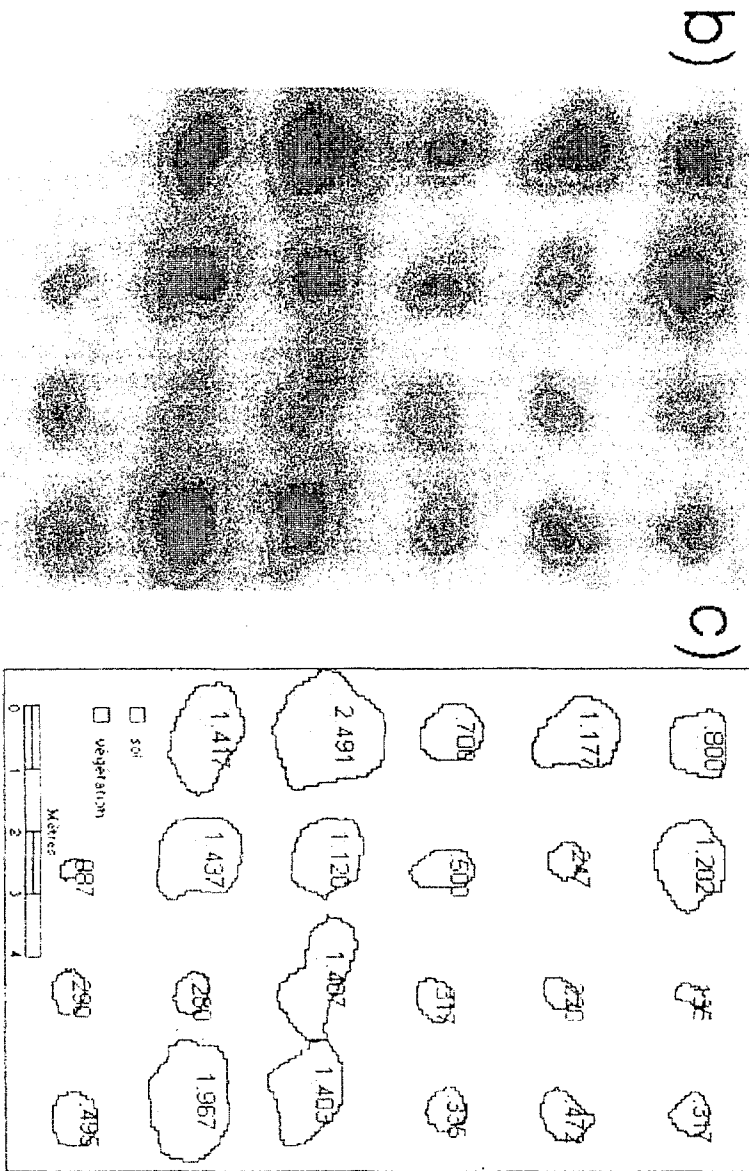
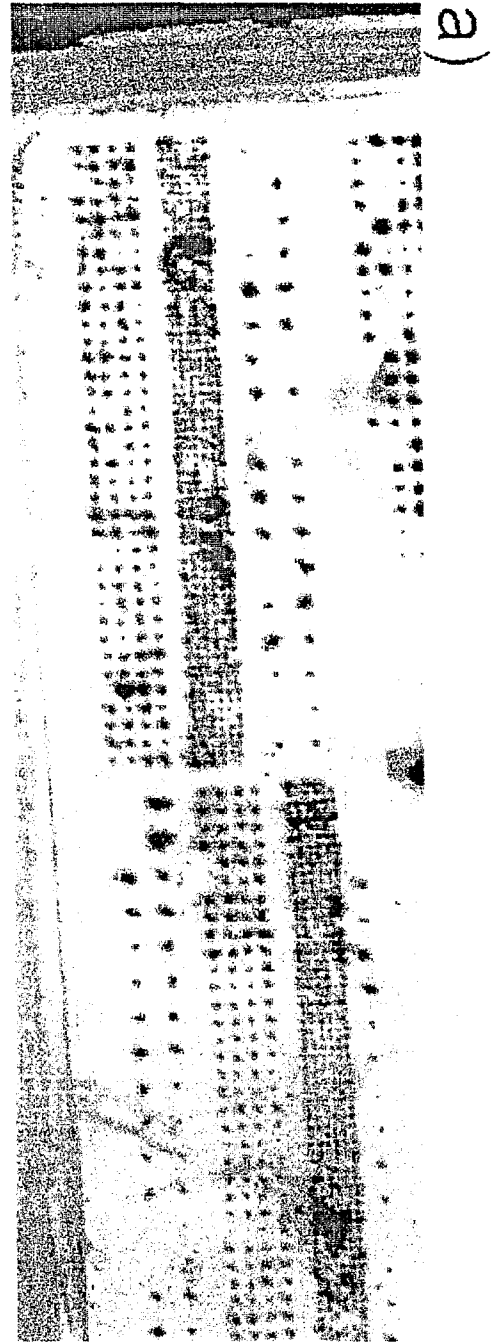


Figure 4. a) Bande rouge d'une photographie aérienne réalisée par ballon au dessus d'un essai de provenance de *Ziziphus mauritania* le 14 septembre 1994. b) Detail d'une parcelle élémentaire dans la bande rouge. c) superficie de la couronne extraite après classification de l'image et importation dans un SIG vecteur. Ces données peuvent alors être exportées sous forme tabulaire.



# USE OF GIS AND MODELLING FOR INCREASED SUSTAINABLE AGRICULTURE IN COMPLEX INLAND VALLEY AGRO-ECOSYSTEMS

**P. N. WINDMEIJER**

Inland Valley Consortium, c/o WARDA/ADRAO, Bouaké, Côte d'Ivoire.

## **Introduction**

Agricultural research in West Africa is hampered by the high spatial and temporal variability of agro-ecosystems. Because of this variability, and the fact that most research in the past has been conducted in a mono-disciplinary way, many research results and improved technologies developed tend to be location specific, and difficult to extrapolate to other areas within the region.

The Consortium for sustainable use of inland valleys in Sub-Saharan Africa has developed a methodology for characterization of the agro-ecosystem in the region, which allows qualitative and quantitative extrapolation of the research and development results.

The Consortium is a cooperative research structure of National Agricultural Research Systems (NARS) of eight West African countries and five International Agricultural Research Centers (IARC). The Consortium is based at the headquarters of the West Africa Rice Development Association (WARDA) in Cote d'Ivoire.

In a concerted action, IVC and WARDA are developing a GIS-unit for the processing of information collected by agro-ecological characterization, research on rice-based cropping systems, and modelling of rice production potential in West Africa. Because this unit is not yet operational, only near future activities are described in this paper.

## **Inland valleys**

Inland valleys are defined as the upper reaches of river systems, inland in respect of the main rivers and tributaries, in which river alluvial sedimentation processes are absent or of minor importance. As such, inland valleys have only a minor floodplain and levee system (Windmeijer and Andriessse, 1993). Inland valleys comprise the toposequence, or continuum, of valley bottoms and minor floodplains which may be submerged for part of the year, their hydromorphic fringes, and contiguous upland slopes and crests, extending over an area that contributes runoff and seepage to the valley bottom. Longitudinally, inland valleys may be continuous and smooth, or interrupted and stepped, depending on the underlying rock formations. Individual inland valleys (land elements) and their sub-elements (i.e. crests, slopes, hydromorphic fringes and valley bottoms) are part of a differentiated valley system of first and higher-order streams (segments).

The bottom lands of inland valleys in West Africa show considerable potential for intensified and sustainable land use. This is mainly due to better water availability as compared to the adjacent uplands. Presently, however, they are only marginally used and with limited success: only 10 to 25% of the total valley bottom area in West Africa is under cultivation (mainly rice), and yields are generally low (0.8-1.2 ton paddy per ha). The constraints to bring land into cultivation include: extensive weed growth, lack of appropriate water management technologies, labour shortage (clearing of natural vegetation), prevalence of water-related diseases (e.g. bilharzia, malaria), land tenure uncertainty, and an unfavorable infrastructure (e.g. markets, accessibility).

Inland valleys occur throughout West Africa, where valley bottoms and hydromorphic fringes are estimated to occupy between 20-50 million ha of land (Windmeijer and Andriessse, 1993). The wide area-range indicated here is a reflection of the high complexity and heterogeneity of the inland valleys and the lack of consensus on what exactly constitutes an inland valley. These factors partly explain why, to date, little progress has been made in the systematic

characterization of inland valley systems. Moreover, complexity and heterogeneity are compounded if not only the physical component of inland valleys is included, but also the biotic component (land cover and land use).

### **Multi scale agro-ecological characterization**

Agro-ecological characterization implies the comprehensive description of agro-ecosystems on the basis of physical (climate, lithology, landform, soils and hydrology), biotic parameters (vegetation), and land use parameters. Land use (primary and secondary production) is described including its socio-economic identifiers (labour, capital input and management). The degree of detail of the information gathered in agro-ecological characterization depends the scale of characterization.

A multi-scale approach has been developed because data collection, interpretation and, later on, planning always take place at various levels. Scaling down to a lower level of characterization (desaggregating), implies greater detail of increasingly dynamic parameters, while at the same time certain macro-level parameters are more or less uniform and static (e.g. climate and lithology at detailed level). On the other hand, while scaling up (aggregating), details distinguished for variables at a lower level (e.g. crop rotations) are disregarded at a higher level. Compared to soils and climate, land use involves the most dynamic set of variables: cropping and farming systems are highly dynamic, both spatially (land elements, rotations, intercropping) and temporally (rotations, cultivation practices, labour inputs).

### **Methodology**

The multi-scale characterization described by Andriess et al. (1994) consists of four levels, from high to low, with their respective scales, tools to collect the information, and units of analysis (Table 1).

At the macro-level, scale 1:1,000,000 - 1:5,000,000, vast agro-ecological zones have been distinguished, primarily on the basis of length of growing period). These have been divided into agro-ecological units on the basis of information on major land forms and geology from secondary sources of information.

During the reconnaissance characterization (scale 1:100,000 - 1:250,000), which is implemented at the national level, the agro-ecological units are further sub-divided into agro-ecological sub-units, using information on climatological parameters, distribution of valley bottoms, lithology, major crops grown in the sub-units, population density, and infrastructure. Data are collected from national sources of information, rapid rural surveys, and satellite images.

In a key area within an important agro-ecological sub-unit, about four inland valleys systems are being selected for semi-detailed characterization (scale 1:25,000 - 1:50,000). Information on valley morphology, soils, land cover, hydrology is collected by satellite images, aerial photographs, and transect surveys. Farmers are being interviewed for more detailed information on land use and socio-economic parameters. Information is processed at the level of the watershed.

On the basis of this semi-detailed characterization a representative inland valley is selected for the detailed characterization (scale 1:5,000 - 1:10,000). The bio-physical environment is described by surveys and subsequent research on dynamic processes such as nutrient depletion, groundwater hydrology, etc. Land use aspects are determined mainly by interviewing farmers. Land use is described at the farming system level, of which cropping systems are the principle components. The farming system is selected as the unit of analysis because it is the farmer who is the decision maker for adoption or rejection of improved management technologies.

### **Objectives of the agro-ecological characterization**

The various levels of characterization serve various purposes. First, it allows the selection of a key site with a high degree of representativeness for the key area and the agro-ecological sub-unit. Secondly, results of the characterization form the basis for developing a typology of potential agricultural production in an inland valley, but

in a wider context for the key area and the agro-ecological sub-unit as well. Thirdly, after completion of the characterization, the major constraints on improved and sustainable production are known, and research for the on-farm development and/or testing of improved technologies can be properly targeted. Finally, to the extent that characterization has been implemented in different countries, common information and technologies can be transferred to geographically separated areas with similar agro-ecological characteristics.

### **Processing of data**

Data collected during the different steps of the characterization will be processed in different ways. Macro and reconnaissance characterization result in maps with qualitative descriptions of the several agro-ecological (sub)units. The transects of the semi-detailed characterization are reflected in so-called agro-ecosystem diagrams in which actual land use and the physical environment are summarized. A number of characteristics are quantified, e.g. the Valley Bottom Ratio (VBR; the ratio of the area occupied by the higher parts of the valley (crests, slopes and fringes) over the area of the valley bottom), the Actual Production Ratio (APR; the sum of cropped area, prepared land, and grazing land over the total area of the valley, and the Fallow Index (FI; indicator of the importance of fallow in the cropping systems).

All the different steps of the characterization and the subsequent research result in a large amount of data. The storage and management of this information within a GIS is indispensable. Using GIS, relations between parameters at different scales can be established, quantitative extrapolation will be facilitated (Figure 1), and spatial statistical analysis can be carried out (Burrough, 1986; Aronoff, 1993). It is the spatial analysis capabilities of the GIS that distinguish it from related graphics-oriented systems like computer-aided design and drafting. The analysis of complex, multiple spatial and non-spatial data in an integrated manner forms the major part of GIS's capabilities. It is a function that cannot be done effectively with manual methods. These spatial analysis capabilities of a GIS together enable geo-referenced information to be created and used in a completely different context than before.

The integrated analysis of spatial and attribute data together makes GIS a powerful tool. Some important functions which will commonly be used by IVC and WARDA are:

- **Classification and generalization.** The procedure of identifying a set of features as belonging to a more or less homogeneous group is called classification. Classification is important because it defines patterns. One of the important functions of a GIS is to assist in recognizing new patterns. Generalization, also called map dissolve, is the process of making a classification less detailed by combining classes. This is often used to reduce the level of classification detail to make an underlying pattern more apparent. Classification and generalization will be extremely important for the agro-ecological characterization and finding relations between parameters described at different scales.
- **Overlay operations.** Arithmetic overlay includes such operations as addition, subtraction, division, and multiplication of each value in a data layer by the value in the corresponding location in a second data layer. A logical overlay involves finding those areas where a specified set of conditions occur, or do not occur, together. In case data are stored in different layers, different input layers will be combined to a new output layer. Overlay operations will be used to define agro-ecological units and sub-units by combining individual coverages with parameter specific information to new, compiled coverages.
- **Neighbourhood operations.** These operations evaluate the characteristics of the area surrounding a specific location. Major neighbourhood functions are the search function, the interpolation function, and contour generation. These operations will be used for the spatial analysis of characterization and research results.

- **Connectivity operations.** The distinguishing feature of connectivity operations is that they use functions that accumulate values over the area being traversed. That is, they require that one or more attributes be evaluated and a running total of the results be retained in a step-by-step fashion. Each step represents a movement in space. Major functions are contiguity measures, proximity, network functions, and spread functions. These functions may be applied in modelling dynamic processes in inland valleys, like water and nutrient flows.

To develop a multi-purpose GIS application, all the information collected at the different levels will be stored in individual coverages. This allows a multi-purpose use by different disciplines because the most relevant information on a certain subject can be selected and combined.

### **Quantification of land use potential for regional development plans**

Modelling is the tool to quantify potential agricultural production for a certain key site. The detailed characterization and subsequent research produces all the detailed information required for the development of, for instance, crop production and hydrological models. Detailed characterization in multiple sites allows the calibration of the models for different agro-ecological circumstances.

A second step is the aggregation of the developed models to establish the potential agricultural production of an area larger than the key site. Summary models are to be developed on the basis of the data sets of the smaller scale characterization steps. Using the predictions of these models, local, regional, and national development plans can be developed, depending on the actual socio-economic conditions and political priority setting (Figure 1).

### **Conclusions**

The research methodology for increased and sustainable agricultural production implemented by IVC and WARDA combines several research strategies. One component is the multi-disciplinary and multi-scale description of the environment in which farmers cultivate their land. Constraints can be identified and research targeted. Qualitative extrapolation and transfer is possible using the multi-scale approach.

GIS enables the processing of large quantities of data to find relations between parameters described at different scales, and to carry out statistical analysis. Modelling is a tool to generate additional parameters from existing ones. Complex and dynamic models can predict water flow or crop growth, derived parameters which can be overlaid with other parameters.

### **REFERENCES**

- Andriessse, W., Van Duivenbooden, N., Fresco, L.O., Windmeijer, P.N. 1994. A multi-scale approach to characterize inland valleys agro-ecosystems in West Africa. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 42: 159-179.
- Aronoff, S. 1993. *Geographic Information Systems: a management perspective*. WDL Publications. Ottawa, Canada, 294 pp.
- Burrough, P.A. 1986. *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*. Monographs on soil and resources survey no. 12. Oxford University Press. Oxford, New York, 194 pp.
- Windmeijer, P.N. and W. Andriessse (Eds), 1993. *Inland Valleys in West Africa. An agro-ecological Characterization of Rice-growing Environments*. Publication 52. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands, 160 pp.

367

Figure 1. A multi-scale GIS application to target agricultural research and to extrapolate results to national and regional level.

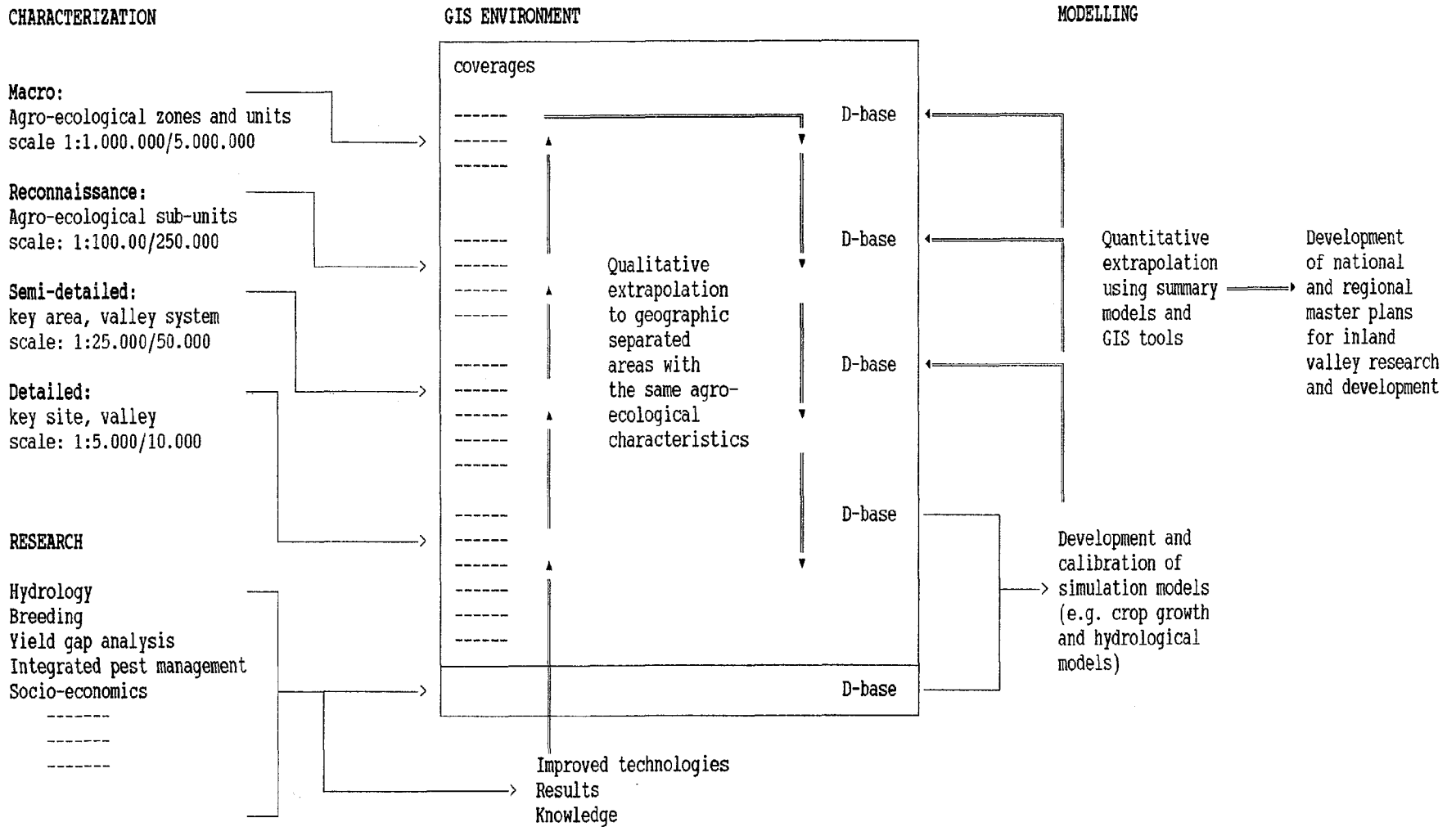
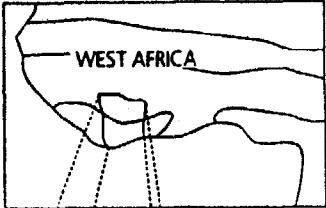
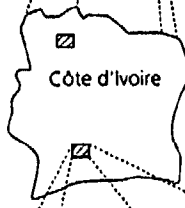
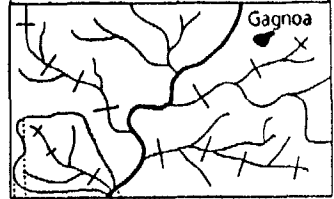
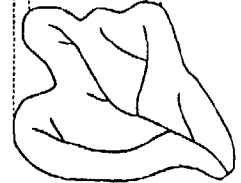


Table 1. The different levels and scales in agro-ecological characterization of inland valleys, units of analysis, objectives and main information sources.

Characterization level	Scale	Unit of analysis	Objectives	Information sources
<b>Macro</b> 	1:1,000,000 to 1:5,000,000	Agro-ecological zone	Characterization of agro-ecological zones subdivided into agro-ecological units on the basis of landform and major lithology (i.e. land regions)	Secondary information
<b>Reconnaissance</b> 	1:100,000 to 1:250,000	Country	Characterization of agro-ecological sub-units on the basis of rainfall, length of humid period, landform, lithology, drainage density, major upland soils, major land use, and population density; Selection of key areas	Secondary information, rapid inventories (soils, land use) and satellite imagery
<b>Semi-detailed</b>  <p style="text-align: center;">— Transect</p>	1:25,000 to 1:50,000	Key area	Characterization of valley systems based on soils and valley morphology, periods of flooding and shallow groundwater, size of watersheds, land use ratios (per land subelement and at valley level), crops and crop rotations, socio-economics (e.g. market, credit), and infrastructure; Selection of inland valleys	Satellite imagery, aerial photographs, transect surveys, farmer interviews
<b>Detailed</b> 	1:5,000 to 1:10,000	Inland valley	Characterization of inland valleys on the basis of variation of soils and valley morphology, soil fertility and toxicities, soil physics (infiltration, permeability), flooding and groundwater dynamics, farming systems and cropping intensities, inputs-outputs, crop varieties, cropping calendar; Quantification of constraints	Aerial photographs, detailed surveys, farmer interviews, monitoring, experiments and simulation modeling

352

**Groupe de Travail 7:                   GESTION DES RESSOURCES EN EAU**

**Working Group 7:                   BASIN MANAGEMENT**

**APPORT DES SIG POUR LA MISE EN OEUVRE ET LE SUIVI DES PROGRAMMES D'HYDRAULIQUE VILLAGEOISE**

**EXEMPLE DU LOGICIEL PROGRES, DEVELOPPE PAR LE GROUPEMENT ANTEA-BURGEAP**

J. ALTHERRE, A. MEILHAC .....373

**EXPLORING AND DESIGNING LINKAGE MECANISMS BETWEEN TWO SECTORS IN REGIONAL PLANNING : A GIS APPROACH (A CASE STUDY OF KAKAMEGA DISTRICT, KENYA)**

L. M. AWORI .....379

**MONITORING LAKES IN KENYA: AN ENVIRONMENTAL ANALYSIS  
METHODOLOGY FOR DEVELOPING COUNTRY**

J. BARAZA, L. ISAVWA, A. ORODA, M. STUTTARD, G. NARCISO .....380

**PRODUCTIVITE ET IMPLANTATION DES FORAGES PAR TELEDETECTION  
ET SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE EN CÔTE D'IVOIRE**

J. BIEMI, I. DOUMOYA, N. SORO, J.-P. JOURDA, H. GWYN, S. DESLANDE .....381

**AIDE A LA GESTION ET LA CONSERVATION DES RESSOURCES EN EAU ET EN SOL**

M. R. BOUSSEMA, J.-J. CHEVALLIER, J. POULIOT .....386

**WATER RESOURCE MANAGEMENT USING GIS: A SOUTH AFRICAN PERSPECTIVE**

M. CLAASSEN, R. G. HEATH .....395

**L'UTILISATION DU SIG DANS LA RECHERCHE DE L'ACCESSIBILITE ET DE L'EXPLOITABILITE  
DE L'EAU SOUTERRAINE DANS LE NORD DE LA CÔTE D'IVOIRE**

S. ISSIAKA, K. ANZOUMANA, G. BENIE .....397

**CONCEPTION D'ATLAS DE PLANIFICATION PAR ARRONDISSEMENT  
PAR L'UTILISATION D'UN SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE (NIGER)**

A. KARBO, J. VAN IOON, J. DUBUS .....407

**GMS-SAHEL : PROTOTYPE GEOMATIQUE D'AIDE A LA GESTION DES RESSOURCES NATURELLES  
LIEES AU BARRAGE DE MANANTALI**

R. PENNEMAN .....410

# APPORT DES SIG POUR LA MISE EN OEUVRE ET LE SUIVI DES PROGRAMMES D'HYDRAULIQUE VILLAGEOISE EXEMPLE DU LOGICIEL PROGRES, DEVELOPPE PAR LE GROUPEMENT ANTEA-BURGEAP

**J. ALTHERRE**

BURGEAP, Paris, France

**A. MEILHAC**

ANTEA, Orléans, France

**Résumé :** La programmation et le suivi des travaux d'hydraulique villageoise nécessitent le recueil, puis la confrontation de 2 types d'informations :

a) des informations permettant d'évaluer la demande en eau: nombre d'habitants à desservir, type d'habitat, moyens d'accès au village, demandes des habitants, capacité et volonté de participer financièrement, etc.

b) des informations concernant l'offre: points d'eau existants et à contruire, type, localisation, caractéristiques techniques, équipement d'exhaure, débit fourni, service après vente, etc.

Dans la première génération du logiciel PROGRES, toutes ces informations étaient regroupées dans des bases de données sur micro-ordinateur, puis exploitées, traitées et présentées sous forme de tableaux, souvent difficiles à lire et à comprendre ou sous forme de schémas établis à l'aide de logiciels de dessin, tel SURFER®, qui permet une visualisation sommaire des informations.

Dès l'apparition et la banalisation des systèmes d'information géographique en 1992, un SIG a été branché sur PROGRES. Dans un premier temps, il a été essentiellement utilisé pour présenter les résultats sous forme cartographique : cartes de position des villages et des points d'eau, des limites administratives, etc...

Aujourd'hui, on utilise de plus en plus le SIG pour l'analyse et le traitement des données : carte du bilan offre-demande par secteur géographique, taux de satisfaction des besoins, qualité de l'eau, etc. Une fois mises en forme, ces cartes deviennent un outil puissant présentable à des décideurs et des bailleurs de fonds.

La démarche adoptée pour le développement de PROGRES serait aisément transposable à d'autres applications destinées à planifier le développement régional. Parmi celles-ci, on peut citer l'élevage, l'électrification rurale, le programme de développement scolaire, les risques de pollution.

## Qu'est-ce que PROGRES ?

Développé depuis 1990 par le Groupement BRGM-BURGEAP, **PROGRES** est un outil informatique d'aide à la programmation et à la gestion des ressources en eau dans les zones rurales des pays en développement. PROGRES gère et traite une structure de données comprenant deux grandes entités : les villages et les ouvrages. Il permet d'effectuer le couplage des deux ensembles afin d'évaluer le bilan offre-demande pour chaque village, de le confronter aux objectifs nationaux d'alimentation en eau et d'en déduire le nombre, le type et le coût des nouveaux ouvrages à réaliser à une échéance donnée.

**Pour les ouvrages**, les données comprennent les principales informations sur les points d'eau modernes et les réseaux d'adduction : localisation, village alimenté, type de point d'eau, caractéristiques techniques et hydrauliques, équipement d'exhaure, débit fourni etc. Ces informations proviennent des fichiers manuels utilisées dans les Services ayant pour charge de gérer les données sur l'eau souterraine dans chaque pays et des



rapports de travaux établis lors de leur réalisation. Elles peuvent éventuellement être complétées et actualisées avec des informations recueillies lors d'enquêtes sur le terrain.

**Pour les villages, PROGRES prend en compte l'ensemble des données socio-économiques disponibles.**

Dans un premier temps, on peut se satisfaire d'un minimum d'informations, à savoir :

- la liste complète des villages d'un pays ou d'une région (l'établissement de cette liste est une des tâches primordiales pour la mise en oeuvre du logiciel),
- leur appartenance administrative,
- leur population, tirée du recensement.

PROGRES permet alors d'élaborer la programmation au niveau global (évaluation du nombre et du coût des points d'eau à réaliser dans une zone donnée).

Dans un deuxième temps, lorsque les enquêtes sur les villages ont été réalisées, PROGRES permet d'élaborer des projets détaillés comportant la liste des villages à alimenter, à partir des informations suivantes :

- type d'habitat (groupé, dispersé, divisé) et localisation,
- services rendus par les points d'eau traditionnels et les points d'eau modernes,
- demande des habitants, et leur capacité et volonté de participer financièrement à l'amélioration des conditions d'alimentation en eau,
- moyens d'accès au village, etc.

PROGRES dispose également d'outils d'analyse de ces données : requêtes multi-critères, traitements statistiques, report cartographique, tracé de courbes d'iso-valeurs etc.

### **Les apports de la démarche SIG pour PROGRES**

Dès sa conception, il est apparu que PROGRES devrait faire usage de ce que l'on n'appelait pas encore un Système d'Information Géographique. Au départ, un module cartographique était inclus, il réalisait :

- un report de point sur l'écran et sur l'imprimante,
- un branchement automatique des résultats des requêtes vers un module d'interface avec le logiciel SURFER<sup>®</sup>, pour le tracé en 2 et 3 dimensions des lignes d'iso-valeur d'un paramètre.

En 1992, le cahier des charges d'un SIG pour PROGRES a été établi. Il est rapidement apparu que pour être utilisable selon la philosophie qui avait prévalu jusqu'alors, un tel SIG devait avoir les propriétés suivantes:

- fonctionner sur micro-ordinateur, et dans l'environnement Windows,
- être peu coûteux, pour rester dans la gamme de prix du logiciel,
- être simple et rustique afin de pouvoir être aisément pris en main par un personnel non spécialiste, après une formation ne dépassant pas quelques jours
- travailler préférentiellement en mode vecteur, pour permettre l'établissement de cartes thématiques,
- être doté d'un langage de programmation permettant l'automatisation de certaines fonctions nécessaires au fonctionnement de PROGRES.

Après étude du marché, le choix s'est porté sur MAPINFO<sup>®</sup>, qui équipe désormais toutes les versions de PROGRES. Toutes les fonctionnalités de ce SIG viennent donc à présent compléter les modules de programmation de PROGRES :

- en amont, pour introduire des critères géographiques dans les requêtes de sélection (éloignement, appartenance à une zone...)
- en aval, pour réaliser automatiquement des cartes thématiques explicites et attractives.

Dans un premier temps, le SIG fut utilisé essentiellement pour vérifier l'exactitude et la cohérence des données en les présentant sous forme de cartes élémentaires : position des villages et des points d'eau, limites

administratives, ou simples cartes factuelles donnant la répartition spatiale d'un paramètre (voir un exemple en Fig. 1).

Mais il apparut très rapidement qu'on pouvait aller bien au-delà de la simple validation des données et que le nouvel outil complétait la base de données en permettant de réaliser des requêtes susceptibles de prendre en compte non plus seulement les relations entre tables, mais aussi les relations spatiales entre les différents objets. Cette approche a permis d'établir des **cartes d'analyse**, présentant le bilan ressources-besoins en eau par petites unités géographiques, la distance aux rivières, le taux de satisfaction de la demande etc. La figure 2 est un exemple de carte que l'on peut aisément réaliser sous PROGRES.

Pour compléter cet exemple, le tableau 1 présente une liste (non exhaustive) d'informations cartographiables selon les préoccupations de l'utilisateur à qui est destinée la carte. Ainsi, la cartographie reprend dans PROGRES la place centrale qu'elle occupe depuis toujours en hydrogéologie pour la synthèse, l'intégration et la valorisation des données éparses.

L'introduction de la démarche SIG dans PROGRES a été bénéfique à plusieurs égards.

Au niveau de la **validation des données**, il est désormais aisé de vérifier la position respective des différents objets les uns par rapport aux autres et, par le biais des cartes thématiques permettant de représenter un paramètre simple ou calculé selon une symbologie adaptée à sa valeur, de visualiser la structure spatiale des données.

Au niveau de l'**analyse des données**, il est devenu possible de réaliser des requêtes permettant d'analyser les caractéristiques des ouvrages existant dans un domaine donné : autour d'un village, dans une commune, dans une bande le long d'un cours d'eau etc. et de présenter des cartes élaborées provenant du croisement de plusieurs paramètres : coût de l'eau, vulnérabilité des captages à la pollution etc.

Au niveau enfin de la **présentation des données**, le SIG inclus dans PROGRES permet de confectionner d'excellents dossiers de bilan de situation, destinés aux autorités politiques et/ou aux bailleurs de fonds.

### Extension possible

Le logiciel actuel est orienté vers la programmation des points d'eau. Aussi, les bases de données cartographiques ne portent-elles que sur les zones administratives, les ouvrages et les villages en n'y conservant que les données minimales.

Néanmoins, la structure même du logiciel autorise une adaptation vers tout domaine lié à l'environnement et/ou au développement régional. Rien n'empêche l'adjonction de nouvelles "couches" cartographiques, telles que :

- l'alimentation en eau pastorale,
- la santé (dispensaires, latrines...),
- les écoles (programmes de développement scolaire),
- l'assainissement des villages,
- l'électrification en zone rurale,
- la lutte contre la pollution,
- etc.

A titre d'exemple, on peut envisager de suivre des programmes de construction de lignes téléphoniques aux différents niveaux administratifs en s'appuyant sur les données stockées dans la table des villages.

## Conclusion

Doté de capacités de stockage, d'extraction, d'affichage et de mise à jour des données, un SIG est un outil d'aide pour l'analyse et la synthèse, permettant de transformer des données en informations destinées à faciliter les prises de décision. Toutefois, dans cette logique, le SIG n'est qu'un outil, dont les caractéristiques doivent être adaptées au problème à résoudre.

Dans le système PROGRES, couplé avec MAPINFO<sup>®</sup>, la priorité a été donnée à la facilité de manipulation à travers le SIG, de manière à allier puissance et confort d'utilisation dans l'analyse et la représentation des données.

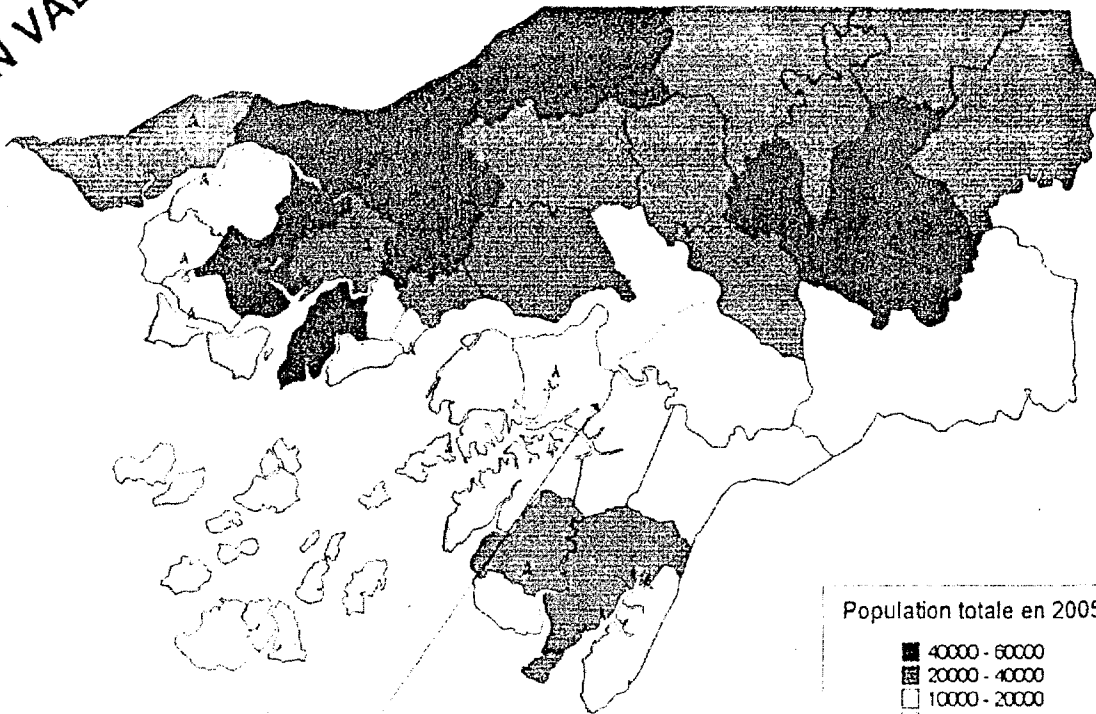
Le SIG choisi, bien que peu coûteux et moins puissant que certains gros SIG, dispose néanmoins des fonctions capables de satisfaire les besoins des décideurs en matière de programmation en hydraulique villageoise, voire même pour d'autres applications liées au développement régional et à l'environnement.

Utilisateurs	Informations utiles cartographiables
Projeteurs d'ouvrages de captage	<ul style="list-style-type: none"><li>- Localisation des villages,</li><li>- présence d'une nappe,</li><li>- profondeur de la nappe,</li><li>- épaisseur de l'aquifère,</li><li>- conditions aux limites,</li><li>- qualité de l'eau,</li><li>- productivité des ouvrages,</li><li>- probabilité de succès.</li></ul>
Expert en protection des captages	<ul style="list-style-type: none"><li>- Conditions aux limites,</li><li>- extension de l'aire d'alimentation,</li><li>- direction et sens d'écoulement,</li><li>- capacité protectrice du sol,</li><li>- situation des sources de pollution</li></ul>
Evaluateur des ressources, décideur, planificateur	<ul style="list-style-type: none"><li>- Délimitation du réservoir aquifère,</li><li>- conditions aux limites,</li><li>- connexion avec eau de surface,</li><li>- limites administratives,</li><li>- localisation des villages</li><li>- distance des villages aux cours d'eau,</li><li>- satisfaction de la demande en eau,</li><li>- coût de captage et d'exploitation de l'eau</li></ul>

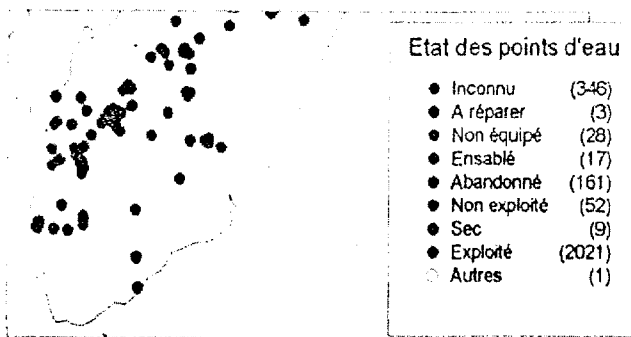
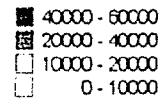
Tableau 1 - Utilisateurs et besoins d'information (tiré de J. Margat, 1994)

# UN EXEMPLE DE CARTE FACTUELLE (PROGRES GUINEE BISSAU)

NON VALIDE



Population totale en 2005



Etat des points d'eau

●	Inconnu	(346)
●	A réparer	(3)
●	Non équipé	(28)
●	Ensablé	(17)
●	Abandonné	(161)
●	Non exploité	(52)
●	Sec	(9)
●	Exploité	(2021)
○	Autres	(1)

369

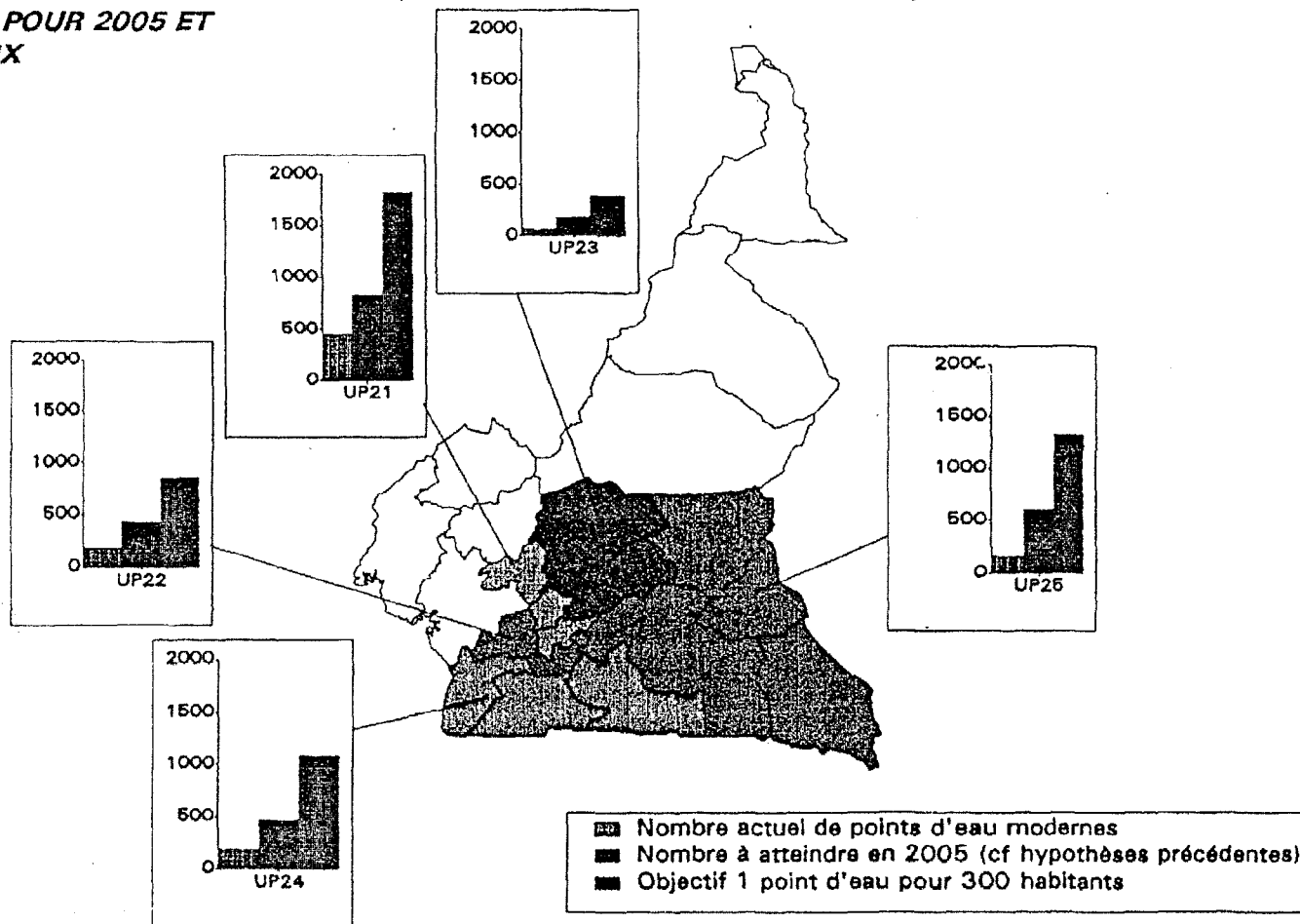
BEST AVAILABLE COPY

## Zone 2

**ETAT ACTUEL DE L'ALIMENTATION EN EAU  
DES VILLAGES DE MOINS DE 2500 HABITANTS,  
PROGRAMMATION POUR 2005 ET  
OBJECTIFS INITIAUX**

Total points d'eau modernes sur la zone :

- existants : 1065
- programmation 2005 : 2530
- objectif 1/300 hab. : 5503



Résultats des calculs de programmation

PROGRES BRGM-BURGEAP 1994

# EXPLORING AND DESIGNING LINKAGE MECHANISMS BETWEEN TWO SECTORS IN REGIONAL PLANNING : A GIS APPROACH (A CASE STUDY OF KAKAMEGA DISTRICT, KENYA)

**L. M. AWORI**

UNEP, Nairobi, Kenya

A fundamental platform upon which organisations need base their planning is data. Not only is its quality, relevance and timeliness of consequence, but its being put to the best possible use in the form in which it is available. Where links between organisations are vivid, the Health and Water sectors serve as an example in that there exist diseases related to water. Thus the health status of a community is affected by the water supply (quantity and quality) available to it. In the search for links, one possibility lies in the need for the exchange and use of complementary data generated by both sectors. Water development becomes somewhat futile if health aspects, one of the main purposes for which safe water is delivered, are not taken into account. In this and similar situations it ought to be possible to zero in on and prioritize the collection of essential, minimum data for use in decision making.

The study, undertaken at the International Institut for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC) and Wageningen Agricultural University in the Netherlands, focused on Kakamega district in Kenya as the case area. Data from both the Water and Health sectors was collected in the field and used in the development of a procedure to arrive at areas to be given priority in resource allocation for water supply including the development of a prototype information system. The study involved firstly, an assessment of the two sectors with a more pronounced organisational study of the Water sector's Planning and Design Department. The main aim of this exercise was to establish more clearly the major products or data outputs of water organisation, the processes or activities that exist within the organisation and the data inputs to the organisation that enable the processes take place. In this way, it was next possible to establish a point of intervention out of the existing processes for which data was identified and sought. Only the basic health and water data identified and found to be available was collected from the respective sectors in the district. This included recorded data on monthly morbidity figures from every health facility (hospital, health centre and dispensary) in the district, recorded data on water quality of water points (boreholes, shallow wells and protected springs), and data on water quantity computed from available data on groundwater potential and "groundwater achievability". In all this, the main challenge was in the use of raw data accessed from a real life setting. This meant that the normally encountered problems of crude data, missing data, corrupted data, time aspects of data had to be addressed.

To be able to aggregate or disaggregate data, create new associations between the different data and display it at a scale of choice affords alternatives for decision making in the prioritization of geographic units for further development. Taking into account the existing spatially related problems, a GIS was used as the supporting tool for the analysis undertaken.

# MONITORING LAKES IN KENYA: AN ENVIRONMENTAL ANALYSIS METHODOLOGY FOR DEVELOPING COUNTRY

**J. BARAZA, L. ISAVWA, A. ORODA**

RCSSMRS: Regional Centre for Services in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Nairobi, Kenya

**M. STUTTARD**

EOS: Earth Observation Sciences Ltd., UK

**G. NARCISO**

Aquater SPA, Italy

The environment in the catchment of tree lakes in Kenya which lie in an environmentally fragile part of the Rift Valley (i.e Lakes Naivasha, Elementaita and Nakuru) was studied in detail with the objective of developing a methodology to model and monitor lake level changes in these lakes. The methodology involved :

1. The development and application of hydrological models to describe :
  - a) Catchment influences on lake levels (e.g. land use, soil type, geomorphologie, geology, climate, etc.) and;  
Reservoir water balance models to describe the movement of water across the lake/non lake interfaces.
  - b) The application of time series optical remotely sensed data (landsat) as a data for catchment studies. An evaluation was also made of ERS 1 altimetry data for lake level measurement of small lakes on a routine basis.
  - c) Integration of the data generated within a GIS to facilitate the assessment of the hydrological models and catchment - state/climatic scenario testing. The GIS was used for accuracy assessment and inter-comparison of satellite derived data.

The results of this study are being used to develop different scenarios that stimulate the effect on lake level, consequent upon changes in one or more elements of the environment in the catchment of these lakes.

Although these results are strictly limited to the study areas, in validity, they provide the basis for the study of similar environments elsewhere in africa. To the Kenyan government, these results provide a management tool not only for the water resources in the catchment of the lakes, but of other resources of the region as agriculture, tourism, fisheries and forestry.

# PRODUCTIVITE ET IMPLANTATION DES FORAGES PAR TELEDETECTION ET SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE EN CÔTE D'IVOIRE

**J. BIEMI, I. DOUMOYA, N. SORO, J.-P. JOURDA**

Département des Sciences de la Terre - Faculté des Sciences et Techniques, Université Nationale, Côte d'Ivoire

**H. GWYN, S. DESLANDE**

Centre d'Applications et de Recherches en Télédétection (CARTEL), Université de Sherbrooke, Québec, Canada

## 1- SECTEUR D'ETUDE, DONNEES DE BASE ET METHODOLOGIE

Cette étude est réalisée dans le bassin versant de la Marahoué. Ce secteur présente toutes les caractéristiques de la zone sub-sahélienne d'Afrique de l'Ouest touchée par les problèmes de manque d'eau (pluies insuffisantes, évapotranspiration élevée, débit des forages faible, population humaine et de troupeau importante). Il est compris entre les latitudes 7°40 et 9°30 Nord et les longitudes 6° et 7° Ouest.

Les images satellitaires utilisées dans ce travail proviennent du capteur thematic Mapper de LANDSAT. Elles ont été acquises en pleine saison sèche, en janvier 1986. En ajustant la moyenne et l'écart-type entre les secteurs de recouvrement, nous avons fait un calibrage radio-métrique pour créer la mosaïque de travail. Ensuite, nous avons fait une correction géométrique avec un rééchantillonnage de la taille des pixels à 50 x 50, compte tenu de la grande dimension du bassin.

Les opérations de rehaussement des images, afin de mettre en évidence les ensembles lithologiques et les structures linéamentaires, ont porté sur:

- les rapports de bandes: TM7-TM4/TM7 + TM4
- la combinaison additive des bandes: TM6 + TM7
- l'analyse en composantes principales
- les images de la composition colorée
- l'utilisation des filtres directionnels de SOBEL de matrice 7 x 7
- et les données géocodées du champ magnétique total.

Toutes ces données, ont été intégrées au système d'information hydrogéologique à référence spatiale que nous avons créé pour le bassin versant de la Haute Marahoué à l'intérieur de PAMAP.

L'utilisation simultanée de la télédétection numérique et de ce système d'information géographique, a donné de nombreux résultats très intéressants.

## 2 - RESULTATS ET DISCUSSIONS

### a- CARTE GEOLOGIQUE DU BASSIN

Sur le plan géologique, cette méthode a mis en évidence:

- l'importance régionale des granito-unigmatites qui occupent 88% du bassin contre 10% pour les séries volcano-sédimentaires et détritiques.



- la manifestation du contour exact du granite de Séguéla qui apparaît comme un granite circonscrit en forme d'embryon tourné vers le NE.
- la forme effilée du sillon intracratonique birrimien de Boundiali et ses rapports avec le granite circonscrit de Séguéla dont l'intrusion brutale, dans les dépôts du sillon serait à l'origine de la disparition de celui-ci à la hauteur du parallèle de Sarhala.

## **b - CARTE REGIONALE DE FRACTURATION**

La carte détaillée de fractures satellitaires comporte 16.000 segments assimilables aux linéaments. Ces accidents s'associent aux grandes directions tectoniques d'Afrique de l'Ouest.

Quand on travaille à une échelle beaucoup plus petite, (1/1.000.000) on observe une série de mégafactures d'importance régionale. C'est le cas des couloirs de cisaillement NW-SE de Diauro-Niakaramandougou qui relie la Côte d'Ivoire à la région de GAOUAL en Guinée, et au mont AKUAPEM au Ghana; et du couloir de cisaillement de Séguéla qui s'étend depuis l'Océan Atlantique jusqu'au Burkina-Faso en passant par la région de Sikasso au Mali.

D'une manière générale, tous ces accidents ont connu des phases de remobilisation depuis le Crétacé à maintenant. Ce qui se traduit par des manifestations périodiques des tremblements de terre d'importance encore mineure en Côte d'Ivoire et en Afrique de l'Ouest, à l'exception du séisme de GAOUAL en Guinée, en 1983 dont le foyer est situé sur un faisceau d'accidents NW-SE auquel appartient le couloir de cisaillement de Dianra-Niakaramandougou.

## **c - COULOIRS SOUTERRAINS DE CIRCULATION D'EAU ET D'ALIMENTATION DU BASSIN A PARTIR DES PERMEABILITES INDUITES PAR LES FRACTURES.**

Les écoulements et les possibilités de formation des réservoirs d'eau dans un socle fissuré peuvent être étudiés par la méthode des perméabilités induites par les fractures telle que proposée par OLAVO Franciss en 1970 à l'Université de Grenoble. Malheureusement, jusqu'à présent, les résultats de cette méthode sont restés tributaires du nombre et de la densité des fractures observables sur les photographies aériennes classiques.

Avec cette nouvelle méthode, utilisant la télédétection numérique et le SIHRS, on arrive à relever une assez forte densité de fractures (62 fractures en moyenne par 1,5 km<sup>2</sup>) ce qui améliore considérablement les résultats de cette approche.

Après une détermination des valeurs de la conductivité hydraulique du bassin  $KF = 3,51.10^{-5}$  m/s et du coefficient de proportionnalité empirique entre l'ouverture et la longueur des fractures  $C = 0,0038$ , la carte détaillée des réseaux de linéaments initialement réalisée dans l'environnement EASI/PACE de PCI a pu être mieux exploitée dans le SIHRS. Les valeurs des perméabilités ( $K_{max}$  et  $K_{mini}$ ) induites par les fractures ainsi que leurs orientations  $\lambda_1$  et  $\lambda_2$  ont été calculées par des formules appropriées.

Dans le bassin versant de la Haute Marahoué, les perméabilités induites varient de 0,11 à  $0,66.10^{-4}$  m/s alors que dans les travaux antérieurs, même de Franciss lui-même ces valeurs ne dépassent guère  $10^{-8}$  m/s. Les résultats que nous avons obtenus apportent une nette amélioration à cette méthode à cause de la densité élevée des fractures visibles en images satellitaires corrigées rehaussées et interprétées à l'intérieur du SIHRS.

L'étude de couloirs de circulation d'eaux souterraines a été réalisée dans le SIHRS en superposant dans un même plan, la carte du réseau hydrographique et celle des perméabilités induites. Ce travail a fait ressortir une

parfaite concordance entre le tracé des cours d'eau en surface et l'orientation des axes de fortes perméabilités induites.

Les deux (2) fortes valeurs de perméabilités  $0,8722 \cdot 10^{-4}$  et  $0,8215 \cdot 10^{-4}$  m/s correspondent respectivement l'une, à la source de la Marahoué située à KANYENE; et l'autre, à l'exutoire du bassin.

La Marahoué se superpose presque exactement à l'axe de forte perméabilité de la bordure Ouest.

Entre Morondo et Dianra-village, la modification subie par le tracé de la Marahoué, qui passe du NS à NW-SE, est en rapport avec la présence du couloir de cisaillement Dianra-Niakaramadougou.

On notera, enfin, que la totalité des zones de faibles perméabilités induites, traduit la présence des inselbogs ou des domaines à circulation d'eau difficile au NW, au Sud et à l'Est du bassin.

#### **d-APPORTS DU SIHRS A L'ETUDE DES RELATIONS: FRACTURE, POSITIONNEMENT ET PRODUCTIVITE DES FORAGES DANS LE SOCLE.**

Si on se réfère aux 4 principaux critères d'implantation des forages dans le socle, qui sont:

- Etre dans le croisement des fractures les plus longues, les plus nettes et si possible les plus nombreuses
- Etre dans un point topographiquement bas,
- Etre en aval d'un bassin versant le plus large possible
- Etre à proximité d'un marigot permanent,

On peut considérer que tous les forages réalisés dans le socle, tiennent compte de la présence du sol d'un accident dont il est censé capter les eaux souterraines. Par conséquent, on peut identifier, pour chaque forage, la direction d'accident qui a été visée par le foreur.

Pour entreprendre cette étude, nous avons procédé à un tri des principales directions d'accidents à partir de la carte générale des linéaments. Ce travail a donné 4 cartes thématiques pour les accidents NS, EW, NE-SW, et NW-SE que nous avons désignées par D1, D2, D3 et D4.

La superposition, à l'intérieur du SIHRS, de la carte de répartition des forages, à la carte des linéaments de chacune de ces directions, permet de mesurer la distance qui sépare chacun des 113 forages de la fracture la plus proche dans une direction donnée.

#### **-Influence des accidents sur le positionnement des forages dans le socle.**

L'exploitation du tableau des distances qui séparent un forage de la fracture la plus proche, dans les 4 directions permet de calculer les pourcentages d'ouvrages liés à chaque direction:

- D1: 18 % (NS)
- D2: 37 % (NE-SW)
- D3: 23 % (EW)
- D4: 27 % (NW-SE)

Ainsi l'ordre des accidents sur le positionnement des forages dans le bassin est NE-SW > NW-SE > EW > NS; ce qui montre que les accidents NE-SW et NW-SE qui s'associent aux directions libériennes et éburnéennes d'Afrique sont les mieux visibles par les foreurs. En effet, quand on calcule le pourcentage des forages creusés

directement dans ces accidents, on trouve: D2 8%, D4 8% , D3 7%, D1 4% soit en tout 27 % des ouvrages pour lesquels la distance d'éloignement est nulle.

Au contraire les fractures NS sont toujours négligées par les foreurs au moment de l'implantation des forages; probablement parce qu'elles sont moins visibles en photographie aérienne, ou parce qu'elles ne sont pas productives. Il reste à savoir si les accidents NE-SW et NW-SE, les plus fréquemment visés sont effectivement les plus productifs.

#### - Notion de "Croix de survie" des forages en milieu de socle.

Pour étudier les relations qui existent entre la productivité des forages et les principales directions d'accidents, nous avons réalisé une "croix de survie des forages en milieu de socle".

Cette croix est un diagramme divisible en 4 parties chaque partie étant lui-même un simple diagramme en coordonnées cartésiennes x et y.

Ces diagrammes permettent de visualiser les forages creusés à proximité d'une fracture ou dans le croisement de deux fractures de directions différents.

L'assemblage des 4 diagrammes donne une véritable croix qui présente en son centre, le lieu des forages pour lesquels la distance d'éloignement, par rapport aux fractures, est nulle. Par conséquent, le petit cercle situé au centre de la croix, symbolise la productivité, la pérennité et donc la survie des forages.

Au contraire, les 4 sommets les plus éloignés de l'origine des axes, représentent les zones de négativité et de tarissement irréversible.

L'étude de cette croix a montré que le couple D1-D4 est celui qui présente le plus haut profil de productivité car tous les forages de plus de 6m<sup>3</sup>/h sont situés dans un couloir de moins de 1000 m.

Au contraire le couple D2-D3 se caractérise par une très grande dispersion des forages à gros débits. Ce résultat montre que les accidents NW-SE et NS sont, du point de vue productivité, plus importants que les accidents NE-SW et EW. En effet, on constate que pour les débits variant de 6 à 14 m<sup>3</sup>/h, 63 % sont liés à NW-SE et 25 % à NS contre 12 % pour EW et 0 % pour NE-SW l'influence des NE-SW n'est observable que pour les débits entre 3 et 6m<sup>3</sup>/h dans ce cas, 43 % des ouvrages sont liés à NE-SW, 21% à NW-SE et NS et 14 % EW.

#### - DECROISSANCE DU NOMBRE DE FORAGES EN FONCTION DES DISTANCES D'ELOIGNEMENT DES FRACTURES

Après avoir divisé les distances d'éloignement en classes de 200 en 200 m, nous avons calculé, à l'intérieur de chaque classe, le pourcentage des forages:

Ce travail permet d'obtenir une courbe de décroissance du nombre de forages en fonction des distances d'éloignement qui est un polynôme de degré 6 et de la forme  $Y = A + \sum (A_i X^i) - \sum (A_p X^p)$ , où i désigne l'indice de A et l'exposant impair de x et p, l'indice de A et l'exposant pair de X.

Graphiquement, la courbe de décroissance est divisible en 3 parties:

- Une courbe des implantations idéales d'abscisse 0 m; localisée entre 0 et 27 % sur l'axe des ordonnées qui renseigne sur le nombre de forages captant directement les fractures et donc sur les techniques d'implantation utilisées par les foreurs.

- Un pic entre les abscisses 0 et 200 m, culminant à 68 % qui montre, qu'à défaut de capter directement les fractures compte tenu des difficultés liées à la netteté des photographies aériennes et à l'échelle souvent petite des cartes topographiques, le maximum d'ouvrage est distribué dans un couloir de 200 m autour des accidents.
- Enfin, une courbe de décroissance rapide entre 200 et 1100m, limites à partir desquelles le nombre des forages les plus éloignés des accidents devient nul.

### **"Croix de survie" et techniques d'implantations des forages dans le socle**

L'exploitation de la "croix de survie" peut permettre de contrôler les techniques utilisées par les foreurs au moment de l'exécution des programmes d'hydraulique villageoises.

En effet, la croix permettra d'obtenir 4 types de courbes de décroissance du nombre de forages en fonction des distances d'éloignement des fractures correspondants:

- à des implantations hasardeuses et par tâtonnement
- à des implantations influencées par la taille assez petite des villages et par l'intervention des chefs locaux
- à des implantations pour l'alimentation des chef-lieux de sous-prefectures et de communes, utilisant majoritairement la photographie aérienne et la géophysique
- à des implantations utilisant toutes les méthodes modernes Télédétection numérique, système d'information géographiques et géophysique.

Dans les prochaines campagnes de formation, on devrait tendre vers ce dernier cas.

### **CONCLUSION**

A partir de la classe des distances d'éloignement croissante des ouvrages par rapport aux accidents dans une direction donnée, il est possible de cartographier à l'intérieur du SIHRS les différentes classes de distances d'éloignement de tout point par rapport aux accidents d'une direction donnée.

On peut même établir les cartes thématiques de la densité des fractures, d'intersection des linéaments par km<sup>2</sup>, des noeuds entre 2, 3, 4 et 5 fractures ou plus. Cette méthode permettra de guider les foreurs dans l'implantation des forages.

# AIDE A LA GESTION ET LA CONSERVATION DES RESSOURCES EN EAU ET EN SOL

## **M. R. BOUSSEMA**

Laboratoire de télédétection et systèmes d'information à référence spatiale (Equipe associée à l'UREF EA. 41),  
École nationale d'ingénieurs de Tunis, Tunisie

## **J.-J. CHEVALLIER, J. POULIOT**

Centre de recherche en géomatique, Université LAVAL, Québec, Canada

### **Résumé**

La communication présente le fruit d'une collaboration scientifique menée conjointement entre le Laboratoire de Télédétection et Systèmes d'Information à Référence Spatiale (LTSIRS) et le Centre de Recherche en Géomatique de l'Université LAVAL, avec le concours de la Direction de la Conservation des Eaux et du Sol au Ministère de l'Agriculture et l'appui financier du Centre de recherche pour le développement international du Canada (CRDI). La première phase s'est consacrée au développement de méthodes et outils de planification pour les aménagements de conservation des eaux et du sol (CES) en fonction de facteurs essentiellement physiques (relief, sol, etc.) et biologiques (végétation) du territoire et a abouti au prototype SAGATELE. Ce prototype logiciel aide à identifier les zones prioritaires d'intervention pour la lutte contre l'érosion hydrique et à gérer et planifier l'aménagement du territoire pour lutter contre cette érosion.

Une deuxième phase permettra de développer des solutions méthodologiques et techniques pour prendre en compte les facteurs socio-économiques lors de la planification des ouvrages CES.

Le projet a permis de comprendre la problématique "sol-eau" spécifique au milieu aride. Un bilan des moyens techniques et données actuels a été établi et les besoins en la matière évalués. L'intégration de données socio-économiques et biophysiques dans une même application "SIG" pose en elle-même des problèmes complexes; aussi bien méthodologiques que techniques.

Le développement de SAGATELE s'est basé sur les logiciels ARC/INFO et ERDAS et s'est effectué selon la technique du double prototypage: un premier prototype rapide faisant suite à un inventaire des données et permettant le dialogue avec les utilisateurs, un deuxième prototype évolutif en fonction des priorités établis lors de la première étape. L'utilisation du prototype se fait à l'aide d'un menu qui se subdivise en trois sous-menus principaux : un menu de consultation libre de la base de données à l'aide d'ARCVIEW, un menu aboutissant à fixer les urgences au niveau des sous-bassins versants, et un menu constituant l'outil d'aide à la planification des aménagements sur le cours d'eau ou sur le bassin versant. Le deuxième menu utilise les informations sur les sols, les pentes, la pluviométrie pour déterminer les zones sensibles à l'érosion. Celles-ci et tenant compte de la couverture végétale donnent les zones à risques d'érosion. L'urgence dépend des pratiques culturelles, des aménagements de conservation des eaux et du sol existants et de l'état de l'érosion. Le troisième menu se déroule selon des scénarios se composant d'étapes qui se réalisent dans un certain ordre, le tout établi par le technicien aménageur.

Le processus décisionnel développé au cours du projet s'est donc concentré sur les aspects suivants :

- détermination des priorités d'intervention
- description des scénarios d'aménagements

L'évaluation des scénarios se limite pour l'instant à la production de cartes et de rapports documentant chacun d'eux, et permettant de les comparer.

La recherche n'a pas été guidée par un souci d'implantation "à tout prix" d'outils technologiques, mais s'est avant tout concentrée sur une compréhension des besoins, et le développement de solutions concrètes, simples et évolutives.

Ce prototype peut constituer un excellent outil pour le suivi de la dégradation des sols et la gestion des terres pour un développement durable.

### **1. Objectifs et buts**

La communication présente le fruit d'une collaboration scientifique menée conjointement entre le Laboratoire de Télédétection et Systèmes d'Information à Référence Spatiale (LTSIRS) et le Centre de Recherche en Géomatique de l'Université LAVAL, avec le concours de la Direction de la Conservation des Eaux et du Sol au Ministère de l'Agriculture et l'appui financier du Centre de recherche pour le développement international du Canada (CRDI). La première phase du projet avait pour objectif de développer des méthodes et outils de planification pour les aménagements de conservation des eaux et du sol (CES) en fonction de facteurs essentiellement physiques (relief, sol, etc.) et biologiques (végétation) du territoire. Il a abouti au prototype logiciel SAGATELE.

### **2. Approche technique**

Le développement de SAGATELE s'est basé sur les logiciels ARC/INFO et ERDAS et s'est effectué selon la technique du double prototypage: un premier prototype rapide faisant suite à un inventaire des données et permettant le dialogue avec les utilisateurs, un deuxième prototype évolutif en fonction des priorités établis lors de la première étape. L'utilisation du prototype se fait à l'aide d'un menu qui se subdivise en trois sous-menus principaux : un menu de consultation libre de la base de données à l'aide d'ARCVIEW, un menu aboutissant à fixer les urgences au niveau des sous-bassins versants, et un menu constituant l'outil d'aide à la planification des aménagements sur le cours d'eau ou sur le bassin versant. Le deuxième menu utilise les informations sur les sols, les pentes, la pluviométrie pour déterminer les zones sensibles à l'érosion. Celles-ci et tenant compte de la couverture végétale donnent les zones à risques d'érosion. L'urgence dépend des pratiques culturales, des aménagements de conservation des eaux et du sol existants et de l'état de l'érosion. Le troisième menu se déroule selon des scénarios se composant d'étapes qui se réalisent dans un certain ordre, le tout établi par le technicien aménageur.

Le processus décisionnel développé au cours du projet s'est donc concentré sur les aspects suivants :

- détermination des priorités d'intervention
- description des scénarios d'aménagements

### **3. Formation**

Pendant la durée du projet, un stage de cinq semaines à Québec a permis à trois chercheurs impliqués de se familiariser avec la technique du double prototypage. Cela a abouti à la réalisation du modèle des données.

### **4. Source et qualité des données**

L'inventaire de la documentation et des données a permis de relever de nombreux problèmes quant à la qualité des données cartographiques disponibles. Les données Landsat et Spot ont été mises à contribution dans les différentes phases du prototype.

### **5. Production et distribution des produits**

L'évaluation des scénarios se limite pour l'instant à la production de cartes et de rapports documentant chacun d'eux, et permettant de les comparer.

### **6. Utilisation et impacts**

Le projet a permis de comprendre la problématique "sol-eau" spécifique au milieu aride. Un bilan des moyens techniques et données actuels a été établi et les besoins en la matière évalués.

La recherche n'a pas été guidée par un souci d'implantation "à tout prix" d'outils technologiques, mais s'est avant tout concentrée sur une compréhension des besoins, et le développement de solutions concrètes, simples et évolutives.

Ce prototype peut constituer un excellent outil pour le suivi de la dégradation des sols et la gestion des terres pour un développement durable.

Une deuxième phase permettra de développer des solutions méthodologiques et techniques pour prendre en compte les facteurs socio-économiques lors de la planification des ouvrages CES.

### **Introduction**

En Tunisie, l'agriculture constitue l'une des principales ressources de l'économie nationale, représente plus de la moitié du PNB et emploie plus de 60% de la population. Comme pour de nombreux pays arides et semi-arides, l'érosion des sols y constitue un fléau pouvant hypothéquer son avenir car un sol érodé est définitivement perdu. En plus de l'érosion, d'autres problèmes majeurs affectent ces régions tels que l'envasement des barrages réduisant ainsi leurs durées de vie et la diminution des nappes souterraines.

D'après de nombreuses études réalisées, différents facteurs rendent les sols tunisiens particulièrement vulnérables à l'érosion. Ces facteurs sont :

- climatiques : l'agressivité et l'irrégularité des précipitations provoquant des crues brutales et épisodiques;
- édaphiques : la Tunisie possède peu de sols évolués et riches en humus en raison de l'action de l'érosion qui contribue à créer continuellement des sols jeunes alluviaux ou colluviaux ou directement issus de la roche mère qui est à prédominance marneuse ou argileuse;
- topographique : le relief de la Tunisie bien que peu élevé présente en général des terrains à pentes raides qui accélèrent considérablement le phénomène de l'érosion;
- socio-économiques : la couverture végétale de la Tunisie a été profondément transformée par l'homme, dont le mode de vie connaît lui aussi des transformations considérables. En effet, le défrichage de la végétation naturelle, la mise en culture de terrains de parcours et la pratique de procédés cultureux inadéquats ont favorisé l'intensification des phénomènes d'érosion et des transports solides vers l'aval.

Une politique de conservation des eaux et du sol est mise en place depuis quelques années. Un organe de mise en oeuvre de cette politique est créé au sein du Ministère de l'agriculture en la Direction de la conservation des eaux et des sols (DCES). Cette politique a reçu l'appui de certaines instances internationales. Les résultats parfois spectaculaires présentent néanmoins des insuffisances. Cette politique de CES se base sur des travaux sous forme d'aménagements ou d'ouvrages CES. Certains de ces ouvrages tels que les aménagements des versants permettent d'atténuer les conséquences de l'érosion, d'améliorer le bilan hydrique des sols et de favoriser le couvert végétal. Seulement, cette politique doit être bien définie, concrétisée de manière efficace et assurant un suivi continu. Elle s'appuie sur une bonne connaissance des conditions à la fois naturelles (géomorphologie, géologie, écologie, pédologie, etc.) et sociales (niveau de vie, activités socio-économiques, etc.) du milieu afin que les aménagements intégrés soient techniquement réalisables, socialement acceptables et économiquement rentables. Pour ce faire, un besoin énorme en information se fait ressentir à la fois en quantité et en diversité de point de vue acquisition et gestion. L'analyse de cette information permet de prendre des décisions.

Le développement d'un système d'information géographique (SIG) efficace et adapté au but ci-dessus nécessite l'intégration en une méthodologie cohérente des techniques d'acquisition et de tenue à jour des données, de leur structuration et de leur application aux diverses activités CES.

Cette étude présente le fruit d'une collaboration scientifique menée conjointement entre le Laboratoire de Télédétection et Systèmes d'Information à Référence Spatiale (LTSIRS) et le Centre de Recherche en Géomatique de l'Université LAVAL, avec le concours de la Direction de la Conservation des Eaux et du Sol au Ministère de l'Agriculture et l'appui financier du Centre de recherche pour le développement international du Canada (CRDI). Les détails organisationnels sont présentés dans (Boussema et al. 1992), (Chevallier et al. 1993) et (Pouliot et al. 1993). La zone-pilote choisie pour le projet correspond au bassin versant du Merguellil situé en Tunisie centrale (Fig. 1), entre les longitudes 7<sup>G</sup> 55 E et 8<sup>G</sup> 35 E et les latitudes 39<sup>G</sup> 60 N et 39<sup>G</sup> 78 N. Elle couvre environ 154000 ha. Les apports solides du Merguellil sont estimés à 5.5 million de m<sup>3</sup> / an, la pluviométrie annuelle entre 200 et 400 mm répartie entre 40 et 70 jours.

369

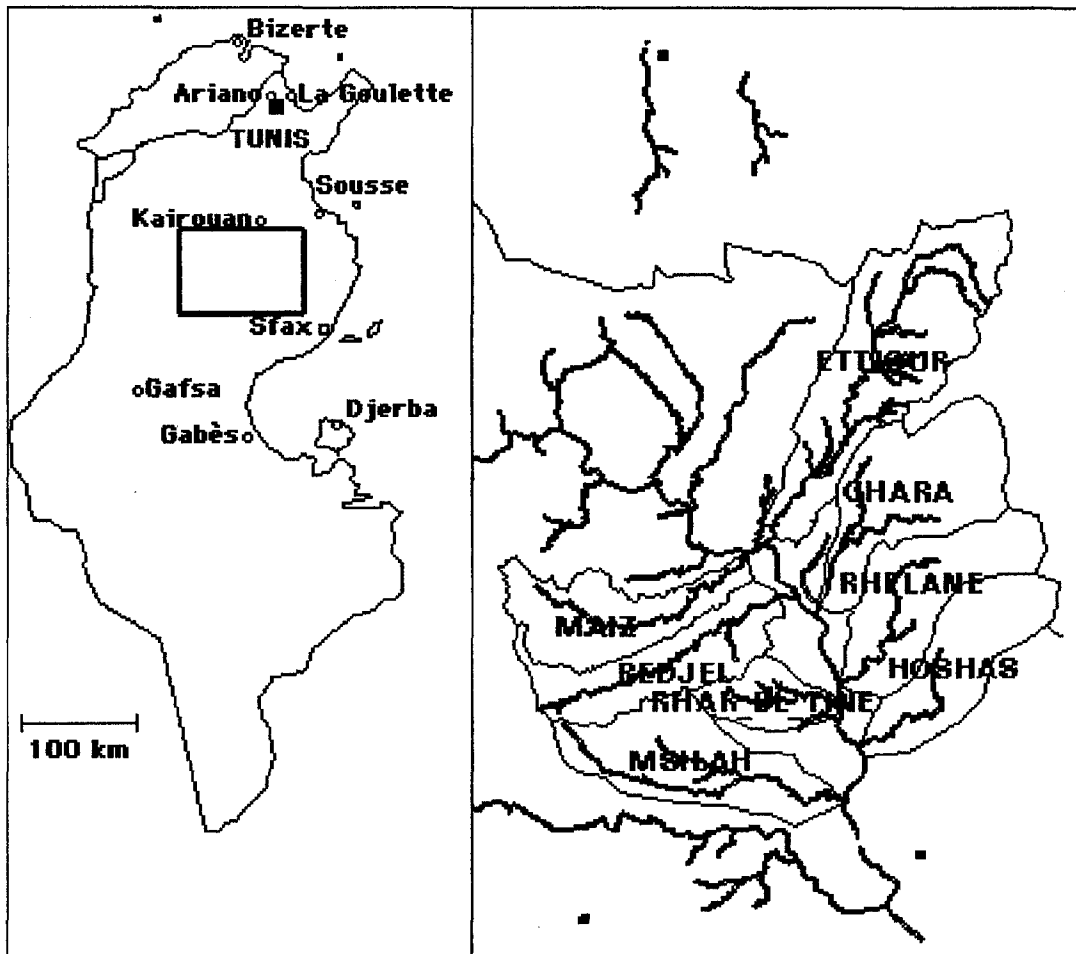


Figure 1 - Localisation de la zone d'étude et limites des sous-bassins versants du Merguellil

### Objectifs

Le projet présentait à la fois un haut degré d'incertitude (quels sont les besoins réels, ceux qui pourrait être satisfaits ?) et une grande complexité (de part les multiples intervenants, la diversité des aspects à considérer, les problèmes aussi bien d'acquisition et de traitement que de gestion ou d'exploitation des données). Par conséquent, les défis sont nombreux. Outre la nécessité de réaliser un SIG qui permet de sélectionner les zones critiques, de concevoir des ouvrages de protection anti-érosives, d'étudier le comportement hydrographique du bassin versant, etc., le projet doit moderniser les outils d'acquisition et de gestion des données, et les intégrer aux activités des ingénieurs et décideurs CES.

Les objectifs particuliers comportent les aspects suivants :

- la formulation d'une méthode de planification d'aménagements de CES intégrés;
- la mise sur pied d'une méthodologie de développement et d'utilisation conjointe des techniques des SIG et de la télédétection pour les études de génie rural;
- l'amélioration des connaissances relatives aux mécanismes de captage, de transformation et d'intégration des données nécessaires aux études techniques.



## **Méthodologie**

La méthode s'appuie sur la technique du double prototypage (Bédard, 1989) consistant en :

- un premier prototype rapide permettant de lever les plus grands facteurs d'incertitudes relatifs au projet
- un prototype évolutif permettant de réaliser le futur système par modules successifs

Le prototype rapide touche deux niveaux de décision :

- l'identification des zones prioritaires affectées par l'érosion
- l'étude de l'aménagement intégré

La première étape permet de se faire une idée de l'état du territoire, d'évaluer les besoins en interventions, de proposer des variantes d'aménagement et de simuler leurs impacts. Elle a démarré par l'inventaire détaillé et l'analyse du potentiel de la documentation de base susceptible d'être utilisée, en particulier des données de télédétection (Landsat/Spot) et des données cartographiques, photographiques ou autres disponibles dans les divers organismes concernés.

Cet inventaire et l'expression des besoins en données de base ont abouti à la mise au point d'un modèle de données (modèle conceptuel (MCD) et dictionnaire) ayant servi de base au développement du prototype rapide. Celui-ci a été présenté en novembre 1992 aux différents intervenants lors d'une journée d'information qui a permis de valider les objectifs du projet, de définir le contenu et les étapes du développement du prototype évolutif.

Ensuite, vu la complexité du développement d'une telle application, le travail est poursuivi sous la forme d'un développement par étapes (prototypage évolutif), faisant croître l'application d'un stade initial très limité jusqu'à une version recouvrant l'ensemble des besoins identifiés. Il a permis d'enrichir progressivement la base de données et les fonctionnalités offertes aux utilisateurs. Du point de vue technologique, la plate-forme choisie comporte le logiciel SIG ARC/INFO et le logiciel de traitement d'images ERDAS, installés sur une station de travail SUN Sparc 10.

## **Données utilisées**

Le tableau 1 montre les différentes données du milieu physique qui interviennent dans le processus d'aménagement. Chacun des thèmes recueillis a fait l'objet d'une couverture spécifique dans Arc/Info. On remarque la variété de données : ponctuelles pour le modèle numérique de terrain (MNT), pixels pour les images satellites, unités cartographiques pour la pédologie, interpolation pour les zones de pente, rendant plus complexe l'intégration dans le SIG.

## **Méthode de planification proposée**

L'application développée a reçu le nom de *Système d'Aide à la Gestion et à l'Aménagement du Territoire pour la Lutte contre l'Erosion* (SAGATELE). La particularité essentielle de cette application réside dans le fait qu'elle n'a pas été développée, comme la très grande majorité des applications SIG, en fonction du besoin en saisie, gestion ou traitement de données; destinée à des ingénieurs et planificateurs, elle devait viser à assister ces personnes dans leur activité courante, et donc s'intégrer aussi harmonieusement à leur méthode de travail. Dans cette perspective, il a donc été nécessaire de s'attaquer tout d'abord à une analyse et une reformulation des méthodes de planification des interventions CES (Chevallier, 1994).

**Tableau 1- Données utilisées**

Données de base	Mode d'acquisition	Source	Echelle	Date
Type de sol	numérisation	Carte pédologique	1:500 000	1973
Modèle numérique de terrain (MNT)	restitution numérique	Photographies aériennes	1:80 000	1985
Zones de pente	analyse	MNT	maille 50 m	1985
Couverture végétale	analyse	Indice de végétation (TM)	maille 20 m	1987
Occupation du sol (vérité terrain)	restitution numérique	Photographies aériennes	1:25 000	1988
Occupation du sol	analyse	Images Spot et TM	maille 20 m	1991 et 1987
Degré d'affectation par l'érosion	numérisation	carte d'érosion	1:200 000	1978
Routes-cours d'eau	restitution	Photographies aériennes	1:80 000	1985
Aménagements existants (vérité terrain)	restitution numérique	Photographies aériennes	1:25 000	1988
Unités lithologiques affleurantes	numérisation	levé géologique direct	1:20 000	1994
Réseau hydrographique	numérisation	Photographies aériennes	1:12 500	1963 et 1989

On a pu prendre conscience de la très grande influence qu'aurait à terme la disponibilité de données numériques sur la manière d'aborder une problématique CES; la discussion s'est bien vite concentrée sur la formulation de ce que devrait (ou du moins pourrait) être la méthode de travail des ingénieurs s'ils disposaient de toutes les informations sur l'état physique du territoire, ainsi que sur ses aspects socio-économiques.

L'ensemble de la réflexion a visé essentiellement à passer d'un stade *d'aménagement ponctuel*, sans possibilité de contrôle de l'impact des aménagements sur l'ensemble du territoire, à une démarche intégrée s'appliquant à des unités cohérentes (sous-bassins hydrographiques), considérées et aménagées dans leur ensemble.

La démarche retenue comporte deux niveaux successifs de décision :

- la détermination des priorités d'aménagement;
- la conception de plans d'aménagement intégrés.

La première étape consiste à fixer les priorités d'aménagement du bassin versant par la délimitation de zones jugées prioritaires face aux problèmes de l'érosion. La détermination des priorités est basée sur une méthode dite paramétrique permettant de hiérarchiser les phénomènes à l'origine de l'érosion. La figure 2 présente les facteurs sélectionnés pour cette première étape; pour l'instant, une méthode de combinaison spatiale et de reclassification successive de ces diverses couches d'information permet de guider l'opérateur vers l'identification des sous-bassins versants prioritaires. La reclassification est réalisée en associant un poids, fonction du potentiel érosif, à chaque attribut descriptif des couches impliquées dans l'analyse (tableaux 2, 3 et 4).

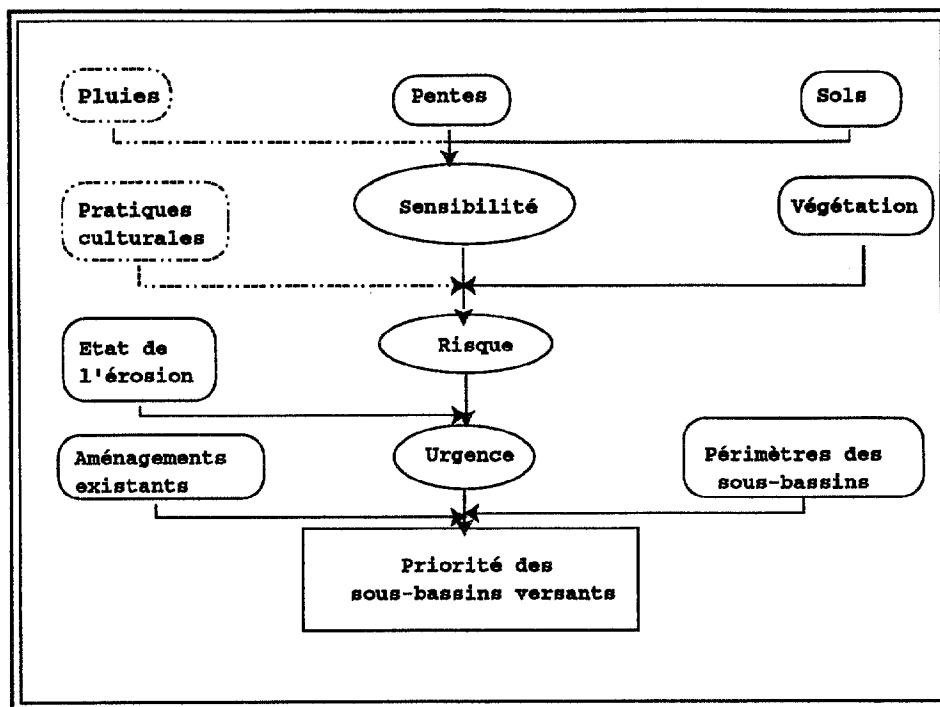


Figure 2 - Détermination des priorités d'aménagement

Tableau 2 - Poids attribués aux classes de type de sol et aux classes de pente

Pente		< 5%	5-10%	10-20%	>20%
Type de sol	Poids	1	4	8	10
Sols d'apport fluvial	10	11	14	18	20
Sols d'apport modaux sur sable éolien	9	10	13	17	19
Sols calcimorphes, lithosols et/ou régosols	5	6	9	13	15
Sols calcimorphes et sols rouges méditerranéens	3	4	7	11	13
Sols calcimorphes et sols vertiques - grès	4	5	8	12	14
Sols calcimorphes et sols vertiques - sable, argile	5	6	9	13	15
Sols calcimorphes et sols vertiques - marnes	4	5	8	12	14
Sols calcimorphes et sols vertiques - marnes et calcaires	4	5	8	12	14
Sols calcimorphes et sols vertiques - marnes, argiles et grès	4	5	8	12	14
Sols bruns et brun-rouges	6	7	10	14	16

Tableau 3 - Poids attribués aux classes de sensibilité et à l'indice de végétation

		Indice élevé	de moyen	végétation bas	nul
Sensibilité	Poids	1	4	8	10
négligeable	1	2	5	9	11
faible	4	5	8	12	14
modérée	8	9	12	16	18
élevée	10	11	14	18	20

Ainsi, le tableau 2 a permis de produire une carte de sensibilité du sol à l'érosion par l'utilisation conjointe de la carte pédologique et de la carte des zones de pente. Les différents seuils ont été déterminés par les ingénieurs de la DCES et par un pédologue spécialiste des problèmes d'érosion.

**Tableau 4 - Poids attribués aux classes de risque et à l'état actuel de l'érosion**

		Risque faible	à moyen	l'érosion élevé
Érosion actuelle	Poids	1	5	10
non affectée	2	3	7	12
peu affectée	4	5	9	14
moyennement affectée	8	9	13	18
très affectée	10	11	15	20

Le produit final de cette analyse se traduit par une carte d'urgence du bassin versant du Merguellil qui a servi à établir la priorité d'intervention de chaque sous-bassin versant (tableau 5).

**Tableau 5 - Degré d'urgence pour chaque sous-bassin versant**

Sous-bassin	Terre affectée (%)	Priorité
Maïz	100	élevée
Redjel	75	élevée
Ettiour	50	moyenne
Msilah	70	moyenne
Rhar el Tine	0	basse
Haffouz	10	basse
Hoshas	90	élevée
Chara	60	moyenne

L'étape suivante consiste en l'établissement de plans d'aménagement des versants et des cours d'eau à l'échelle du sous-bassin versant. Ces deux types d'aménagement ont été volontairement distingués car ils impliquent des prises de décision et phénomènes différents. En effet, l'aménagement des versants s'effectue sur une zone prioritaire d'intervention délimitée lors de la première étape et oblige l'ingénieur à sélectionner la technique la plus appropriée suivant les caractéristiques physiques, sociales et économiques de la région. L'aménagement des cours d'eau, quant à lui, consiste à rechercher la meilleure localisation pour un ouvrage type qui servira à la recharge de la nappe, à la création de points d'eau, etc. La combinaison de ces deux types d'aménagement conduit à la création d'étapes qui, ordonnées dans le temps, serviront à la construction de scénarios d'aménagement qui seront évalués selon des critères de nature diverse (surface aménagée, coût, etc.).

## Conclusion

Ce projet exploite les technologies comme le SIG, la télédétection, la photogrammétrie, le GPS, la cartographie, etc. Il permet d'aborder concrètement les problèmes d'intégration de données multi-sources et propose ainsi des solutions concrètes devant servir les besoins de la DCES. Une bonne validation et compréhension du prototype et de ses objectifs est nécessaire.

Dans le cadre de ce projet, les problèmes d'intégration de données multi-sources ont été concrètement abordés et des solutions concrètes ont été proposées pour servir les besoins de la DCES. La méthodologie employée permet une analyse systématique et une évaluation intégrée de l'ensemble du territoire considéré.

## Remerciements

L'ENIT et l'Université Laval tiennent à remercier le CRDI pour son support financier.

## Références

Bédard, Y., 1989. Information Engineering for the Development of Spatial Information Systems: a Research Agenda. URISA '89, 27th Congress of the Urban and Regional Information Systems Association, Boston Mass., URISA.

Boussema M. R., S. Raïs, A. Kallala, J.-J. Chevallier, K.P.B. Thomson et J. Pouliot, 1992. Système d'information à référence spatiale basé sur des données de télédétection pour la conservation des eaux et des sols (cas du bassin versant de l'oued Merguellil en Tunisie). GIS/SIG 94, Ottawa, 24-26 mars, pp 868-876.

Chevallier, J.-J., J. Pouliot, K.P.B. Thomson, M.R. Boussema, 1993. Systèmes d'aide à la décision à référence spatiale (SADRS) pour les pays en développement: le projet CRDI - Université Laval - École Nationale d'Ingénieurs de Tunis. GIS/SIG 93, Ottawa, Canada.

Chevallier, J.-J., J. Pouliot, K.P.B. Thomson, M.R. Boussema, 1994. Systèmes d'aide à la planification pour la conservation des eaux et des sols (Tunisie). Colloque Tuniso-Canadien sur les SIG, Hammamet, 1-2 novembre.

Pouliot J., K.P.B. Thomson, J.-J. Chevallier et M. R. Boussema, 1993. Utilisation des données satellites comme aide à l'identification des zones à haut risque d'érosion. 16<sup>ème</sup> symposium canadien sur la télédétection, Sherbrooke, Juin, pp 515-520.

# WATER RESOURCE MANAGEMENT USING GIS A SOUTH AFRICAN PERSPECTIVE

**M. CLAASSEN, R. G. HEATH**

Water Quality Information Systems, Division of Water Technology, CSIR, Pretoria, South Africa

## Water resource management in South Africa

Geographical Information Systems (GIS) are used, through various applications, to provide tools for the management of South Africa water resources. The applications include the utilization of GIS as an information management storage system, a planning tool for resource allocation management, a database and query system for managing large data sets available and a predictive system for scenario-based planning. The use of GIS facilitates the collation, processing and interpretation of quantities of spatially orientated data required for catchment-wide water quality management which would otherwise not be possible.

The overall water quality management goal of the Department of Water Affairs and Forestry is to maintain the fitness for use of South Africa's water resources on a sustained basis. The fitness for use concept implies the evaluation of water quality in terms of the requirements of a particular user or categories of users. It is usually measured against water quality criteria or norms that have been established as representing the ideal water quality for a particular use.

Until recently, the Department applied the Uniform Effluent Standards approach to water pollution control by enforcing compliance with the general and Special Effluent Standards. To counter continuing deterioration of water quality and to meet the challenge of the future, the Department changed to the Receiving Water Quality Objectives (RWQO) approach for non-hazardous substances and to the Pollution Prevention approach for hazardous substances. The RWQO approach focuses on the fundamental water quality management goal, namely maintaining fitness for use.

The Council for Scientific and Industrial Research (CSIR) has utilised GIS through a variety of applications to facilitate efficient management of water resources in South Africa. Some of these applications are briefly discussed.

## Water quality situation assessment

GIS technologies have been successfully employed in a water quality situation assessment of the Crocodile River catchment in the Eastern Transvaal. Key facets addressed through the use of GIS technologies were topography, climate, geology, soils, vegetation, afforestation, agriculture, demography, infrastructure, water resources, sources of pollution, variables of concern and a management framework. Both existing conditions and possible future conditions were assessed. This GIS application enable decision makers to manage aspects such as permit applications, land use changes etc. from the office.

## Catchment resource models

Applications developed to facilitate resource management include a catchment resource allocation model (CRAM) and a water allocation management information system (THESE). These systems are designed to provide the water resource manager with relevant information regarding any of the geographical and socio-economical aspects or best landuse practices required for managing the resource. Properties of these systems include easy access to geographical information, layer based query systems and predicting loads of conservative variables.

### Water quality management

AQCES, a GIS-based, menu-driven water quality management system to support regular assessment, evaluation and reporting of water quality within South Africa has been developed to provide:

- Easy assessment and reporting through the automation of routine repetitive tasks
- Standardised output formats of maps, statistical analyses and summaries, for easy comparison
- Access to online water quality and other environmental data
- An integrated and quantified view of changes and trends in water quality over time and space

The dynamic system enables water quality managers to base decisions on accurate information available at their fingertips.

### Acid deposition

The acid deposition risk advisory system (ADRAS) was developed to provide a means for objectively assessing potential impacts of air pollution. The purposes of the system is to assist in the revision of pollution emission standards and in the optimal location of new industries

### Runoff model

A GIS-based, conceptual runoff model (RUNMOD) has been, developed, to predict losses of pesticides and fertilizers from different landuse practices. This model development involved the creation of data structures, specification and testing of model capabilities and generation of graphical displays of model output. The model proved useful to assess potential pollution of various pesticides and fertilizers from various sources. The model is intended as a screening measure to identify areas and variables of concern for further detailed monitoring. This tool was developed in cooperation with the Department of Agriculture and the fertilizer society of South Africa.

### Database management

A pesticide and nutrient database has been established where applications, residues of pesticides and concentrations of nutrients in a variety of environments] compartments have been captured. This multidisciplinary database is envisaged to provide information for the effective tracking and monitoring of pesticide residues in cattle and fish and nutrient loadings in southern Africa.

### Conclusions

GIS has shown potential as a valuable water resource management tool in South Africa. The collation, processing and interpretation of spatially orientated data through the use of GIS technologies proved to be crucial for effective management of the resource.

The value of GIS data management facilities was illustrated with the successful execution of a catchment based water quality situation assessment and the spatial pesticide and nutrient database.

The importance of the modelling capabilities of GIS was underlined through effective modelling' of various variables of concern following a few different approaches. The advantages and disadvantages of the approaches was highlighted and these experiences could be useful for future initiatives.

Data manipulation and display capabilities of GIS systems proved is worth through the development of the water quality management system. The system brought crucial resource information to decision makers in an easily understandable format.

# L'UTILISATION DU SIG DANS LA RECHERCHE DE L'ACCESSIBILITE ET DE L'EXPLOITABILITE DE L'EAU SOUTERRAINE DANS LE NORD DE LA CÔTE D'IVOIRE

## **S. ISSIAKA**

Institut d'Ecologie tropicale, Abidjan, Côte d'Ivoire

## **K. ANZOUMANA**

CNTIG, Abidjan, Côte d'Ivoire

## **G. BENIE**

CARTEL, université de Sherbrooke, Canada

**RESUME.** Une des approches de l'exploration de l'eau souterraine dans les zones arides et semi-arides, est de combiner les données existantes d'une zone, comme les informations sur les forages, pour identifier les cibles qui promettent.

C'est cette méthode que nous avons utilisées pour réaliser dans un système à référence spatiale, des cartes d'accessibilité et d'exploitabilité des nappes souterraines en milieu cristallin.

Pour atteindre cet objectif, nous avons observé trois étapes.

La première étape a consisté à constituer une base de données hydrogéologiques sur la région d'Odienné. Cette base de données est constituée de toutes les informations recueillies sur les forages existents sur le site, à savoir les profondeurs, les débits, les niveaux piézométriques, les épaisseurs d'altération. A ces données s'ajoutent d'autres paramètres tels que les densités de drainage, les pentes, la topographie, les informations sur l'intensité et les directions de fracturation, et les positions des forages sur le site.

La deuxième étape a consisté à numériser certaines de ces données sur Arc-info, ensuite les interpoler sur le logiciel Surfer. Les fichiers statistiques sont saisis sur les logiciels Dbase IV et Idrisi. Deux fichiers ont été constitués à partir de cette base de données. Les fichiers vecteurs sont constitués de données cartographiques telles que la carte géologique, la carte de linéaments, la carte de courbe de niveau et la carte de réseau hydrographique. Les fichiers raster sont constituer de données telles que la densité de drainage, la perméabilité induite, la pente. la gamme de variation des valeurs de chaque type de données a été divisée en un certain nombre de classes selon les valeurs limites choisies. La cartographie entreprise a dès lors consisté à définir les aires en regard des ordres de grandeur classés.

En troisième étape, les différents fichiers ont été transférés sur Arc-info où on procède à la combinaison des différents types de données en fonction de notre cible. Ainsi, la carte d'accessibilité de la nappe souterraine a été obtenue en combinant la carte de la profondeur d'ouvrage avec la carte de probabilité de succès des ouvrages. Cette carte a permis d'identifier les zones d'accessibilité excellente, bonne, médiocre et mauvaise de la nappe souterraine.

**Abstract.** One of the strategies for groundwater exploration in arid and semi-arid zones, is to combine informations on wells such the depth, the lithology, the yield, fractures etc...to identify potential areas. This method has been used together with GIS to provide maps of accessibility and workability showing groundwater bodies in crystalline basement area.

To do GIS, three steps have used. The first step consist of building a database on the regions concerned. These databases are made up of both informations on wells site, such as depth, yield, water table, drainage density, lithology, slopes, topography, and field data collected on fractures, fracture direction and well locations in respect with fractures. The second step is to digitilize some of the data using Arc-Info software, and interpolate



its using Surfer software, and to stock others using databases like Dbase IV and Idrisi. Hence two files are created. Vector files (constituting of cartographic data such as geologic map, lineament map, topographic map, hydrographic map), and Raster files (constituting of data such as drainage density, permeability, slope). The wide range of values of each type of data were divided into a number of classes based on chosen intervals. This permitted mapping to be undertaken of areas corresponding to class size orders. In the third step, different interpolated files were transferred to Arc-view software and combined in such way to achieve our objective. Hence groundwater potential map was obtained by combining depth profile map with probability success of wells map. This map was used to identify areas with high, medium, low or poor groundwater potential.

## I. INTRODUCTION

Une des approches communes dans l'exploration de l'eau souterraine dans les zones tropicales subhumides, est de combiner les données existantes d'une zone, telles que les informations de forage, des profondeurs, des fractures, de densité de drainage, de l'épaisseur d'altération et les cartes de données satellitaires, pour identifier les cibles qui promettent dans l'exploitation des eaux souterraines. Les cibles pour les investigations détaillées de terrain sont sélectionnés sur les critères tels que la perméabilité des roches, la présence des aquifères, les linéaments, les anomalies géophysiques etc..( Gustafsson, 1993 ). La recherche est aussi fonction d'autres facteurs tels que la distance au centre de la population, l'exploitation existante de l'eau souterraine, la chimie de l'eau etc.. Le modèle hydrogéologique établi est souvent utilisé comme une plateforme rigoureuse, équitable pour les travaux subséquents et les résultats des investigations détaillées qui sont incorporés dans les modèles existants.

L'exploitation de l'eau souterraine dans une zone tropicale subhumide peut comprendre plusieurs km<sup>2</sup> comme c'est le cas dans la région d'Odienné et inclure divers types de données quantifiables. La quantité de données rend souvent impossible la réalisation de meilleure analyse, si on ne saisit pas ces données dans une base de données. La saisie et le traitement des données sont des opérations de longue haleine qui exigent beaucoup de temps machine.

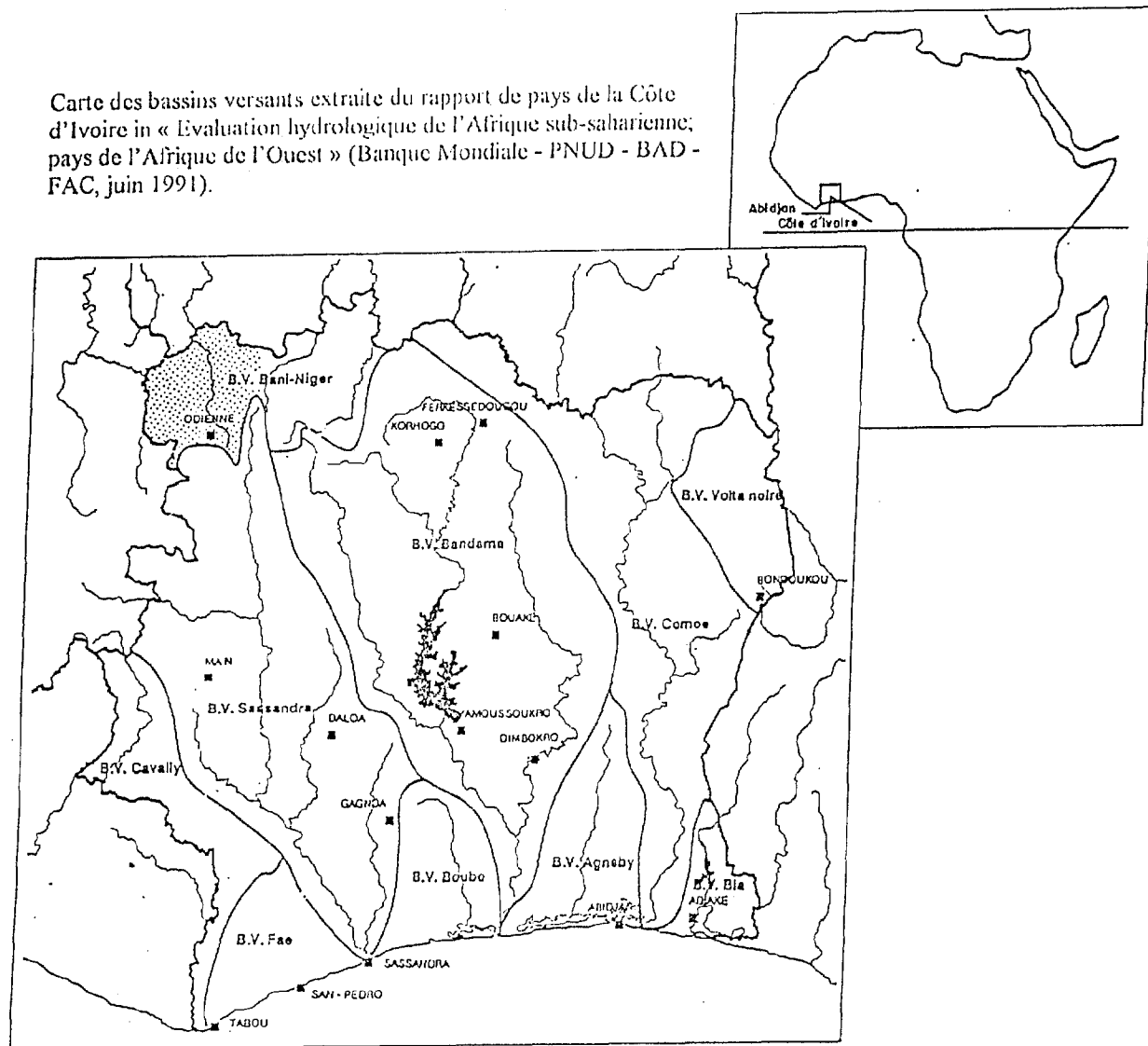
C'est sur le site de la région que nous avons appliqué le SIG pour déterminer l'exploitabilité et l'accessibilité de l'eau souterraine en milieu de socle.

## II. ZONE D'ETUDE

La zone d'étude est située au Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire et comprend 13340 Km<sup>2</sup> de terrain diversifié à la fois sur le plan topographique et géologique. Le relief, à part quelque point culminant comme la chaîne de Foula 1893 m, le Denguelé 1813 m, et Tiémé 1828 m, le relief est dans l'ensemble modéré, avec des sols couverts de hautes herbes en saison de pluie et des arbustes de petites tailles sauf autour des grands systèmes de drainage où on trouve des forêts galeries. La végétation est de type savane arborée, avec des différences très prononcées entre la saison sèche et la saison des pluies (Fig . 1).

**Figure 1: Localisation de la région étudiée**

Carte des bassins versants extraite du rapport de pays de la Côte d'Ivoire in « Evaluation hydrologique de l'Afrique sub-saharienne: pays de l'Afrique de l'Ouest » (Banque Mondiale - PNUD - BAD - FAC, juin 1991).



La géologie de la roche mère est constituée de trois groupes de formation: le groupe de granitoïde éburnéen constitué de granite homogène à biotite, granite à deux micas, granite migmatitique, granodiorite. Le deuxième groupe formé de complexe volcano-sédimentaire du Birrimien comprend les formations volcaniques, les schistes, les grauwackes. Enfin le troisième groupe constitué Archéen comprend le gneiss et le migmatite ancien. L'unité la plus importante dans l'exploration de l'eau souterraine est la formation granitique. Cette formation a une porosité très faible, mais est très fortement fracturée, donc possédant une porosité secondaire qui pourra agir comme conduits pour l'eau souterraine.

Les données disponibles sur la zone d'étude comprennent un grand nombre de forages provenant des anciens projets. La zone est aussi couverte par des cartes topographiques à 1/200000 et 1/50000.

### **III. APPROCHE METHODOLOGIQUE**

#### **3.1 Choix de classification**

Pour chaque objet, simple ( exemples : coût, qualité ), la gamme de variations de valeurs est divisée en un certain nombre ( voulu ) de classes selon des valeurs limites choisies, non nécessairement équidistantes mais significatives du point de vue des applications pratiques ( J.J. Collin et al. 1987 ). A chaque classe, on fait ensuite correspondre une "note", selon un système de notation voulu ( progression arithmétique ou autre), pour que les "points" puissent être additionnés avec ceux des classifications relatives aux autres objets, ce qui rend la classification ordinale. Enfin des "coefficients de pondération" différents peuvent être attribués à chaque objet de classification, afin de les pondérer en fonction de l'importance qu'on leur accorde eu égard à la gamme présumée et aussi large que possible des objectifs de leur combinaison ( J.J. Collin et al, 1987). On a opéré pour cette étude par quatre choix successifs pour chaque classification.

##### **3.1.1 Choix du nombre des classes**

Nous avons procédé à deux types de classification. Au niveau de l'identification des facteurs physiques, nous avons déterminé cinq classes allant de plus faible au plus fort. Ainsi on a fait la classification suivante:

- 1- très faible
- 2- faible
- 3- moyen
- 4- fort
- 5- très fort

Par contre les descripteurs ont été divisés en quatre classes qui sont du plus faible au plus fort.

- 1- mauvais
- 2- médiocre
- 3- bon
- 4- excellent

##### **3.1.2 Choix des valeurs limites**

Ce choix s'est opéré en fonction d'une part de la faculté de discernement de l'opérateur et de sens de jugement, et d'autre part des valeurs affichées par les histogrammes des facteurs. Ce choix est beaucoup guidé par les objectifs que l'opérateur se donne et qu'il veut atteindre.

##### **3.1.3 Choix du système de notation**

Le système de notation a été la progression arithmétique.

##### **3.1.4 Choix de coefficients pondérateurs**

Nous n'avons pas choisi un coefficient pondérateur pour les paramètres, parce que les jugeant tous de même importance.

Le domaine à cartographier sur le territoire est divisé en aires ou " mailles élémentaires" ou encore en sections ou biefs de cours d'eau élémentaires, présumés assez homogènes relativement à tous les objets de classification

387

considérés, pour qu'il soit possible de les affecter à l'une des classes définies de chacune des classifications. autrement dit, cette division est dictée par l'objet qui offre le plus de variété. Ces mailles peuvent être régulières aussi bien qu'irrégulières et définies par des conditions structurales. Les contours sont ensuite interpolés.

A chaque pixel est attribué le jeu des notes des différentes classifications appliquées sur la base des connaissances acquises ou des hypothèses jugées les plus plausibles et ces notes sont mémorisées.

Des logiciels appropriés de "somme" ou "multiplication" d'images tels que Arc-Info, Idrisi, et Arc-View, ont permis le tracé automatique de cartes croisant les différentes classifications:

- soit les résultats de "mixages" suivant les variations de notations et de coefficients de pondération choisis, appliquant une classification combinatoire.
- soit les résultats de selections de zones correspondant à des classes ou groupes de classes choisies dans chaque gamme de paramètre.

De nombreuses cartes "sur mesure" peuvent ainsi être éditées et s'adapter chacune à des utilisations spécifiques. Seule la structure des mailles reste stable, mais elle peut aisément être modifiée - subdivision ou aggrégation de mailles- si nécessaire.

#### **IV. APPLICATION: LA CARTE DE POTENTIALITE EN EAU SOUTERRAINE**

##### **4.1 Démarche suivie**

Dans un premier temps, nous allons chercher à identifier des facteurs physiques quantifiables caractérisant la ressource en eau souterraine. Nous avons sélectionné six facteurs:

- un facteur " Probabilité de réussite" ou "pourcentage de succès" des ouvrages.
- un facteur profondeur, " Profondeur d'ouvrage" à forer pour obtenir le débit optimal que l'aquifère considéré est susceptible de fournir.
- un facteur " débit de production" ( débit potentiellement délivrable par le captage).
- un facteur "Profondeur d'extraction ou de puisage de l'eau" ( équivalent au niveau dynamique) et correspondant à la hauteur manométrique totale de relèvement ( H.M.T).
- un facteur " grandeur du flux d'apport" aux aquifères, considéré comme un indice par excès de la recherche et représenté par les précipitations efficaces ( mm).
- un facteur " taux d'infiltration d'eau des précipitations efficaces" représenté par la densité de drainage et considéré comme un indice par excès de la perméabilité ou non de la couche superficielle.

Ces facteurs physiques ont été ensuite associés, soit deux par deux, soit quatre par quatre, ou soit cinq par cinq pour constituer deux, trois ou quatre composantes ou descripteurs, susceptibles de donner une notion globale de l'état d'une ressource en eau souterraine, permettant d'en apprécier la valeur et son utilisation potentielle, ou à travers de ces descripteurs, émerge également l'incidence économique comme le coût d'investissement et le coût d'exploitation. Ici, nous n'avons retenu qu'un seul descripteur, celui de l'accessibilité.

Le descripteur Accessibilité associe les facteurs profondeur d'ouvrage et probabilité de succès, en même traduit un coût d'investissement pour atteindre un aquifère et construire un ouvrage productif.

La cartographie entreprise a dès lors consisté à définir des aires ou plages élémentaires présumées homogènes en regard des ordres de grandeur classés des différents facteurs, puis des descripteurs et enfin de potentialité en eau souterraine, synthèse combinatoire finale des classes ordinales des du descripteur précédent.

## 4.2. Classification des facteurs

Chaque descripteur est le résultat de la combinaison de deux cartes issues de la sommation de deux facteurs. Nous présentons ici les différentes classifications qui ont été opérées sur chaque facteur.

### 4.2.1 Le facteur profondeur de l'ouvrage

Nous avons déterminé cinq classes de profondeur allant du plus faible au plus fort. Ces classes sont les suivantes:

< 15 m	très faible
15- 25 m	faible
25- 40 m	moyen
40 - 60 m	fort
> 60 m	très fort

La carte élaborée à partir de ce facteur permet d'estimer les différentes profondeurs sur la figure 2.

### 4.2.3 Le facteur de pourcentage de succès

Les cinq classes retenues pour le facteur débit sont les suivantes:

< 30 %	très faible
30 - 50 %	faible
50 - 65 %	moyen
65 - 80 %	fort
> - 80 %	très fort

La carte provenant de cette classification permet d'évaluer les probabilités de succès des aquifères du site (Fig.3).

## V . RESULTATS ET ANALYSE

### 5.1. La carte d'accessibilité de la souterraine

La disponibilité de l'eau peut ne pas être évidente, mais avec une certaine accessibilité, on peut arriver à satisfaire certains besoins en eau, surtout en milieu rural.

La carte d'accessibilité provient de la combinaison des cinq classes de deux facteurs qui sont: le facteur profondeur d'ouvrage et le facteur probabilité de succès. Le résultat qui constitue la carte d'accessibilité (fig. 4), se regroupe en quatre classes.

La classe 1 qui se caractérise par une accessibilité Mauvaise, regroupe toutes les zones à captage à haut risque et/ou coûteux.

La classe 2 qui se caractérise par une accessibilité Médiocre, regroupe toutes les zones à captage à risque et/ou onéreux.

La classe 3 qui se caractérise par une accessibilité Bonne, regroupe toutes les zones à forage peu et à succès probable.

Enfin la classe 4 qui se caractérise par une accessibilité Excellente, regroupe les zones à forage peu profond et à forte probabilité de succès.

On note par ailleurs que la zone d'étude est constituée à 95% des classes 3 et 4, ce qui signifie que la zone a une eau souterraine dont l'accessibilité est bonne dans l'ensemble.

## VI. CONCLUSION

Les résultats quantitatifs décrits dans cette étude, bien que fondés sur les données disponibles de la plus haute qualité, nécessitent une validation sur le terrain. Toutefois, notre objectif est de mettre au point une méthode basée sur l'utilisation du plus grand nombre possible de sources d'informations et de procéder à la démonstration des concepts d'intégration des données par satellite et des informations géographiques auprès des experts travaillant sur le terrain et des décideurs.

L'utilisation de ces technologies permet d'améliorer considérablement la qualité des méthodes de gestion et de rendre ainsi moins vulnérable la population confrontée aux fluctuations climatiques.

### Remerciements

Nous tenons à remercier l'UREF ( Université des réseaux d'expression française) pour nous avoir permis de réaliser ce travail grâce à une subvention de recherche partagée.

## VII. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

B. Abednego, R. Caloz, C. Collet, 1990. L'utilisation des sig dans la modélisation en hydrologie de surface, *Geographica Helvetica*, NO 4, pp 161-167.

C. Collet, 1992. Systèmes d'information géographique en mode image. *Edit : Presse polytechnique et Universitaire Romandes*. 186 p.

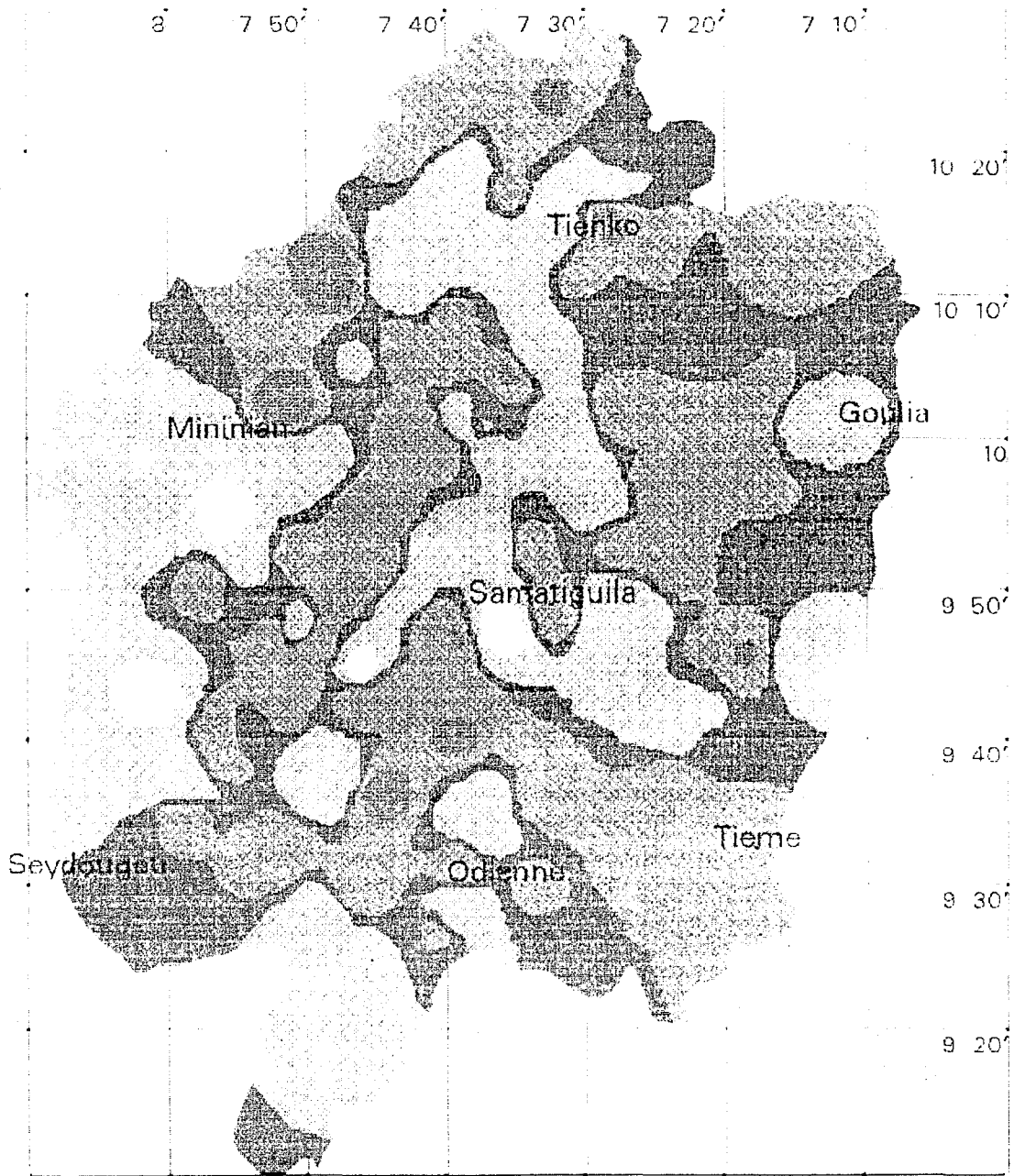
J.J. Collin, J. Margat, B. Moussie, 1987. La cartographie des eaux souterraines assistée par ordinateur: un mode d'expression et d'aide aux décisions au service des hydrogéologues et des planificateurs. *Communication au XXe congrès de l'Association Internationale de Hydrogéologues*. Rome, Avril 1987. 14 p.

M. Yergeau, B.G. Benié, C. Prévost, R. Simard, F. Bonn, Q.H.J. Gwyn , 1990. inventaire et aménagement des ressources au sahel, un exemple de transfert de technologie en télédétection. *In Apports de la télédétection à la lutte contre la sécheresse; collection Universités francophones, Editions AUPEL-UREF 1990, John Libbey Euro- text; Paris 282- 295.*

P. Gustafsson, 1993. High resolution imagery and GIS as a dynamic tool in groundwater exploration in a semi-arid area. *Hydrogis 93. IAHS publication No 211 . pp 93-100.*

389

# Carte des Profondeurs



Principales villes

Profondeur d'alteration

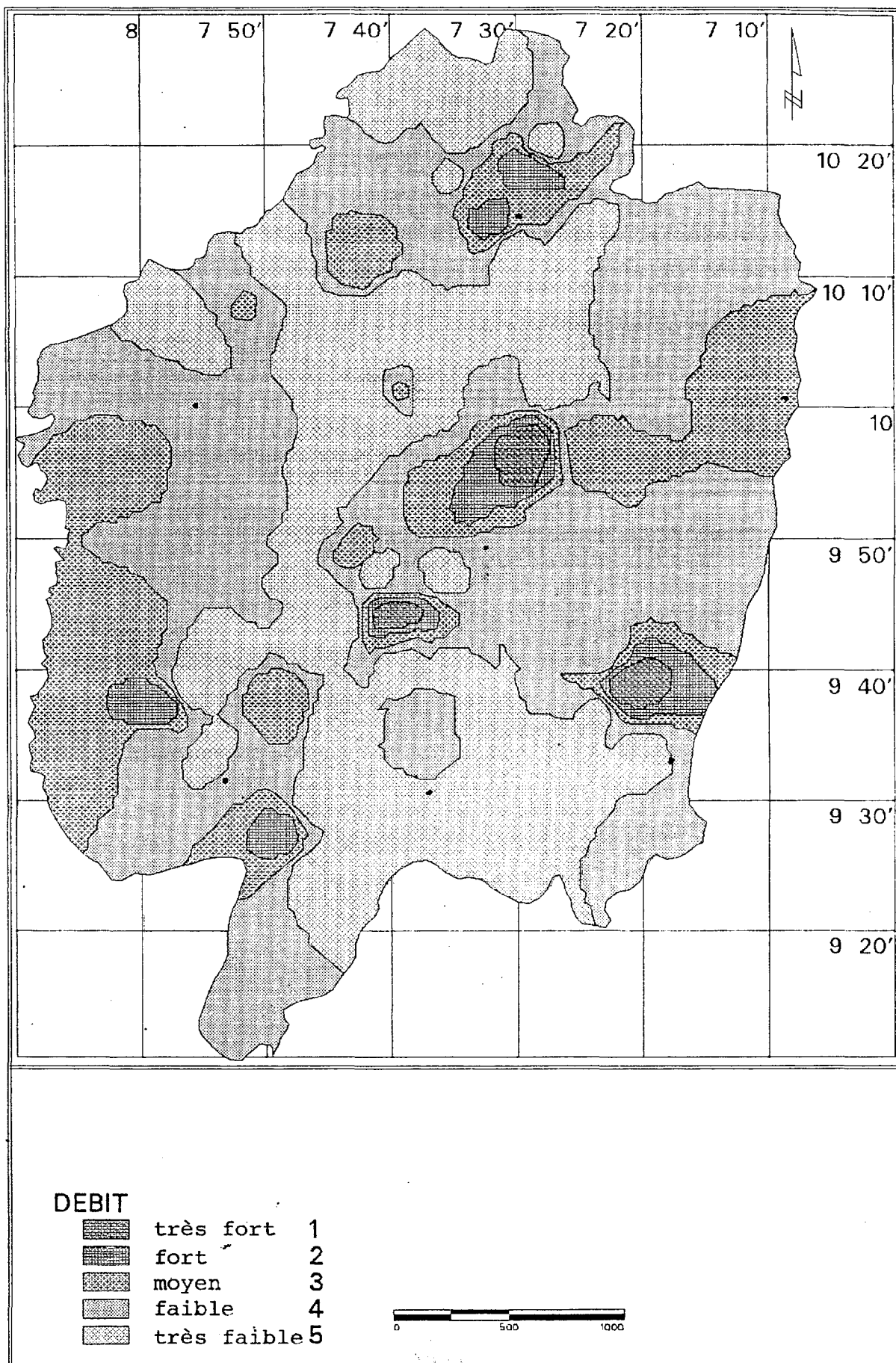
- TRES FAIBLE
- ▨ FAIBLE
- ▨ Moyen
- ▨ Fort
- ▨ Très fort

Grill

G point  
386

Figure 2: La carte des profondeurs des ouvrages

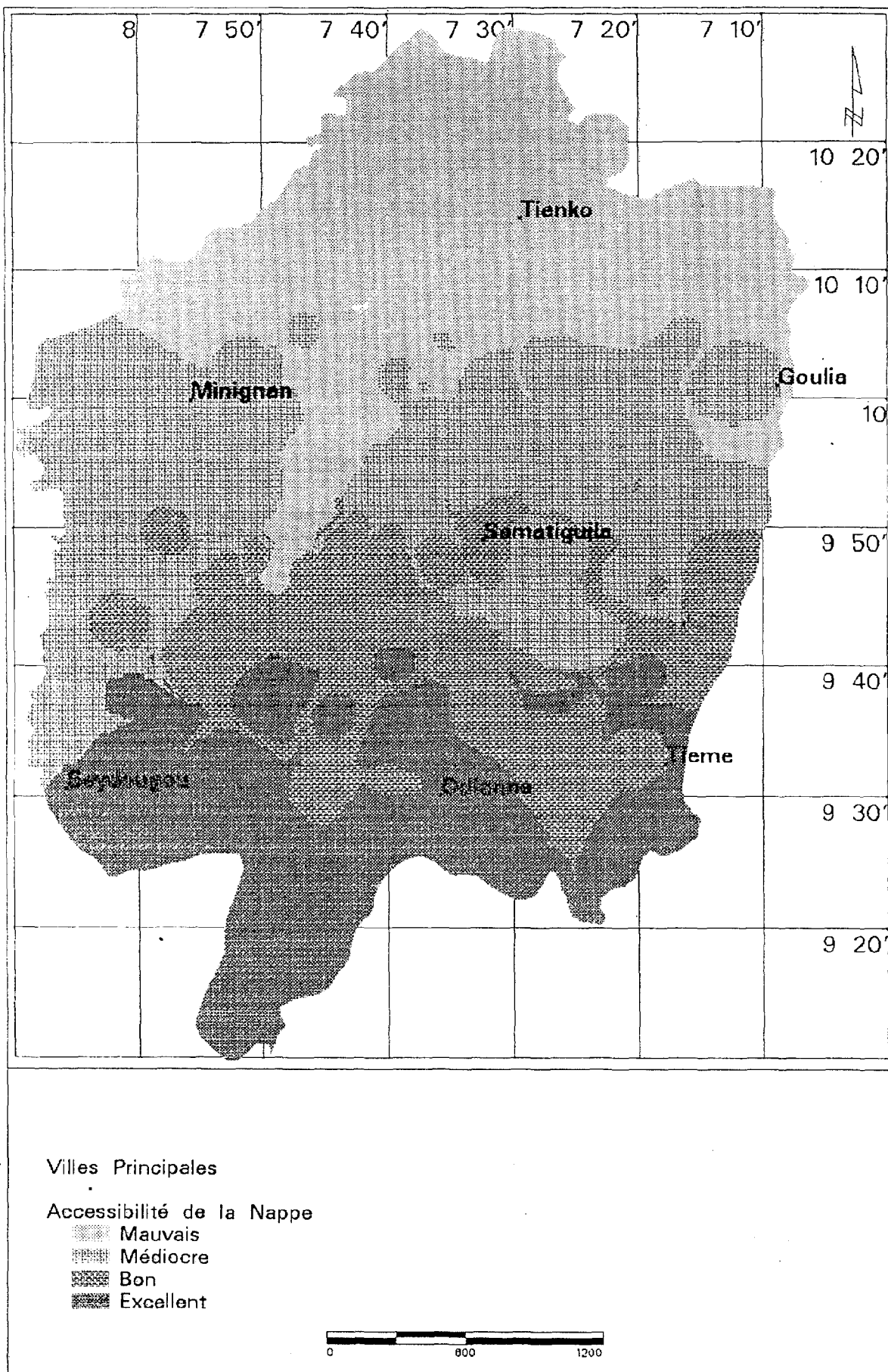
Figure 3: Région d'ODIENNE : CARTE DE POURCENTAGE DE SUCCES





# Région d'ODIENNE : Carte d'accessibilité de la nappe souterraine

Figure 4:



387

BEST AVAILABLE COPY

000312AJVA 1237

# CONCEPTION D'ATLAS DE PLANIFICATION PAR ARRONDISSEMENT PAR L'UTILISATION D'UN SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE (NIGER)

## **A. KARBO**

Ingénieur hydrogéologue, Niamey, Niger

## **J. VAN IOON**

Expert MH/E, projet PNUD/DDES, Niamey, Niger

## **J. DUBUS**

CTP MH/E, projet PNUD/DDES, Niamey, Niger

### 1 Dublin et la planification des ressources en eau

La conférence de Dublin (Irlande) qui s'est tenue du 26 au 31 Janvier 1992 sur le thème de l'eau et de l'environnement, a réuni 500 participants représentant 114 pays, 38 organisations non gouvernementales, 14 organisation intergouvernementales et 28 organes et institutions des Nations Unies. Elle est considérée comme la plus grande rencontre internationale jamais organisée sur la question de l'eau depuis la conférence de Mar del Plata (Argentine, 1977).

La conférence de Dublin a retenu quatre grands principes pour la mise en valeur et la gestion intégrée des ressources en eau:

- Une approche globale, qui concilie développement des économies et des sociétés humaines et préservation des écosystèmes naturels (dont dépend notre survie).
- Une approche participative, afin que les décisions soient prises à l'échelon compétent le plus bas.
- La reconnaissance du rôle prééminent des femmes dans l'utilisation de l'eau et dans la gestion et la préservation des ressources en eau.
- La reconnaissance de la valeur économique de l'eau.

Au stade de la planification, ceci suppose que l'on tient compte des besoins à long terme comme des besoins immédiats. "Tous les facteurs, qu'ils soient écologiques, économiques ou sociaux, devront donc être pris en considération dans l'optique d'un développement durable. Il faudra pour cela considérer les besoins de tous les usagers et la nécessité de prévenir et d'atténuer les risques liés à l'eau... L'eau est une ressource limitée et fragile si l'on veut l'exploiter durablement, il faut prendre tous les coûts en compte au stade de la planification et de la mise en valeur... la tarification devra autant que possible traduire le coût réel de l'eau, utilisée en tant que bien économique, ainsi que la capacité de paiement des collectivités."

### 2 Application sur le terrain

Outre les données sur les ressources et les besoins, habituellement prises en compte dans la planification des ressources en eau, les principes et recommandations énoncés ci-dessus conduisent à prêter une attention particulière aux aspects socio-économiques et environnementaux liés à l'eau. L'approche participative, et le rôle que les femmes seront amenées à remplir dans la gestion et la préservation des ressources, impliquent que les populations soient associées au processus de planification.

Concrètement, il faudra disposer d'un outil de planification capable d'enregistrer et traiter des informations extrêmement variées, allant du nombre de points d'eau productifs à la capacité de remboursement des charges récurrentes par les villageois, ou à l'impact des aménagements hydrauliques sur la santé et l'environnement. Par ailleurs, il faudra se mettre à l'écoute de "l'échelon compétent le plus bas", que sont les collectivités villageoises, les groupements corporatifs, et particulièrement les groupes féminins.

Pour cela, le projet dispose du système d'information géographique SIGNER, couplé à la base de données IRH (Inventaire des Ressources Hydrauliques) ainsi qu'à divers fichiers administratifs, géographiques, ... mais susceptible de représenter également toutes autres données significatives sur les besoins et Les aspects socio-économiques et financiers.

SIGNER est présentement installé dans les DDH (Direction Départementale de l'Hydraulique), et du personnel a été initié à son utilisation.

La formation se poursuit de façon pratique avec la conception des atlas de planification par arrondissement.

### 3 Conception d'atlas, par arrondissement

Les atlas vont réunir un certain nombre d'éléments nécessaires aux planifications futures, en respectant l'esprit de Dublin. S'agissant d'atlas, les documents élaborés seront essentiellement constitués de cartes, figurant chacune un nombre d'éléments limités, par exemple, relief + hydrographie + stations limnimétriques + limites des bassins versants, ou bien, limites de cantons + Localités + infrastructures routières + densité de population.

Au moyen de SIGNER, ces cartes "élémentaires" pourront être superposées pour faire apparaître des situations particulières, par exemples, limites de cantons + localités + infrastructures routières + densité de population, avec points d'eau productifs, qui permettra de situer les localités ne disposant pas de point d'eau productifs, et partant, de fixer les priorités nationales dans la satisfaction des besoins.

Toutefois, le processus de planification ne saurait se limiter à un traitement effectué à l'échelle de l'arrondissement, ou même du département. Il importe que les éléments élaborés par les DDH soient confrontés au schéma directeur national de mise en valeur et de gestion des ressources en eau, ainsi qu'aux contraintes identifiées au niveau central, ne serait-ce que pour assurer des financements disponibles et prendre connaissance des projets en négociation. Dans un autre domaine, le développement du petit maraîchage devra tenir compte des débouchés et éventuellement, d'accords commerciaux avec des pays voisins.

C'est pourquoi des échanges permanents devront s'instaurer entre niveaux central et décentralisés, et les atlas devront se conformer à un cadre permettant de pallier un même langage sur l'ensemble du territoire.

La confection des atlas constitue un travail de longue haleine et qui devra périodiquement être repris pour actualisation. Plutôt que de disperser les efforts, on cherchera dans un premier temps à acquérir une vision claire et synthétique des aspects fondamentaux évoqués à Dublin.

Le cadre proposé ci-après est conçu dans cet esprit. Ceci ne veut pas dire qu'il ne puisse être élargi en fonction des spécificités régionales. Il appartiendra à chaque DDH de l'adapter aux problèmes propres à chaque arrondissement. Mais il importe qu'un cadre minimum (standard) soit respecté en vue de permettre un travail de synthèse au plan national et la mise au point d'une méthodologie de planification et d'aide à la décision commune à l'ensemble des DDH. Le cadre standard lui-même sera complété après une période d'adaptation.

#### 4 Cadre standard

Le texte accompagnant chaque planche se limitera au titre et aux sources ayant permis d'élaborer la carte. Chaque carte sera assortie d'un nord, d'une échelle, et des coordonnées géographiques. Les symboles et figures sont standardisés (voir cartes en annexe).

Le titre comportera le nom de l'arrondissement et du département, ainsi que l'énumération des éléments figurant sur la carte (1 à 5 selon les cartes); exemple: relief, hydrographique, stations limnimétriques et bassins versants.

Les sources feront référence aux fichiers, bases de données, et autres informations utilisées.

Le cadre standard est volontairement restreint. Il comporte 19 planches réparties en 3 chapitres.

On trouvera ci-après, à titre indicatif, une liste de chapitres et de planches, ainsi qu'une illustration fournie par l'exemple de l'arrondissement de Dakoro.

Page de couverture: situation de l'arrondissement

#### **Chapitre 1: Ressources en eau**

Planche 1: Relier/hydrométrie/stations limnimétriques

Planche 2: Pluviométrie/température/insolation/vent/hygrométrie/vallées

Planche 3: Cadre géologique

Planche 4: Cadre hydrogéologique

Planche 5: Nature des points et profondeur

Planche 6: Niveau de l'eau souterraine

Planche 7: Débits/volumes exploités

Planche 8: Qualité de l'eau

Planche 9: Type et état des pompes et des adductions d'eau, Comités de gestion des points d'eau

#### **Chapitre 2: Besoins en eau**

Planche 10: Hydraulique villageoise

Planche 11: Classification des sols et aptitude à l'irrigation

Planche 12: Cultures pluviales dominantes, déficit et excédent céréalier, périmètre irrigués

Planche 13: Points d'eau pastoraux et potentiels fourrager, Axes de transhumance, abattoirs, parcs de vaccination, marchés de bétail

Planche 14: Besoins industriels et miniers

#### **Chapitre 3: Développement socio-économique**

Planche 15: Limites de cantons/localités/infrastructures routières/densité de population

Planche 16: Ethnies, activités, communications, centres administratifs

Planche 17: Infrastructures scolaire

Planche 18: Infrastructures sanitaires

Planche 19: Projets de développement, groupements corporatifs et villageois actifs, coopératives, organismes d'épargne-crédit.

# GMS-SAHEL : PROTOTYPE GEOMATIQUE D'AIDE A LA GESTION DES RESSOURCES NATURELLES LIEES AU BARRAGE DE MANANTALI

**R. PENNEMAN**

Da Vinci Consulting, Chaumont-Gistoux, Belgique

Le complexe des barrages de Manantali et de Diama constitue le plus grand ouvrage hydraulique d'Afrique après Assouan. L'investissement est de l'ordre de 600 millions de US\$. L'exploitation des eaux du fleuve Sénégal et de ses infrastructures, à des fins d'irrigation, d'énergie hydroélectrique ou pour la navigation, affecte de façon majeure le développement économique et l'environnement d'une région touchant quatre pays africains : le Sénégal, le Mali, la Mauritanie et la Guinée.

Or, les diverses utilisations de l'eau des barrages ne sont pas contrôlées systématiquement, ce qui entraîne des conséquences sanitaires, environnementales et économiques déjà visibles notamment:

- l'imprécision dans la facturation de l'eau aux différents utilisateurs (agriculture, alimentation des agglomérations, ...);
- l'éventualité de la réactualisation de la clé de répartition des coûts et charges des ouvrages communs suite à l'évolution du développement économique dans le bassin du fleuve Sénégal;
- les effets néfastes de la remontée de la nappe phréatique dans le delta et la basse vallée;
- l'exploitation déraisonnable des seuls peuplements de gonakiers dans la vallée du fleuve Sénégal.

## **Le transfert technologique de GMS-Sahel**

Le transfert technologique de GMS-Sahel a été réalisé dans le cadre du projet « Méthodes de caractérisation des domaines agricoles par télédétection au Sahel ». Ce projet, initié en 1991, est financé par le Ministère des Relations Extérieures de la Région Wallonne de Belgique via l'Agence de Coopération Culturelle et Technique (ACCT) à Paris.

Les travaux entrepris par la société da vinci Consulting dans le cadre de ce projet ont permis en 1992, d'élaborer un prototype d'outil informatique de gestion de données, GMS-Sahel, et en 1993, d'amorcer le transfert technologique de cet outil sur la problématique de gestion des ressources naturelles liées au barrage de Manantali. Cette phase de transfert a été programmée sur 22 mois (mars 1993 à décembre 1994).

Après avoir pris connaissance localement des organismes et projets en activité dans le bassin du fleuve Sénégal, la gestion des périmètres irrigués en aval du barrage, grâce à l'outil développé, s'est précisée comme étant l'action concrète et démonstrative à entreprendre.

Ce transfert technologique a permis de consolider un partenariat avec la cellule Environnement-Télédétection-Santé (E.T.S) de l'Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal (O.M.V.S.); et cela, grâce à l'installation de l'outil GMS-Sahel à Dakar, la dispense d'une formation à deux experts de l'OMVS, lors d'un stage en Belgique mais également sur place, l'intégration exhaustive d'un premier cadastre des périmètres irrigués sur une cuvette pilote de la vallée et l'adaptation de l'outil et des méthodes développés à la gestion de cette cuvette. Le transfert de matériel informatique performant mais adapté a également été réalisé. La fin de l'année a donc vu la création d'une application pilote de suivi des périmètres irrigués à partir de l'outil GMS-

Sahel. Cette application pilote a été présentée en fin d'année 1994 à l'OMVS devant une quinzaine de responsables et d'experts directement impliqués dans la gestion des eaux du fleuve.

### **Résultats de l'opération pilote**

Le système contient à titre expérimental, un atlas d'une vingtaine de fonds de plans géoréférencés (images satellitaires SPOT XS, photographies aériennes, rasterisation de fichier vectoriel, scan de plan), une série de catalogues (reprenant les périmètres irrigués, les bilans de campagne, les zones inondables, les berges du fleuve, pour la cuvette de Podor ainsi que les stations météorologiques du Sénégal), un set de documents multiformats (tableaux, rapports, photographies, enquêtes,...).

Le système permet principalement, pour la zone de Podor :

- des recensements de parcelles irriguées,
- la visualisation sur base de fonds de plan de zones inondables,
- la préparation d'enquêtes de terrain,
- la documentation, l'encodage et l'archivage de résultats d'enquête de terrain, localisée de manière précise,
- le suivi de parcelles irriguées au niveau de leur superficie et de leur occupation au sol par photo-interprétation sur base des photographies et images satellitaires, etc.

### **Perspectives**

Vu le succès de l'opération pilote, le projet à plus long terme a pour ambition la conception et la mise en oeuvre opérationnelle d'un système informatique intégré et modulaire de gestion et de contrôle qui puisse répondre aux objectifs suivants :

- optimisation de l'acquisition de l'information de base, réduction des double-emploi, valorisation multi-sectorielle de l'information;
- meilleure intégration des diverses sources d'information dans les processus de décision;
- meilleure contrôle de l'utilisation des eaux et meilleures prévision et protection contre les crues;
- optimisation économique de l'utilisation des eaux par une meilleure planification et gestion de son affectation;
- prévention des conséquences environnementales liées à une mauvaise utilisation des eaux et correction des actions dommageables.

<b>Groupe de Travail 8:</b>	<b>GESTION DES FORÊTS ET DE LA BIODIVERSITE</b>
<b>Working Group 8:</b>	<b>FOREST AND BIODIVERSITY</b>

**DEVELOPPEMENT D'UN SIG POUR LE SUIVI DE L'EVOLUTION DE LA FORÊT**

M. A. BELAÏD, Z. AHLAFI .....415

**REMOTE SENSING AND GIS APPLICATIONS TO FOREST INVENTORY AND MANAGEMENT IN GHANA: THE CASE STUDY OF AFRENSU BROHUMA FOREST RESERVE**

F. BALFOUR-AGURGO .....424

**CONTRIBUTION DE LA TELEDETECTION ET DU SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE A L'EVALUATION DES RESSOURCES FORESTIERES DU ZAÏRE**

B. BWANGOY-BANKANZA .....425

**BILAN DES SUPERFICIES DES FORÊTS DE LA ZONE DENSE DE LA CÔTE D'IVOIRE (Forêts classées, Parcs Nationaux et Massifs Forestiers du Domaine Rural)**

A. CONDE, J. KENA, D. NADAUD, A. KOFFI .....433

**REMOTE SENSING AND GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM APPLICATION IN LAND RESOURCE ASSESSMENT IN UGANDA: THE NATIONAL BIOMASS STUDY EXPERIENCE**

P. DRICHI .....446

**ENHANCING COLLABORATIVE FOREST MANAGEMENT IN AFRICA THROUGH THE APPLICATION OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS**

P. A. K. KYEM .....447

**MISE EN PLACE D'UN MECANISME DE SUIVI DE LA COUVERTURE VEGETALE DU NORD CAMEROUN PAR TECHNIQUES DE TELEDETECTION ET SIG**

D. MABI .....454

393

**THE USE OF PERSONAL COMPUTER BASED GIS FOR NATURAL RESOURCE MANAGEMENT**

D.R. MacDEVETTE, G.G. FORSYTH, Y. JAIROSI.....466

**DEVELOPPEMENT DES SYSTEMES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE A LA DCGTX**

Ch. O. NADO .....472

**THE USE OF GIS FOR DECISION-MAKERS IN DEVELOPMENT PLANNING: THE NYANGA-GIS,  
A CASE STUDY FROM ZIMBABWE**

D.T. SEMWAYO, M.F.F. FERRAZ .....476

**L'EXPERIENCE CENTRAFRICAINE DU SUIVI ECOLOGIQUE  
EN ZONE NORD DE LA REPUBLIQUE CENTRAFRICAINE**

A. POUBANGUI .....477

394



# DEVELOPPEMENT D'UN SIG POUR LE SUIVI DE L'EVOLUTION DE LA FORÊT

**M. AÏT BELAÏD**

Centre Royal de Télédétection Spatiale, Rabat, Maroc

**Z. AHLAFI**

Administration des Eaux et Forêts et de la Conservation des Sols, Rabat, Maroc

## RESUME

Les forêts constituent une ressource renouvelable de matières premières, d'énergie et de services pour les pays et les collectivités locales. Elles contribuent à leur bien-être social et économique, constituant ainsi un élément vital de leur environnement.

La gestion efficace de ce patrimoine nécessite au préalable la cartographie et l'inventaire des ressources forestières disponibles. En plus de ces données statiques, il est indispensable d'assurer le suivi et la surveillance de la dynamique forestière, due aux changements qui s'opèrent, sous l'effet de plusieurs facteurs: coupes, défrichements, reboisements, incendies, régénérations, dépérissements, etc..

Les techniques de la télédétection et des SIG ont été appliquées au suivi de l'évolution de la forêt de la Mamora (environ 150.000 ha), dans le cadre d'un projet pilote entre le Centre Royal de Télédétection Spatiale (CRTS) et l'Administration des Eaux et Forêts et de la Conservation des Sols (AEFCS).

La carte d'évolution de la forêt (coupes, reboisements) a été produite en appliquant la méthode de différence aux images multispectrales Spot prises en 1989 et 1991. Les résultats de cette étude multitemporelle et les données auxiliaires (carte topographique, plan parcellaire de la forêt, statistiques) ont été intégrés, dans une base de données, sous la forme d'un SIG, permettant l'extraction des statistiques relatives aux coupes et aux reboisements au niveau d'une parcelle, d'un secteur, etc.

La structuration de cette base de données, selon un modèle conceptuel, permet de poser des interrogations sur les activités concernant les infrastructures (tranchées, routes, hydrographie), le suivi par télédétection (coupes, reboisements), les opérations sylvicoles (exploitation, plantation) et les aléas naturels (incendies, maladies). Elle permet également l'exploitation de ces données, afin d'établir des scénarios d'aménagement et faciliter le suivi régulier de l'évolution de la forêt.

La méthodologie développée peut s'appliquer dans d'autres pays africains. Néanmoins, l'utilisation opérationnelle de ces outils nécessite l'existence de données fiables, le financement des équipements informatiques et le développement des ressources humaines compétentes.

## INTRODUCTION

La forêt marocaine couvre environ 12% du territoire national, soit environ 9 millions d'hectares (y compris les nappes alfatières et les plantations artificielles). Elle constitue un milieu dynamique qui subit des changements naturels ou artificiels sous l'effet de divers facteurs:

- opérations d'aménagement (exploitation, plantation),
- facteurs anthropiques (défrichements, écimage, surpâturage),
- aléas naturels (maladie, incendie, sécheresse).

L'utilisation des techniques de télédétection et des systèmes d'information géographique offre les possibilités suivantes (Aït Belaïd, 1993; Lee *et al*, 1993; Stebbins et Akhavi, 1993): vue synoptique, répétitivité des données, vitesse de traitement, capacité de modélisation, possibilité de faire des scénarios d'aménagement. Ces techniques permettent ainsi d'assurer la cartographie et le suivi de l'évolution des massifs forestiers, de façon plus rapide et plus rentable que les méthodes conventionnelles. Par exemple, les images multispectrales Spot coûtent 0,5 \$US au kilomètre carré, comparées aux photographies aériennes infrarouge, qui coûtent 6 \$US, à l'échelle 1/50.000 (FAO, 1991 a).

Actuellement, un grand nombre de phénomènes caractérisant la forêt peut être étudié et cartographié par les techniques de télédétection et d'analyse d'images: la limite de la forêt, les types de peuplements (FAO, 1991 a), les coupes et les reboisements (Aït Belaïd et Ahlafi, 1993 a; Walsh *et al*, 1982; Gregory *et al*, 1992), la déforestation (Stone *et al*, 1987).

Egalement, un certain nombre de bases de données (BD) forestières sont en préparation et nécessitent la structuration et la modélisation afin de développer des SIG opérationnels. On peut citer notamment:

- 1- le système d'information sur les ressources forestières (FORIS) en préparation par la FAO (1994), dans le cadre de son projet sur l'évaluation des ressources forestières (FAO, 1991 b);
- 2- le système automatisé, mis au point à partir des données ARC/INFO et du langage AML pour faciliter la gestion des forêts en Colombie-Britannique (Thivierge 1994);
- 3- la BD développée à partir des données satellitaires et conventionnelles pour l'élaboration d'une politique de gestion des forêts à peuplement vieux en Ontario (Perera et Baldwin, 1994).

Les efforts entrepris au Maroc durant ces dernières années ont permis le développement d'une application SIG pour le suivi de l'évolution de la forêt et plus particulièrement la Mamora. La forêt de la Mamora et les plantations du Gharb, au nord-ouest de Rabat, ont une superficie d'environ 150.000 hectares. Le plan d'aménagement de cette forêt vient d'être révisé et les documents cartographiques numérisés (Messat *et al*, 1994). Ce travail a été mené dans le cadre d'un projet pilote conjoint entre le CRTS et l'AEFCS. Les objectifs du projet étaient:

- mettre en oeuvre une méthodologie adéquate pour la cartographie de l'évolution de la forêt à travers la détection des changements forestiers (coupes, reboisements);
- intégrer les données de télédétection avec les données auxiliaires sous forme d'une BD et développer un SIG, qui assurera le suivi continu de l'évolution de la forêt.

## CARTOGRAPHIE PAR TELEDETECTION DE L'EVOLUTION DE LA FORET

La méthodologie (fig. 1) développée pour la détection des changements forestiers est basée sur une approche multitemporelle combinant à la fois une technique de segmentation et la classification standard des images multispectrales Spot. La méthode de segmentation utilisée est basée sur le calcul de l'image différence (Gonzalez et Wintz, 1987) à partir des données de deux dates 1989 et 1992 après avoir rectifié ces images par rapport à la carte topographique (Lambert) et effectué le zonage forêt/non forêt. Cette technique a déjà été appliquée sur les données Landsat MSS et TM, mais en utilisant uniquement une seule bande (Mullins et Cihlar, 1989) ou au maximum deux bandes (Stone *et al*, 1989; Fung, 1989). Quand à la méthode de classification, elle est basée sur la règle de décision de maximum de vraisemblance et est appliquée directement au résultat de l'image différence en retenant trois classes (coupes, fond forestier inchangé, zone hors forêt). Cette méthodologie est valable aussi bien pour la cartographie des reboisements que pour les coupes en inversant le modèle. Les observations de terrain ont été indispensables pour réaliser la classification supervisée et produire les cartes des changements (coupes, reboisements).

L'étude multitemporelle menée sur la forêt de la Mamora a abouti à la cartographie des changements à l'échelle 1/50.000 (fig. 2) et à la production des statistiques correspondantes, pendant l'intervalle de deux ans. La confrontation de ces documents avec les observations de terrain et les données disponibles sur la forêt montre qu'une partie de ces changements est due à des opérations régulières d'aménagement (coupe, reboisement, nettoyage), et que l'autre partie est due à des délits commis par la population riveraine (coupes d'arbres isolés, écrivages). Cette carte présente deux avantages supplémentaires:

- 1- suivre l'état d'avancement des programme d'aménagement et estimer le taux de réussite des plantations;
- 2- mettre en évidence les déboisements et les coupes illicites causés par la population, en éliminant les opérations sylvicoles réalisées dans le cadre du plan d'aménagement.

## DEVELOPPEMENT D'UN SIG POUR LE SUIVI DE LA FORET

### Intégration de données

D'un côté, les résultats du traitement d'images (carte d'évolution, images Spot) ont été transférés dans un système d'information géographique afin d'approfondir l'analyse statistique des changements forestiers, de l'autre côté, les données classiques disponibles (cartes topographiques, le plan parcellaire de la forêt) ont été numérisées pour servir de support à ces résultats. Le SIG offre alors la possibilité d'analyse spatiale, de modélisation et d'édition de ces données simultanément. La figure 3 représente la méthode d'intégration adoptée et le cheminement des opérations depuis l'entrée et l'analyse de données jusqu'à la sortie des résultats sous forme de cartes (fig.2) ou de statistiques.

L'analyse statistique a été menée en exploitant les fonctions de voisinage, d'agrégation et les commandes statistiques offertes par le SIG. Elle a permis d'approfondir la connaissance des changements (coupes, reboisements) de rayon individuelle (taille, fréquence, superficie). Ces statistiques ont été représentées sous forme de rapports ou d'histogrammes, permettant par exemple, la sélection des coupes supérieures à 2 hectares et afficher le résultat graphique.

Les équipements informatiques utilisés sont: le système de traitement d'images ERDAS, le système d'information géographique ARC/INFO et la station de travail SUN-SPARC 10, avec plusieurs périphériques (lecteur de bandes magnétiques, table à digitaliser, table traçante, imprimante couleur).

## Structuration de la base de données

La structuration de la base de données a été faite selon la méthode de MERISE (formalisme individuel), en utilisant les données numériques suivantes:

- carte d'évolution de la forêt de la Mamora produite par le traitement d'image,
- plan parcellaire de la forêt fourni par l'AEFCS,
- carte topographique (tranchées, routes, hydrographie).

Un Modèle Conceptuel de Données (MCD) a été produit pour modéliser ces données et les flux d'information correspondants et en donner une représentation schématique (fig. 4). Il est formé par des entités (objets), des propriétés (attributs) et des relations (liens). Ce schéma conceptuel est subdivisé en quatre parties importantes:

- le suivi par télédétection (reboisements, déboisements),
- les infrastructures (hydrographie, desserte, tranchée),
- les opérations forestières (plantation, exploitation),
- les aléas naturels (incendies, maladies).

L'entité *parcelle* constitue l'information géographique commune à toutes les applications. Le *carreau*, à son tour, représente une partie élémentaire de la parcelle et constitue l'unité de base pour les aménagements. Le *peuplement* décrit les essences forestières qui couvrent une parcelle considérée. Chaque entité a un numéro d'identification qui est unique et qui sert de lien avec les autres entités. Les explications et les détails concernant les entités, les attributs et les relations sont données sous forme d'un dictionnaire de données.

La création des fichiers de base (entités) dépend de la nature de données utilisées (raster, vecteur, alphanumérique). La carte d'évolution (sous format raster) est superposée au plan parcellaire pour générer les statistiques de déboisement et reboisement au niveau de chaque parcelle, au moyen des instructions de recouvrement "overlay" et d'intersection. Pour les infrastructures (sous format vecteur), on cherche les éléments qui desservent chaque parcelle en utilisant l'instruction "buffer". Les fichiers alphanumériques peuplement, exploitation, carreau, plantation, incendie et maladie sont facilement créés, sous forme de table INFO. La création de relations entre deux entités se fait de façon interactive en invoquant les identifiants correspondants.

## Exploitation de la base de données

Les données de base ont été structurées de manière à créer des relations qui lient le parcellaire de la forêt avec la carte d'évolution produite par télédétection et les fichiers alphanumériques sur les exploitations, les plantations, les maladies et les incendies. Pour interroger la base de données, il faudrait en premier lieu choisir le numéro de la parcelle désirée et exécuter les fichiers de commandes (AML) correspondants à l'application voulue. La réponse sera accessible dans un fichier (ASCII) spécifique. Nous pouvons ainsi pour chaque parcelle faire les opérations suivantes:

- identifier les infrastructures qui la desservent pour intervenir rapidement en cas de feu par exemple,
- estimer les changements forestiers (déboisements, reboisements) correspondants à l'intervalle de deux ans,
- évaluer l'importance des opérations forestières et des aléas naturels pour pouvoir les comparer aux changements estimés par télédétection,
- inventorier les types de peuplements au niveau de chaque parcelle forestière, afin de pouvoir dégager une estimation économique des changements.

Nous pouvons également sélectionné les déboisements dont la superficie est supérieure (ou inférieure) à 2 ha par exemple, pour leur appliquer un aménagement ou un traitement spécifique.

## CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

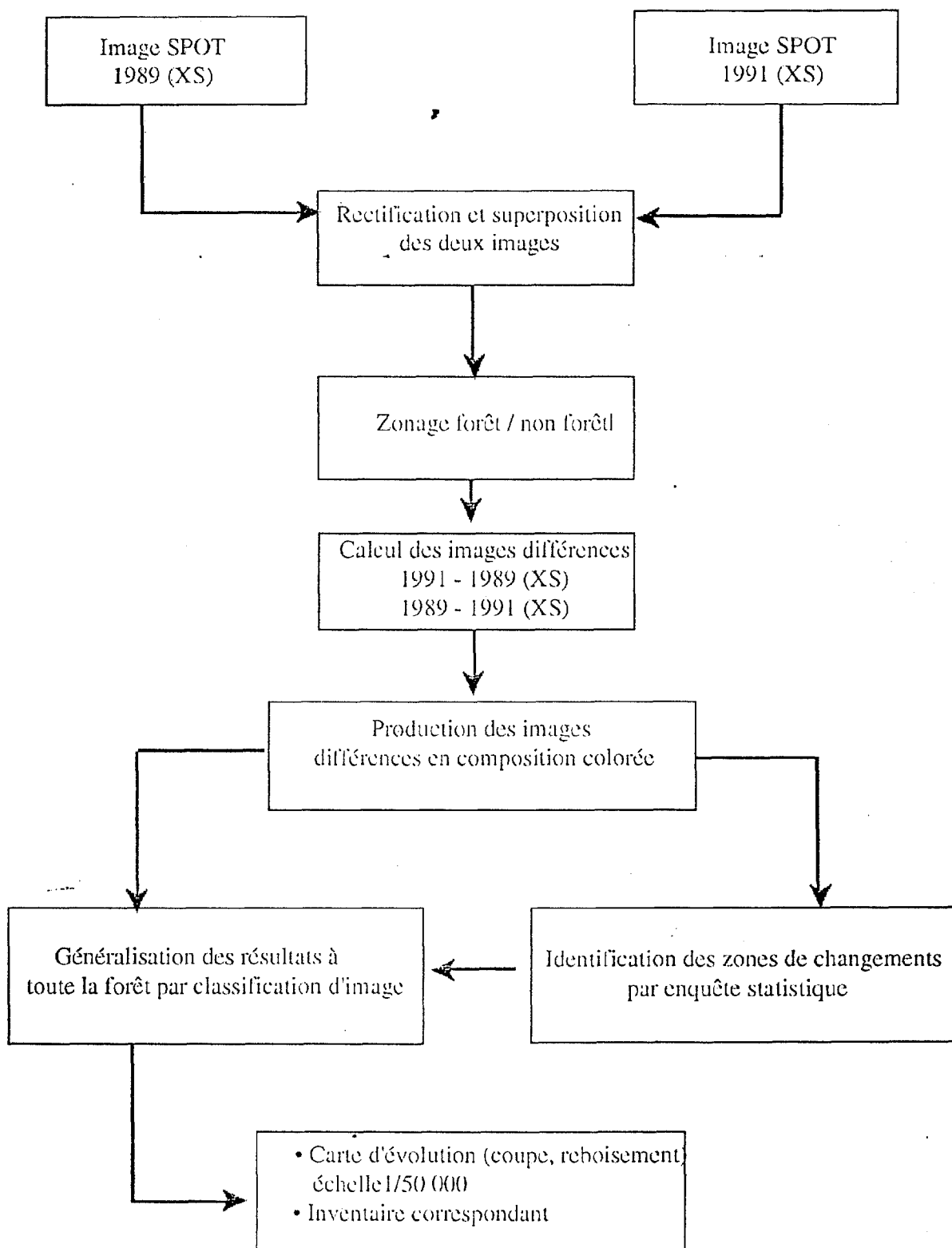
Les deux principaux objectifs du projet ont été atteints: cartographie de l'évolution de la forêt par la détection des changements et le développement d'un SIG pour la gestion des ressources forestières.

L'étude menée au Maroc a donc permis: la modélisation de la dynamique forestière (évolution de la forêt), l'implantation de ce modèle dans un SIG, l'analyse statistique et spatiale de données, la proposition de scénarios d'aménagement et enfin le développement d'une expertise dans le domaine des SIG et de la télédétection, facilitant le passage des projets pilotes aux projets opérationnels.

L'approche méthodologique développée a conduit à la mise en oeuvre d'un système de suivi et de surveillance de la forêt, basé sur un SIG, qui sera entièrement opérationnel, une fois les données relatives aux exploitations forestières et aux peuplements seront numérisées et intégrées. La mise à jour de la base de données peut être effectuée sur une base régulière, selon l'importance et la fréquence des changements forestiers (2 ans par exemple).

L'interface à l'utilisateur peut être encore améliorée par l'élaboration d'un menu principal avec des icônes qui correspondent aux différentes applications, il suffira de choisir l'application voulue et le résultat (graphique ou numérique) apparaîtra à l'écran.

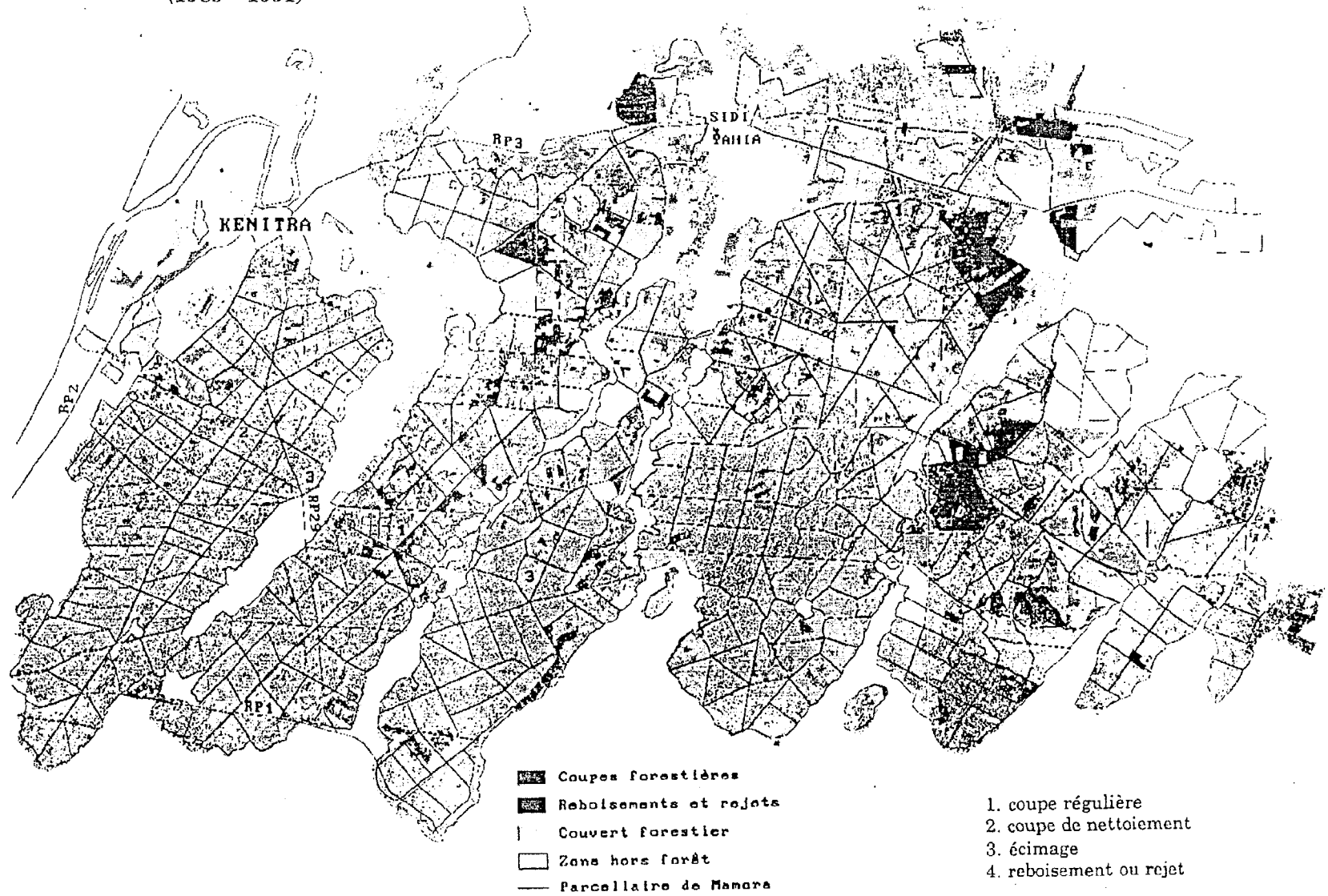
Cette approche d'aide à la gestion rationnelle des forêts peut s'appliquer dans d'autres pays africains. Néanmoins, l'utilisation opérationnelle de ces outils nécessite l'existence de données fiables et de ressources humaines compétentes, ainsi que l'acquisition d'équipements informatiques spécialisés (Aït Belaïd, 1994 b).



*Fig. 1: méthodologie d'analyse d'image*

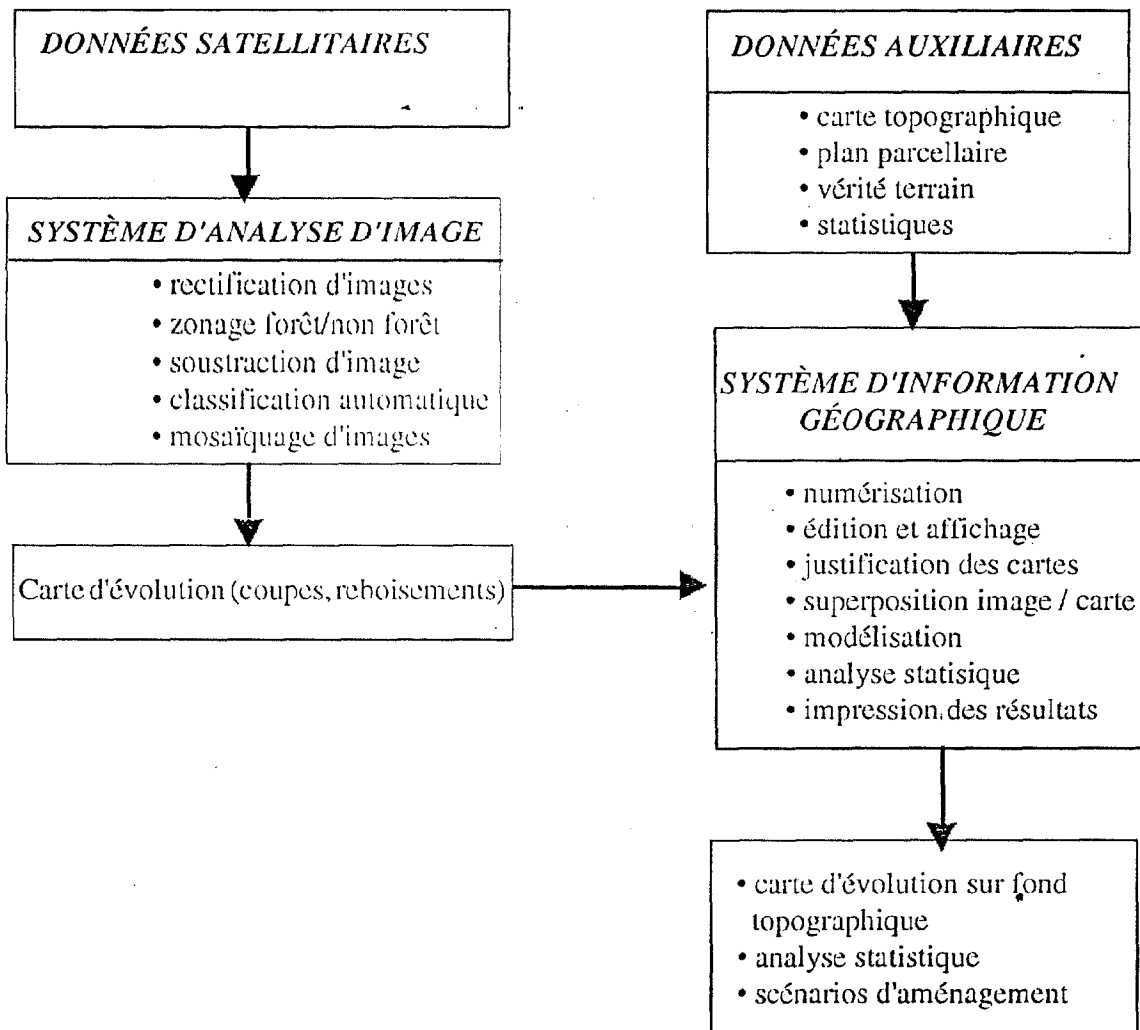
400

fig. 2 : Carte d'évolution de la forêt  
de la Mamora  
(1989 - 1991)



BEST AVAILABLE COPY

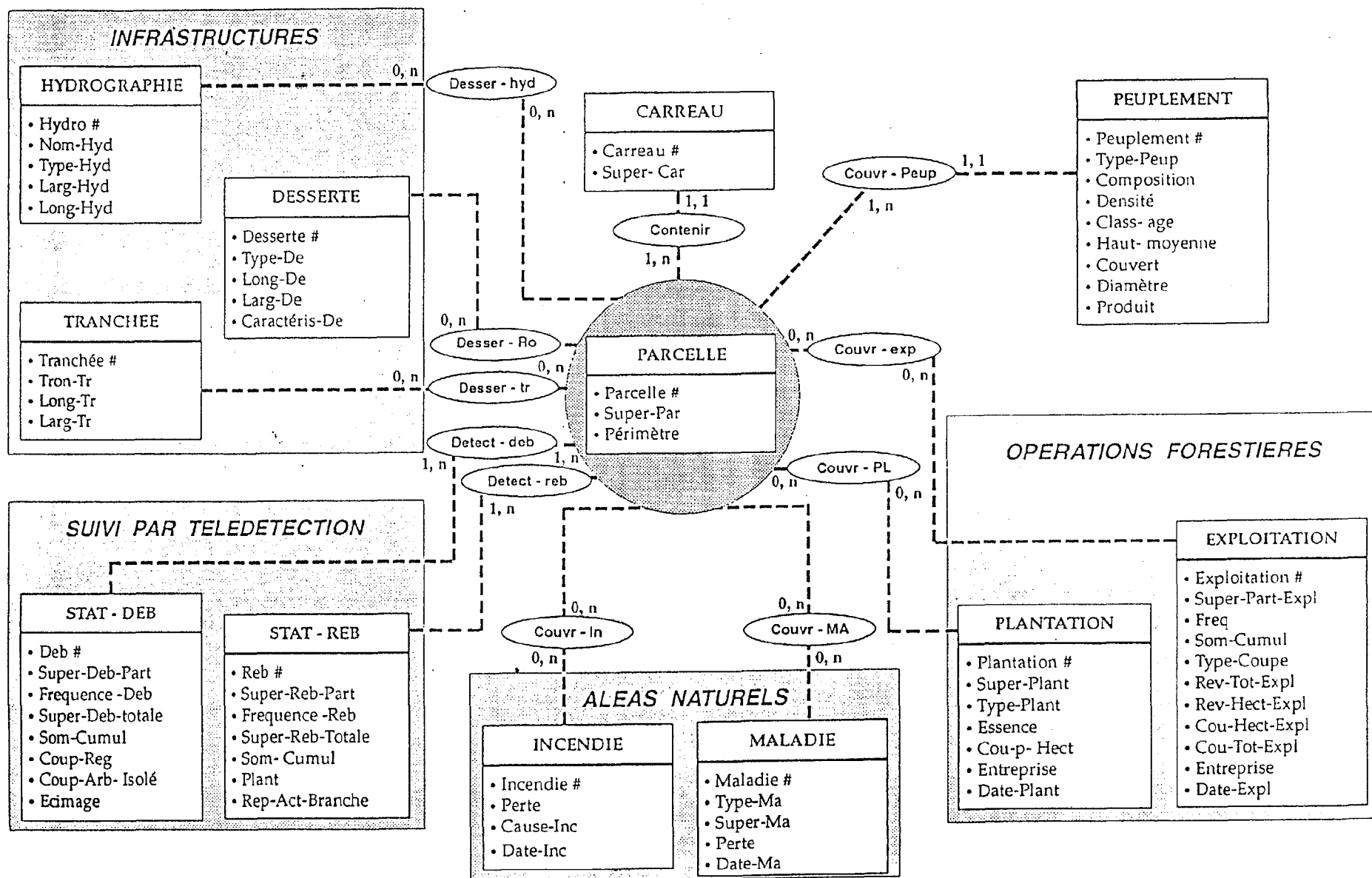
491



*Fig. 3: intégration de données classiques et satellitaires*



Fig. 4: Schéma conceptuel de données



403

# REMOTE SENSING AND GIS APPLICATIONS TO FOREST INVENTORY AND MANAGEMENT IN GHANA

## THE CASE STUDY OF AFRENSU BROHUMA FOREST RESERVE

**F. BALFOUR-AGURGO**

Forest Inventory & Management Project. Planning Branch, Kumasi, Ghana

Remote Sensing applications are often considered as cost effective procedures for the collection of data over large areas that would otherwise require a very large Input of human and material resources. The fact that Satellite remote sensing data can be processed with computers makes it the more desirable since very useful information on a particular area of interest can be obtained relatively fast for planning and management decisions to be made. Satellite Remote Sensing has not only revolutionized the work of the Geologist, but also eased the jobs of hydrologists, agriculturists, cartographers, urban planners, environmentalists, oceanographers, and not the least, Foresters.

Forest stocking assessment is a vital ingredient for the management of any forest estate. The forest as a biological resource cannot be efficiently managed for timber unless the forester has a sound knowledge of how much there is within the forest in terms of stem numbers or basal area to determine how much can be taken out at any one time and still maintain a sound forest environment. It is against this background that the Forestry Department embarked on a national forest inventory from 1985 to 1989 to determine the stocking levels and species composition of all forest reserves in the High Forest Zone of the country.

This paper seeks to demonstrate the invaluable role of GIS and Remote Sensing to the management of Ghana's forests in general with particular reference to Afrensu Brohuma Forest Reserve which is located in the North of the city of Kumasi at the periphery of the closed High Forest Zone of Ghana.

### LOCATION OF FOREST RESERVE:

The intersection of 7 degrees 23 minutes North and 1 degree 50 minutes West.

2104

# CONTRIBUTION DE LA TELEDETECTION ET DU SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE A L'EVALUATION DES RESSOURCES FORESTIERES DU ZAIRE

**B. BWANGOY-BANKANZA**

Ministère de l'Environnement, Zaïre

## 1 INTRODUCTION

La forêt couvre près de la moitié du territoire du Zaïre. Mais son étendue et sa distribution géographique ne sont pas connues avec précision. C'est ainsi que le Gouvernement du Zaïre avait créé le Service Permanent d'Inventaire et d'Aménagement Forestiers (SPIAF) avec comme mandat de faire connaître qualitativement et quantitativement ces forêts par des inventaires et de proposer des plans pour leur aménagement en vue d'une gestion rationnelle.

Dès sa création, le SPIAF s'est attelé à la réalisation des inventaires forestiers et des plans d'Aménagement. A ce jour, près de 20 millions d'hectares de forêt ont été inventoriés et 18 millions d'autres cartographiés. Ces différents inventaires ont résulté en la production de 9 plans d'Aménagement forestiers. Cependant, si le rythme d'inventaire imprimé dès le départ s'était poursuivi, la couverture totale du pays en inventaires forestiers devait attendre encore 96 ans. C'est ainsi que le SPIAF a décidé de recourir aux techniques de la télédétection dans le but de parvenir une connaissance globale de la végétation du Zaïre. Cette situation était d'autant plus urgente et nécessaire que la cartographie de la végétation est actuellement inexistante pour le Zaïre, si non très lacunaire.

En effet, la carte de végétation la plus récente qui existe actuellement est celle de la FAO qui s'était basée largement sur des cartes produites vers les années 1950 en particulier le travail de Devred (à l'échelle de 1:5.000.000) qui se serait lui-même appuyé sur les publications de Lebrun (1936), Lebrun et Gilbert (1954) et Duvigneau (1952) (Justice et al, 1992).

Au cours du présent exposé, nous nous proposons de montrer de quelle manière la télédétection et le Système d'Information Géographique ont contribué à la production d'une carte de végétation pour le Zaïre et comment le SPIAF entend utiliser ces résultats pour un aménagement durable des ressources naturelles renouvelables.

## 2 CONTRIBUTION DE LA TELEDETECTION DANS LA PRODUCTION DES CARTES DE VEGETATION AU ZAIRE

### 2.1 Travaux de l'Université du Maryland

En 1992, des chercheurs de l'Université du Maryland et de la NASA/Goddard Space Flight Center ont produit des cartes de végétation pour le Zaïre et le Cameroun en utilisant les données des systèmes satellitaires NOAA/AVHRR (National Oceanographic and Atmospheric Administration Advanced Very High Radiometer Resolution) qui fournissent une couverture globale avec une résolution de 4 Km et une couverture locale de 1 Km de résolution disponible sur demande. Dans cette étude, 4 classes de végétation seulement ont été distinguées du fait que la différenciation des classes était basée essentiellement sur la signature spectrale. Il s'agit des classes "Forêt dense humide", "Mosaïque forêt-savane", "forêt dégradée" et "savane".

406

Cette carte donne une vue globale des classes de végétation qu'on retrouve actuellement. Elle est disponible sous forme digitale et intégrée au système d'Information Géographique. De façon pratique, l'échelle la mieux adaptée est de 1:1.000.000. Lorsqu'on la réduit au cinq millionième, certains détails présents dans la carte originelle se perdent (Justice et al, 1992). Elle montre des zones de dégradation des forêts notamment autour de Djolu dans la Sous-Région de la Tshuapa, entre Niangara et Ango dans l'Uele ainsi que des zones linéaires de déforestation suivant les grands axes routiers notamment Kindu-Kasongo-Shabunda et Ilebomweka-Lusambo. Autour de grands centres urbains, on remarque une structure centrifuge de la déforestation (Justice et al, 1992)..

## 2.2 Carte Forestière Synthèse du Zaïre

### 2.2.1 Interprétation

Comme nous l'avons dit plus haut, le Service Permanent d'Inventaire et d'Aménagement Forestiers a fait recours aux techniques de la télédétection pour réaliser la cartographie de l'ensemble de la végétation du Zaïre. Ainsi, en 1989, le SPIAF a utilisé l'imagerie satellitaire Landsat MSS pour former une mosaïque de la Carte Forestière Synthèse du Zaïre. Ces images ont été reçues sous forme de produit photographique après traitement en combinant les trois bandes visibles du scanner MSS, aux échelles 1/200.000, 1/250.000, 1/400.000 et 1/500.000.

L'interprétation a été réalisée en superposant un film transparent sur l'image en traitement fausse couleur. En se basant sur la réflectance, la teinte, la texture et l'environnement de chaque élément, on a d'abord séparé les terrains forestiers des terrains non-forestiers (en ayant soin de classifier les terrains non-forestiers selon leur nature et leur utilisation) puis procédé à la stratification forestière du territoire en allant du moins dense au plus dense en passant par les stades intermédiaires.

Un raccord d'interprétation a été réalisé entre les scènes sous-jacentes lorsqu'elles étaient de même échelle, par superposition du film sur la partie commune du recouvrement. Finalement, le transfert de l'identification des strates a été réalisé entre les images voisines qui possèdent des échelles différentes.

Quatre sites ont été choisis lors de l'interprétation préliminaire comme point de contrôle sur terrain à visiter pour valider la carte finale. Ce travail a été effectué en deux étapes: d'abord le survol aérien par petit porteur et ensuite le contrôle terrestre. Il s'en est suivi une extrapolation de l'interprétation pour l'ensemble du territoire et le dessin final sur film polyester.

La stratification forestière utilisée au cours de l'interprétation est tirée du manuel de stratification forestière du territoire publié par le SPIAF en 1982. Mais étant donné les échelles des images et le but final poursuivi, le SPIAF a opté pour un regroupement des strates selon les stades de développement et le type de forêts. La codification suivante a donc été adoptée: Forêt dense Humide (DH), Forêt dense tropophile (DT), Forêt dense de montagne (DM), Forêt secondaire et jachère forestière (FB), Mosaïque de forêt et de sarans (MS), Marécage (M), Mangrove (MAG), Plantation (P), Savane (S), Galerie forestière (FG), Forêt dense sèche (DS), Eau, Forêt de bambou (BAM), Forêt claire (FC).

Compte-tenu du fait que la classe DT ne pouvait être distinguée à partir de la signature spectrale et donc que sa délimitation devenait aléatoire, elle a été supprimée après l'interprétation. Par ailleurs, plusieurs difficultés ont entouré la différenciation entre les classes DH et DS à certains endroits, notamment, dans les zones de Kahemba et Kasongo Lunda. La nette distinction a été laissée aux travaux de vérification terrestre.

### 2.2.2 Digitalisation, codification et corrections

Pour finaliser la Carte Forestière Synthèse du Zaïre, le SPIAF avait le choix entre la formation d'une mosaïque photographique (après réduction ou agrandissement de certains feuillets) et un système digital informatisé. La deuxième solution a été adoptée et la coordination technique de cette étape confiée à l'Université du Maryland. Un technicien du SPIAF fut alors envoyé pour la réalisation de cette étape.

Ainsi, près de 150 feuillets interprétés ont été digitalisés et codifiés suivant la méthode d'Arc Info. Ces interprétations ont été par la suite restituées sur une carte de base à la projection d'Albers, en se référant aux coordonnées des images fournies par EDC. Des problèmes se sont posés notamment dans la restitution de certains feuillets. Un travail est actuellement en cours en vue de surmonter toutes ces difficultés.

### 2.2.3 Travaux de vérification terrestre

La présentation de la carte a donné lieu à certaines interrogations pour des sites bien précis. Il s'agit notamment des limites entre la forêt dense humide et la forêt dense sèche, particulièrement dans le sud de la région du Bandundu où on trouve au même niveau de latitude, des galeries forestières à temperament dense humide en mélange avec des formations denses sèches. Il y a donc besoin de vérifier sur le terrain, ces différentes classes de végétation.

Compte-tenu de la difficulté de transférer des fonds à partir des USA pour le Zaïre, ces différentes missions de vérification n'ont pas encore eu lieu. Le SPIAF espère surmonter cette difficulté très prochainement et finaliser la carte le plus rapidement possible.

### 2.2.4 Sélection des couleurs

La sélection de couleur pour la présente carte ne constitue pas vraiment un élément majeur du travail. Toutefois, il est nécessaire d'y revenir, compte-tenu des difficultés que nous avons rencontrées et du manque de différenciation nette entre certaines classes. En effet, la grille de coloration choisie n'a pas pu permettre une nette distinction entre la forêt dense de montagne et la forêt dense humide par exemple. Un travail est actuellement en cours dans le but d'obtenir la meilleure sélection des couleurs avant l'impression finale de la carte.

## **2.3 Résultat**

La Carte Forestière Synthèse du Zaïre présente une bonne vision de différents groupements végétaux. D'autre part, elle a été corrigée à certains endroits en tenant compte des données détaillées existant au SPIAF et de la connaissance à partir des travaux de terrain.

### 2.3.1 Estimation préliminaire des superficies

Le temps imparti à l'Université du Maryland ne nous a pas permis de réaliser le décompte pour chaque classe de végétation. Toutefois, la planimétrie préliminaire effectuée au SPIAF à partir d'une grille de points cotés donne les résultats suivants:

FORMATION VEGETALE	SUPERFICIE (KM2)	% FORET	% TERRITOIRE
FORET DENSE HUMIDE	872.251,16	68,14	37,20
FORET DENSE DE MONTAGNE	38.612,39	3,01	1,65
FORET DENSE TROPOPHILE	51.946,17	4,06	2,22
FORET DE GALERIE	2.500,08	0,19	0,11
FORET DE MANGROVE	555,57	0,04	0,02
FORET CLAIRE (MIOMBO)	102.225,61	7,99	4,36
FORET SECONDAIRE	121.670,70	9,50	5,19
FORET DE BAMBOU	1.666,72	0,13	0,07
FORETS MARECAGEUSES	88.614,05	6,92	3,78
<b>TOTAL FORET</b>	<b>1.280.042,46</b>	<b>100,00</b>	<b>54,59</b>
MOSAIQUE FORET-SAVANE	165.838,83		7,07
NON INTERPRETE	67.502,24		2,88
PLANTATIONS	555,57		0,02
SAVANES	768.358,82		32,77
EAU	62.502,07		2,67
<b>TOTAL</b>	<b>2.344.800,00</b>		<b>100,00</b>

### 2.3.2 Etude préliminaire des perturbations en forêt naturelle

En examinant attentivement cette carte, nous pouvons affirmer d'une manière générale:

- que la forêt dense sèche à presque disparu au Zaïre. Les quelques reliques se confinent actuellement au sud et au sud-ouest de la région du Bandundu, dans la frontière angolaise.
- que la déforestation est en train de prendre place un peu partout dans le grand massif forestier de la Cuvette Centrale, les points les plus perturbés se situant suivant les grands axes routiers, le long de grands cours d'eau et autour de grands centres urbains.

Ainsi pour la région de l'Equateur, les zones les plus déboisées se situent:

- au Sud-Ubangi, suivant les axes Kungu-Gemena-Budjala-Bosobolo où l'on a constaté même des déboisements sur terre hydromorphe;
- dans la Mongala et au Nord Ubangi, suivant les axes Bumba-Businga et Bumba-Bolonge en passant par Boyange et suivant l'axe Bumba-Abusombanzi;
- dans la Mongala, au sud du fleuve Zaïre, le long de l'axe Mongana-Bompeka-Busu Melo-Bongbonga;
- dans la Sous-Région de l'Equateur, autour de la ville de Basankusu, le long des axes routiers Bolomba-Boso Djalo, Mbandaka-Bikoro-Ingende;
- dans la Sous-Région de la Tshuapa, le long des axes Monkoto-Watsi Kango, Boende-Befale, le long de l'axe routier qui va de Bokungu à Opala et le long de la rivière Lulonga particulièrement entre Lifoku et Baringa.

Pour la région du Haut-Zaïre, tous les axes routiers touchés à des degrés divers, notamment:

- les axes routiers Kisangani-Banalia-Wamba, Kisangani-Ubundu, Kisangani-Wanie Rukula, Isangui-Opala;
- sur la route qui mène vers Lubutu et sur la route de Bafwasend, le long de tous les axes routiers partant d'ISIRO ainsi que dans le Nord-Est de la Sous-Région de l'Ituri.

Pour la région du Kivu, la déforestation est en train de progresser vers l'Intérieur du massif de la Cuvette, en partant de l'Est déjà entamé. En dehors de quelques forêts de moyenne montagne qui s'apparentent d'ailleurs à la forêt dense ombrophile de la Cuvette, les forêts de haute montagne sont actuellement remplacées par des pâturages. La zone de Beni et surtout le Maniema semblent être les régions les plus touchées. Dans la région du Maniema, tous les axes routiers partant de Kabambare-Kasongo-Shabunda-Kongolo-Nyunzu) sont particulièrement touchés par le déboisement.

La région du BANDUNDU, moins pourvue en forêt, subit une déforestation particulièrement sévère le long et au sud de la rivière Kasai qui constitue aussi la limite sud de la grande forêt de la Cuvette Centrale. Les galeries forestières du Kwango sont aussi très touchées.

Les forêts des régions du Kasai sont les moins touchées en dehors de celles situées dans l'axe routier Katakokombe-Kindu. Cette situation est due au fait que le Parc National de la Salonga Sud couvre une grande partie de la forêt de ces deux régions.

Enfin, les forêts du Bas-Zaïre sont actuellement presque toutes épuisées, en dehors de la réserve forestière de la Luki.

## **2.4 Comparaison avec les données antérieures**

La Carte de végétation publiée par Devred en 1954, en plus de son manque d'actualité, ne donne pas de limites de classe précises. Une large surestimation est faite au niveau des classes de mosaïque et de forêts claires. Les limites de la forêt dense humide ne sont pas non plus précises.

La carte de végétation publiée par Biodiversity Support Programme et préparée à partir des images satellitaires NOAA AVHRR est beaucoup plus précise que la Carte antérieure (celle de Devred) mais il existe quelques distorsions avec la Carte du SPIAF particulièrement à l'Est en raison de la présence de vastes étendues de pâturage dont la signature spectrale peut se confondre avec certaines formations tropophiles. Par ailleurs, certaines formations secondaires, pour la même raison, sont surestimées, particulièrement lorsqu'elles sont en contact avec des formations primaires moins denses.

## **3. UTILISATION DE LA CARTE DE VEGETATION POUR UN AMENAGEMENT ET UNE UTILISATION DURABLES DES RESSOURCES NATURELLES ET POUR LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT GLOBAL**

### **3.1 Zonage du territoire National en unités d'aménagement et de gestion**

La Carte Forestière Synthèse du Zaïre était très attendue par les gestionnaires des ressources naturelles du Zaïre, en particulier, le Ministère de l'Environnement, Conservation de la Nature et Tourisme, qui a dans ses attributions la gestion des ressources naturelles renouvelables et la protection de l'environnement d'une manière générale.

Cette carte devait servir entre autre de support au projet de zonage du territoire national qui consiste en la subdivision du territoire en unités de gestion et d'aménagement forestiers. Une ébauche de ce zonage existe actuellement au SPIAF mais sa finalisation était subordonnée, outre la production de la Carte Synthèse, d'une concertation préalable entre les différents intervenants dans la gestion du territoire (Ministère des Travaux Publics, Ministère des Affaires Foncières, Ministère de l'Administration du Territoire, Ministère de l'Agriculture, Organisation Non Gouvernementales, communautés locales, etc.), en vue de dégager un consensus sur l'utilisation des terres.

Le SPIAF se propose ainsi de finaliser ce travail qui représente, au stade actuel de sa conception, une ébauche technique qu'un plan d'aménagement définitif. Il servira à démontrer d'abord comment générer un tel plan, en tenant compte des éléments techniques et des suppositions réalistes concernant l'état actuel des ressources, la situation socio-économique et les projections sur l'utilisation de ces ressources. Il devra déboucher sur la production d'un document technique qui sera soumis aux différents partenaires cités ci-haut, pour une concertation en vue de dégager le consensus auquel nous avons fait allusion précédemment. Certains autres éléments techniques (notamment la distribution des types de sol et certains éléments climatiques) ne seront probablement pris que suivant un certain nombre de supposition, le SPIAF étant parfaitement conscient du manque de fiabilité des documents existant actuellement ainsi que le prouve à suffisance la grande distorsion existant entre la Carte Synthèse et la Carte de végétation antérieure. Il espère toutefois apporter des améliorations, chaque fois qu'il devra progresser dans ses travaux de recherche.

### **3.2 Etablissement d'un système de surveillance continu de l'environnement**

La Carte Forestière Synthèse du Zaïre présente une vision globale de la situation de la végétation du Zaïre pour l'année de référence 1986. Cette situation, comparée à la situation actuelle, peut nous permettre de déterminer d'une manière générale, la dégradation ou l'amélioration s'il échet, des forêts de notre pays entre les périodes de comparaison. Aussi, conscient du fait que la forêt est un système dynamique qui évolue dans le temps en fonction des

paramètres du milieu et de l'utilisation, le SPIAF a décidé de mettre en place un système de surveillance de toutes les ressources, année par année, en utilisant l'imagerie satellitaire.

L'installation d'un tel système a déjà obtenu le soutien de plusieurs partenaires, notamment l'Université du Maryland, la Banque Mondiale et la FAO. Ainsi, grâce aux deux premiers, le SPIAF vient de se doter d'un laboratoire de cartographie informatique et d'analyse des images satellites (computer cartography and image processing laboratory). La Carte Forestière Synthèse du Zaïre étant disponible sous forme digitale, elle devra continuellement être actualisée en fonction de la nouvelle situation dans l'utilisation du territoire. A cet effet, le SPIAF est en pour-parlers avec certains partenaires extérieurs qui, grâce à l'installation des stations de réception des images satellites à Libreville et à Nairobi, peuvent lui fournir des données satellitaires.

### **3.3 Préparation de la Carte écologique du Zaïre**

Le SPIAF souhaite intégrer les données de la Carte de végétation aux éléments climatiques, en vue de produire une carte écologique fiable. Ce travail est encore au niveau de la conception.

### **3.4 Estimation de la biomasse forestière**

En vue de déterminer l'effet de la déforestation sur l'environnement, le SPIAF espère réaliser des travaux de terrain permettant l'estimation de la différence de biomasse entre une végétation naturelle non perturbée et des végétations de type "secondaires". Ce travail pourra aider le SPIAF à sortir des modèles d'estimation du déficit d'accumulation de la biomasse, qui est en étroite corrélation avec le taux de CO<sub>2</sub> émis dans l'atmosphère.

## **ANNEXE: DESCRIPTION DES PRINCIPALES CLASSES DE VEGETATION**

### **1. Végétation ligneuse**

#### **1.1 Forêt dense humide**

Dans cette classe de végétation ont été regroupées les forêts ombrophiles sempervirentes et les forêts denses humides semi-caducifoliées, la signature spectrale des images LANDSAT MSS ne permettant pas de différencier ces deux types de formation.

##### **1.1.1 Forêt ombrophile sempervirente**

La forêt dense humide est un climax constitué généralement de cinq strates bien individualisées. La strate arborescente supérieure est uniforme, dense et souvent dominée par une essence caractéristique. Le maintien de ce climax est conditionné soit par des variables climatiques, soit par des variables d'ordres édaphiques. D'une manière générale, c'est le régime de précipitation et le stade de développement qui déterminent la végétation. La physionomie de cette formation est très variable. D'une manière générale, elle est encombrée de lianes en bordure de rivières; sur plateau, elle est plus lourde et le sous-bois est considérablement plus clair. Sa composition floristique est fort variable avec des dominances locales. Ces variations s'expliquent plus souvent par des variations du substrat et des conditions climatiques locales.

##### **1.1.2 Forêt semi-caducifoliée**

La forêt semi-caducifoliée (DHC) est un type de formation dans lequel certaines espèces perdent leurs feuilles en période de sécheresse relative. On les retrouve particulièrement sur sol pauvre et filtrant qui ne gardent pas suffisamment d'humidité en période de flétrissement. Le climat dominant est souvent du type continental, à la limite inférieure des climats de la forêt sempervirente. Les interventions humaines ayant aussi fortement remanié les



formations primitives, on peut considérer la plupart des forêts semi-caducifoliées comme étant des formes de transition vers ou à partir des forêts ombrophiles sempervirente.

### **1.1.3 Forêt marécageuse**

Les formations forestières que l'on trouve sur sol gorgé d'eau tout au long de l'année montrent une signature spectrale nettement plus différente des forêts sur terre ferme. Ces formations se retrouvent principalement le long du fleuve Zaïre, de ses tributaires et des rivières. Elles se constituent d'une strate arborée dominante sous laquelle on retrouve un sous-bois très dense principalement dominé par des épiphytes. La lumière n'y pénètre que très faiblement, ce qui exclut l'établissement des plantes héliophytes aquatiques.

### **1.2 Forêt de montagne**

Pour l'élaboration de la Carte Forestière Synthèse du Zaïre, il était difficile de distinguer la forêt dense de montagne de la forêt dense humide. Le SPIAF a dû pour s'en sortir, réaliser plusieurs travaux de terrain et effectuer des survols aériens dans la région montagneuse du Kivu. Ainsi, on peut distinguer les types suivant de végétation:

La répartition de la forêt de montagne entre ses limites altitudinales paraît assez claire. En se basant sur la composition floristique et la physionomie, on distingue, les forêts de basse montagne dans la zone comprise entre 1.350 et 1.800 m, les forêts de moyenne montagne dans la zone située entre 1.800 et 2.000 m d'altitude, les forêts de haute montagne que l'on rencontre au delà de 2.000 m, les forêts mésophiles de montagne localisées entre 1.400 et 1.600 m d'altitude et les formations secondaires.

#### **1.2.1 Forêts de basse montagne**

Ce sont des formations forestières montagnardes qui se rapprochent des forêts ombrophiles. Pentadesma lebrunii, Lebrunia buschaie, Aninqueria adolfi-frederichii y sont des espèces dominantes. Ces formations forestières sont surtout associées à un milieu écologique correspondant à des précipitations élevées induisant une sécheresse physiologique de très courte durée.

La futaie est assez élevée, le sous-bois très dense et les épiphytes nombreux et représentés surtout par des lichens foliacés et des bryophytes (Lebrun, 1935). Les arbres à feuilles composées sont très fréquents et le feuillage généralement plus développé, souvent denté. On peut rencontrer des espèces à feuilles caduques. La strate dominante (pouvant atteindre 30 m) est particulièrement composée de Lebrunia bushaie, Entandrophragma speciosum, Ficalhoa laurifolia, Octea usambarensis et strombosia grandifolia. Dans l'étage moyen, on rencontre les espèces suivantes: Anthocleista orientalis, Carapa grandiflora, Conopharyngia johnstonii et Grewia milbraedii.

La strate arbustive très fournie, est souvent composée des Phanérophytes suivantes: Ficus strophophylla, Gaertinea paniculata, Hypericum rwenzoriense, Olea milbraedii, Afrodisia dentata, Micrococca Volkensii, etc. Parmi les fougères arborescentes, on retrouve principalement des Cyanthea, généralement confinés par groupe, dans les ravins et les vallées encaissées et souvent en compagnie des bananiers sauvages.

Dans la strate herbacée, on retrouve fréquemment Cardamine trichocarpa, Coleur luteus, Impatiens sp., et Oplismenus hirtellus.

#### **1.2.2 Forêts de moyenne montagne**

Les forêts de moyenne montagne se rencontrent dans les altitudes comprises entre 1.800 et 2.000 m. La futaie est assez élevée, la croissance des arbres assez régulière, les troncs généralement droits et élancés, les cimes flabelliformes. Les limbes des feuilles sont très développées et on rencontre plusieurs espèces à feuilles composées ou dentées.

Les épiphytes sont très abondantes dont les plus importantes sont: Asplenium hypomelas, Lepycystis lanceolata, polypodium excavatum, Bulbophyllum cupiligerum et polystachya gracilentia.

Dans la strate arborée, on remarque souvent une nette prédominance d'Entandrophragma Speciosum, Ekerbegia ruppeliana, Ficalhoa laurifolia, Ochna densicornis et Ocotea sp.

Les arbustes sont assez abondants; les plus importants sont: Alchornea glabrata, Cluytia abyssinica, Coffea kivuensis et Ficus Strotophylla.

La strate herbacée est très ouverte, dans laquelle prédomine Afriligisticum chaerophyllodes, Chlorophytum macrophyllum, calamintha cryptantha, Coleus luteus et Impatiens sp.

### **1.2.3 Forêts de haute montagne**

La futaie est souvent basse et les arbres, dominants par la taille, ne dépassent guère 10 à 15 m de hauteur. Les troncs sont souvent noueux et tordus et les cimes irrégulières, ce qui traduit une croissance très lente et dépourvue de régularité, ainsi qu'un régime de vents assez violents. Les épiphytes particulièrement abondantes sont surtout représentées par les lichens et les bryophytes.

Les feuilles adultes sont petites ou réduites, la texture est, le plus souvent cartacée ou coriace et la face supérieure luisante ou cileuse. Très peu d'espèces ont des feuilles composées. Ekerbegia ruppeliana, Ficalhoa larifolia, Olea hochstetteri, Parinari milbraedii, Podocarpus milanjanus et Sideroxylon adolfi sont parmi les espèces dominantes de la strate arborée. La strate arbustive est moins fournie. On rencontre quelques phanérophtes tels: Alchornea glabrata, Ceropegia sp. et Geranium simense.

### **1.2.4. Forêts mésophiles de montagne**

La végétation couvrant la plus grande partie des régions montagneuses de moyenne altitude subit les effets d'une saison sèche plus ou moins sévère (Lebrun, 1935) et de la bande de "foehn". Le régime des pluies détermine deux milieux écologiques distincts: une région mésoxérophyle dont le climax est constitué de formations forestières claires, à feuillage persistant et coriace et une région mésophile qui, suivant les conditions édaphiques, détermine des types particuliers de végétation.

En dehors des forêts de bambou, tous les autres types de végétation forestière de montagne ont été regroupés dans la catégorie "Forêt Dense de Montagne" (DM).

### **1.3 La forêt dense sèche ou "muhulu"**

La forêt dense sèche du Shaba, est une formation forestière adaptée à l'existence d'un climat tropical de type Aw de Köppen. Aussi désignée par le terme "muhulu", cette forêt représente le climax du sud du Zaïre. Du point de vue physiologique, la forêt dense sèche appartient au type de forêt dense semi-décidue à distribution zambézienne (Schmitz, 1963). Les essences caractéristiques de ce type de forêt sont: Brachystegia Spp., Parinari excelsa, Strychnos, Combretum, Marquesia, pour ne citer que celles-là. On y trouve divers stades de développement allant du tapis de rameaux sarmenteux à la vieille futaie en passant par le huisson bas, le recru dense et le perchis enveloppé de lianes.

### **1.4 La forêt claire dite "miombo"**

L'écosystème "miombo" est un type de forêt claire à dominance de Brachystegia sp., Julbernadia sp. et Isoberlinia sp.. C'est une formation mixte avec une strate graminéenne peu dense sous un peuplement forestier de 15 à 25 mètres de hauteur (Aubreville, 1957, cité par Malaisse, 1979). Peterken (1967) définit à son tour le "miombo" comme un exemple de forêt caducifoliée microphyllée ouverte. Cette formation forestière n'est pas considérée comme un climax mais comme un pyroclimax résultant des perturbations anthropiques dans la forêt dense sèche.

412

# BILAN DES SUPERFICIES DES FORÊTS DE LA ZONE DENSE DE LA CÔTE D'IVOIRE (Forêts classées, Parcs Nationaux et Massifs Forestiers du Domaine Rural)

**A. CONDE, J. KENA, D. NADAUD, A. KOFFI**

Direction et Contrôle des Grands Travaux (DCGTx), Centre de Cartographie et de Télédétection, Abidjan, Côte d'Ivoire

## **INTRODUCTION**

---

Les ressources forestières constituent une des principales sources de revenu de la Côte d'Ivoire. Du Sud au Nord, on y rencontre différents types d'écosystèmes forestiers allant des forêts denses (forêt dense sempervirente, forêt dense semi-décidue, forêt de montagne, ...) au Sud et aux formations savaniques (savane boisée, arborée, arbustive et herbeuse) au Nord.

Au cours de ces vingt dernières années, la couverture forestière de la Côte d'Ivoire a subi une forte régression.

Le bilan de la situation des superficies des forêts en Côte d'Ivoire est un volet du Prêt Sectoriel Forestier (PSF), vaste programme de réhabilitation du secteur forestier. Ce projet a pour but principal d'établir un inventaire par cartographie des massifs forestiers du Domaine Permanent de l'Etat (DPE) et du Domaine Rural de la zone dense humide du pays.

Au delà des termes de référence qu'il rappelle, ce présent rapport donne la méthodologie suivie pour établir des documents cartographiques à 1/200.000 et 1/500.000 :

- travaux préliminaires à l'interprétation,
- interprétation des images satellitaires,
- validation des résultats de l'interprétation,
- rédaction cartographique et édition,
- digitalisation des résultats.

## **1.0. - RAPPEL DES TERMES DE REFERENCE**

---

### **1.1. - INTRODUCTION**

Les réunions techniques tenues à l'occasion de la première mission de supervision (démarrage) du Projet Sectoriel Forestier ont mis en évidence la nécessité de pouvoir disposer de cartes simplifiées et à petite échelle pour préparer des plans de développement forestier à l'échelle des régions et pour l'ensemble de la zone forestière dense du pays.

### **1.2. - OBJECTIFS DE L'ETUDE**

La réalisation de cette étude doit permettre :

- de réviser si nécessaire la programmation (identification des forêts et calendrier des travaux) des aménagements des forêts classées de la moitié Sud du pays;
- d'identifier immédiatement les massifs forestiers du Domaine Rural qui pourraient, après enquête ultérieure, faire rapidement l'objet de mesures de protection et éventuellement d'un classement, permettant ainsi de compenser d'éventuels déclassements;
- de répartir au mieux dans l'espace et dans le temps les moyens destinés à la protection des massifs forestiers classés afin de minimiser le processus de déforestation à l'échelle de la zone forestière dense et non uniquement sur quelques forêts classées;
- de programmer et de préparer de nouvelles opérations de développement forestier non prises en compte par le PSF;
- d'actualiser les connaissances sur la production à attendre des forêts classées (forêt naturelle et reboisements) permettant d'orienter la politique du développement et de restructuration de la filière bois.

### **1.3. - CONTENU DE L'ETUDE**

L'étude concerne la totalité de la zone de forêt dense, soit environ 16 millions d'hectares, et comporte les travaux suivants :

- . réalisation d'une carte thématique à 1/200.000 en 19 feuilles représentant la situation du couvert forestier ;
- . réalisation d'une carte de synthèse à 1/500.000 en 2 feuilles ;
- . rédaction d'un rapport de synthèse ;
- . fourniture de deux copies (compositions colorées à 1/100.000) des images satellitaires couvrant le secteur concerné et servant de base à l'étude.

#### **1.3.1. - Cartes à 1/200.000**

Ces cartes seront établies selon le découpage de la Carte Internationale du Monde (CIM) à 1/200.000. On distinguera le Domaine Forestier Permanent et le Domaine Rural. Les limites du Domaine Forestier Permanent seront reportées comme suit :

- pour les forêts classées qui ont fait l'objet d'un arrêté de reclassement suite à une étude de délimitation de la SODEFOR, les limites dessinées par SODEFOR (Direction de la Délimitation) sur un fond topographique issu des cartes IGCI à 1/50.000;
- pour les forêts redélimitées par la SODEFOR et qui n'ont pas fait l'objet d'un arrêté de reclassement, les limites dessinées par SODEFOR (Direction de la Délimitation) à partir des cartes IGCI à 1/50.000 ; ainsi que les limites de forêts classées indiquées sur un fond topographique issu des cartes IGCI à 1/200.000;

- pour les parcs, les limites dessinées par la Direction des Parcs Nationaux à partir des cartes IGCI à 1/50.000 ; ainsi que les limites de forêts classées indiquées sur un fond topographique issu des cartes IGCI à 1/200.000;
- pour toutes les autres forêts classées, les limites de forêts classées indiquées sur les cartes IGCI à 1/200.000.

L'étude cartographique s'appliquera pour chaque forêt classée à l'emprise la plus large telle que définie ci-dessus.

a - A l'intérieur du Domaine Forestier Permanent

L'aire minimale des unités cartographiques est de 400 hectares ; les thèmes représentés sont les suivants :

THEME ET SYMBOLE CARTOGRAPHIQUE	CARACTERISTIQUES DE TERRAIN
<b>Forêt</b> <b>F</b>	Sol occupé à plus de 90 % par la forêt primaire ou secondaire et incluant les écosystèmes ripicoles de fond de vallée et les formations marécageuses
<b>Mosaïque forêt-culture à dominance forêt</b> <b>FC</b>	Sol occupé de 50 à 90 % par la forêt. Canope discontinue de forêt ouverte par des cultures, jachères, recrus sur jachères et cultures sous forêt.
<b>Mosaïque cultures-forêt à dominance culture</b> <b>CF</b>	Sol occupé de 10 à 50 % par la forêt. Canope discontinue de forêt ouverte par des cultures, jachères, recrus sur jachères et cultures sous forêt.
<b>Cultures</b> <b>C</b>	Sol occupé à moins de 10 % par la forêt. Mosaïque de parcelles de cultures vivrières et/ou pérennes, de défrichements, de jachères et de rares îlots de forêt ouverte.
<b>Blocs agro-industriels</b> <b>Bi</b>	Sol occupé à 100 % par des cultures agro-industrielles
<b>Blocs de reboisement</b> <b>R</b>	Sol occupé à 100 % par des plantations d'essences forestières
<b>Savane</b> <b>S</b>	Savane herbeuse et/ou arbustive et/ou arborée
<b>Inselberg et/ou sol nu</b> <b>I</b>	Zone de rochers découverts et inselbergs granitiques avec peu ou pas de végétation herbacée, arbustive et/ou arborée basse.

416

#### **b - Dans le Domaine Rural**

L'aire minimale des unités cartographiques est de 1000 hectares d'un seul tenant; ce seuil est ramené à 400 hectares dans le cas de massifs forestiers contigus au Domaine Forestier Permanent de l'Etat.

Les thèmes cartographiés sont la forêt et la mosaïque forêt/culture à dominance forêt.

#### **c - Pour l'ensemble de la zone étudiée**

Dans le cas où aucune image ne serait disponible pour la zone d'étude, la cartographie existante sera mise à jour, ou une cartographie sommaire sera réalisée à partir d'un survol aérien.

Les éléments du fond topographique à 1/200.000 figureront sur la carte thématique, les principales mises à jour concernant les nouvelles routes, les villages et campements à l'intérieur ou à proximité des massifs forestiers, les limites de sous-préfecture et de département seront portées sur la base des indications figurant sur les cartes à 1/200.000 du Ministère de l'Equipement, des Transports et du Tourisme.

Ces cartes forestières à 1/200.000 seront accompagnées d'une notice qui précisera le contenu des thèmes cartographiés, les superficies et les dates de référence des documents de télédétection sources.

#### **1.3.2. - Cartes à 1/500.000**

A partir d'une réduction photographique de ces cartes thématiques à 1/200.000, 4 cartes de synthèse seront réalisées sur fond planimétrique à 1/500.000.

La légende retenue pour les cartes à 1/500.000 est la même que pour les cartes à 1/200.000.

#### **1.3.3. - Rapport de synthèse**

Ce rapport fait le point des surfaces occupées par les thèmes dans la zone forestière dense :

- par sous-préfecture et département, en distinguant le Domaine Forestier Permanent du Domaine Rural ;
- par forêt classée, en distinguant les sous-préfectures et départements auxquels elles appartiennent.

Toutes ces informations seront également fournies sur disquettes enregistrées soit à partir d'un tableur (Lotus ou Quattro pro), soit sur le système de gestion de fichier Paradox.

#### **1.3.4. - Images satellites**

Deux copies (compositions colorées en combinaison bande couleur 4 rouge, 5 vert, 7 bleu à 1/100.000) des images satellites LANDSAT TM commandées spécifiquement pour l'étude seront remises à la SODEFOR. Ces images correspondent aux références de 1989, 1990 et 1991 indiquées dans le tableau suivant qui présente, pour chaque degré carré étudié, l'ensemble des images satellitaires SPOT et LANDSAT utilisées.

Degré carré	LANDSAT TM	Date	Spot XS	Date
Agnibilékro	195 - 55 # 1	20 - 12 - 86	53 - 335	04 - 01 - 91
	195 - 55 # 3	20 - 12 - 86	53 - 336	23 - 12 - 89
			53 - 337	04 - 01 - 91
Dimbokro	196 - 55 # 3	30 - 12 - 90		
	196 - 55 # 4	30 - 12 - 90		
	196 - 55 # 2	20 - 12 - 86		
	196 - 56 # 2	30 - 12 - 90		
	196 - 56 # 1	30 - 12 - 90		
Abengourou	195 - 56 # 1	02 - 01 - 89	51 - 336	26 - 01 - 88
	195 - 55 # 3	20 - 12 - 86	53 - 336	23 - 12 - 89
	196 - 55 # 4	30 - 12 - 90	53 - 337	04 - 01 - 91
	196 - 56 # 2	30 - 12 - 90	53 - 338	04 - 01 - 91
Taï	197 - 57 # 1	16 - 01 - 86	45 - 338	13 - 12 - 88
	198 - 56 # 2	28 - 12 - 90	45 - 339	13 - 12 - 88
	198 - 56 # 4	28 - 12 - 90	45 - 340	13 - 12 - 88
			46 - 338	18 - 12 - 88
			46 - 339	24 - 12 - 88
			46 - 340	26 - 12 - 90
Grand-Bassam	195 - 56 # 1	02 - 01 - 89	53 - 338	04 - 01 - 91
	195 - 56 # 3	02 - 01 - 89	54 - 339	27 - 12 - 90
	195 - 56 # 4	02 - 01 - 89		
	196 - 56 # 2	30 - 12 - 90		
Tabou	197 - 57 # 1	16 - 01 - 86	45 - 340	13 - 12 - 88
	198 - 56 # 4	28 - 12 - 90	45 - 341	13 - 12 - 88
			46 - 340	26 - 12 - 90
Abidjan	195 - 56 # 3	02 - 01 - 89		
	196 - 56 # 1	30 - 12 - 90		
	196 - 56 # 2	30 - 12 - 90		
	196 - 56 # 3	30 - 12 - 90		
	196 - 56 # 4	30 - 12 - 90		
	196 - 57 # 1	30 - 12 - 90		
Toulepleu	198 - 55 # 3	28 - 12 - 90		
	198 - 56 # 1	28 - 12 - 90		
Sassandra	197 - 57 # 1	16 - 01 - 86	47 - 340	03 - 01 - 89
	197 - 57 # 2	16 - 01 - 86	48 - 340	26 - 12 - 90
			46 - 340	26 - 12 - 90
Grand-Lahou	196 - 56 # 1	30 - 12 - 90	48 - 339	19 - 02 - 91
	196 - 56 # 3	30 - 12 - 90	48 - 340	26 - 12 - 90
	197 - 56 # 2	16 - 01 - 86	49 - 340	23 - 03 - 88
	197 - 56 # 4	16 - 01 - 86		
	197 - 56 # 2	* déc-jan 93		
	197 - 56 # 4	* déc-jan 93		

Degré carré	Landsat TM	Date	Spot XS	Date
Daloa	197 - 55 # 3	06 - 01 - 91		
	198 - 55 # 4	28 - 12 - 90		
	198 - 56 # 2	28 - 12 - 90		
Séguéla	197 - 55 # 1	06 - 01 - 91		
	197 - 55 # 3	06 - 01 - 91		
	198 - 55 # 2	28 - 12 - 90		
	198 - 55 # 4	28 - 12 - 90		
Gagnoa	196 - 55 # 3	30 - 12 - 90	48 - 337	28 - 02 - 90
	196 - 56 # 1	30 - 12 - 90	49 - 337	03 - 08 - 86
	197 - 56 # 2	16 - 01 - 86		
	197 - 55 # 4	16 - 01 - 91		
	197 - 56 # 2	* déc-jan 93		
Man	198 - 55 # 1	28 - 12 - 90		
	198 - 55 # 2	28 - 12 - 90		
	198 - 55 # 3	28 - 12 - 90		
	198 - 55 # 4	28 - 12 - 90		
Danané	198 - 55 # 1	28 - 12 - 90		
	198 - 55 # 3	28 - 12 - 90		
Soubré	197 - 57 # 1	16 - 01 - 86	46 - 338	18 - 12 - 88
	197 - 57 # 2	16 - 01 - 86	46 - 339	24 - 12 - 88
	198 - 56 # 2	28 - 12 - 90	47 - 338	27 - 12 - 90
	198 - 56 # 4	28 - 12 - 90	47 - 339	27 - 12 - 90
	197 - 56 # 3	* déc-jan 93	48 - 339	19 - 02 - 91
	197 - 56 # 4	* déc-jan 93	46 - 340	26 - 12 - 90
		47 - 340	03 - 01 - 89	
		48 - 340	26 - 12 - 90	
Guiglo	198 - 55 # 3	28 - 12 - 90		
	198 - 55 # 4	28 - 12 - 90		
	198 - 56 # 1	28 - 12 - 90		
	198 - 56 # 2	28 - 12 - 90		
Bouaké	197 - 55 # 4	06 - 01 - 91		
M'Bahiakro	196 - 55 # 4	30 - 12 - 90		

## 2.0 - METHODE D'INTERPRETATION

### 2.1. - INFORMATIONS GENERALES

Le Bilan de la situation des superficies des forêts en Côte d'Ivoire a été réalisé par l'ensemble des services du Centre de Cartographie et de Télédétection (CCT) suivant un chronogramme illustré par la figure 1 de l'annexe 1.



Le Service Cartographie Thématique (SCTH) a agit en tant que maître d'oeuvre pour la coordination des activités.

Son intervention a principalement consisté à l'exécution et aux contrôles techniques des travaux en collaboration avec la cellule forêt de la Direction de l'Agriculture qui est intervenue surtout en appui technique et administratif.

Dans le chronogramme d'intervention, le Service Reprographie de la Direction Générale et le Service de Prise de Vues Aériennes (SPVA) du CCT sont intervenus pour la production des documents en laboratoire, notamment pour la confection des films ayant servi comme support d'interprétation thématique.

De nombreux techniciens ont participé aux différents maillons de la chaîne de production cartographique. La figure 2 de l'annexe 2 produit la chronoséquence des activités de cartographie et démontre l'importance de l'intervention de chacun dans le processus d'établissement de la carte thématique. Toutes les étapes de production s'imbriquent les unes les autres. Ainsi, aucune étape ne peut être réalisée si la phase en amont n'est accomplie.

### **2.1.1. - Zone d'étude**

L'étude du PSF-Bilan couvre toute la zone forestière dense humide de Côte d'Ivoire, située au Sud du 8<sup>e</sup> parallèle Nord, soit une superficie d'environ 14 500 000 hectares.

La zone d'étude est précisément limitée au Nord par les savanes anthropiques du V Baoulé et au Sud par l'Océan Atlantique voir figure 3 de l'annexe 3. Elle comprend plus d'une centaine de forêts classées et Parcs Nationaux dont la liste est donnée sur le tableau 1 de l'annexe 4.

Sur le plan écologique, la zone est caractérisée par les formations forestières sempervirentes, mésophile et une partie secteur préforestier.

## **2.2. - PRODUCTION DE DOCUMENTS POUR LA CARTE A 1/200 000**

### **2.2.1. - Travaux préparatoires**

#### **2.2.1.1. - Collecte de Documents de base**

Les documents de base sont :

- les images satellitaires sur supports photographiques LANDSAT (TM) et SPOT (XS) voir figures 4 et 4 bis de l'annexe 5;
- les limites de forêts classées (cartes SODEFOR à 1/50 000);
- le fond planimétrique : carte IGCI, à 1/200 000;
- les documents de délimitation et de classement des massifs forestiers du Ministère de l'Agriculture et des Ressources Animales (MINARA);
  - . arrêtés de classement;
  - . procès verbaux de délimitation;

- . autorisation de cultures;
- les cartes de l'Institut National de la Statistique (INS);
- les cartes des routes (CCT).

#### **2.2.1.2. - Agrandissement des cartes IGCI (1/200 000) et réduction des cartes SODEFOR (1/50 000)**

Après avoir renforcé les limites de forêts classées à 1/200 000, celles-ci sont agrandies à 1/100.000 par procédé photographique du négatif produit par photocontact sur un film. Les principaux cours d'eau, le cadre de la carte, les amorces kilométriques et les limites des forêts classées sont calquées sur un transparent qui sera superposé à l'image satellitaire pour interprétation finale.

De la même manière, les cartes de délimitation des forêts classées de la SODEFOR à 1/50.000 sont réduits à 1/100.000 par procédé photographique. Le film positif obtenu est superposable aux autres documents cartographiques, tous à l'échelle 1/100 000.

#### **2.2.1.3. - Aire minimale des unités cartographiques**

L'aire minimale des unités cartographiques prend en compte l'échelle des documents d'interprétation (1/100.000) et celle des cartes finales à éditer (1/200.000 et 1/500.000).

Dans la réalisation du bilan, les unités thématiques analysées sur les images satellitaires à 1/100.000 sont représentées à 1/200.000 puis ensuite généralisées à 1/500.000. En forêt classée (DPE), l'aire minimale a été fixée à 400 hectares, soit une superficie représentée par 1 cm<sup>2</sup> à 1/200.000. A la même aire minimale à 1/500.000, correspondra un carré de 4 mm de côté. En périphérie intérieure des forêts classées, l'aire minimale a été réduite à 100 hectares pour permettre de mieux cartographier les intrusions paysannes.

Dans le domaine rural, la fixation de l'aire minimale des "unités cartographiques" à 1 000 hectares ne répond pas à un souci de réduction cartographique mais plutôt à un critère d'aménagement forestier. Il s'agit d'identifier des formations forestières ayant une superficie minimale de 1.000 hectares d'un seul tenant en vue d'un éventuel classement. Dans ce même domaine, les massifs forestiers contigus aux massifs forestiers du DPE dont les superficies sont d'au moins 400 hectares ont été également retenus.

#### **2.2.1.4. - Définition des thèmes cartographiés**

Pour la confection des cartes à 1/200 000 et à 1/500 000 du bilan forestier, neuf thèmes ont été retenus pour les forêts classées du Domaine Permanent de l'Etat. Le tableau ci-après indique le thème, le symbole cartographique et les caractéristiques de terrain.

THEME ET SYMBOLE CARTOGRAPHIQUE	CARACTERISTIQUES DE TERRAIN
<b>Forêt dense humide</b>  <b>F</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Occupation du sol à plus de 90 % en forêt.</li> <li>* Strate supérieure plus ou moins fermée selon le degré d'exploitation forestière.</li> <li>* Strate de 2<sup>ème</sup> niveau de densité variable.</li> <li>* Intensité variable de lumière au sol.</li> <li>* Strate arbustive et herbacée plus ou moins développée.</li> <li>* Inclus les formations de forêt galerie et les écosystèmes ripicoles de fond de vallée</li> </ul>
<b>Mosaïque Forêt-Culture à dominance forêt</b>  <b>FC</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Sol occupé de 50 à 90 % par la forêt.</li> <li>* Canopée discontinue de forêt dense humide généralement ouverte par des îlots de mosaïques de cultures, jachères, recrus sur jachères et cultures sous forêt. On observe toujours la présence des 3 strates</li> </ul>
<b>Mosaïque Culture-Forêt à dominance culture</b>  <b>CF</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Sol occupé de 10 à 50 % par la forêt.</li> <li>* Îlots parsemés de forêt dense humide généralement très ouverte par une mosaïque de cultures, défrichements, jachères, recrus sur jachères et cultures sous forêt.</li> </ul>
<b>Cultures</b>  <b>C</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Sol occupé à plus de 90 % par les cultures, défrichements et jachères.</li> <li>* Mosaïque de parcelles de cultures vivrières et/ou pérennes, de défrichements, de jachères, de recrus sur jachères et de rares îlots de forêt humide très ouverte.</li> </ul>
<b>Blocs Industriels</b>  <b>BI</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Sol occupé à 100 % par des blocs généralement de grande taille de cultures de rente tel le cacao, le café, l'hévéa, le palmier etc.</li> <li>* Blocs de cultures à différents stades phénologiques.</li> </ul>
<b>Blocs de reboisement</b>  <b>R</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* A l'exception de certains bas-fonds, sol occupé à 100 % par des blocs généralement d'environ 25 hectares en forme de damier à l'intérieur des forêts à vocation de reboisement ou des forêts classées du domaine permanent.</li> </ul>
<b>Savane</b>  <b>S</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Paysage de savane ou d'intrusion de savane anthropique bordant la limite septentrionale des formations denses</li> </ul>
<b>Inselberg</b>  <b>I</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Paysage en butte de rochers découverts et d'inselbergs granitiques avec pas ou peu de végétation caractéristiques de la région Ouest particulièrement.</li> </ul>
<b>Agglomérations rurales et urbaines</b>  <b>U</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Villes, villages et campements principaux généralement reliés par le réseau routier.</li> </ul>

Dans le domaine rural, seulement deux classes F et FC ont été cartographiées pour tenir compte des objectifs des thèmes recherchés dans cet espace.

### **2.2.2. - Interprétation des images**

En interprétation thématique de l'image satellitaire, on distingue généralement deux méthodes de lecture : la lecture globale et la lecture analytique.

Le thématicien-interprète procède d'abord par une lecture globale des différents thèmes représentés sur l'image satellite. Il s'agit d'une première stratification visuelle de l'image en fonction des thèmes de l'étude. Ensuite, il fait une lecture analytique qui l'amène à décomposer l'image en formes élémentaires qui représentent les grandes unités du paysage, puis à les regrouper par la recherche de descripteurs communs (descripteurs spectraux et descripteurs spatiaux).

La délimitation des unités cartographiques s'effectue généralement en deux étapes. La première étape est visuelle : le thématicien-interprète repère les discontinuités spectrales ou texturales qui permettent de différencier les grandes unités de paysage selon une observation de la physionomie des associations des formations végétales. A la seconde étape, le thématicien-interprète procède par analyse des gradients en affinant la stratification en sous-classes des grandes unités d'occupation.

Dans la cartographie du bilan forestier, compte tenu des thèmes retenus et des regroupements qu'ils impliquent, l'interprète n'a pas forcément individualisé toutes les superficies singulières, mais il a plutôt veillé, dans bien des cas, à assurer leur synthèse selon les classes définies.

### **2.2.3 - Validation de l'interprétation**

L'interprétation thématique préliminaire et le repérage des principales pistes et voies d'accès précèdent la planification du réseau de contrôles de terrain. En fonction de l'accessibilité et de la complexité des paysages, les parcours de terrain sont étudiés de façon à recouper le maximum d'unités ayant des caractéristiques spatiales et spectrales différentes.

Le thématicien sera amené à combiner les observations ponctuelles le long de parcours en véhicule, les observations panoramiques à partir de points d'observation en surplomb si possible et enfin, les observations continues et stationnelles le long de transects parcourus à pied.

Les observations ponctuelles et stationnelles devront être représentatives de l'unité de paysage délimitée à l'interprétation préliminaire, ce qui oblige l'observateur à circuler à l'intérieur de l'unité avant d'en noter les caractéristiques.

Les missions de contrôle s'effectuent par groupe de deux thématiciens. Les points de contrôle sont planifiés en fonction du travail possible à réaliser durant une journée normale de travail.

Compte tenu des thèmes définis, de l'homogénéité des paysages de la zone forestière, de l'importance des superficies à couvrir dans un délai court et surtout de l'échelle de représentation un contrôle léger de terrain a été réalisé. Sur l'ensemble de la zone d'étude il a été réalisé sept missions de contrôle terrain de 7 jours en moyenne.

#### **2.2.3.1 - Fiche de description de station**

Lors des campagnes de terrain, une fiche descriptive est remplie dans chacune des stations visitées afin de permettre de créer une banque de données qui servira de document de référence à l'ensemble des thématiciens

durant les travaux de cartographie du bilan forestier ou pour tout autre travail ultérieur de cartographie thématique. Les caractéristiques de la station référencée spatialement pourront être incorporées aux bases de données lorsqu'il sera mis en place un système d'information géographique (SIG) opérationnel à la DCGTx/CCT. La figure 5 de l'annexe 6 reproduit la fiche de description de station proposée.

#### **2.2.4. - Mise au net des résultats de l'interprétation**

Cette étape a permis d'améliorer l'interprétation préliminaire visuelle. En effet, les contours et les formes des unités retenues au cours de l'interprétation puis reconnues et vérifiées pendant les missions sur le terrain ont été redélimitées et affinées. Les informations qui manquaient sur le calque d'interprétation et celles ne pouvant être acquises que sur le terrain (cas de certaines données recueillies sur les fiches de contrôle de terrain) où d'autres documents ont été transférés sur le calque.

Cette mise au propre de l'interprétation des documents satellitaires constitue la planche thématique qui sera transmise à la cellule de la rédaction cartographique, après réduction à l'échelle de 1/200.000.

##### **2.2.4.1. - Réduction des calques de l'interprétation**

Les calques transparents ayant servi à la délimitation des unités de paysage sont réduits photographiquement à l'échelle 1/200.000.

##### **2.2.4.2. - Reproduction des fonds planimétriques à partir des planches-mères IGCI**

Trois planches-mères IGCI à 1/200 000 servent à confectionner les fonds planimétriques. La reproduction en laboratoire du fond de carte simplifie les activités de dessin tout en permettant de produire un document cartographique de lecture facile sur lequel l'information thématique est prépondérante.

##### **2.2.4.3. - Dessin thématique**

La standardisation de la représentation cartographique des résultats de la cartographie du bilan nécessite pour chacun des thèmes, la définition des techniques et des symboles appropriés. La hiérarchisation des diverses composantes doit tendre à rendre la lecture des résultats plus facile et agréable.

Le dessin à l'encre s'effectue sur une copie film du combiné positif produit à partir des planches-mères de chacun des degrés carrés.

Lorsque plusieurs limites administratives se superposent, une seule entité sera représentée selon l'ordre de priorité suivante : limites d'état, de département, de sous-préfecture et enfin de forêt classée.

### 2.2.5. - Rédaction cartographique

La réalisation des 19 cartes du PSF-Bilan à l'échelle 1/200 000 a suivi le processus classique de rédaction cartographique par couleurs séparées.

La minute issue de l'interprétation de l'image satellitaire à l'échelle 1/100 000 est réduite par procédé photographique à l'échelle 1/200 000.

Le document ainsi réduit est mis en repérage avec une copie du fond planimétrique à 1/200 000 pour procéder à la mise à jour de ce fond :

- soit par grattage des éléments à supprimer ;

- soit par gravure sur couches à tracer des nouveaux détails planimétriques, hydrographiques ainsi que les limites des unités cartographiques, des forêts classées, des parcs nationaux de la zone d'étude.

Les masques des unités cartographiques groupées par thème et les plans d'eau sont confectionnés à l'aide de couches pelliculables.

Les toponymes et l'habillage de la carte sont montés sur des astralons lignés.

Toutes ces planches fondamentales obtenues par dessin, gravure et reproductions photomécaniques sont toutes repérées les unes par rapport aux autres. Ainsi, une combinaison idoine, par photogravure, entre elles et les planches topographiques initiales (planimétrie, orographie et hydrographie) mises à jour a permis d'obtenir les quatre planches-mères sur film trait positif, à savoir :

- la planche-mère du noir qui comporte : la planimétrie, l'orographie, les limites des unités cartographiques, les limites des forêts classées et parcs nationaux, l'unité cartographique agglomération urbaine, la limite du projet, les toponymes et l'habillage de la carte;
- la planche-mère du vert est la planche des unités cartographiques relatives à la forêt, il s'agit de : Forêt (F), Forêt Culture (FC), Culture Forêt (CF) et Bloc de reboisement (R);  
la planche-mère du jaune pour les unités cartographiques qui se rapportent à la Culture (C), les Bloc agro-industriels (BI) et la Savane (S);
- la planche-mère du bleu est consacrée au réseau hydrographique et aux plans d'eau (lacs, lagunes et océan).

L'utilisation de plusieurs trames a permis de marquer la différence entre les unités cartographiques.

Les quatre planches-mères ainsi obtenues sont imprimées, par couleurs séparées, sur une presse offset 4 couleurs.

### 2.2.6. - Digitalisation

Le calcul des superficies du bilan forestier a privilégié l'utilisation de la table à numériser et du système Arc/Info. Les limites départementales et de sous-préfectures ont été saisies pour permettre la fragmentation des superficies par unité administrative. Le rapport de synthèse présente les surfaces forestières de la zone dense humide par département et sous-préfecture en distinguant le domaine forestier permanent du domaine rural et par forêt classée en distinguant département et sous-préfecture auxquels chacune appartient.

Le tableau ci-dessous donne les superficies par thèmes de toutes classes définies par l'étude.

Thème	Superficie (ha)
F	1 489 588
FC	585 100
CF	563 593
R	93 633
C	949 254
BI	64 220
S	71 784
I	28 997
EAUX	8 725
ZR	7 517

#### 2.2.7. - Généralisation et édition à 1/500.000

La carte de synthèse à 1/500.000 a été obtenue par généralisation des cartes à 1/200.000. L'ensemble des 19 feuilles à 1/200.000 du bilan a été réduit à 1/500.000 sur 2 feuilles.

La généralisation a permis d'éliminer tous les identifiants dont les tailles ne permettent pas une bonne discrimination, c'est-à-dire toutes les unités cartographiques inférieures à 4 mm de côté.

La carte de synthèse à 1/500.000 a été réalisée, avec l'accord de la SODEFOR, sur deux feuilles contrairement aux 4 feuilles indiquées dans les termes de références de l'étude. Ce changement est dû au nouveau découpage de la carte topographique à 1/500.000 de Côte d'Ivoire qui passe de 8 à 4 feuilles.

#### 2.2.8. - Suivi et contrôle

Un tableau d'évolution des activités de cartographie permet le suivi de l'avancement des travaux par degré carré, la supervision des divers intervenants au projet et le contrôle sur la circulation et l'émission des documents. Les activités accomplies sont distinguées des activités en cours de réalisation par un symbole approprié.

### CONCLUSION GENERALE

La cartographie du bilan de la situation des superficies de la forêt de la zone dense humide couvre une superficie d'environ 14,5 millions d'hectares. Cet inventaire par cartographie de l'état des massifs forestiers du Domaine Permanent de l'Etat et des formations forestières rémanentes du Domaine Rural vient, d'une part, combler le manque crucial de données de base et d'autre part, mettre à la disposition des aménagistes des informations actualisées sur le secteur.

Cette cartographie a l'avantage de montrer, de façon synoptique, l'état de l'occupation du sol dans les forêts classées et surtout la tendance d'évolution à travers les différents gradients d'occupations observés. De façon générale, le gradient de dégradation va de l'Est vers l'Ouest avec un accent très marqué dans le Centre-Est.

Le bilan montre l'occupation du sol dans chaque forêt classée et la dégradation du milieu forestier.

On note également une forte régression de la végétation naturelle consécutive à une occupation agricole extensive et surtout à une anthropisation anarchique.

au delà de la prise de conscience qu'il pourrait susciter, le bilan contribue à la création et à la mise à disposition des aménagistes des données de base sur le secteur forestier. Les informations fournies par cette étude devraient contribuer largement à une prise de décision pour une meilleure gestion du patrimoine forestier de Côte d'Ivoire.

425

# REMOTE SENSING AND GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM APPLICATION IN LAND RESOURCE ASSESSMENT IN UGANDA: THE NATIONAL BIOMASS STUDY EXPERIENCE

**P. DRICHI**

United Nations Environment Programme, Uganda

Over the last five years, Uganda's woody biomass resource as potential for woodfuel is being assessed for the present supply, consumption, woodfuel balance and dynamic monitoring-under the National Biomass Study (NBS) project. Woodfuel supplies being mainly from the surrounding vegetation, a need therefore to assess the land use/cover, and other environmentally related information, such as administrative boundaries including population figures, per capita consumption of wood fuel, gazetted areas, infrastructure, rivers, contours etc., became inevitable.

Remotely sensed data (aerial photographs and satellite imageries - SPOT SX) and Geographical Information System (GIS) played a big role in the collection, processing and analysis of the required data especially in stratification, field plot sampling, analysis and mapping. The NBS is now its advanced stages of establishing an Environmental Information System (EIS) in Uganda.

This is a pioneer study in this field, so during the implementation, a lot of new challenges and experience have been acquired, especially in the methodology, data processing and quality. This paper, therefore, is an attempt to present the evolution of the methodology, experiences and achievements so far gained in the assessment of woody biomass as a land resource for woodfuel in Uganda. The paper is divided into two parts.

Part I focuses on achievements, and experiences related to the collection, processing and results of the primary data : stratification, sampling and results of the biomass estimators : tree, bush and agricultural biomass standing stock per unit area, change and growth, whereas Part II tries to focus on the capturing, processing, analysis and results of the spatial data : Maps, areas, total biomass standing stocks, wood fuel balances etc.

The importance of this data for planning for sound management of the environment in land use for rural energy and development is discussed based on the increasing user interest in the EIS datasets.



# ENHANCING COLLABORATIVE FOREST MANAGEMENT IN AFRICA THROUGH THE APPLICATION OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS

**P. A. K. KYEM**

Clark Labs. for Cartographic Technology and Geographic Analysis, Graduate School of Geography  
Clark University, Worcester, MA., USA

## ABSTRACT

African governments are under mounting pressure to strike a balance between the goals of forest exploitation and species conservation. For most countries therefore, forestry policies emphasize national economic needs and global environmental interests, often ignoring the needs of local forest dwelling communities. There is however, a growing recognition that, the future of the continent's forests require a broad base of community and government support. As a result, future management of the continent's forests will increasingly demand a policy making process that incorporates multiple views. It will require as well, a management strategy that can be clearly explained and defended. GIS is not only valuable for the coordination and development of this partnership in forest management, but also essential for institution building towards collaborative management of forests.

In this paper, GIS procedures are explored to illustrate participatory decision making in a case involving multiple and conflicting interests. The procedures are employed in an experimental assessment of land use options around Nakuru in Kenya.

## INTRODUCTION

Recent demands by the international community for the preservation of existing tropical forests have increased pressure on African governments to strike a balance between the goals of economic development and that of forest conservation. In addition, many countries are obliged to control deforestation as means of fulfilling global environmental concerns. Most African countries have therefore adopted forest policies geared exclusively towards national economic needs and global environmental interests while neglecting the subsistence needs of local forest dwelling communities. Governments ignore peasant farmers' demand for access to forest resources, blame them for deforestation and, without hesitation, resort to intimidation and threats to settle issues relating to conflicts of interest arising from forest exploitation. These measures threaten the economic survival of peasant farmers and cause insecurity in land tenure among them.

With a rapid increase in population and a continuous dwindling of land resources at the countryside, African peasant farmers are compelled to adopt unusual survival strategies. The measures that include a disregard for forest regulations and the clearance of forests often lead to the destruction of forest. The persistence of conflict between state policies that target the forest as capital for development and the actual resource allocating decisions adopted by peasant farmers in the field, has been the main factor encouraging deforestation on the continent.

Thus, for a meaningful forest management to be achieved on the continent, the paramilitary orientation that characterizes the forestry service in many African countries must change. Forest policies must incorporate both

the economic concerns of the state and the day-to-day survival needs of local communities. The policies must also reflect the legitimate claims of the continent's major forest-user communities. In addition, due to the complex socio-political environment and the tension that has characterized forest ownership and exploitation on the continent, future forest management will demand a policy making process that incorporates multiple views and a strategy that can be clearly explained, replicated and understood.

## GIS AND FOREST MANAGEMENT

In managing forests, African states confront a socio-political resource allocation task requiring the integration of the concerns of local community groups for agricultural land and other non-timber forest products into national goals for forest management. The countries face as well, a methodological problem requiring the reorientation of existing scientific forest management practice towards the multiple goals and changing needs of Africans. Methodologically, this requires extensive gathering of information on forest resources and the environment to ensure effective forest policy making. GIS is not only useful in this regard, but also essential in the creation of new information on the resources to facilitate decision and policy making. The display capability of the system and the open structure of most analytical procedures of GIS can increase the transparency of information processing. It also can facilitate the exploration of a range of possible scenario of forestry issues and so provide opportunities for resource managers to gain an insight into potential consequences of forestry policies before they are implemented.

In Africa, GIS supported approaches for forest management offer several other advantages. First, there is very little timely and reliable information about forest resources on the continent. Therefore, the capability of GIS to collect, store, retrieve and analyze spatial data on such resources provides a good source of obtaining relevant information upon which decisions on future forest management can be based. Second, the provision of a database on forest resources can facilitate periodic face-to-face meetings of groups involved in collaborative forest management. This will facilitate group discussion and other deliberations that are necessary for institution building among forest user groups. For example, by encouraging the structuring of the decision making process around face-to-face meetings, geographic information systems provide unique opportunities for stakeholders engaged in collaborative forest management, to form long-lasting associations in which they can share resources and exchange ideas around specific tasks. Members can be offered the opportunity not only to speak about their concerns, but also, develop trust among themselves. Such coalitions may provide the building blocks for institution building in collaborative forest management ventures.

Third, GIS provides information that can be analyzed to uncover vital information that might lead to a better understanding of some issues confronting forest management. Perhaps the most important advantage a GIS offers is, its ability to illustrate the spatial implications of different assumptions and preferences held by stakeholders. For example, a composite land use map produced from different suitability maps derived from stated objectives of stakeholders will help isolate land areas that are in dispute and hence substantive to the discussion. Such a map will indicate areas representing common and divergent interests of stakeholders. It will therefore be useful to use such a composite map to guide discussions aimed at consensus building. The map can also be used to direct attention to matters that are essential for managing conflicts of interest among forest resource managers. Thus, the GIS approach when combined with group discussion and negotiation strategies, can facilitate the identification of workable paths to resolve conflicts of interest among groups competing for the control of access to Africa's forest resources.

In addition, some traditional forest management practices could also be improved through GIS applications. These include the capture and display of data on boundaries and ownership of forests, periodic review of the forest cover and its structure and the mapping of logged, damaged and rehabilitated areas of the forest, as well

428

as areas allocated for timber concessions and logging. In addition, simple derived maps (e.g. accessibility and fire hazard maps) can be produced with a GIS to assist with the management of forests. The system can also be used to relate geology, soils, topography and drainage to the forest cover to help identify seriously damaged watersheds and degraded areas in the forest.

As a decision support tool for forest managers, GIS procedures for decision making need to possess two important qualities. First, they need to be open and participatory in a way that all the resource managers (in this case public officials and representatives of local communities) can play active roles in the decision making process. Second, the decision making strategy must have an immediate intuitive appeal (without sacrificing analytical rigor) to gain the confidence and support of resource managers. The Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis has recently developed decision making procedures for use in the IDRISI software system. In the remaining sections, the procedures are illustrated with a hypothetical case study in Nakuru, Kenya.

## CASE STUDY

Nakuru was originally established as a farming settlement, but the township has recently acquired an important role as a tourist and administrative center with a growing industrial sector. The rapid growth of the township has required the adoption of projects that will increase employment opportunities, improve housing and ensure the supply of other long term needs of the growing population. To illustrate the potential of GIS as a decision making and consensus building tool, we consider here the case of developing a zoning map for the township in which the following objectives are set:

1. to set aside 4,000 hectares of land that are best suited for agriculture
2. to protect 2,000 hectares of land best suited for the construction industries and,
3. to set aside 2,500 hectares of land best suited for constructing residential housing units.

The task of identifying tracts of land around Nakuru township that best suits the location of the three projects is a multi-criteria/multi-objective problem involving competing objectives. The three objectives to be evaluated conflict with each other for they are proposed and defended by different interest groups. There is thus no basis for prioritizing the objectives and as such the conflicting claims to the forest land need to be resolved by simultaneously allocating suitable sites for each project.

## SUITABILITY MAPPING

The multiple claims to the land is resolved by first treating each claim as a single objective problem. The first step in this process is to identify the major characteristic elements and the conditions at the proposed land site that can be used as criteria for evaluating the objectives. The selection of the site factors involves a close examination and analysis of the relationships between the proposed land use activities and the surface and near surface characteristics of the site. The site criteria<sup>13</sup> are mapped and digitized into the GIS. In this example, the site characteristics that were selected include the slope of the land, the boundary of Nakuru national park, major roads and communication lines and land cover types in the area.

---

<sup>13</sup> A criterion is some basis for a decision that can be measured and evaluated. It comprises of a factor and a constraint. The former that is measured on a continuous scale, is that criterion that enhances or detracts from the suitability of an alternative regarding the activity under consideration. A constraint is a criterion that serves to limit the alternatives under consideration. (see Eastman et. al. 1993a).

Generally, the proximity of a site factor to some feature in the area either enhances or limits the potential influence the factor can have on the land use activity being considered. As a result, the context within which the site factor occurs with other surrounding features is considered in the identification of constraints for the resolution of the problem. For example, the boundaries of the Nakuru National Park set limits on the allocation of land for farming and construction and therefore serve as a constraint to the allocation of the projects. The site characteristics and site conditions are later considered together to produce factor and constraint maps for the evaluation of the individual objectives. After this, the factors are scaled to a standardized range (for example, 0-255) to facilitate their combination. In this case, the criteria for the evaluation of the objectives include i) proximity to roads, ii) proximity to Nakuru town, iii) slope gradients, iv) distance from Lake Nakuru National Park, v) rainfall, vi) park constraint and vii) slope constraint.

The degree to which factors are perceived to be influencing the outcome of the decision making process vary among resource managers. For example, a factor such as rainfall may be considered by farmers to be much more important for crop cultivation than a proximity to town factor. These value loaded judgements, especially those intended to influence decisions about the allocation of forest resources, entail value choices. More often resolution of these choices is most crucial to the debate than the objective analysis of (criteria) empirical facts. To allow for the incorporation of such preferences into choice options, provision is made for decision makers to assign subjective weights that express the relative importance they attach to each criterion for the objectives proposed for consideration.

The combination of these weights to the factor maps in the suitability assessment process may be directly carried out by assigning rankings to the various factors. In this case however, a group participatory procedure in IDRISI, based on the pair-wise comparison method developed by Saaty (1973), is adopted to develop subjective weights. This requires the drawing up of a priority matrix for factors of each objective (see figure 1). The technique uses a 9 point evaluation scale to rate the relationships of importance between pairs of factors (for example. 9 = extremely more important, 1/9 = extremely less important, 1 = equally important).

**Figure 1**

Pairwise Comparison Matrix for Factors: (Agriculture).

	RAINFAC	SLOPFAC	ROADFAC	TOWNFAC	PARKFA
RAINFAC	1				
SLOPFAC	1/3	1			
ROADFAC	1/4	1/3	1		
TOWNFAC	1/5	1/8	1/2	1	
PARKFAC	1/3	1/4	1/2	4	1

After this, the WEIGHT procedure in IDRISI is used to determine individual weights of the factors. The procedure takes the pair-wise comparison file resulting from the priority ratings to generate a set of weights

430

that sum up to 1. In the process, the consistency rate at which judgements for the ratings were carried out is evaluated. The pair-wise comparison ratings and the whole weighting procedure involve an intense face-to-face exchange of ideas and information among stakeholders. It is a process marked by open discussion to reach consensus over scales to use in rating the factors. Rather than acting as an expert in this process, the GIS analyst serves as a focus group leader who acts the role of explaining technical terms and solving technical problems to facilitate the decision making process.

The criteria are combined by means of weighted linear combination of factors and then subsequently masked by each of the boolean constraint maps. A multi-criteria evaluation procedure called (MCE) is adopted. This results in three separate suitability maps for each of the objectives (agriculture, residential housing and industry).

## MANAGING CONFLICTS OF INTEREST

The next major issue after developing the individual suitability maps concerns which cells to choose to meet area targets set for each of the three objectives. It is also expected that the suitability of each objective will be maximized. Were the objectives to be complimentary (so that one could be substituted for the other), they could be prioritized so that land allocations would be carried out in turn based on an established priority scale. The three objectives can be competing for the same tract of land and as such, zones where the interests of different stakeholders converge need to be resolved by means of conflict resolution. This process involves the trading off some initial preferences held by stakeholders.

Different approaches are currently pursued in the resolution of multi-objective problems in GIS. Some scientists use linear programming techniques (to carry out land allocations) that maximize the suitabilities in the objectives. In raster GIS context, this option may not be a good choice. This is because the large data volumes of raster images make it almost impossible to achieve expected results in good time. An alternative technique that has been found to achieve almost the same result at a record time with less effort is choice heuristics (Eastman et. al. 1993b, 1993c). Eastman and others (1992, 1993b, 1993c) found that by simply rank ordering the cells in suitability maps and taking as many of the best ranked cells that would meet set targets, the same result is achieved while the sum of suitabilities will be as maximum as possible.

It is convenient at this stage, to create composite maps from pairs of the suitability maps. This is done using the CROSSTAB procedure. The composite image reveals among others, land areas that are being jointly claimed by different stakeholders and hence vital to the resolution of the dispute. It thus affords a great opportunity for stakeholders to focus on land areas vital to the discussion and to examine and talk about the spatial implications of their demands on alternate land uses proposed by others. The next step is the ranking of the suitability maps representing the three objectives. The final allocation is carried out using a multi-objective land allocation procedure (MOLA). The procedure operates to reclassify ranked suitability maps by a minimum-distance-to-ideal point logic (Eastman 1993b). As illustrated in figure 2, the overlaying of any two independent but conflicting suitability maps in a multidimensional decision space<sup>14</sup> result in four regions. These are:

- a) areas selected by objective 1 and not by objective 2.
- b) areas selected by objective 2 and not by objective 1.
- c) areas not selected by either of the two objectives, and

<sup>14</sup> For more discussions on this and figures 2, 3, 4 and 5, refer to Eastman et. al. 1992, 1993a.

d) areas selected by both objectives and hence in conflict.

Efforts at reaching consensus in the allocation of land between the objectives will obviously be concentrated on the zone of conflict where the interests of stakeholders converge. It will seem the easiest way to resolve the conflict is to draw a simple diagonal across the zone and split the conflicting cells equally among the two objectives as shown in figure 3. However, the best procedure has been found to be the drawing of a single decision line that bisects the entire decision space (figure 4).

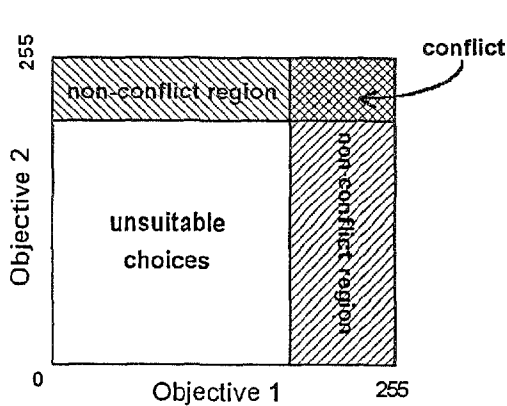


Figure 2

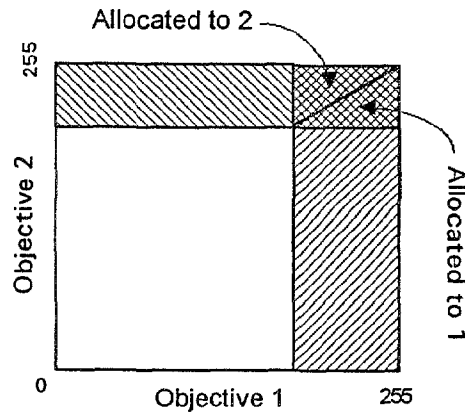
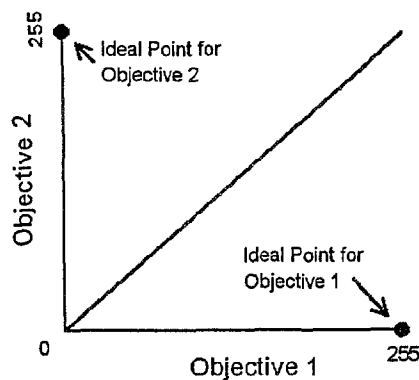


Figure 3

Initially, the MOLA procedure undertakes a broad division of the ranked cells between the objectives. After this, the program begins a series of iterations to make up for shortages in area targets by moving the single decision line further down into the zone of poor choices until all area targets are met. This results in a land allocation in which suitabilities are maximized and the expectations of stakeholders are met. In reaching consensus on area targets for the objectives, some suitable cells in one objective that happen to be marginally more suited to another objective are traded off in exchange for less suitable cells.

Figure 4



432

## CONCLUSION

As African governments attempt to shift from state-centered approaches to collaborative efforts at managing forest resources, efforts need to be made to develop techniques that will facilitate group discussion. GIS offer great potentials not only for managing conflicts of interest in land allocation but also for the building of institutions that can facilitate collaboration among foresters and local communities. Decision support tools offered within IDRISI software system (version 4.1 and onwards) offer opportunities for identifying workable paths that can lead to consensus building among parties competing for access and control of forest resources. The MOLA and other decision support procedures provide a simple, yet intuitively appealing technique for managing conflicts of interest in multi-objective land allocation. The procedures are easy to understand and can easily be incorporated into several different socio-cultural contexts. Furthermore, they create opportunities for participatory decision making under conditions where the GIS analyst is a facilitator rather than a de facto decision maker.

## REFERENCES

- Arnold, J.E.M., (1992) Community Forestry; ten years in review; *Community Forestry Note 7*, FAO, Rome.
- Eastman, J.R., (1993), *IDRISI: A Grid Based Geographic Analysis System: Version 4.1*. Worcester, Massachusetts: Clark University Graduate School of Geography.
- Eastman, J.R., Jin, W., Kyem, P.A.K., and Toledano J., (1992) "Participatory Procedures For Multi-objective Land Allocation in GIS" *Proceedings, Chinese Professionals in GIS*
- Eastman, J.R., Kyem, P.A.K., and Toledano J., (1993a) *GIS and Decision Making*. Geneva UNITAR.
- Eastman, J.R., Kyem, P.A.K., Toledano, J., (1993b) A Procedure for Multi-Objective Decision Making in GIS Under Conditions of Competing Objectives, *Proceedings, EGIS'93*. pp. 438-447.
- Eastman, J.R., Toledano, J., Weigin Jin., and Kyem P.A.K., (1993c) Participatory Multi-objective Decision-Making in GIS, *Proceedings, Auto-Carto*, Minneapolis, October 1993.
- Forrester, J., (1987) Planning in the face of Conflict: Negotiation and Mediation Strategies in local land use regulation. *J. of the American Planning Assoc.* 53, 3. pp. 303-314.
- Kyem, P.A.K. (1994). Participatory GIS procedures for supporting consensus building in co-management institutions in sub-Saharan Africa. *Proceedings GIS'94*; Vancouver, British Columbia, Canada. February 22-24, 1994.
- Saaty, T.L., (1977) A scaling method for setting priorities in hierarchical structures, *Journal of Math. Psychology.* 15, pp. 234-281.

# MISE EN PLACE D'UN MECANISME DE SUIVI DE LA COUVERTURE VEGETALE DU NORD CAMEROUN PAR TECHNIQUES DE TELEDETECTION ET SIG

**D. MABI**

ONADEF, Yaoundé, Cameroun

## **1 INTRODUCTION: Problématique, Mise en Situation, Circonstances et Justificatifs.**

En 1975, soit trois ans seulement après le lancement de ERST-1, le Programme des Nations Unies pour l'Environnement mettait en exécution au sud du Cameroun, un projet pilote de cartographie des modifications de la couverture forestière par télédétection. En 1981, à la fin de l'exécution de ce projet, un document de la FAO invitait les autorités camerounaises à poursuivre ce genre de travaux, mais surtout à les élargir au nord du pays. Ce faisant, le CENADEFOR - actuellement ONADEF, reprenait une bonne partie du projet à son compte et par le fait même signifiait son intérêt pour le moins manifeste que pour lui, la télédétection est une technique voire un outil concurrentiel pour la poursuite de ses travaux d'inventaire et de cartographie forestière. Mais, pour la partie nord du pays, la méthodologie à appliquer, bien plus que de porter sur une cartographie ponctuelle et statique, se doit de prendre en compte la nature précaire et même instable de l'écosystème en place.

Au Cameroun, chaque région phytogéographique a ses propres problèmes écologiques ou bio-climatiques. Ainsi, au Nord-Cameroun, l'évolution accélérée des paysages végétaux naturels menace dangereusement l'équilibre des nombreux écosystèmes. La strate arborée est soumise à une pression croissante liée à une demande de plus en plus grandissante en bois spéciaux et service, en surfaces cultivables, et en pâturages. De plus, ici plus qu'ailleurs, la végétation constitue un important élément dans la vie économique des populations. Sur le plan environnemental, elle joue un grand rôle dans le bilan énergétique, la conservation des sols, la rétention de l'eau, la recharge des nappes souterraines, le maintien de la qualité de l'environnement. Toutefois, le bois est exploité de façon incontrôlée. A ce propos, l'inquiétude est croissante dans l'opinion camerounaise sur le taux de déboisement voire de désertification et ses implications environnementales telles que l'effet de serre, la perte de la diversité biologique et la dégradation de la terre.

Sur le plan socio-économique, les bases de développement du Nord-Cameroun reposent essentiellement sur l'agriculture et l'élevage. Malgré cet état de fait, la population du Nord-Cameroun connaît un certain nombre de problèmes et à l'heure actuelle, les conséquences les plus visibles de cette situation sont la baisse constante des productions agro-pastorales. En même temps que tout cela nécessite un constat objectif et soutenu de la situation, il y a évidence à constater qu'il y a un problème urgent et pressant de besoins en informations et renseignements sur la situation. A ce propos, des méthodes d'investigation, fussent-elles rudimentaires et archaïques, ont existé et fait leurs preuves dans le passé. Mais, et comme pour bien résumer la situation, le Professeur Défourmy écrivait récemment: "en régions soudano-sahéliennes, la convergence de plusieurs facteurs de dégradation confère à ce processus - entendre processus de dégradation de paysages végétaux - une dynamique qui échappe aux méthodes conventionnelles de collecte et de traitement de données. Les méthodes conventionnelles de suivi de végétation ne sont pas à la mesure de l'échelle spatiale du phénomène et leur temps de réponse est peu compatible avec la vitesse d'évolution. Les développements de la technologie spatiale et des traitements d'images satellitaires permettent d'envisager une évolution plus opérationnelle de ces phénomènes". Dès lors, l'importance de la télédétection dans les études de suivi de la végétation nous semble, ou presque, acquise.



Ainsi, c'est convaincu des besoins réels du Cameroun en matière de travaux sur la végétation et surtout de la nécessité et l'urgence qu'il y a à rechercher de meilleures solutions pour la réhabilitation de l'écosystème déjà tronqué de cette partie du pays, que nous proposons de réaliser un module pratique et actualisé de suivi de sa végétation septentrionale par télédétection et SIG. Ce système d'informatique appliqué se constituera d'une grande Banque Centrale de Données ou seront collectées et organisées les informations sur la couverture végétale du Nord-Cameroun. Ce système sera un outil de gestion de l'information, qui permettra de mieux planifier, d'aménager efficacement, et de gérer rationnellement les ressources naturelles de cette partie du Cameroun.

## **2 BUTS ET OBJECTIFS DU PROJET**

### **2.1 But ou objectif principal du projet**

Le principal but de l'étude est la conception et le montage d'un Mécanisme de Suivi de la Végétation du Nord-Cameroun par Techniques de télédétection et SIG.

Sur le plan pratique, nous croyons que notre projet sera d'un apport réel aux programmes de développement. Dans tous les cas, le module visé devrait, dans le contexte du développement du Cameroun être à même de fournir aux intervenants du milieu forestier en particulier, aux aménagistes du milieu naturel camerounais en général, des informations pertinentes et à jour sur la direction, l'intensité et la vitesse de dégradation ou de reconstitution de sa végétation septentrionale.

Donc, à terme, l'objectif de ce projet est de déboucher sur la mise au point d'un mécanisme de suivi qui intégrera un système d'information géographique à référence spatiale sur la couverture végétale du Nord Cameroun. Ainsi monté, ce système permettra de répertorier et d'évaluer les ressources végétales et toute autre ressource naturelle du Nord-Cameroun dans un contexte de planification efficace, d'aménagement durable et de Gestion rationnelle. Le système permettra de modéliser et de faire des scénarios de gestion à court et à long terme.

### **2.2 Objectifs spécifiques**

Pour l'aspect télédétection:

- Identifier h des périodes régulières les principales classes d'utilisation du sol du Nord-Cameroun.
- Délimiter et classier les différentes strates de la végétation aux mêmes périodes.
- Examiner le comportement de cette végétation après différentes saisons.
- En étroit rapport avec le point précédent, faire une comparaison de niveaux d'identification des divers types de strates végétales, voire des principales essences de la zone pour les sources d'images utilisées.
- Faire ressortir les principaux acquis et les limites qu'il y a à utiliser les données de télédétection pour de tels travaux.
- Proposer une période pour la réalisation et/ou la répétition de tels travaux.

Pour l'aspect SIG:

- Collecter à la grandeur de tout le pays différentes informations sur la couverture forestière et établir une base de données informatisées et géocodée pour planifier l'utilisation optimale et différentes opérations d'aménagement et de mise en valeur.
- Aider à développer et à renforcer les possibilités et les capacités techniques de production du CETELCAF de l'ONADEF
  - pour la surveillance de l'état des ressources forestières sur une base continue,
  - pour fournir l'information et la connaissance nécessaire à l'aménagement de ces ressources sur une base durable et environnementale saine.
- Démontrer l'efficacité de la technologie entourant les SIG et le traitement numérique des images satellitaires pour la gestion de l'information végétale et à caractère spatial.
- Mettre au point une méthodologie d'intégration des données de télédétection au SIG pour assurer une flexibilité de mise à jour de l'information concernant la couverture forestière du Cameroun et son suivi.
- Fournir à partir de la base de données un premier inventaire sur le potentiel des terres.
- Restituer sous forme cartographique diverses informations thématiques.
- Former les ingénieurs et les techniciens du CETELCAF de l'ONADEF à l'utilisation et au développement des Techniques entourant la télédétection et les SIG.

### **3 METHODOLOGIE OU APPROCHE TECHNIQUE**

#### **3.1 Recherche des informations bibliographiques**

Amorcée peu après l'acquisition du matériel informatique de traitement d'images et de SIG et l'installation effective de la Cellule de télédétection et géomatique du CETELCAF de l'ONADEF à Nkolbisson (Yaoundé - Cameroun), c'est une étape qui se poursuit, mais en fin de compte visera à faire le point sur l'état de la recherche pour ce qui est des nombreux travaux consacrés explicitement à l'analyse diachronique de la végétation en zone intertropicale de l'Afrique par techniques de télédétection d'une part et des SIG d'autre part.

#### **3.2 Aspect télédétection**

3.2.1 Commande, réception, lecture des images du Projet  
C'est un simple travail de visualisation des images du Projet.

3.2.2 Travaux à Réaliser

3.2.2.1 Travaux de terrain

3.2.2.1.1 Travaux Préliminaires

C'est une étape très importante de notre méthodologie. Son but est d'établir un ou plusieurs documents à titre de vérités-terrain; ainsi, ces données serviront à calibrer efficacement les résultats de classification tant pour l'occupation

sol que pour la distribution spatiale et la caractérisation des peuplements forestiers. Pour bien mener ces travaux, les opérations suivantes sont prévues:

Pour l'occupation du sol:

- classification non supervisée d'images,
- choix des sites d'entraînement,
- localisation de ces sites sur documents cartographiques,
- conception de riches appropriées pour leur contrôle sur le terrain.

Pour les paramètres de la végétation:

- Paramètres de peuplements - Le travail préliminaire consiste concevoir des riches appropriées qui entre autres informations, contiendront: limites physiques et pourcentage de recouvrement du territoire; origine du peuplement (naturel, artificiel); composition du peuplement (homogène, pure i.e. une seule essence, hétérogène, mélangée plus d'une essences); densité du couvert; phénologie des arbres.
- Paramètres individuels - Une fiche toute aussi appropriée, sera établie pour les besoins de la cause. On relève les paramètres suivants: nom de l'essence, qualité des tiges, âge, hauteur, phénologie des arbres.

#### 3.2.2.1.2 Ordre d'enchaînement des travaux sur le terrain

- Survol aérien: il se fera si possible en début et à la fin de la période prévue pour l'échantillonnage. En même temps qu'on cherche à localiser précisément les différentes strates de végétation sur documents cartographiques, le survol nous permet de nous situer définitivement sur la qualité et le pourcentage de recouvrement ligneux du site survolé: continu, discontinu, épars, dense, moins dense; dans cet exercice, une fiche d'estimation visuelle des rapports de surface sert de référence. En parallèle et au cours de ce survol, on réalise les photographies obliques.
- Contrôle de sites d'entraînements
- Relevés des Paramètres forestiers
- Recherche et Collecte d'autres données (démographie, climat, agriculture, élevage, etc.).

La cueillette de ce genre de données ne nécessite aucun préalable. Elle se fait auprès des autorités compétentes de la place. En plus de servir à connaître davantage la région intéressée par les travaux, ces données constitueront des précieux indices pour l'interprétation assistée par ordinateur des images satellitaires.

#### 3.2.2.2 Travaux de laboratoire et de bureau

- Pré-traitements: création de sous-images si nécessaire, correction radiométrique, correction géométrique, normalisation des images, classification non supervisée, sites d'entraînement.
- Traitement des images: en plus des opérations classiques de traitement d'images telles que le réhaussement, les grandes articulations de cette étape sont la correction et la calibration de résultats de la première classification avec les données de terrain. Par ailleurs, vu le caractère diachronique des analyses relatives au mécanisme de suivi dont il est question, l'analyse en composantes principales sera aussi considérée. S'agissant de la classification, la méthode dite de maximum de vraisemblance sera privilégiée.
- Calcul et Analyse des indices de végétation. Elle complète la démarche précédente, mais s'en distingue par son aspect plus détaillé et plus statistique. En effet, l'intérêt des mesures satellitaires pour les études de végétation, réside dans le fait qu'elles sont effectuées par des capteurs qui ont des bandes spectrales très adéquates pour le calcul des indices de végétation, qui eux, reflètent l'état et la quantité de végétation verte au sol. Ces bandes sont le visible (rouge) et l'infrarouge (proche et moyen). A ce propos, les indices qui sont susceptibles de retenir l'attention sont NDVI et DVI car ils ont fait leurs preuves ailleurs dans les zones semblables aux nôtres.

### 3.2.3 Analyse

- Analyse Monotemporelle: on parle aussi d'analyse unidate; il s'agira d'apprécier les résultats de diverses opérations et procédures de traitement numérique (classification, analyse en composantes principales) d'images prises une à une. Au terme de cette analyse, on devrait déjà disposer des éléments de discussion pour la performance des capteurs utilisés quant à la différenciation et le suivi de la végétation arborée du Nord-Cameroun.
- Analyse Multitemporelle: connue également sous le nom d'analyse multidate, elle consiste à analyser les résultats obtenus après traitement de deux ou plusieurs images.

### 3.2.4 Discussions

A ce niveau, nous escomptons être en possession de tous les résultats et divers autres éléments d'appréciation. De fait, c'est dans cette partie que nous nous prononcerons clairement sur l'apport réel des divers types de capteurs utilisés pour le suivi, l'identification et la caractérisation des strates végétales du Nord Cameroun.

Principaux résultats: exploitation et présentation.

Recommandations.

## 3.3 Aspect systèmes d'information géographique (SIG)

Cet aspect a trait à l'intégration des différentes données composant le SIG. Ici, il s'agira principalement des images satellites, des photographies aériennes, des cartes topographiques et thématiques, des données statiques sur les caractéristiques biophysiques du Nord Cameroun (orographie, géologie, pédologie, climat, hydrographie, biogéographie, etc.) et des données socio-économiques (population, productions agro-pastorales, etc.). Ainsi conçu, le système envisagé sera un ensemble organisé et comprenant des éléments qui concordent à la base de référence géographique et qui sera adapté au besoin de l'utilisateur afin de lui faciliter l'accès à l'information et la prise de décisions face à la planification, l'aménagement et la gestion des ressources végétales.

### 3.3.1 Collecte de données sur le terrain

Il se fait concomitamment que la collecte des données inhérentes à l'aspect télédétection. Mais ici elle porte surtout sur les données statistiques sur la démographie, le climat, l'agriculture, l'élevage, etc..

### 3.3.2 Travaux de laboratoire et de bureau

- Pré-traitements de données statistiques: il s'agit de manipuler ces données de manière à ne retenir que les données qui sont pertinentes pour la réalisation des objectifs fixés.
- Numérisation des données à référence spatiale.
- Intégration de diverses données.
- Corrélation et analyse.
- Création de nouvelles cartes.

### 3.3.3 Analyses et discussions

### 3.3.4 Principaux résultats: exploitation et présentation

### 3.2.5 Recommandations

### 3.3.6 Validation et mise à jour périodique des informations cartographiques et satellitaires

#### **4 DONNEES: SOURCE ET QUALITE**

Ces données ont trait à tout le matériel susceptible d'être pris en compte pour réaliser complètement le projet.

##### **4.1 Zone d'étude**

Le Projet a une envergure régionale. L'organisation de la collecte des données devra couvrir tout le Nord Cameroun. Aussi, la zone est essentiellement localisée dans la partie septentrionale du pays; en direction Nord, elle part du 6<sup>e</sup> parallèle et s'assoit sur le territoire camerounais jusqu'aux limites territoriales des eaux du Lac Tchad appartenant à l'État camerounais. D'une superficie relative de 164 100 km<sup>2</sup>, la zone concernée porte sur le cadre territorial et spatial de trois provinces dont l'Adamaoua, le Nord et l'Extrême-Nord. Mis ensemble, ces trois provinces constituent le "Grand-Nord" qui abrite 1/4 de la population totale du pays, soit un peu plus de trois millions de camerounais qui, à l'image du Cameroun tout entier, sont largement tributaires des productions agro-pastorales.

La phytogéographie du territoire concerné inclue du nord au sud des zones sahéliennes périodiquement inondées, des steppes à épineux sahéliennes, des groupements soudaniens d'altitude, des savanes soudaniennes arborées et boisées, des forêts sèches claires soudaniennes, des savanes arbustives soudano-guinéennes de l'Adamaoua, des savanes arbustives soudano-guinéennes de transition, des zones post-forestières congo-guinéennes, des zones défrichées de forêt semi-décidue à celtis et sterculiacées, des zones non défrichées de forêt semi-décidue à celtis et sterculiacées, des zones défrichées de forêt sempervirente atlantique de moyenne altitude, des zones non défrichées de forêt sempervirente atlantique de moyenne altitude et des groupements.

##### **4.2 Equipements informatiques: "Hardware" et Software"**

Au point de vue équipements informatiques, l'exécution du Projet repose complètement sur les acquis actuels du CETELCAF.

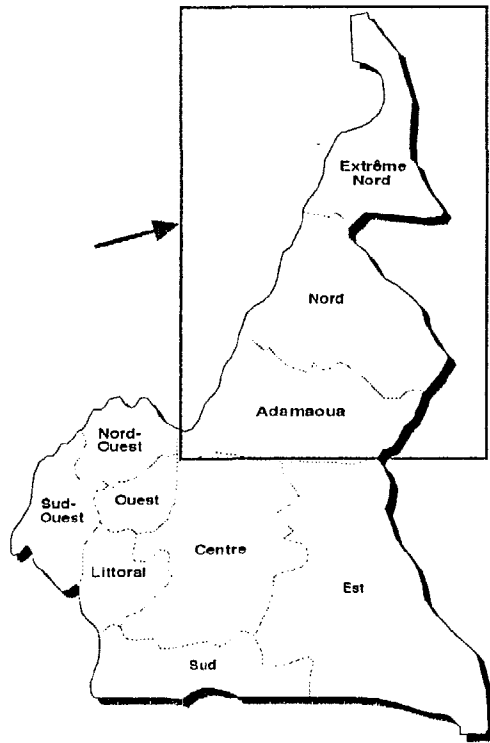
En effet, sur le plan équipement, le CETELCAF dispose pour la télédétection et la géomatique:

- d'une station de travail "Procom II" pour l'interprétation analogique (visuelle) de films d'images satellitaires et restitution des résultats de cette interprétation sur fonds cartographiques (échelle variable),
- pour l'exploitation numérique de la télédétection, des ordinateurs parmi lesquels 3 microordinateurs IBM compatibles 486, 2 microordinateurs IBM compatibles 386, 1 Macintosh Centris 610,
- 1 réseau NOVELL,
- des logiciels de traitement numérique d'images et de SIG dont le logiciel EASI-PACE (tous les modules) de PCI Inc., 2 logiciels ARC-INFO (tous les modules) de ESRI, ainsi que 1 logiciel DESCARTES-MICROSTATION (tous les modules) de Haut-Monts Recherches (Québec, Canada), etc..

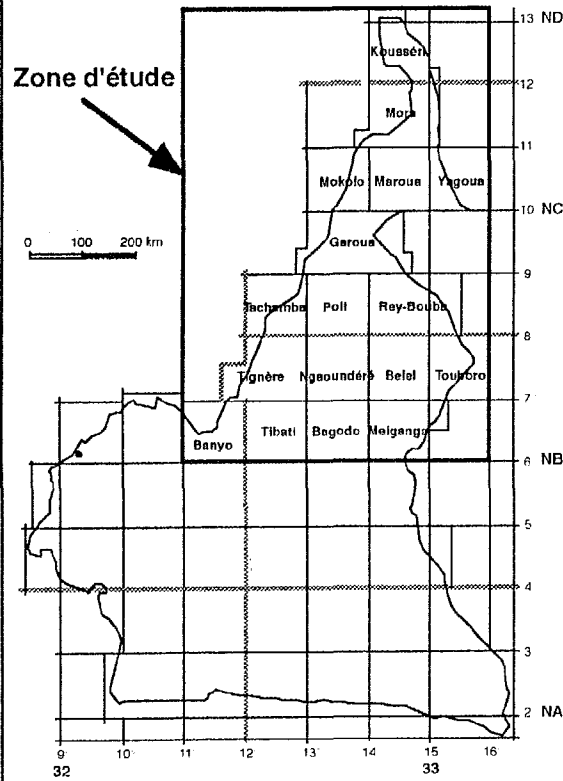
Les périphériques sont: lecteur de cassettes exabyte, lecteur CD-Room, unité d'archivage (cassettes exabyte), 2 tables de numérisation "Gentian", 2 imprimantes standard pour traitement de texte, 1 balayeur couleur 600 DPI (Scanner), 1 GPS 100 survey II, 1 appareil photo, 1 appareil rétroprojecteur Buhl escort, 1 imprimante laser couleur, 1 concentrateur, 1 traceur de type HP, des images satellitaires (films, "print" papier, 5 scènes Landsat TM numériques) à la grandeur de tout le territoire du Cameroun, etc..

440

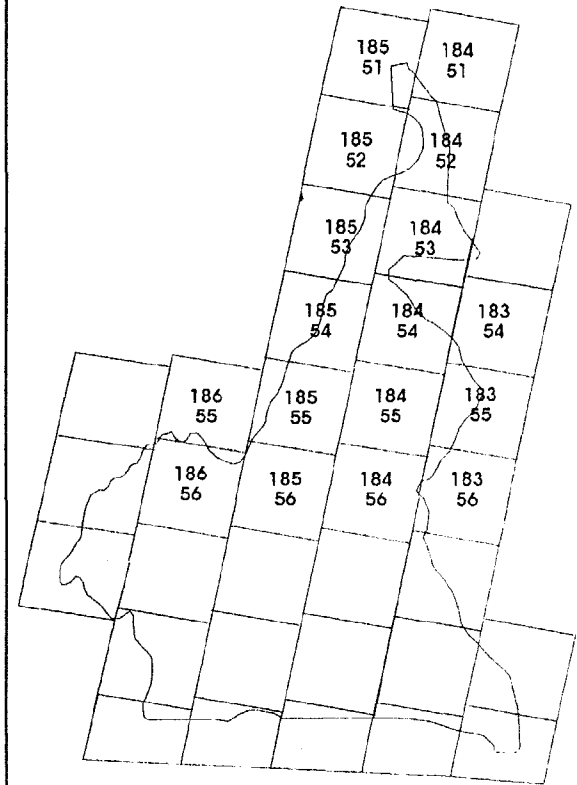
Zone administrative couverte



Couverture cartographique 1:200 000



Couverture satellitaire Landsat TM



Pour la micro-édition, le Centre dispose de 2 micro-ordinateurs Macintosh SE et 1 IBM 386 et divers logiciels de traitement de texte, de statistiques, de comptabilité, ainsi que de dessin et cartographie assistés par ordinateur. 1 imprimante laser, 1 photocopieuse Xérox et 1 appareil de reliure sont également disponibles.

Néanmoins et tant que l'opportunité s'offrira, on cherchera à diversifier, à compléter ces équipements ainsi qu'à augmenter et améliorer les capacités techniques de production du CETELCAF tout au long de l'exécution dudit Projet.

#### **4.3 Données cartographiques**

L'unité cartographique de base du SIG qui sera constituée est une carte à l'échelle de 1/200.000. Au Cameroun, les feuillets cartographiques intéressés (nom du feuillet, découpage topographique et superficie en km<sup>2</sup>) sont: 1 Kousséri (ND-33-III, 6.000); 2 Mora (NC-33-XXI, 8.600); 3 Mokolo (NC-33-XIV, 5.300); 4 Maroua (NC-33-XV, 12.600); 5 Yagoua (NC-33-XVI, 3.500); 6 Garoua (NC-33-VIII, 14.000); 7 Tchamba (NC-33-I, 6.100); 8 Poli (NC-33-II, 12.100); 9 Rey-Bouba (NC-33-III, 13.500); 10 Tignère (NB-33-XIX, 12.100); 11 Ngaoundéré (NB-33-XX, 12.300); 12 Belel (NB-33-XXI, 12.300); 13 Toubouro (NB-33-XXII, 5.400); 14 Banyo (NB-32-XVIII, 7.000); 15 Tibati (NB-33-XIII, 11.100); 16 Bagodo (NB-33-XIV, 12.100); 17 Meiganga (NB-33XV, 10.000).

Toutes ces cartes topographiques, ainsi que toutes les autres données à référence spatiale disponibles sur le milieu seront recueillies et centralisées au niveau du CETELCAF. Les techniciens procéderont à leur numérisation. En l'état actuel des travaux, une bonne partie de ces données sont numérisées, en particulier les cartes topographiques, les cartes de base, les cartes de végétation issues de l'interprétation visuelle et analogique des images satellitaires.

Les autres cartes thématiques susceptibles d'être numérisées sont: carte routière, cartes pédologiques, carte écologique.

De plus, la base finale de données comportera des informations sur le milieu physique à l'instar des variables topographiques (élévation, pente, bassin versant), des variables morphopédologiques (géologie, géomorphologie, type de sols), des variables climatiques (précipitations, températures), des variables hydrologiques (déficit hydrique), etc.

#### **4.4 Images satellitaires**

Pour ce projet en cours d'exécution au CETELCAF de l'ONADEF du Cameroun, les années de référence des travaux sont:

- 1975 (01 Janvier 1972 au 30 Juin 1977)
- 1980 (01 Juillet 1977 au 31 Décembre 1982)
- 1985 (01 Janvier 1983 au 30 Juin 1987)
- 1990 (01 Juillet 1987 au 31 Décembre 1992)
- 1995 (01 Janvier 1993 au 30 Juin 1997).

L'objectif précis de ce projet est: Montage de mécanisme de suivi de la couverture végétale du Cameroun Septentrional par techniques de télédétection et SIG. En conciliant les objectifs fixés, les autres buts à atteindre et les budgets disponibles, le choix du projet s'est porté sur les images Landsat TM. Ce choix prend aussi en compte la richesse spectrale des informations cartographiables du capteur "Thematic Mapper", ainsi que la disponibilité effective et la qualité radiométrique (faible couvert nuageux) de ces images. De plus, elles ont été principalement sélectionnées sur la base de la nature de l'étude à savoir analyse diachronique de la végétation. Déduire que les dates d'acquisition de ces images correspondent au début de saison sèche ou fin de saison de pluies.

Aussi, en héritant des documents utilisés par la firme canadienne de consultants "Photosûr" conformément aux dispositions en vigueur et utilisés lors d'un projet "avorté" de même nature, les images retenues par le projet et qui forment l'ossature des documents de télédétection de ce Projet sous forme de films couleurs sont (Coordonnées "Path", "Row", date d'enregistrement de l'image):

1 - 183, 56; 14 nov 86; 2 - 183, 55; 14 nov 86; 3 - 183, 53; 14 nov 86;  
4 - 184, 56; 23 déc 86; 5 - 184, 55; 7 déc 86; 6 - 184, 54; 7 déc 86;  
7 - 184, 53; 7 déc 86; 8 - 184, 52; 7 déc 86; 9 - 184, 51; 7 déc 86;  
10 - 185, 56; 30 déc 86; 11 - 185, 55; 7 nov 87; 12 - 185, 54; 7 nov 87;  
13 - 185, 53; 7 nov 87; 14 - 185, 52; 7 nov 87; 15 - 185, 51; 7 nov 87;  
16 - 186, 56; 27 jan 87; 17 - 186, 55; 28 jan 87.

Pour la plupart, ces images sont sous forme papier. Dans la limite du possible, elles devront être commandées sous forme numérique. Les images numériques archivées dans des cassettes 8 mm exabyte et disponible en ce moment au CETELCAF sont:

1 - 185, 52; 7 nov 87; 2 - 185, 52; 25 oct 91;  
3 - 184, 53; 7 déc 86; 4 - 184, 53; 24 nov 90;  
5 - 184, 54; 7 déc 86; 6 - 184, 54; 24 nov 90;  
7 - 185, 53; 7 nov 87; 8 - 185, 53; 25 oct 91;

Le Projet de mise en place de mécanisme de suivi de la végétation en cours d'exécution s'assoit essentiellement sur les images Landsat-TM. Mais dans un contexte de mise à jour périodique et d'augmentation des capacités de stockage et d'analyse du SIG qui en sera issu, les images satellites NOAAVHRR, Landsat-MSS, SPOT et les photographies aériennes seront chemin faisant intégrées dans le mécanisme. En effet, les images satellitaires constituent un important élément pour la mise à jour des données du SIG. A l'échelle de base du SIG, leur traitement numérique permettra de représenter avec une grande précision les états de la surface et les paysages agroécologiques de la région des travaux dans le but de mieux évaluer et de suivre efficacement les modifications du couvert et du territoire. Dans le contexte des travaux sur la végétation, on se rappellera que les images AVHRR de NOAA sont plus indiquées pour l'évaluation et le suivi de la Biomasse sur une échelle régionale; les images MSS de Landsat sont souvent plus utilisées pour les travaux de stratification du territoire à un premier niveau; les images TM de Landsat et HRV de SPOT, ainsi que les données RADAR de ERS-1 parce que fournissant des informations plus détaillées sont souvent intégrées à un deuxième niveau de stratification du territoire. Quant aux photographies aériennes et autres données descriptives au sol, elles sont souvent mobilisées en fin du processus pour avoir de grands détails et une vue plus localisée des différents écosystèmes de la végétation, ainsi que diverses classes d'occupation du sol du site de travail.

#### **4.5 Données socio-économiques et autres**

Les données socio-économiques portent principalement sur la population (nombre, répartition, densité, principale activité, etc.), les productions agricole et pastorale, le découpage administratif du territoire, etc.

En rapport avec les données à récolter sur le terrain, le SIG envisagé comprendra donc des données sur le pourcentage de couvert et les limites physiques des principales strates de végétation du Nord Cameroun, les principales essences de la zone, ainsi que leur état phénologique, types et classes d'utilisation du sol, les caractéristiques des principaux types de sols, etc..

442



## 5 FORMATION

Ce Projet se réalise actuellement autour d'une équipe d'exécution dont l'essentiel de la composition est:

- 1 Superviseur + Secrétariat du Projet,
- 1 Ing. des Eaux et Forêts, Spécialiste (télédétection & SIG),  
Coordonateur, Chef du Projet
- 1 Ing. des Trvx des E. et F., Responsable des travaux de terrain,
- 2 Techniciens Sup. des Eaux et Forêts, Préposés au traitement numérique d'images et Opérateurs sur SIG,
- 2 Techniciens des Eaux et Forêts, Photointerprètes,
- 2 Techniciens des Eaux et Forêts, Cartographes,
- 2 Agents techniques des Eaux et Forêts, Dessinateurs,
- Personnel temporaire du Projet.

Exception faite du superviseur et du coordonnateur du Projet qui n'ont pas besoin d'une formation particulière, le reste du personnel requiert une formation adéquate et soutenue.

La Secrétaire qui est responsable de la saisie des documents techniques et autres rapports du Projet, ainsi que leur mise en forme finale et leur édition est en formation sur le tas sur l'utilisation d'un Macintosh. Elle devrait bénéficier d'un Programme de formation plus soutenue en techniques de bureautique.

Le reste du Personnel est aussi en formation sur le tas. L'ingénieur responsable des travaux sur le terrain et les deux techniciens, préposés au traitement numérique des images et opérateurs sur SIG devraient bénéficier de stage de formation plus poussés dans des institutions spécialisées (Amérique et/ou Europe).

Les photo-interprètes tout en continuant à suivre une formation plus adaptée et sur place au Cameroun devraient être encadrés par un spécialiste plus expérimenté.

## 6 PRODUCTION: EXTRANTS OU OUTPUTS

- Au terme du Projet, l'ONADEF aura en main, pour ce qui concerne la zone du Nord Cameroun, des informations (statistiques et spatiales) sur son couvert végétal et ses ressources naturelles à importance spatiale, sur son climat, sa pédologie, son agriculture, son élevage et sa population. Toutes ces informations seront centralisées et organisées dans un SIG opérationnel.

-A l'échelle de base du SIG, disponibilité assurée des cartes informatisées de végétation et des zones éco-floristiques pour localiser les différentes strates végétales, ainsi que les zones de perturbation (déboisement, désertification, etc.);

- Possibilité assurée d'intégration rapide de ces informations à d'autres données pour l'étude des impacts environnementaux (Exemple: corrélation des informations avec les facteurs socio-économiques et la planification des actions pour contrôler le déboisement et la dégradation de l'environnement).

- La base de données sera flexible, donc possibilité réelle de mise à jour sur l'état du couvert végétal.

- Production numérique assurée des cartes thématiques à diverses échelles telles: carte de végétation du Nord-Cameroun, carte des ressources en eau, carte des champs et des ressources agricoles, carte des zones pâturées et des ressources pastorales, carte de la population et ses activités, carte d'occupation du sol, carte de potentiel des unités de terre, carte d'aptitude des terres, carte des infrastructures et services du Nord Cameroun.

- Des documents et des rapports techniques de description de la méthodologie des bases de données existeront au CETELCAF.

Par ailleurs, le CETELCAF de l'ONADEF sera renforcé dans ses capacités et outils de production.

- le SIG complètera l'unité de traitement d'image déjà existante et ainsi assurera la mise à jour de ce dernier.

- Sur le plan de la ressource humaine, un noyau d'experts à l'utilisation et à la manipulation des SIG existera pour l'évaluation périodique et le suivi de la couverture végétale du Cameroun septentrional.

Enfin, le SIG du CETELCAF devra être capable de générer les formats de l'information les plus courants soit des cartes (topographiques, base et thématiques) à différentes échelles, ainsi que des tableaux et des rapports d'analyse statistique.

L'unité cartographique de base du SIG étant la carte à l'échelle de 1/200.000, des cartes produites numériquement seront disponibles aux clients et divers usagers du CETELCAF en mode analogique "papier".

Ces mêmes produits seront disponibles au Grand Public sur des supports numériques: CD-Rom, CCT et Cassettes 8 mm exabyte.

## **7 VENTILATION ET DISTRIBUTION DES PRODUITS**

Les bénéficiaires privilégiés de ce projet sont l'ONADEF et le MINEF (Direction des Forêts, Direction de la Faune et des Aires Protégées, Direction de l'Environnement). Cependant le Projet sera d'un grand intérêt pour tous les intervenants en milieu naturel du Nord Cameroun.

Le Projet mettra à la disposition des responsables de l'aménagement du territoire camerounais et l'aménagement forestier un outil de planification et de gestion rationnelle de l'information pour les aider à prendre les décisions adéquates et efficaces en matière de travaux forestiers (reboisement, mise en défens, etc.).

Entre autres bénéficiaires du Projet, citons: l'Administration territoriale, les exploitants forestiers, les Projets de Recherche et d'Etudes en Foresterie, les ONG, les Opérateurs économiques, les Populations, etc..

L'ONADEF et le MINEF devraient être en mesure de diffuser les résultats, ainsi que critiquer celui-ci dans la forme et le contenu méthodologique. Ce qui aidera le CETELCAF à tester au fur et à mesure l'utilisation et la performance du SIG et l'améliorer constamment. La diffusion des résultats pourra se faire aussi à travers des séminaires que voudront bien organiser l'ONADEF et le MINEF afin de divulguer voire vulgariser les techniques de télédétection, des SIG et les résultats du Projet. Des journées "portes ouvertes" du CETELCAF et des démonstrations en salle pourraient être tout autant d'autres occasions de diffusion du mécanisme ainsi conçu et monté et les résultats produits.

## **8 UTILISATION ET IMPACTS DES RESULTATS DU PROJET**

Exception faite des informations faibles et à jour qui seront disponible sur l'objet de son étude, le projet a des objectifs qui concourent tous à la mise en oeuvre du plan d'action forestier national du Cameroun dont l'enjeu principal est la Protection du Patrimoine Forestier et la Sauvegarde de l'Environnement, ainsi que la Préservation de la Biodiversité.

- Par le fait qu'il traite d'un problème qui aura des retombées et une incidence directe sur l'aménagement et la gestion du milieu naturel, ce Projet est une contribution directe au maintien sous-couvert forestier de 30 % du territoire national camerounais conformément à la nouvelle politique forestière du pays.

- Par la qualité et la quantité des informations et des documents qu'il disposera aux décideurs et techniciens, il est aussi une contribution directe aux mesures et actions à prendre dans le cadre de l'aménagement, de classement de certaines des forêts et autres terrains boisés ou à intérêt biophysique particulier du Cameroun. Dans ce sens et au terme du projet, les décideurs et les gestionnaires du milieu naturel camerounais à l'instar de l'administration forestière auront en main des éléments fiables pour décider et planifier les mesures d'intervention et d'amélioration des techniques de sylviculture en zone de savane, de l'aménagement, ainsi que de la gestion des ressources végétales du Cameroun septentrional.

Sur ce, au plan national, les grands axes des impacts du Projet se présentent ainsi qu'il suit:

- Assurer la Protection du Patrimoine Forestier et participer à la Sauvegarde de l'Environnement et à la Préservation de la Biodiversité du Cameroun.
- Créer un domaine Forestier Permanent et des Aires protégées représentant la Biodiversité Nationale (Réserves de flore et de faune).
- Réalisation, mise à jour périodique et exploitation judicieuse de la connaissance des ressources forestières en poursuivant le programme d'inventaire forestier national de reconnaissance. système d'Information Permanent pour la Gestion des Ressources Naturelles et Forestières mis en place.
- Installer un système de surveillance de la couverture végétale.

Dans un contexte de développement régional, l'expérience du Projet pourrait être toute aussi transférée dans d'autres pays de l'Afrique Centrale possédant le même environnement physiographique et socio-économique.

# THE USE OF PERSONAL COMPUTER BASED GIS FOR NATURAL RESOURCE MANAGEMENT

**D.R. MacDEVETTE, G.G. FORSYTH, Y. JAIROSI**

CSIR Division of Forest Science and Technology, Pretoria, South Africa

## INTRODUCTION

The CSIR Division of Forest Science and Technology (Forestek) has been developing GIS applications in the natural resource management field over the last four years for a range of clients. In this time, the computer platforms and software have developed dramatically and most of our clients now require systems to be developed on personal computers. Unix workstations and powerful modelling software however still play an important role in overall database management and the generation of data used in these applications.

In South Africa, clients who require natural resource management solutions and who are prepared to use GIS include; national agencies such as the Department of Water Affairs and Forestry and Environment Affairs; provincial government agencies involved in environmental, water resource and rural development management; metropolitan and city natural resource managers. Many of these agencies have, or intend getting GIS hardware and software or would like to purchase applications that use GIS technology such as *ArcView*.

This paper briefly reviews some examples of personal computer applications of GIS, developed in Forestek, in natural resource management to show a number of different approaches used and their relative success and presents recommendations for future developments in this area.

## AN OVERVIEW OF REQUIREMENTS

The most common forms of applications required by natural resource managers and planners are:

### ■ *Scenario planning and communication tools*

These applications are for strategic national, provincial or even district level applications. They are applications that allow the user to generate a set of outputs (such as economic, social and environmental indicators or specific parameters such as water supply) for a user defined scenario. The Catchment Resource Assessment Model (CRAM) is a good example of this kind of application.

### ■ *Natural resource management systems*

Managers of natural areas or forestry plantations require information management tools that enable them to make decisions requiring a complex array of input information. They need to justify their decisions in economic, ecological and or social terms. These tools need to be able to handle spatial data and to be user friendly so that managers, as opposed to computer specialists, can use them. The Plantation Decision Support System (PDSS) and the Catchment Management System (CMS) are examples of these systems.

### ■ *Information management and decision support tools*

At the national or provincial level administrators are required to implement certain statutory processes in terms of laws or regulations. These include the implementation of regulatory systems such as permit systems for natural resource usage or the processing of natural resource use monitoring information. Spatial information systems are required to provide an effective means of processing the information and providing a database for record purposes.

The Afforestation Permit System (APS) managed by the Department of Water Affairs and Forestry is an example of this kind of system.

■ *Simple information provision tools*

Planners and managers sometimes require tools that provide simple visualisation of spatial data. This can be used as an input into a decision making process or to demonstrate the impact of a particular management practise. These systems usually consist of a database together with simple viewing tools such as *ArcView*.

**EXAMPLES OF SYSTEMS**

**Catchment Management System** (from Forsyth 1994)

The primary source of water for the metropolitan areas of the Western Cape Province, South Africa, are its rugged mountain catchments. The wise management of these catchments is vital to the economic well-being of the region. The catchments are covered by a mediterranean-type shrubland known as fynbos. Fire is an essential process for the continued existence of fynbos. Prescribed burning is carried out to rejuvenate the fynbos, to reduce fire hazard, to control invasive alien woody plants (alien weeds) and thereby to ensure the sustained delivery of high quality water. Fire, combined with mechanical clearing of alien weeds, are the only practical tools for achieving these aims in the mountainous terrain.

The Catchment Management System (CMS) is a computer-based system used to support the management of fire in the catchments of the Western Cape Province. CMS stores, retrieves and processes spatial and non-spatial data, and produces the summaries, statistics and maps required by catchment managers. It also deals with the problem of prioritizing areas for prescribed burning, and provides for monitoring the progress and success of fire management.

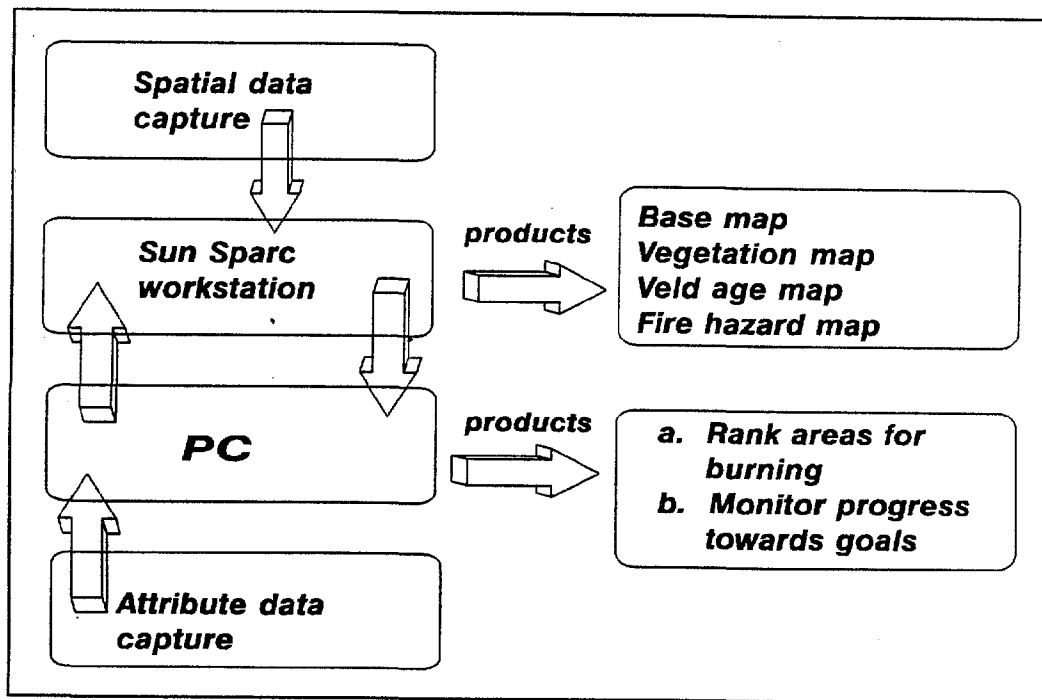


Figure 1: Schematic representation of the Catchment Management System. (Modified from Richardson et al., 1994)

447

CMS comprises a centralized GIS using *ArcInfo Version 6* software and runs on a Unix workstation. This is used for capturing, managing and processing spatial data as well as for compiling maps. The processed information is then transferred, via computer disk, to *DBase IV* databases running on the personal computers (PC) of catchment managers (Figure 1). Built-in routines allow changes made by the manager to be placed on the central system and vice versa. Data transfer via modem is not yet feasible because of poor telephone links, to most catchment management stations.

Catchments are usually divided into a number of management units, termed compartments. The key data-bases of the CMS: fire records, alien weed distribution, vegetation types and land tenure, can be queried and analyzed at both the compartment and catchment scales. The PC component was designed to allow the manager to access and edit attribute data, perform queries and produce summary reports. Routines were developed to produce summary histograms in *DBase IV*.

Simple rule-based models are used on the PC for decision-making. Applications available on CMS include: ranking areas by burning priority, monitoring the success of fire management and the mapping of fire hazard for fire control planning.

After testing of version 1 with the catchment managers it was recognized that the managers required spatial data visualization tools on the desktop. CMS version 2 was therefore developed in *ArcView2* to provide significant functionality at the PC level. The system will be tested in April 1995.

CMS has shown that although the workstation is a valuable component in the development of databases, models and the testing of applications, the PC is the level that most managers want to work at. Recently, with the functionality provided by *ArcView 2* it is possible to provide PC based systems more cost effectively.

#### **Catchment Resource Assessment Model**

The Catchment Resource Assessment Model (CRAM) is designed to allow a non-specialist user to experiment with the economic, environmental and social consequences of different land- and water-use patterns in a catchment. The emphasis in CRAM is on making the model easily usable as a scenario gaming tool, rather than on achieving hydrological precision. It consists of three parts: a sophisticated graphical user interface, a simple monthly multi-catchment hydrological model and impact models, and the GIS-derived databases needed to drive the modelling process. The user interface is designed for ease of use by an intelligent lay-person. The hydrological model is only as complicated as it needs to be to use data readily available at the whole catchment scale.

The principle outputs of CRAM are the impact indices, which relate to economic performance, environmental quality (in both river and on land) and human impacts, such as job creation and the availability and quality of domestic water. CRAM was designed to run on a PC thereby reaching the greatest number of users. While workstations are ideal for research and modelling they are expensive and require complicated software for optimal use. The average user has no such hardware and is not interested in learning the software. A customised system running on a PC therefore meets all the requirements of the user. With this in mind, CRAM was designed to run within a Windows environment, and requires a 386 PC with a VGA screen and a mouse.

CRAM was developed using *Toolbook* a multi-media software package for the user interface. In testing CRAM and then providing it to a range of users, we found that a number of different modifications were required to the system by different users. To enable CRAM to be a useful product, it had to be customized to meet the requirements of different users. Due to the nature of the software, it became too expensive and too time consuming to modify the code each time. We are now looking at transferring CRAM into an *ArcView* environment as it is cheaper and easier to modify in that environment.

448

### **Plantation decision support system**

South African forestry companies, who rely fairly heavily on computerised information systems, have been in the process of moving to GIS based systems over the last three years. No companies however have well organized spatial information systems to date, although some companies have progressed further than others. Two years ago a number of companies recognized the need for decision support systems to enhance the profitable management of forestry plantations. At that time there were no international PC-based system with modules suitable for South African conditions and the existing systems were very expensive to implement. We therefore decided to develop software for spatial decision support systems that would run on a PC. A Plantation Decision Support System (PDSS) would be the first product marketed from the new platform. The system prototype was developed rapidly (within 8 months) and received positive feedback from the clients and further development of the full system was supported.

Due to the fact that the system required complex software, the development of the decision support software took significantly longer than planned. Also the development and maintenance of the decision support software became a major task and distracted us from our core business area. We will deliver a beta version based on the software but are evaluating whether the platform will be moved to *ArcView* in future.

### **Afforestation permit system**

The Forestry Branch of the Department of Water Affairs and Forestry is responsible for managing the allocation of permits for commercial afforestation in South Africa. Afforestation is controlled by a permit system due to the need to control water resource usage in a relatively dry country like South Africa and the fact that forestry is a significant user of water.

A mainframe computer system was used to manage permits in the past but it did not handle spatial data required by the Department for their GIS and by other users of the information. In 1992 we completed a Unix workstation based Afforestation Permit System (APS) using *ArcInfo* software. However due to changes in the location of the Forestry Branch to a new building where there was no access to the workstation) as well as the fact that the system now needed to work at the provincial as well as the national level, it was decided to transfer the system to a PC in 1993.

Version 2 of the PC APS has just been completed using *PC ArcInfo*. The system provides for the input of permit data, the running of a set of simple models ( riparian zone-management model, streamflow reduction model) and the generation of an afforestation permit (which includes a map).

### **Forest Resource Information System**

The Forestry Branch of the Department of Water Affairs and Forestry is also responsible for providing statistics on the Forest Industry in South Africa annually. The data used to be obtained via a series of questionnaires and processed on a mainframe computer. The Department wanted a PC system that would enable them to process the data, generate their annual report and provide information in a format that could be used for national forestry planning purposes.

The system was developed using Microsoft Access and links via a permit number to the APS.

449

## TRENDS AND IMPLICATIONS FOR THE FUTURE

With the increasing power of PC hardware and software and the introduction of operating systems such as Microsoft Windows NT, the distinction between powerful workstations and personal computers is becoming less important. What is important, particularly in Africa, is the capacity of the installed base of personal computers (which is often far behind the leading edge) and the rate at which the capacity changes.

Relatively cheap spatial data viewing and analysis software has become significantly more powerful in the last year. These systems permit the development of sophisticated PC applications. The capacity of spatial database developers to provide input information is now a significant bottleneck.

The United Nations Environment Program (UNEP) and the United Nations Development Program (UNDP) are supporting an initiative to develop a set of core data required for environmental assessment and sustainable development planning. This represents a trend in international agencies, based on Agenda 21, where data is being increasingly seen as a national resource. This implies that core data should be supplied by national agencies to provide essential inputs for sustainable development planning. Core spatial data sets of climate, soils, water resources and land cover can provide the basis for a wide range of systems for natural resource management.

In many parts of Africa, current natural resource information is fairly limited. Powerful spatial modelling tools, together with ecological models, permit the modelling of important natural resource information based on a relatively small data set. The most important ones in this area that we have encountered are models dealing with land suitability for resource uses such as forestry and agriculture (based on climate and soil data) and hydrological models (based on climate, topography, land cover and soils). The use of cheap, accessible remote sensing data, such as that produced by the NOAA AVHRR sensors (currently used for food security planning and monitoring) are important information inputs.

## RECOMMENDATIONS

In order to be able to effectively utilize GIS technology to support the process of sustainable development planning and implementation, the following issues should be given priority attention:

- Development at the national level of a series of core data layers required for natural resource management. These include climate, soils, topography, land cover and water resources. Every effort should be used to mobilize international funding to support this initiative and to stimulate the private sector involvement in the production and maintenance of these layers.
- Key user requirements in critical areas of the planning for sustainable development should be used to drive the process of development of databases and applications for natural resource management using public funds. Again mobilization of international support is vital, while ensuring that the private sector is involved and that the initiatives are sustainable. This approach is in opposition to the traditional Departmental, isolated approach, where applications are often driven by interests of the departmental officials rather than real needs and there is little public transparency or accountability in the process.
- Provide national support in terms of standards and training for a relatively small number of software tools to ensure maximum effectiveness. The existing training and private sector support capacity must be adequate to fully support the effective implementation of the software. Within Africa, the training and private sector support is often limited and only a limited array of software can be handled. Again there are many software vendors and experts who like to punt their favourite software rather than looking what is required to ensure a cost effective and sustainable solution.



- Beware of complex and elegant GIS based solutions, the simple ones are the ones most likely to work. Rather develop a first version of a system with limited functionality and get it to work, than trying to develop a complex system from the beginning.
- Personal computers and software are adequate for many applications in the natural resource management field, however powerful workstations are most effective for a number of modelling processes. Many organizations do not need to have powerful modelling capacity in-house as it is not cost effective to invest in the technology and the competence to run it when it is only required a portion of the time. Capacity needs to be developed, particularly in the private sector, to provide these kind of modelling and processing services to organizations.
- Donors as well as government agencies should support Universities and private companies to develop specialized databases. This data together with all data collected using public funds should be put into the public domain.
- Support the development of standard ways of presenting meta-data and standard data transfer formats to ensure that data can be used effectively in a variety of applications.

## REFERENCES

- Forsyth, G.G., 1994. Enhanced catchment management by using a geographical information system. Paper presented at the Resource Technology Conference, September 1994. Canberra.
- MacDevette D.R. and Jairoso Y., 1993. Lessons in setting up GIS operations in southern Africa. Proceedings of the Fifth Annual Seminar in LIS/GIS. Harare, Zimbabwe. March 1993.
- MacDevette D.R., 1993. The status of advanced information technology applications for natural resource management in southern Africa. Proceeding of conference on "Application of Advanced Information Technologies: Effective Management of Natural Resources". June 18-19, Spokane, Washington, USA.
- MacDevette D.R., 1994. Developing Environmental Decision Support Systems for the Real World: Lessons from South Africa. Proceedings of the Decision Support - 2001 symposium. September 12 - 16, 1994. Toronto, Canada.
- Meyer G.W. , R.J. Scholes, R. Beukmann and K. Higgins, 1994. Developing a catchment resource assessment model on a personal computer. Proceedings of the Decision Support - 2001 symposium. September 12 - 16, 1994. Toronto, Canada.
- Richardson D.M., B.W. van Wilgen, D.C. Le Maitre, K.B. Higgins, and G.G. Forsyth, 1994. A Computer-Based System for Fire Management in the Mountains of the Cape Province, South Africa. *International Journal of Wildland Fire* 4(1): 17-32.

# DEVELOPPEMENT DES SYSTEMES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE A LA DCGTX

**Ch. O. NADO**

DCGTX, Abidjan, Côte d'Ivoire

## 1 Introduction

Plusieurs services de la Direction et Contrôle des Grands Travaux (DCGTX), de nombreux services publics et privés ont en charge l'observation, la gestion ou la programmation d'ensembles importants d'éléments physiques de toutes natures, géographiquement dispersés: services d'entretien et de programmation routiers, services fiscaux immobiliers, concessionnaires de distribution d'eau et d'électricité, services de statistiques centraux ou spécialisés, services de gestion et de programmation en matière d'équipements (ex: équipements scolaires, sanitaires), etc.

Le croisement ou l'exploitation de ces informations est souvent difficile à réaliser soit parce que le volume et la dispersion des données rendent difficile leur exploitation, soit parce qu'elles ne sont pas accessibles. Afin de pouvoir réaliser des traitements multivariés, c'est-à-dire associer les entités géographiques à des données descriptives, que la DCGTX a pris l'initiative de mettre en place un SIG.

## 2 Historique

Depuis 1986, la DCGTX et la DEPU en particulier, pratiquait la cartographie numérique pour la réalisation des plans d'aménagement, d'études, d'état ou de situation. Cet outil a permis d'acquérir des avantages quantifiables: gain de temps et de précision.

Les applications étaient essentiellement visuelles puisqu'on s'est limité à l'utilisation de logiciels CAO/DAO ou de logiciels de cartographie informatisée.

Parallèlement à la cartographie numérique, des bases de données éparpillées tel que le recensement, les enquêtes ont permis d'élaborer des cartes thématiques pour le compte de nos propres études ou pour des utilisateurs externes.

En 1992, la constatation était faite: 1) que plusieurs directions de la DCGTX, de même qu'une grande partie du personnel (décideurs, techniciens, utilisateurs) peuvent être impliqués dans un projet de montage de Systèmes d'Informations Géographiques tant en milieu urbain qu'à l'échelle du territoire national; 2) que les utilisateurs avaient une bonne connaissance de leurs besoins, mais n'avaient pas une idée bien claire des capacités d'un SIG; 3) que des données, qu'elles soient primaires (communes) ou sectorielles (spécifiques à un secteur d'activité), sont traitées et maintenues de manières éparées et non liées, ayant pour résultats négatifs immédiats les différences de niveau de mises à jour.

Ainsi, la DEPU a initié le montage des deux systèmes:

- SIG urbain à Abidjan,
- SIG National.

Les objectifs fixés au départ ne sont pas très ambitieux; il fallait rester réaliste au maximum et prévoir des développements ultérieurs.

452

### 3 Objectifs

Les objectifs assignés aux SIG en cours de montage sont essentiellement:

- 1 apporter une aide à la décision, à la programmation et à la planification par des calculs d'optimisation;
- 2 accroître la performance dans la production de cartes;
- 3 centraliser la production, le stockage, la maintenance et la diffusion des fonds cartographiques et des bases de données primaires;
- 4 décentraliser l'utilisation des données sectorielles et accroître la communication entre les différents secteurs.

### 4 Réalisation

#### a) Étude préalable

Cette étude était axée sur l'analyse de l'existant et sur le recensement des besoins internes et externes. Elle a permis de se rendre compte que la motivation pour le montage et l'utilisation d'un SIG est suffisamment forte chez tous les utilisateurs. On peut citer entre autres:

- les responsables des études et projets urbains pour des applications dans le domaine de l'aménagement urbain, de la fiscalité, du foncier, de la démographie et des problèmes socio-économiques;
- les responsables des études agricoles et du milieu rural: cadastre rural;
- les responsables de gestion et de programmation des équipements notamment scolaires et sanitaires pour l'édition de cartes d'inventaires et la production d'indicateurs de niveau d'équipement;
- les responsables d'entretien et de programmation routier pour des applications du même type que pour les équipements;
- les collectivités locales, les concessionnaires de la distribution d'eau et d'électricité; etc.

La préoccupation principale des intéressés est simple: passer de la méthode manuelle classique de gestion et d'analyse à la méthode informatisée par l'utilisation d'un SIG.

#### b) Acquisition de données

Nous savons tous que l'information Géographique, en pays en voie de développement est souvent très insuffisante sinon périmée, ou existante mais non informatisée C'est le premier problème auquel nous devons faire face. Raison pour laquelle nous avons accordé une importance primordiale à l'acquisition de données:

- les marchés de couvertures aériennes comprenant les restitutions numériques à l'échelle au 1/50000 pour Abidjan et plusieurs autres villes de l'intérieur;
- l'informatisation par digitalisation des cartographies de découpage utilisées par les services de statistiques centraux: recensement;

- la constitution d'un parcellaire général rassemblant les informations provenant des organismes de gestion foncière et immobilière: Cadastre., Service Topographique du Ministère de la Construction et de l'Urbanisme, le Service des ventes immobilières de la DCGTx, ainsi que les géomètres privés;
- la création de fonds cartographiques spécifiques:
  - . le réseau de voirie en milieu urbain;
  - . les découpages en zone d'occupation des sols en milieu urbain;
  - . l'atlas informatisé des équipements en milieu urbain;
  - . le réseau routier national avec toutes les localités recensées, le découpage administratif, le réseau électrique et l'hydrographie principale.
- la constitution de la Banque de données urbaines: données démographiques, socio-économiques, sur les équipements;
- la constitution de la Base de données des localités: données démographiques, équipements, socio-économiques;
- la constitution de la Base de données routières nationales: identifiant tous les tronçons de pistes, classes, longueurs, état.

### c) Choix technique

Au moment de la décision du montage du SIG, les cadres de la DEPU qui travaillaient sur le projet avaient déjà acquis un certain nombre de connaissances dans le domaine. Ils sont de formations diverses: statistique, informatique, urbanisme, techniques géographiques. Et des stages de formation à l'étranger, dans des structures bien avancées en SIG telles que l'Institut Géographique National, l'Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région de Ile de France, la Mairie de Toulouse, ont permis d'actualiser les connaissances.

Un des premiers choix importants du projet est le développement d'un logiciel adapté qui a les fonctionnalités suivantes:

- saisie par digitalisation,
- transfert de données,
- restitution sur traceur,
- analyses, requêtes géométriques ou sémantiques,
- production de statistique.

Le logiciel a pu être adapté continuellement par rajout d'applicatifs spécifiques pour les besoins particuliers des demandeurs.

## 5 Produits et applications

### a) SIG Urbain

- Atlas des Modes d'occupation des sols (1992) (interne): 35 postes de légendes, couvrant Abidjan, environ 30.000 zones d'occupation du sol rattachée à 9.000 îlots de recensement;
- Aménagement Urbain: actualisation du Schéma Directeur d'Abidjan (MECU);
- Observation Urbaine: Base de données des indicateurs Urbains (fonciers et Habitats) (MECU);
- Adressage des rues d'Abidjan (Ministère de l'Intérieur).

## b) SIG National

- Cartographie d'inventaire des équipements sanitaires (Ministère de la Santé);
- Cartographie d'inventaire des équipements scolaires (Ministère de l'Education Nationale).
- Programme d'Entretien et de Réhabilitation Routiers (Ministère de l'Équipement, des Transports et des Télécommunications).
- Projet de Cadastres Fiscaux Simplifiés (Direction Générale des Impôts),

## 6 Mises à jour des données

Les mises à jour peuvent être globales ou ponctuelles.

### a) Données cartographiques

- mises à jour globales: nouvelles campagnes de photographies aériennes (+ restitutions numériques),
- mises à jour ponctuelles: intégration des traces de nouvelles voies, de nouveaux lotissements.
- mises à jour globales dans le cadre d'un projet. ex: projet d'Entretien et de Réhabilitation Routiers.

### b) Données sectorielles

- mises à jour globales: nouveau recensement de la population, enquêtes exhaustives.
- mises à jour ponctuelles: enquêtes ponctuelles, collecte de données auprès d'autres structures.

Etant donné que plusieurs structures (telles que les ministères) sont concernées par le SIG ou par ses produits, des procédures de mises à jour de données sont mises en place avec celles-ci. ex: structures sanitaires avec le Ministère de la Santé.

# THE USE OF GIS FOR DECISION-MAKERS IN DEVELOPMENT PLANNING: THE NYANGA-GIS, A CASE STUDY FROM ZIMBABWE

**D.T. SEMWAYO<sup>[1]</sup>, M.F.F. FERRAZ<sup>[1,2]</sup>**

[1] Environment and Remote Sensing Institute (ERSI), Harare, Zimbabwe.

[2] German Technical Co-operation Agency, GTZ, Harare, Zimbabwe.

## ABSTRACT

Developing countries are faced with having to establish effective plans for the sustainable development of their territories. This involves the assessment of the available natural resources and how best to optimise their use. Decision-makers need to be aware not only of existing resources but also the potential areas of growth and decline. In addition, the potential consequences of decisions need to be evaluated.

To address these issues, the Leadership for Environment and Development (LEAD) program ran a workshop for third-world country participants in middle management to demonstrate the utility of integrating data in effective sustainable development planning. The Environment and Remote Sensing Institute (ERSI) developed a geo-information system database to enable the integration of data from multiple sources. This data integration facilitates a holistic approach to development planning. A case-study was made of the Nyanga District in Zimbabwe.

The Nyanga District, in the Eastern Highlands of Zimbabwe, is an administrative district within the Manicaland Province bordering on Mozambique. It is characterised by a wide range of rural land sector/classification, land use types, biophysical units and climatic conditions. Bio-physical, economic and demographic data was collected across the district.

The various data sets were entered into a GIS database as separate layers. The database was subsequently used as a resource by participants to integrate different data layers thus generating different development scenarios. In particular, combinations of data layers on water resources, and human settlements were used to address the issues of water availability and the water requirements of the human population.

A number of difficulties were encountered with the implementation of the GIS. The main issues were that of actual data availability, data accuracy and primary data. Many institutions provided semi-processed data as base-line data resulting in erroneous assumptions. These data sets precluded the structuring of accurate queries and limited some of the GIS functionality. An additional difficulty encountered was that of a lack of adequately qualified personnel in GIS. The need to train and to supervise, in detail, the data entry, delayed the implementation of the GIS.

Despite problems with some of the data, the GIS was useful. It can be seen that the supply of water at growth points needs to be increased and that the major source of such water lies in the highlands escarpment. Future planning must take this into account. Thus, the costing of pumping, piping or damming water must be added to any development proposal in the growth point. The implications of such an assessment include the additional infrastructure which would have to be in place, as well as the ramifications to the environment in the area of water abstraction.

Some of the environmental and socio-economic temporal patterns in the Nyanga case study, can be extrapolated to a national level.

# L'EXPERIENCE CENTRAFRICAINE DU SUIVI ECOLOGIQUE EN ZONE NORD DE LA REPUBLIQUE CENTRAFRICAINE

## A. POUBANGUI

Ministère des Eaux et Forêts, Bangui, République Centrafricaine

### 1 CADRE PHYSIQUE ET ECONOMIQUE DE LA REGION NORD

La Région Nord de la République Centrafricaine est une région plus précisément située à l'extrême Nord-Est du pays et fait frontière avec la République du Tchad sur 600 Km et avec le Soudan à l'Est sur 250 Km. La Région comprend deux Préfectures: le Bamingui-Bangoran et la Vakaga ayant respectivement pour Chefs-lieux NDELE et BIRAO. Les deux préfectures couvrent au total une superficie de 205.000 Km<sup>2</sup>, soit environ 17% de la superficie du pays (Bamingui-Bangoran: 58.220 Km<sup>2</sup> et la Vakaga : 46.790 Km<sup>2</sup>). 58.000 habitants, cette région, la plus faiblement peuplée est le domaine par excellence de la biodiversité.

#### 1.1 Cadre bioclimatique

La Région Nord s'étend sur trois zones bioclimatiques du Nord au Sud:

- la zone Sahélo-Soudanienne (autour de Birao) ;
- la zone Soudano-Sahélienne (entre Birao et Ndélé) ;
- la zone Soudanienne (au Sud de Ndélé).

Les précipitations varient autour de 2300 Mm à Ndélé et 870 Mm à Birao.

La superficie couverte par les formations végétales naturelles atteint 90% de l'ensemble de la région. La densité de population étant faible avec 0,5 habitant/Km<sup>2</sup>, lesquelles sont très dispersées.

#### 1.2 Cadre foncier

La Région Nord est essentiellement occupée par des Aires Protégées, il y a donc:

- 3 Parcs Nationaux: le Parc National du Bamingui-Bangoran, le Parc National Manovo-Gounda Saint-Floris, le Parc National André Félix;
- 1 Parc Présidentiel, le Parc d'Awakaba;
- 1 Réserve Intégrale située à l'intérieur du Parc National Bamingui-Bangoran, il s'agit de la Réserve Naturelle Intégrale de la Vassako-Bolo ;
- 4 Réserves de Faune (Ouandjia-Vakaga, Yata-Ngaya, Gribingui-Bamingui; Koukourou-Bamingui).

Le reste du territoire appartient soit à la zone cynégétique ou domaine de chasse amodiées, soit aux zones dites "banales" ou la chasse n'est pas réglementée.

#### 1.3 Potentialités naturelles

La richesse de la Région est d'abord et avant tout la faune, laquelle est reconnue comme étant très diversifiée, abondante et comparable à celle des Parcs Nationaux d'Afrique de l'Est. Cette faune donne lieu à des activités de

chasse traditionnelle pratiquée par la population sédentaire et le tourisme cynégétique pratiqué par les Sociétés de Safari.

Après la faune viennent les activités assises sur la cueillette et le ramassage: karité, miel, pêches.

L'agriculture reste très attardée et basée sur les céréales: sorgho, mil. L'élevage transhumant y est très développé.

#### **1.4 Les problèmes de la région :**

La Région Nord est confrontée à plusieurs problèmes:

- la progression du Sahel vers le Sud avec comme conséquence la dégradation de la végétation; une sécheresse fréquente; amorce du processus de la désertification;
- le braconnage qui entraîne une diminution du capital faunique;
- le développement d'un élevage transhumant ou nomade qui entraîne la dégradation de la végétation et une diminution de la faune par la peste bovine.

Conscient des potentialités économiques de la Région, des dangers de la progression du Sahel et du braconnage, le Gouvernement Centrafricain a décidé de placer dans ses priorités, la réalisation d'un vaste programme de conservation des Ressources Naturelles avec l'aide financière de la Communauté Economique Européenne (CEE).

L'objectif principal de ce projet intitulé "Programme de Développement de la Région Nord" (PDRN) est la protection des parcs nationaux et réserves par la mise en place de structures administratives et techniques (cellule de surveillance, cellule de suivi écologique et de gestion), un minimum d'infrastructures (pistes, logements, bâtiments sociaux), ainsi que des actions de développement rural prévues.

Les résultats attendus de ce projet sont beaucoup plus d'ordre environnemental et physique.

Du point de vue environnement:

- le maintien des équilibres écologiques du Nord;
- la conservation des ressources hydriques, floristiques et fauniques.

Du point de vue physique:

- une augmentation du cheptel faunique;
- l'arrêt des dégradations des galeries forestières et des forêts sèches, et par conséquent la préservation des sources du Chari;
- l'augmentation de la capacité de charge des pâturages par le contrôle des feux de brousse, etc.

Pour atteindre les résultats ci-dessus définis, un programme de suivi écologique s'avère très essentiel.

## **2 LE PROGRAMME DE SUIVI ECOLOGIQUE**

Le milieu naturel du Nord-Est de la République Centrafricaine connaît des problèmes qui le fragilise, leurs problèmes, leur importance écologique et leurs intérêts appellent un suivi constant en vue d'envisager des aménagements et des méthodes de gestion propres.



## 2.1 Objectifs et buts

Il est question de mettre en place le mécanisme nécessaire permettant à la Région d'avoir l'ensemble des atouts (personnel spécialisé, équipements, bâtiments) de pouvoir suivre l'évolution des écosystèmes et de proposer des solutions d'aménagement et de gestion des Parcs Nationaux et des Réserves.

Les données du Suivi Écologique devra permettre:

- de suivre l'évolution du milieu naturel par le contrôle de certains paramètres clefs;
- de décaler rapidement et objectivement les processus de dégradation écologique;
- d'intervenir efficacement pour freiner en palliant ces processus de dégradation;
- de créer de barrière de protection contre l'avancée vers le Sud des processus de dégradation liée à la sécheresse.

## 2.2 Les grands domaines du suivi écologique

4 grands domaines feront l'objet d'étude dans le cadre de la Cellule du Suivi Écologique:

- étude climatique et hydrologique;
- étude de la végétation;
- étude de la faune;
- études des paramètres anthropiques.

## 2.3. Approche technique des réalisations du suivi écologique

La Cellule Suivi Écologique a mis au point un système de collecte de données pratique (principalement sur la faune), moins coûteux, mais relativement fiable.

a) La Phase Préliminaire: le démarrage des travaux du suivi écologique a commencé par une phase préliminaire visant essentiellement à:

- la réception et la mise en place des équipements;
- la collecte de documents (cartes, photographies, articles, rapports) de la région en vue de l'établissement d'une bibliothèque technique sur le milieu physique et biologique (géologie, pédologie, hydrologie, biologie);
- la définition des approches méthodologiques des différents groupes d'études développés ci-après;
- la prise de contact avec le milieu et les régions d'études (prospection des terrains de travaux);
- l'identification des différents écosystèmes.

b) Méthode d'interprétation des photographies aériennes : l'intérêt des photographies aériennes, c'est de les observer en vision stéréoscopique pour voir l'impression du relief:

Les matériels utilisés sont:

- les photographies aériennes noir et blanc datant des années 1955 et 1956 (4.150 photo aériennes au 1:50.000è)
- des stéréoscopes de poches;
- un stéréoscope à prisme;
- des cartes IGN de la Zone Nord (au 1:200.000è) ;
- un curvimètre pour la mesure des distances (longueur des transects des cours d'eau et des routes, etc.) ;
- des papiers millimétrés pour l'estimation des superficies sur carte par la méthode du quadrillage;

- du papier calque pour le report des informations des couples stéréoscopiques;
- un four électrique pour la détermination de la biomasse végétale.

Les photos d'un domaine donné sont assemblées pour l'étude du relief et de la végétation. Il est procédé à une vision stéréoscopique successive de toutes les photos du domaine afin de représenter - avec report sur calque - de l'hydrographie et des points bas du relief. Les bandes de photos sont examinées sous stéréoscope avec trace du contour des formations végétales, ainsi que des réseaux hydrographiques. La méthodologie employée est celle de papiers millimétrée de 1 cm (échelle photo 1:50.000è).

Après l'étude des photos aériennes, il est procédé à des vérifications sur terrain par la méthode des relevés de végétation. Ces relevés consistent à aller sur le terrain du programme à des lieux choisis pour consigner les informations sur les végétations. Les principales informations recherchées sont:

- localisation du lieu de relevé;
- la topographie;
- le sol;
- le type de formation végétale (différentes strates, espèces dominantes par strate) ;
- les associations végétales par strate (floristique).

Chaque espèce végétale est suivie d'un signe qui est un code qui explique l'abondance-dominance. Il varie de + à 1, 2, 3, 4 et 5.

Ces signes permettent de caractériser le site sur le plan recouvrement du sol.

- +: présence isolée;
- 1: faible recouvrement;
- 3: recouvrement de 5 à 35%;
- 4 : recouvrement de 35 à 65%;
- 5 : recouvrement de 65 à 100%.

Une analyse comparative des photographies aériennes anciennes et récentes avait été prévue pour mettre en évidence une évolution dans un sens ou dans un autre de la couverture végétale. Mais les photographies aériennes récentes faisant défaut, ce travail n'a pas été effectué.

Néanmoins, il est envisagé au cours de la Deuxième Phase du Programme à partir des images satellitaires. La méthode d'interprétation qui sera utilisée sera celle mis au point et proposée par la FAO et qui s'appelle la méthode d'interprétation interdépendante. Cette méthode est basée sur l'interprétation indépendante de l'image ancienne et ensuite de l'image récente.

#### c) La méthode de Suivi de l'Evolution de la Faune et des activités humaines

L'étude des populations animales et des activités humaines représente l'une des activités essentielles de la Cellule Suivi Écologique qui a mis en place une "infrastructure scientifique" modeste certes, mais primordiale dans un cadre réaliste, ces considérations ont débouché sur la création d'un outil essentiel, tant pratique (lutte anti-braconnage) que scientifique qui a permis aux hommes de terrain de dresser à peu de frais une situation dynamique de la Région.

- Le rapport de patrouille : il consiste en un relevé systématique d'observations des animaux et activités humaines, en veillant à les localiser et à les quantifier par rapport aux distances parcourues par les patrouilles. Les observations

peuvent être d'espèces animales, de traces, de campements de braconniers, d'utilisateurs divers de terrain. L'objectif est de quantifier par un indice (observation/Km de patrouille) l'évolution dans le temps et dans l'espace des densités d'animaux, mais aussi des activités humaines.

Le rapport de patrouille fournit au conservateur aussi bien une synthèse de travail réalisé par ses équipes que l'évolution de certains facteurs: braconnage, présence d'eau, densité animale, etc.

L'analyse de patrouille a permis de dresser les cartes qui reflètent pour chaque zone de conservation: les activités illégales ou non; la fréquence relative des espèces en fonction de la couverture du terrain par le pisteur.

L'exploitation des rapports de patrouilles présente certains risques d'interprétation tant que l'activité n'est pas parfaitement homogène et demande donc une certaine pondération. L'indice d'abondance utilisé étant le nombre d'animaux observés par Km<sup>2</sup> parcourus, il est évident qu'un kilométrage élevé dans une région où se localisent les animaux peut fausser les résultats.

Ce type d'erreur peut être corrigé par la reconnaissance aérienne. L'utilisation des rapports de patrouilles se fait néanmoins en gardant ses limites : les renseignements qu'on y trouve sont des auxiliaires intéressants pour l'enquête de terrain; il convient de ne pas leur accorder de valeur scientifique absolue; les conservateurs se doivent d'analyser ces rapports avec les Chefs de Patrouille lors du retour sur la base et de rejeter toute information peu réaliste ou douteuse; les écologistes analysent trimestriellement les documents et doivent à leur tour, avec un esprit critique, les comparer à ceux des trimestres antérieurs. Toute note peu crédible doit à nouveau être soumise au conservateur ou éventuellement rejetée.

Différentes erreurs peuvent également fausser les interprétations: dans les grands troupeaux (buffles, éléphants), il est souvent malaisé de compter avec exactitude. L'important à ce niveau est l'estimation de la taille du troupeau (petit, moyen, grand) qui renseigne sur l'état des populations. Il peut y avoir double comptage d'un même troupeau, ce qu'une analyse méticuleuse du rapport de patrouille permet en général d'éliminer.

Les insuffisances des patrouilles peuvent être comblées par les reconnaissances aériennes.

L'objectif principal des reconnaissances aériennes vise le suivi saisonnier des mouvements des populations animales de moyenne et grande taille, en complément des observations faites sur le terrain. Il ne s'agit pas d'inventaire au sens scientifique du terme, mais de reconnaissances systématiques qui doivent permettre de cerner au mieux l'état des populations animales.

Divers facteurs d'erreurs sont également pris en considération: les ongulés de petites et moyennes taille sont difficiles à observer d'avion, d'autant plus que leur densité est faible. Les carnivores (même grands) sont toujours malaisés à repérer d'avion.

La saison des pluies avec la luxuriance de la végétation diminue encore les possibilités d'observation aérienne, même parfois pour les espèces imposantes (bubales, buffles, élans et éléphants).

Le but principal de la reconnaissance aérienne en fin de compte est de vérifier les variations et les tendances des populations animales de grande taille et d'indiquer les zones de concentration, mouvements et migrations des différentes populations durant les deux époques extrêmes de l'année: la saison sèche et la saison des pluies.

Le mois de mai apparaît opportun pour les reconnaissances aériennes: les premières pluies débutant à la mi-avril provoquent une dispersion des animaux plus propice au comptage; la visibilité est encore très bonne en cette période de reprise de la végétation, ce qui constitue un second facteur favorable.

Les reconnaissances aériennes permettent toutefois une évaluation correcte de nombreuses espèces de grands mammifères (exceptés ceux de forêts : Bongos, Hylochères) et de petites antilopes en savane et de grands carnivores: lions, hyènes, léopards.

Les avantages des rapports de patrouilles résident dans le plus grand nombre de renseignements collectés en permanence sur le terrain. La qualité et la diversité de ceux-ci (traces d'animaux); activités humaines et la diversité de ceux-ci (traces d'animaux); activités humaines, répartition de petites antilopes et autres mammifères en font un outil parfaitement complémentaire des inventaires ou de reconnaissances systématiques par avion. Pour aboutir à un résultat fiable, les rapports de patrouilles ou les reconnaissances aériennes à elles seules ne suffisent pas, il faut combiner les deux opérations.

### **3 LES REALISATIONS**

Les réalisations sont fonction des moyens mis à la disposition de la Cellule du Suivi Écologique par le bailleur de fonds à travers le PDRN. Elles sont mitigées dans certains domaines et très satisfaisants dans d'autres.

#### **3.1 Étude climatique et hydrologique**

L'étude climatique et hydrologique a consisté à l'installation de petites stations météorologiques (pluviomètre et thermomètre m/M enregistreur) dans les différentes bases du projet et aux centres touristiques, notamment à Bamingui, Manovo, Gordil et à Sangba pour mieux connaître les saisons, la pluviométrie et les températures. Ces installations ont permis d'avoir des données récentes, de pouvoir comparer avec des données anciennes et de pouvoir connaître les tendances.

Du point de vue pluviométrie, à Birao qui se trouve à l'extrême Nord, on a pu établir que pour la période 1951-1982, la pluviosité a été de 769 mm à Ndele entre 1931 et 1982, elle a été de 1277 mm. Ces données comparées montrent un bilan déficitaire entre 1931 et 1982.

Du point de vue des températures, les courbes des températures relevées dans les différentes bases révèlent que les mois les plus chauds sont toujours les derniers de la saison sèche (mars-avril), avec une moyenne maximum de 38° et une moyenne minimum de 22°. L'écart entre les moyennes décadaires maxima et minima est plus prononcé pendant la saison sèche avec les décades les plus fraîches pendant les mois de décembre et janvier.

La décade la plus froide enregistrée pendant l'existence du Projet était la deuxième de janvier avec une moyenne minimale de 3,8° et le minimum absolu de 2° pendant cette même décade.

#### **3.2 Étude de la végétation**

Cette étude botanique et phyto-écologique devait permettre:

- la détermination des facteurs phyto-écologiques limitant le développement des populations animales;
- la détermination et la quantification des facteurs de dégradation du milieu végétal (feux de brousse, sécheresse, surpâturage etc...), en vue d'y apporter des solutions;

- la constitution d'une barrière naturelle devant freiner la progression des processus de désertification.  
Pour atteindre ces objectifs, il a été convenu de mettre en place une méthodologie et de définir un état initial permettant un suivi du milieu végétal par:

- l'établissement des cartes de végétation (par l'interprétation d'images satellitaires et aériennes) au 1/100.000<sup>e</sup> du Parc National Bamingui-Bangoran et de la zone de Sangha;
- l'analyse des productions et capacités de charge des pâturages;
- la réalisation des survols systématiques de reconnaissance (feux de brousse et couvert végétal).

Dans ce domaine d'étude, les résultats sont plutôt mitigés faute d'avoir en suffisance les images satellitaires dont l'interprétation des différentes classes de végétation (ancienne et récente) aurait permis une meilleure approche par rapport aux photos aériennes. Le projet se propose en sa seconde phase d'acquérir une série d'images satellitaires afin d'établir pour quelques zones une carte de végétation précise.

Ainsi donc, le Projet n'a pu exploiter que quelques photos aériennes (1956) et une image satellite Spot (1956) et a tiré la conclusion suivant laquelle, il y a un "nivèlement" de toutes les formations végétales: les savanes gagnent en surface au détriment des forêts; les savanes boisées concèdent des terrains aux savanes arbustives. Le Sud s'appauvrit en couvert végétal contrairement au centre où les ligneux semblent en augmentation localement; l'équilibre entre les différents types de savanes, apparaît stationnaire dans le Nord.

La réalisation des cartes de végétation est remise également pour former les personnes ressources devant travailler sur les images satellitaires.

### **3.3 Etude de la faune**

Dans ce domaine, les réalisations ont été significatives en raison de ce que les moyens mis en oeuvre ne sont pas très importants.

Initialement prévu, l'objectif de ce programme faune est de fournir au Gouvernement Centrafricain les données de base objectives et quantitatives en vue d'affirmer sa politique de conservation; de mettre en place des systèmes de gestion et d'utilisation rationnelle de la faune et d'assurer la suivie des espèces en voie de disparition.

Pour atteindre cet objectif, il était prévu de mettre en place un programme de suivi de la faune, les travaux devaient fournir les données de base, à petite échelle concernant l'estimation des populations des principaux grands mammifères et de déceler les changements de distribution, de dispersion et des mouvements saisonniers.

Ce niveau d'étude devait consister d'une part en la réalisation de reconnaissances aériennes systématiques et périodiques (une en début de saison sèche, une autre en pleine saison sèche et une autre encore en début de saison des pluies).

Il était prévu également des études thématiques de la grande faune (éléphant, élan de derby, buffle, girafe, hippotrague, démalisque, bubale, cobe, porcine, lion, léopard, hyène), les études devaient porter également sur un inventaire d'espèces animales, (petits mammifères, oiseaux, etc.).

L'étude des populations animales représente en effet, l'une des activités essentielles de la composante Suivi Écologique.

La réalisation de cette étude a donné les résultats ci-après.

En matière de l' inventaire:

- les zones d'abondance du gibier, notamment dans la base de Sangha;
- la répartition spatiale des animaux, leur classification;
- la classification selon le sexe (mâle ou femelle) en pourcentage dans une zone donnée;
- la classification selon l'âge (vieux, adultes, subadultes, immatures, yearlings, juvéniles) exprimée en pourcentage dans une zone donnée;
- l'identification dans la zone Nord des espèces en augmentation ou en diminution;
- l'inventaire de toutes les espèces existantes;
- l'inventaire numérique par base ou par zone;
- l'identification des zones riches ou pauvres en gibier ,
- l'estimation de l'évolution pendant une période donnée.

L'évolution peut être en hausse ou en baisse: l'identification des espèces existantes, mais non détectées pendant l'inventaire aérien dans un secteur déterminé.

En matière d'études thématiques portant sur les grands et petits mammifères :

Les études thématiques réalisées par des Consultants Internationaux ont été effectuées sur deux espèces: les éléphants et les crocodiles.

S'agissant des éléphants, l'étude était orientée dans trois directions:

- détermination de l'alimentation par analyse d'échantillons de fèces;
- approche de la dispersion de l'espèce, de ses mouvements migratoires et de la structure de sa population;
- relation entre la végétation, son appétence saisonnière et les déplacements des animaux.

S'agissant des crocodiles : ce sont des espèces très braconnées, donc en voie de décimation en zone Nord. L'étude a porté essentiellement sur l'estimation des populations et les possibilités d'approvisionnement en oeufs des cours et la réalisation d'une ferme de crocodiles.

### **3.4 Etudes de l'activité anthropique**

Ces études devaient identifier et localiser les activités humaines responsables de certaines dégradations du milieu naturel (feux de brousse, chasse traditionnelle et sportive, braconnage, transhumance). Ces activités sont les principales cause de la destruction du milieu naturel et de la faune sauvage. La connaissance de ces causes permettrait d'établir un programme d'aménagement qui tiendrait compte des besoins des populations et les impliquer dans les différentes étapes de sa réalisation. Ainsi donc, par suite de ces études, les zones d'activités illégales ont été identifiées, notamment les activités illégales réalisées par les populations locales (braconnage, feux de brousse), les chameliers et les bergers.

## CONCLUSION

Le Gouvernement de la République Centrafricaine avec l'aide de la Communauté Economique Européenne a su mettre au point un programme de Suivi Écologique basé sur des méthodes et moyens très simples, mais efficaces, qui mobilise tous les facteurs humains impliqués dans la gestion et la surveillance dans une zone très fragilisée par de nombreux fléaux.

Ayant démarré, il y a seulement cinq ans, il est trop tôt pour tirer des conclusions sur les résultats obtenus. Néanmoins, on peut affirmer que des progrès ont été fait dans la connaissance de la région, notamment en ce qui concerne:

- les variations saisonnières des ressources en eau;
- les répartitions, distributions, mouvements, productivités de la faune;
- les fragilités et aptitudes de certaines zones;
- les actions anthropiques.

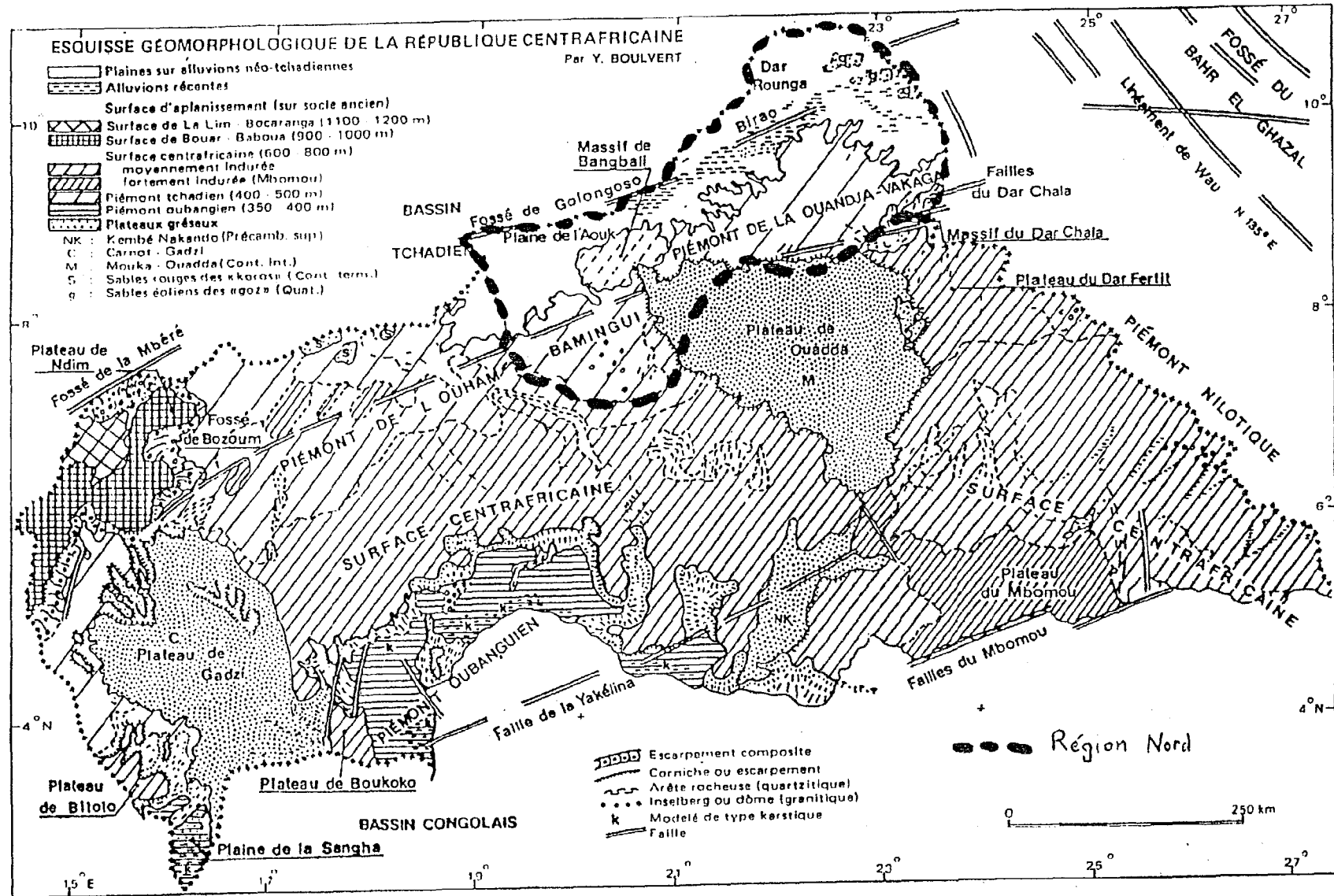
Cependant, certains points sont à peine abordés, notamment les groupements des productions végétales qui sont encore à la traîne en raison de l'insuffisance de certains matériels: tables lumineuses, photographies aériennes des périodes récentes et images satellitaires anciennes et récentes. La deuxième phase du programme qui vient de commencer palliera ces insuffisances.

Les résultats entièrement acquis, par un jeu de combinaison permettront la préparation d'un programme de gestion et d'exploitation de ressources dans cette zone et débouchement sur une méthodologie rendant possible un suivi permanent des écosystèmes et de ses modes d'utilisation pour un développement durable base sur les ressources naturelles.

466

SECA-SERER

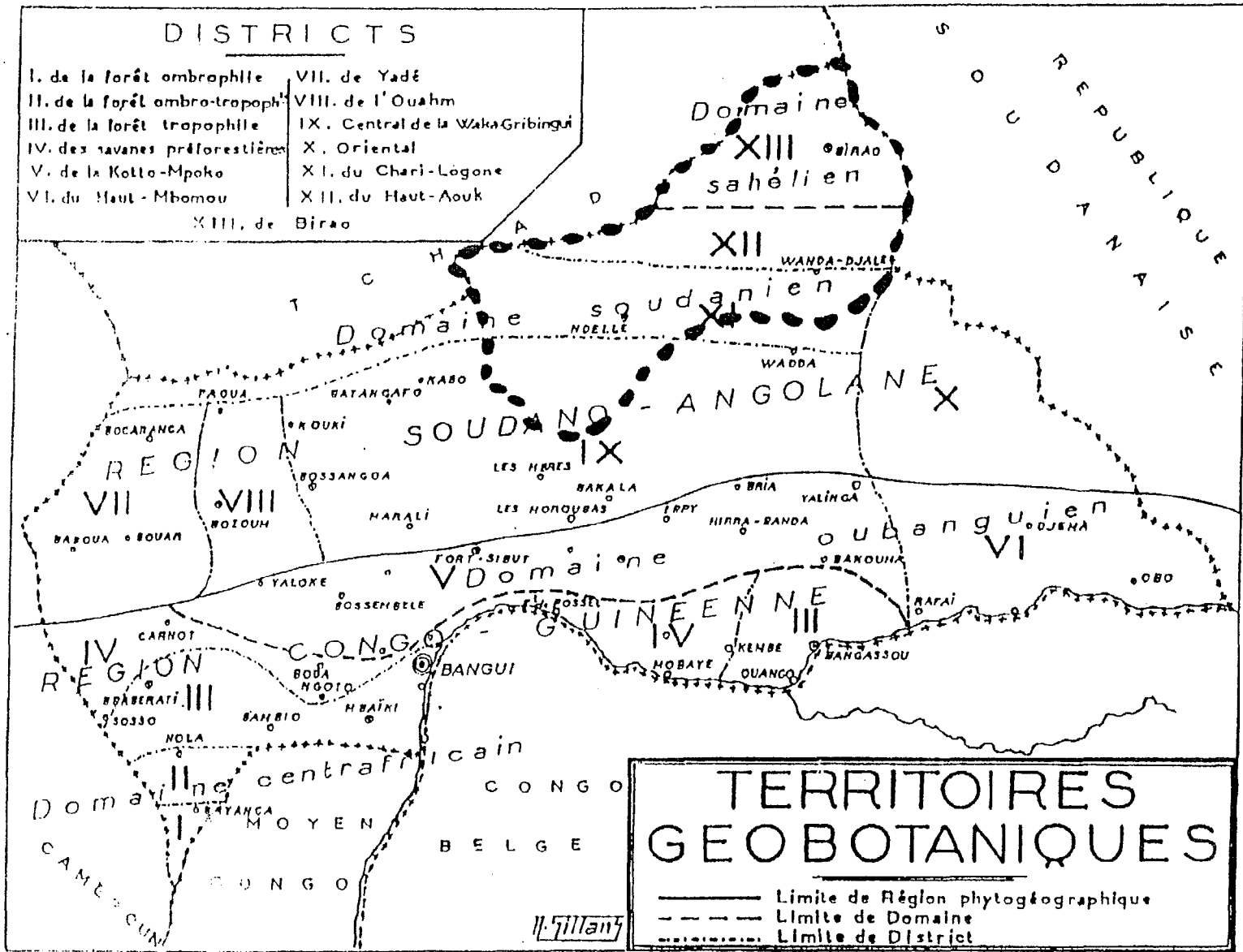
août 1993



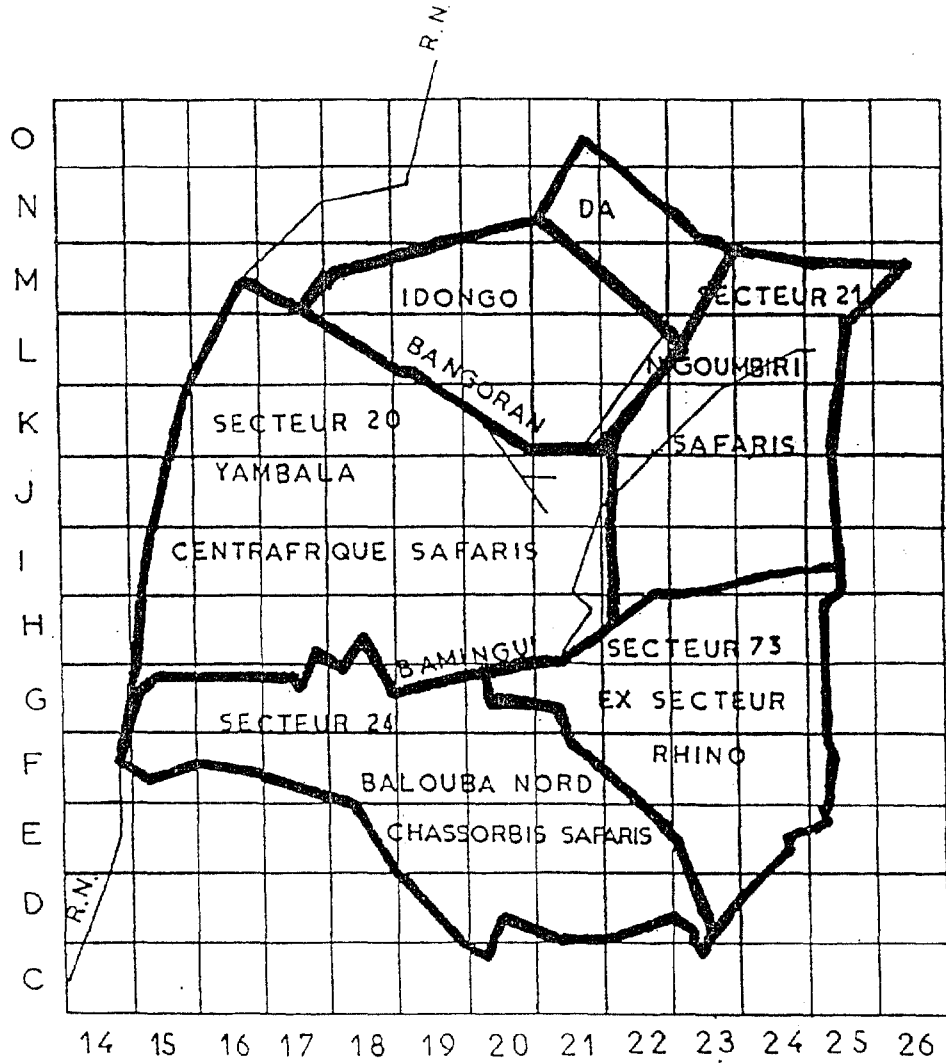
RCA - SCHEMA DIRECTEUR D'AMENAGEMENT DE LA REGION NORD



467



ZONE PILOTE DE SANGBA



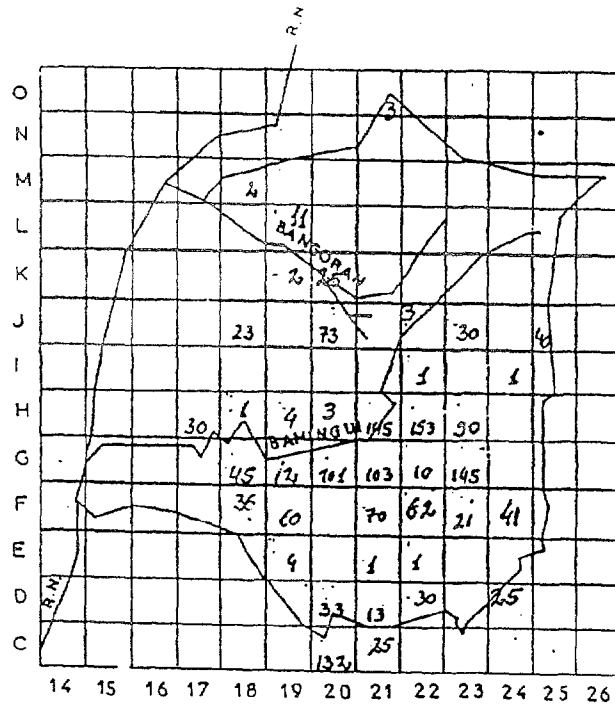
468

Zone Pilote de Sangha

Reconnaitances aériennes

Année : 1990  
 Mois : Septembre  
 Espèce : Buffle

Animaux vus

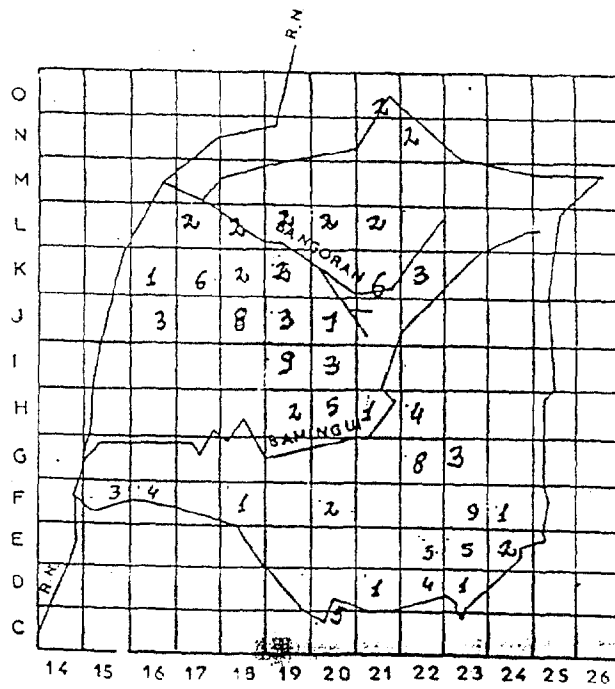


Zone Pilote de Sangha

Reconnaitances aériennes

Année : 1990  
 Mois : Septembre  
 Espèce : Bubale

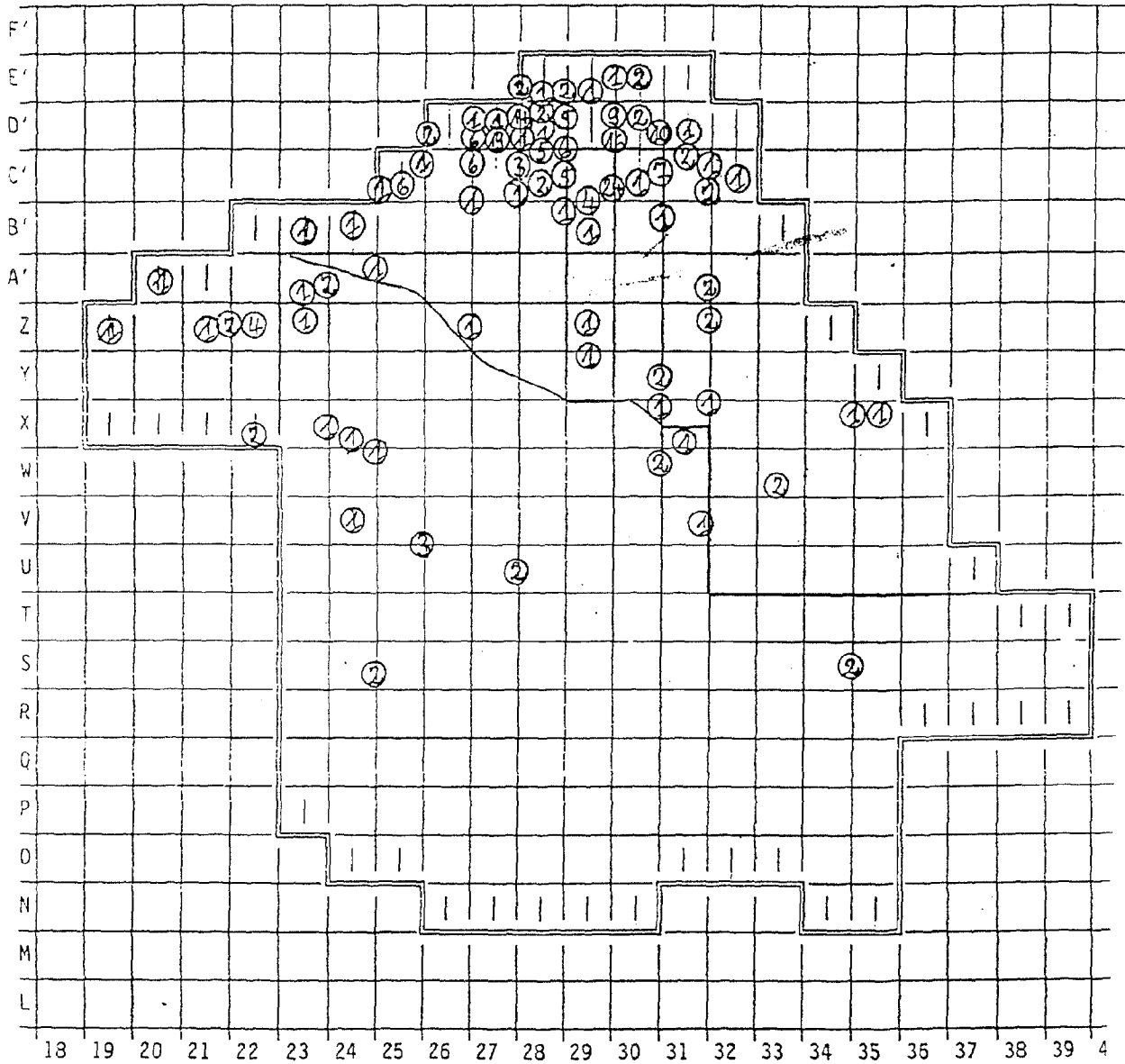
Animaux vus



469

Parc National Manovo-Gounda-St. Floris - Inventaire aérien de la faune 1991

REDUNCA



476

Effectifs de 20 espèces par inventaire aérien 1991

Données traitées

Nom de la zone d'inventaire : Manovo-Gounda-St. Floris

Surface de la zone : 18.861

Dimension maxi zone perp. aux transects : 200

Largeur transects : 0,4

Nombre transects échantillonnés : 67

Nombre transects possibles ni : 500

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34				
Eléphant	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	3	35	0	0	13	2	0	4	0	17	0	0	0	8			
Bufile	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	66	69	132	1	5	1	151	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Girafe	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	5	6	8	1	7	2	2	3	3	0	3	0	4	0	0	0	0	1	0	0	0			
Cabe de Buffon	10	0	0	3	3	0	0	8	0	2	3	2	16	3	3	29	18	28	23	0	1	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Redunca	0	1	0	1	0	1	2	6	0	2	3	2	3	0	3	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	2	0			
Bubale	0	0	0	2	1	2	4	3	4	20	9	12	22	3	14	11	32	12	2	3	8	5	0	0	0	0	0	0	3	0	1	5	1	0	0			
Ourébi	1	0	0	1	1	0	1	2	6	5	6	6	4	2	2	0	4	4	2	0	0	0	1	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Phacochère	0	5	0	2	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	2	5	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Céphalophe de Grimm	1	0	1	1	0	0	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	1	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
Hippotrague	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	4	7	1	0	0	0	6	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	3	0	0	2	0	0	0	0	0	
Eland de Derby	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Céphalophe delassa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Hippopotame	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Lion	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Guib hamaché	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	2	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Babouin	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pintade	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Jabiru	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Calao	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	2	8	0	3	3	2	3	6	8	0	0	0	4	0	0	2	2	0	2	0	2	0	2	1	0	0	0
Damalisque	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Si km <sup>2</sup>	8,1	8,6	8,7	12,7	12,7	12,9	15,3	17,4	22,6	40	41,4	42	42,6	44	45,7	45,7	45,3	44	41,9	41,8	40,2	38,6	39	38,1	36	35,4	35	19,2	22,7	25,9	25,4	25,7	18,1	8,2				

	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	Total			
Eléphant	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	120	
Bufile	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	536
Girafe	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	7	4	5	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	71	
Cabe de Buffon	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	1	3	13	13	0	2	8	21	0	6	16	1	1	2	2	0	2	0	2	252		
Redunca	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2	0	1	8	3	21	5	50	8	19	11	21	20	15	0	3	6	2	1	0	1	0	1	231		
Bubale	0	0	0	0	0	0	9	4	0	6	0	0	0	2	9	1	2	1	0	0	1	1	1	1	8	0	6	2	1	2	0	2	0	2	236		
Ourébi	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	5	0	1	2	1	2	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70	
Phacochère	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	0	52		
Céphalophe de Grimm	1	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	1	1	3	2	1	1	2	0	0	1	1	0	4	1	1	3	0	1	0	0	0	0	0	47		
Hippotrague	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	3	0	9	0	6	0	7	0	0	2	0	0	0	0	0	62		
Eland de Derby	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54	
Céphalophe delassa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	7		
Hippopotame	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	13	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18		
Lion	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	
Guib hamaché	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	16	
Babouin	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	11		
Pintade	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	
Jabiru	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	
Calao	1	1	0	0	0	2	1	0	0	1	1	1	0	2	7	3	4	2	0	7	1	2	3	6	0	11	2	0	0	0	0	0	0	2	116		
Damalisque	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	
Si km <sup>2</sup>	7,7	7,8	9,1	9,1	9,6	9,2	7,9	4,9	10	14,1	14,5	16,8	18,3	22,1	28,7	15,5	19,6	24,6	26,5	27,1	28,9	28,1	25,1	23,8	20,9	17,1	15,4	10,9	9,8	9,8	7,9	3,4	3,4	508,7			

471

Résultat analyse de la zone : Manovo-Gounda-St. Floris

	Densité D	Effectif E	Variances	Variances effectif	Erreur-type	Coeff. variation	Borne supérieure	Borne inférieure
Eléphant	0,07	1500	38	133624	365	24,3	2231	768
Buffle	0,35	6701	931,1	3279537	1810	27	10322	3079
Girafe	0,04	888	5	19694	140	15,8	1168	607
Cobe de Buffon	0,16	3150	62,6	258880	508	16,1	4167	2132
Redunca	0,15	2888	72,6	284340	533	18,4	3954	1821
Bubale	0,15	2950	46,9	201294	448	15,2	3847	2052
Ourébi	0,04	875	3,8	15816	125	14,3	1126	623
Phacochère	0,03	650	4	14915	122	18,7	894	405
Céphalophe de Grimm	0,03	588	1,5	6836	82	14	753	422
Hippotrague	0,04	775	4,9	19370	139	17,9	1053	496
Eland de Derby	0,03	675	23,2	76956	277	41	1229	120
Cobe defassa	0	88	0,2	646	25	28,8	138	37
Hippotrague	0,01	225	2,7	8945	94	42	414	35
Lion	0	150	0,6	1938	44	29,3	238	61
Guib harnaché	0,01	200	0,3	1190	34	17,2	268	131
Abouin	0	138	0,2	646	25	18,4	188	87
Pintade	0,02	400	7,5	25119	158	39,6	716	83
Abiru	0	50	0	0	0	0	50	50
Calao	0,07	1450	9	39915	199	13,7	1849	1050
Damalisque	0,01	225	1,8	6037	77	34,5	380	69

472

<b>Groupe de Travail 9:</b>	<b>SANTE</b>
<b>Working Group 9:</b>	<b>HEALTH</b>

**LOW COST REMOTE SENSING AND GIS: THEIR ROLE IN MALARIA RISK ASSESSMENT**  
S.J. CONNOR, M.C. THOMSON, P. MILLIGAN, J.B. WILLIAMS, S.P. FLASSE .....495

**APPORTS D'UNE STRUCTURE SPECIALISEE DANS LA GESTION DES RESSOURCES NATURELLES  
POUR LA MISE EN PLACE D'UN SIG APPLIQUE A LA SANTE PUBLIQUE.**  
J. DUSART, A. I. WADE, I. NUTTALL, A. H. SYLLA, L. C. SARR .....513

**LA LUTTE CONTEMPORAINE CONTRE LA MALADIE DU SOMMEIL:  
UN SIG OUTIL INDISPENSABLE A LA DECISION**  
J.-P. HERVOUËT .....521

**RECENT PROGRESS IN THE DEVELOPMENT OF DECISION  
SUPPORT SYSTEMS FOR IMPROVED ANIMAL HEALTH**  
R.L. KRUSKA, B.D. PERRY, R.S. REID .....524

**GIS APPLICATION FOR HEALTH CENTRE PLACEMENT**  
D. W. LONG .....539

**USING A GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM TO INVESTIGATE THE MACRO- & MICRO-  
EPIDEMIOLOGY OF MALARIA IN SOUTH AFRICA**  
C. MARTIN, D. LE SUEUR, B. SHARP, S. NGXONGO .....545

**ENVIRONMENTAL IMPACT OF TSETSE CONTROL IN WESTERN ZIMBABWE; HISTORICAL STUDY  
OF LAND COVER CHANGE, 1972 - 1993, USING REMOTE SENSING AND GIS**  
A. MILLS .....551

**THE USE OF GIS FOR SCHISTOSOMIASIS CONTROL IN NORTHERN BOTSWANA**  
S.S. MOKGWEETSINYANA .....553

**A GIS APPROACH TO THE DETERMINATION OF CATCHMENT POPULATIONS AROUND LOCAL  
HEALTH FACILITIES IN DEVELOPING COUNTRIES**  
H.M. ORANGA .....555

# LOW COST REMOTE SENSING AND GIS: THEIR ROLE IN MALARIA RISK ASSESSMENT

**S.J. CONNOR, M.C. THOMSON, P. MILLIGAN,**  
Liverpool School of Tropical Medicine, Pembroke Place, Liverpool (UK)

**J.B. WILLIAMS, S.P. FLASSE**  
Natural Resources Institute, Chatham Maritime, Chatham, Kent (UK)

## Summary

While an estimated 2000 million people in the developing world are at risk from malaria, mortality from the disease is greatest in sub-Saharan Africa where over 80% of all malaria deaths occur. Malaria is most dangerous among those people with a low level of immunity, pregnant women and the young (WHO, 1990). Declining health infrastructure and increasing drug and insecticide resistance are making the situation worse - and the hope of an effective vaccine remains unrealised. New tools are urgently needed to improve the management of scarce health resources and to reduce the burden of disease and death from malaria.

Experience has shown that control of malaria has proved most successful in areas of unstable (epidemic) malaria. However, during recent outbreaks in Botswana, Kenya, Namibia, Swaziland, Rwanda, Namibia, Zambia, Zaire and Zimbabwe national authorities have encountered serious difficulties - arguing that a greater intersectoral effort is required with especial collaboration with meteorological services (WHO, 1991).

Prospects for a more timely response from health authorities in mobilising resources to alleviate the effects of epidemics could be improved by early warning (in country) of the changing environmental conditions. Malaria is transmitted by the *Anopheline* mosquitoes and localised rainfall, vegetation state and temperature are probably the three most important variables determining their abundance and survivorship. Information on these variables is becoming available in an increasing number of developing countries where it is received freely and directly from meteorological satellites (eg NOAA and METEOSAT) for a wide range of environmental monitoring purposes.

The availability of these low-cost satellite images with such frequency allows an unprecedented opportunity for temporal and spatial monitoring of the environmental factors influencing vector-borne disease transmission (Connor *et al*, in press). This paper describes work currently being carried out to determine the potential for use of these satellite monitoring systems and appropriate geographical information systems (GIS) in forecasting and managing potential malaria epidemics.

## Introduction

Malaria is an infectious parasitic disease which is transmitted between people by *Anopheline* mosquitoes. There are many species of *Anophelines* found in Africa but only a few transmit malaria (and are therefore described as vectors). There is considerable variation in the ecology and feeding behaviour of different vectors and this makes some species much more important transmitters of malaria than others. The *Anopheles gambiae* species complex contain some of the most serious vectors of malaria and this complex is widespread over much of Africa south of the Sahara.



The malaria parasite also shows a varying capacity in its ability to cause illness and death in humans. Of the four major species of the parasite *Plasmodium falciparum* is by far the most threatening. Unfortunately this species is also the most common over much of sub-Saharan Africa.

The past 40 years have seen major shifts in the perspectives of malaria as a global health problem (Najera, 1989). The earlier attempts to eradicate the disease showed some remarkable successes -most sustainably in continental Europe and North America - but also (for a considerable time) in parts of India and Sri Lanka, South America and North Africa. Changes in budgetary allocations, however, plus the development of insecticide and drug resistance began to see the return of the disease into many areas. Reassessment of the global malaria situation in relation to the drive to establish wider health services in developing countries has led to a more pragmatic control strategy based on the Primary Health Care system. This new strategy aiming to reduce: mortality and the negative social and economic consequences of the disease; to prevent epidemics; to protect malaria free areas; and having the ultimate goal of eradicating malaria where possible (WHO 1994)

This type of control strategy demands recognition of the underlying variability in the epidemiology of the disease, the potential for modification, availability of resources and the need to adapt malaria control planning to local conditions.

Malaria can be broadly classified as *stable* or *unstable*. In the former situation transmission levels are high with little interannual variation - collective immunity is high and epidemics are unlikely. In the latter situation transmission levels vary from year to year - collective immunity in the population is low and there is a potential for epidemics. Within these two categories there are a range of malaria transmission situations which can be classified according to a number of criteria based on epidemiological or environmental grounds (Wernsdorfer & McGregor, 1988).

Many of the sub-Saharan African countries lack sufficiently detailed assessments of the types of malaria transmission occurring within their borders and malaria surveys are very demanding in terms of resources. However, variations in climatic conditions can have a profound effect on the life cycle of the malaria vectors and the development of the parasite. Local rainfall, vegetation state and temperature are probably the three most important variables determining vector abundance and survivorship. Information on these variables is becoming routinely available in an increasing number of African countries, received freely and directly from meteorological satellites (eg NOAA and METEOSAT) every day for a number of environmental monitoring purposes (Sear,*et al.*, 1993). This paper describes the contribution remote sensing and geographical information systems could make to the development of improved malaria control strategies in Africa. This could happen in three ways:

1. - a localised stratification of malaria transmission type throughout sub-Saharan Africa;
2. - a system which allows real-time monitoring and surveillance of the environmental factors influencing transmission; and
3. - an early warning system to indicate epidemic potential.

#### **A brief review of the application of remote sensing to monitoring mosquito populations**

Interest in the use of Earth Observation Satellites to monitor vector-borne diseases has been demonstrated in several locations over the past decade. In 1985 NASA initiated a Biospheric Monitoring and Disease Prediction Project (Di-Mod) under its Global Monitoring and Human Health programme. Its principal objectives are the use of Remote Sensing and Geographical Information Systems in the development of predictive models of vector population dynamics and risk of disease transmission.

475

A review of the use of satellite data in the study of mosquito/malaria transmission dynamics has recently been published by Washino *et al.* (1994). This review indicates that studies of insect vectors involving the use of satellite imagery have generally involve the analysis of a few high resolution images to quantify landscape elements which favour vector abundance.

For example Wood and colleagues at NASA's AMES Research Centre used Landsat TM imagery to distinguish between high and low anopheline producing rice fields. They found that fields with early canopy closure produced greater numbers of anophelines than those with late canopy closure. They then used a GIS to analyze the 'landscape elements' surrounding these rice fields. By measuring distances between rice fields, woodland (resting sites), grazing (blood meals) and cropland (neither), they were able to predict with >90% accuracy which fields would produce high numbers of anophelines (Wood *et al.* 1991). Further work using these methods to relate malaria transmission to vector habitats in Mexico has recently been published by Beck *et al.*, (1994).

Limited use has been made of low resolution satellite imagery obtained from the AVHRR sensor onboard NASA's NOAA satellite. Linthicum and colleagues (US army Medical Research Institute of Infectious Diseases) related the vegetation index NDVI (Normalised Differential Vegetation Index - which is a measure of the vigour of photosynthetic activity) obtained from the AVHRR sensor to identify ecological parameters associated with outbreaks of Rift Valley Fever in Kenya (Linthicum, *et al.*; 1990). This work was extended by Pope *et al.*, (1992) by the use of Landsat TM to identify potential breeding sites of the primary vectors.

Malaria is a complex disease, however, and presence of large numbers of vectors alone does not always indicate the level of malaria risk (Thomson *et al.*, 1994). The importance of a range of factors (such as the proportion of vectors which actually bite human hosts, their survivorship over time and the incubation period of the parasite in the mosquito) are incorporated into the widely used concept of the entomological inoculation rate (EIR) which is an expression of the amount of malaria transmission in an area (Wernsdorfer & McGregor, 1988).

We are interested in how different environmental factors may affect the EIR. In particular we are interested in the effect that relatively small changes in the length of the transmission season (say by a few weeks) may have on the prevalence rates in communities which experience relatively short transmission seasons.

The onset of the rainy season is preceded by a build up in humidity. Low saturation deficits are known to improve vector survival rates. It has long been known that even small changes in daily survivorship can have a dramatic effect on the efficiency with which the vector is able to transmit malaria. This is because malaria transmission is limited to older vectors which have lived longer than the incubation period of the parasite (about 10 days).

Pioneering work on the influence of saturation deficit on insect distribution has been carried out by Rogers and colleagues (Oxford) who related the coarse 16km<sup>2</sup> resolution NDVI images obtained from the NOAA satellites to field measurements of saturation deficit at various sites in Africa. Finding a negative relationship between saturation deficit and NDVI thus allowed them to develop coarse continental scale maps of the environmental factors associated with tsetse survival and therefore potential disease transmission (Rogers & Randolph 1991).

### **Accessing imagery and information from Environmental Satellites**

The use of high spatial resolution satellite imagery, such as that from LANDSAT and SPOT, is ultimately limited by its cost (US\$5000 per image at a scale of 60-180 km) and low temporal resolution (frequency of observation over the same location - 16 days per repeat for the LANDSAT, and 26 days for SPOT). This low temporal resolution can be a serious limitation where cloud cover may obscure a scene frequently and only allow one good image of the region per season. Availability of imagery is an important requirement for monitoring the environmental variables associated

with changes in vector populations. Images must be obtainable with sufficient frequency to allow for comparison with changing vector bionomics, within a biologically meaningful time frame. This means that the images need to be available at a cost low enough to make it possible to use a large number of sequential images over the area of interest. While high resolution images may play an important and cost effective role in producing baseline maps, their high cost and low frequency limit their use for large-scale temporal monitoring for malaria surveillance.

The lower spatial resolution images produced by the geostationary and polar orbiting satellites (METEOSAT and NOAA) have been useful for a wide variety of applications. These include the Famine Early Warning Systems (FEWS) (FAO 1990), monitoring changes in rainfall conditions and vegetation associated with desert locust swarms (Heilkema and van Herwaarden 1993), assessing deforestation in tropical forests (Malingreau 1991), identifying environmental conditions known to favour tsetse fly reproduction (Rogers and Randolph 1991), and detecting flooding of the breeding sites of Rift Valley Fever vectors (Linthicum *et al.* 1990). Any disadvantage of the lower spatial resolution of these satellites may be offset by the benefits of their frequency of observation, low cost, and ease of availability.

The Natural Resources Institute, the UK's Overseas Development Administration and a number of other scientific groups have developed an approach to remote sensing which is designed to enable developing countries to use data (directly) from these satellites for a whole range of environmental monitoring purposes. This approach is known as the Local Application of Remote Sensing Techniques (LARST). The aim of this approach is to promote improved management of natural resources through cost-effective remote sensing. Through this innovative approach LARST has developed robust, low cost systems for local reception, processing, and use of satellite data within developing countries where they can be used to inform and assist with practical decision making (Sear, *et al.* 1993; Williams and Rosenberg 1993).

LARST is active in an increasing number of African countries, which currently include: Ethiopia, Kenya, Tanzania, Algeria, Zambia, Zimbabwe and Namibia. These countries are exploring new ways of converting data from the METEOSAT and NOAA satellites to provide useful environmental information for such interests as agriculture, fisheries, forestry, water resources, and pest and vector control. The technologies developed under this programme are particularly valuable in monitoring vector habitats, as it helps to provide real-time local-access NOAA and METEOSAT imagery at full spatial and temporal resolution. LARST is able to do this by installing a ground receiving station in a country or region enabling direct reception of the full satellite data stream. The local area coverage (LAC) images from the NOAA satellites have a spatial resolution of 1.1 km directly beneath the satellite, and can usually be received at least twice daily. The data received from the satellite can then be converted to whichever specific mapping projection is required, a process which involves resampling the data, usually to an image pixel size of 1 km.

In semi-arid regions the NOAA\_AVHRR NDVI images have been shown to be highly correlated with the Cold Cloud Duration (CCD) images from METEOSAT which can be used to estimate rainfall. The combination of these two images, therefore, providing a good, proxy indicator of effective rainfall in areas receiving less than 1000mm rainfall each year (Bonifacio *et al.* 1993; Dugdale and Milford 1988). They are particularly useful where ground-based meteorological stations are few and/or poorly dispersed. The availability of such images have great potential for the study of seasonally varied environmental factors associated with vector-borne diseases, such as rainfall, river flooding, changes in the water table, vegetation growth, and the location of vector breeding sites.

A useful archive of NOAA imagery is that available from the United Nation's Food and Agriculture Organisation's (FAO) Africa Real-Time Environmental Monitoring System (ARTEMIS). This program has compiled an archive data set of NOAA-AVHRR NDVI images for the whole African continent covering for the period 1981-1991. The NOAA satellites pass over the same scene twice daily but have limited data storage available on board. They use the

peak NDVI value to create an "optimal" composite image, known as global area coverage (GAC), every ten days, which is then downloaded to the NOAA database.

The data is transformed from GAC (in a process including further subsampling, cloud clearing, and reprojection) into a 10-day maximum value composite (MVC) with a spatial resolution of 7.6km per pixel. This process minimizes atmospheric interference, sun angle, and viewing geometry effects (Holben 1986) and often removes the problem of cloud cover over a scene. Similar NOAA data archives covering 1985-1991 are also available from NASA. The NOAA imagery from ARTEMIS, while of spatially coarse resolution, is very useful in terms of its free availability and high temporal resolution allowing an assessment of regional and seasonal variability in environmental processes over a whole decade.

There has been some difficulty in obtaining reliable NOAA images, for certain areas, following the eruption of Mount Pinatubo in June 1991. This eruption produced tons of aerosol dusts which seriously affected the transmission properties of the upper atmosphere. It is for this reason the ARTEMIS and NASA data archives finish abruptly in 1991. Workers at FAO and NASA have been busy checking and correcting the data and this should become available in due course.

### **Geographical Information Systems**

Geographical information systems (GIS) are defined here as computer-based systems for entering, storing, analyzing, and displaying digital geo-referenced data sets. The availability and development of some form of GIS is essential to the information handling needs in malaria risk forecasting from environmental satellite imagery.

The primary requirements for our purposes are: the ability to handle grid-based data from environmental satellites; to overlay this information with line information on rivers, surface water bodies and soils distribution; and to locate and record point information on the epidemiological situation in relation to these. The ability to undertake spatial statistical tests would be useful, however, this type of analysis is as yet poorly served by GIS and some degree of compatibility with existing statistical packages is necessary.

At a most basic level it is possible to work with a combination of public domain freeware packages such as: the grid-based package IDA (Image Display & Analysis) developed by the USAID FEWS programme; the vector-based package EPI-MAP; and the database and statistical package EPI-INFO which are produced by the Centre for Disease Control, Atlanta.

Moving up the scale of increasing GIS functionality yet serving as a low cost system which is relatively easy to learn we have: the grid-based GIS package IDRISI. This modular package has been developed by the IDRISI Project at The Clark Laboratories for Cartographic Technology and Geographic Analysis. The IDRISI GIS is able to handle the grid-based images produced by the satellites as well as having some degree of vector functionality for producing line and point based overlays. IDRISI includes a very useful vector digitising package called TOSCA. The IDRISI Project is run on a non-profit basis and maintains close developmental links with the United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) and the United Nations Environment Program's Global Resource Information Database (UNEP/GRID) which holds an archive of freely available GIS resources. Hardcopy output of useful maps from IDRISI is somewhat problematic. However, a Windows based version of IDRISI is due for release during 1995 this should overcome many of the present output problems.

Finally for the development of regional or national environmental information systems it might be considered appropriate to use GIS packages such as the grid-based GIS package ERDAS and the vector-based ARC-INFO. These are very powerful and sophisticated packages but are expensive both in terms of initial cost and the resources

required to use them effectively. Both systems require adequate training of personnel and the development of dedicated facilities. If such systems were able to be shared by various development sectors as part of an integrated environmental monitoring system then their costs might well be justified.

### **Malaria transmission in the Gambia**

The main variable that we use from the NOAA satellite is NDVI. From METEOSAT we are able to obtain estimates of rainfall from the temperature measurements obtained from cloud surfaces (CCD cold cloud duration). To investigate the potential use of these products of remote sensing in malaria research and control options we have been investigating the use of GIS and remote sensing as tools for studying malaria transmission dynamics in The Gambia.

The Gambia a small country in West Africa has a semi arid environment which like much of the Sahel has been getting progressively drier over the past 30 years. The country experiences seasonally hyperendemic malaria with the onset of the short unimodal rainy season from June/July - October.

During 1991 the MRC undertook baseline epidemiological and entomological surveys in 104 villages throughout The Gambia prior to the introduction of a National Impregnated Bednet Programme (Fig. 1). The epidemiological surveys undertaken by D'Alessandro and colleagues revealed marked differences in malaria prevalence rates throughout the country at the end of the rainy season (Fig 2).

Part of the variation can be accounted for by the use of bednets since, in areas where bednet usage is high (such as the central area) malaria prevalence levels are low (Thomson *et al.*, 1994) However, the relatively low bednet usage alone is not sufficient to account for the consistently high prevalence levels in the east.

Factors affecting these differences are complex and include host-vector behaviour, levels of immunity, proximity to breeding sites and length of the transmission season. The current project aims to investigate to what degree the regional differences in malaria prevalence may be associated with differences in the length of the transmission season.

For this investigation we require a sequence of images to enable a time series analysis of NDVI values from study areas in The Gambia during the 1991 transmission season. We can use archival images from these areas to determine whether rainfall generally begins earlier in those regions which experience highest malaria prevalence (the east of the country). Figure 3 shows the mean dekadal NDVI values for the 5 study areas during the period 1981-1990. As you can see, on average, the take off of NDVI is later in the west (areas 1 and 2) area than in the east (areas 3 and 4).

We can use the more detailed LAC NDVI imagery to investigate the onset and duration of vegetation around those villages experiencing high malaria prevalence. We have obtained LAC NDVI images captured by the Centre de Suivi Ecologique, Dakar, Senegal throughout the season. Figure 4 is a composite of images of NDVI obtained during the few days prior to 21 July 1991. Cloud cover is still an important problem in this type of imagery but the overall distribution of high NDVI values in the south and the east can be clearly seen in this image. Using rainfall data from the meteorological stations sited in The Gambia we know that the rains in 1991 started first in the east on the 4th of June and a month later on the coast. Rain gauge data, while very valuable, does not provide the detail and type of information that we can obtain from the NDVI and in semi-arid countries may only be truly indicative of rainfall within a fairly localised area (say 15-20Km<sup>2</sup>) around the station.

METEOSAT can provide real-time estimates of rainfall from Cold Cloud Duration with varying success for different parts of Africa with a resolution of about 5km. Using the algorithms developed by TAMSAT (Milford & Dugdale, 1990) we can see that in The Gambia -50°C CCD correlates well with actual rainfall).

47A

The histogram in Figure 5 indicates the mosquito densities found in one of our study villages during the rainy season. The lines represent the cumulative rainfall obtained from the meteorological station sited in the village, the estimated cumulative rainfall from the CCD and the LAC NDVI. As you can see mosquito numbers take off shortly after the first rains. There are two peaks in the mosquito numbers which are associated with a change in the mosquito populations from the freshwater *An.gambiae*. s.s. to the saltwater *An.melas* (Thomson *et al.*, in press). The CCD gives a good proxy measure for the rainfall distribution, but tends to underestimate it, and the NDVI values take off approximately 3 weeks after the first rains. As you can see the second mosquito population wanes as the NDVI values decrease.

We have found that the LAC NDVI data is able to indicate presence of localised mosquito breeding sites at the end of the dry season. Figure 6 shows the LAC NDVI values which correspond with a localised map of The Gambia in the McCarthy Island Division. The peak NDVI value corresponds with the position on the map of the Jahally-Pacharr irrigated rice fields. This irrigation project covers approximately 600 hectares and is known to be a major mosquito breeding site during the dry season (Lindsay,*et al.* 1991).

The UK Met Office and ODA's Natural Resources Institute have recently installed local Meteosat reception and interpretation facilities in the Gambia. Plans to install a NOAA receiver as well for an integrated environmental monitoring initiative are under consideration. This would address problems in monitoring sea surface temperatures, fisheries, forestry, livestock/crop production, as well as pest and disease vectors.

Ultimately the analysis of this type of information within a GIS may allow us to develop a spatial model of malaria transmission in The Gambia. The availability of such information would allow a mapping of communities most at risk of malaria. The incorporation of such a model based on a national environmental information system into the malaria control planning programme might allow for decisions to be made for which type of control response would be most appropriate for a given region in a given year.

### **Monitoring malaria epidemic potential**

We have been illustrating the potential for using satellite imagery in a very localised area of Africa. However, these types of data allow one to explore the relationship between climatic factors and malaria transmission dynamics over the entire continent. To illustrate this we have included a couple of examples where we have compared archived NDVI data from the FAO ARTEMIS data base with malaria prevalence or morbidity rates from specific localities. In future we will use this type of information to assess where and when satellite data might be a useful tool in forecasting changes in malaria transmission dynamics.

In Figure 7 NDVI data from the ARTEMIS data set is compared with data on the percentage of hospital admissions that may be related to malaria in Mirriah, Niger (Julvez *et al*, 1992). As you can see the high peak of NDVI in 1988 is associated with an elevated percentage of malaria cases. This elevation is repeated in 1989 when NDVI values are relatively low. While there are a number of possible explanations for this it may be an indication that the malaria transmission dynamics in one year may be heavily dependant on the recent history of the disease in the locality.

In 1988 an epidemic of malaria cases was recorded in Ngamiland, Botswana. Here in Figure 8 we compare the prevalence rates (which are marked as small boxes) in school children with NDVI values. In 1988 the prevalence rates in children reached over 50% in some areas. We can see that 1985, 1986, 1987 were severe drought years when compared with 1988. In 1984 NDVI values are somewhat higher than the other years but you can see that there appears to be a drought period in the middle of the rainy season. By developing our understanding of the relationship between NDVI, climatic and environmental factors and malaria transmission indices we have the potential for developing a new tool for 'real time' monitoring of changes in malaria transmission dynamics.

486

## Prospects for Early Warning Systems

The possibilities of operational Early Warning Systems which could predict the seasonal risk of malaria epidemics move steadily closer.

The EWS might be operated at four time scales:

- A first indication of risk of a potential epidemic occurring in a country or region might be derived from analysis of environmental variability over the past decade. The FAO-ARTEMIS NDVI image archive allows this possibility.
- The second indicator of seasonal climatic conditions could be derived from monitoring sea surface temperatures as these are known to have a strong influence on seasonal rainfall patterns. This forecasting method while still developmental has been shown to be especially applicable to the African Sahel and the Namibia, Angola, Botswana region of southern Africa (Hulme *et al.*: 1991).
- The information derived from the Meteosat weather satellites can provide real-time information on the arrival of weather patterns associated with rainfall. Furthermore, these images can be analyzed to give a quantified estimation of spatial rainfall distribution over the region of interest for the past few days.
- NDVI images obtained from the NOAA satellites are able to monitor where rainfall has been effective over the past two or three weeks - such that seasonal vegetation has become established.

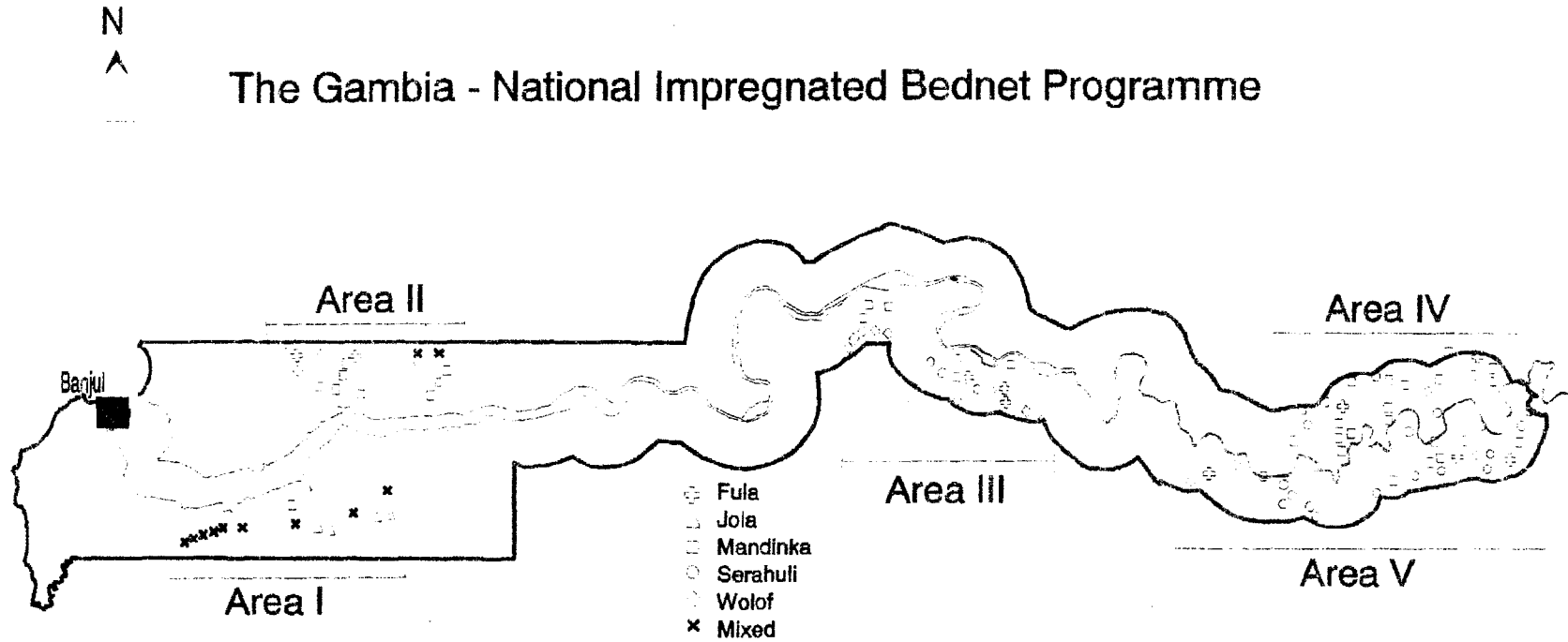
## Conclusion

The potential contribution of Earth Observation Satellites and GIS to malaria surveillance is one of considerable promise. GIS provides a useful spatially referenced database which can be used to record epidemiological and socioeconomic factors relevant to malaria risk within a region. The analysis of environmental information within such a GIS allows us the possibility of an improved understanding of the complex of factors driving malaria transmission. Furthermore, the facility to analyze environmental data in relation to historical epidemiological data (where available) allows the possibility of developing a malaria stratification map for many African countries which have no working stratification model at present. Finally, the possibility of developing an Early Warning System for malaria control planning, by utilising an Environmental Information System which is developed for a range of sectoral resource planning and management purposes promises a very cost effective tool to tackle some major health problems which exist at present in many sub-Saharan African countries.

## Acknowledgements

We would like to thank Mr F. Snijders for supplying the FAO ARTEMIS data set. The financial support of the Overseas Development Administration and the Medical Research Council to the two primary authors involved in this study is gratefully acknowledged as is the financial contribution made by the Royal Society which enabled S.J. Connor to attend the AfricaGIS'95 conference. The continued support of Professor M.W. Service is much appreciated.

Figure 1. Study areas of the National Impregnated Bednet Programme, The Gambia (Thomson *et al.*, 1994).



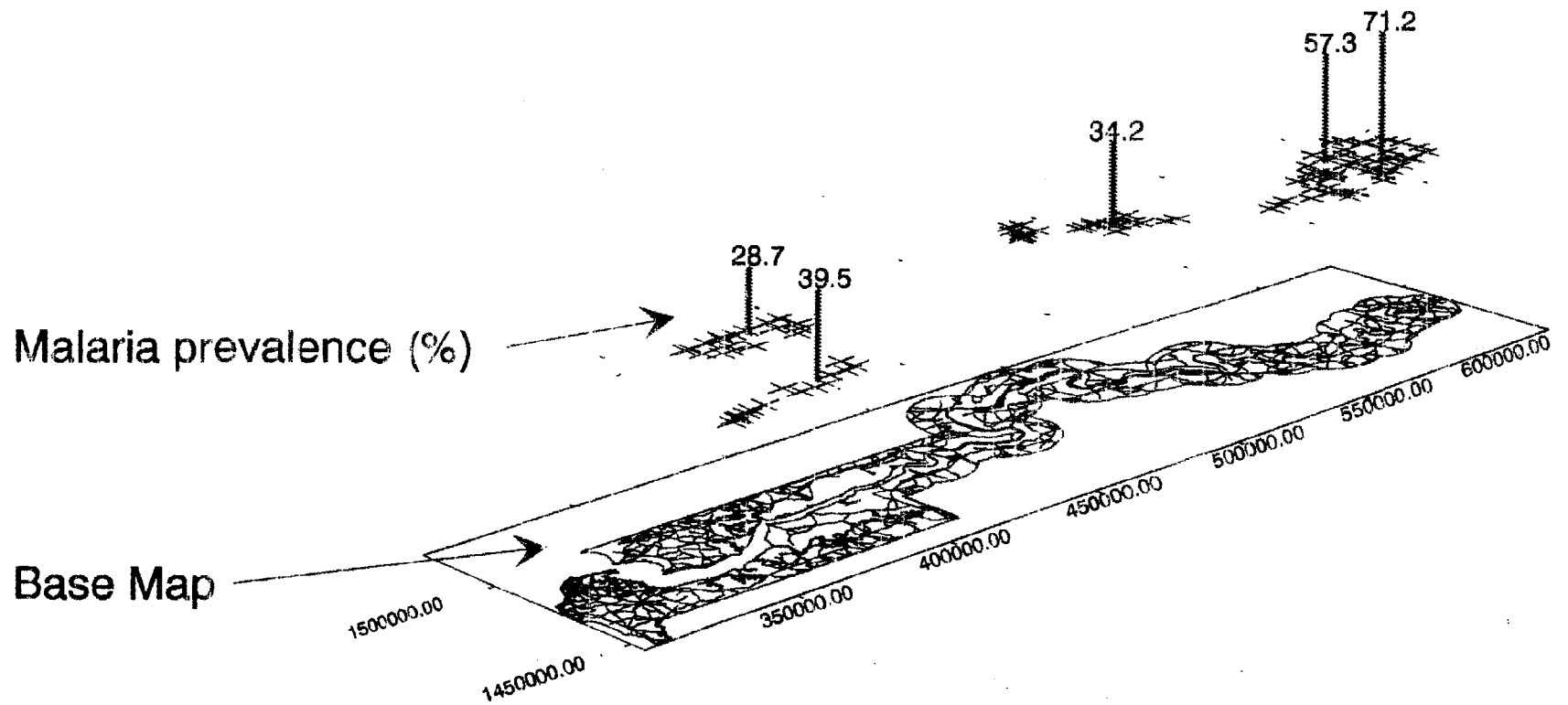
492



493

Figure 2.

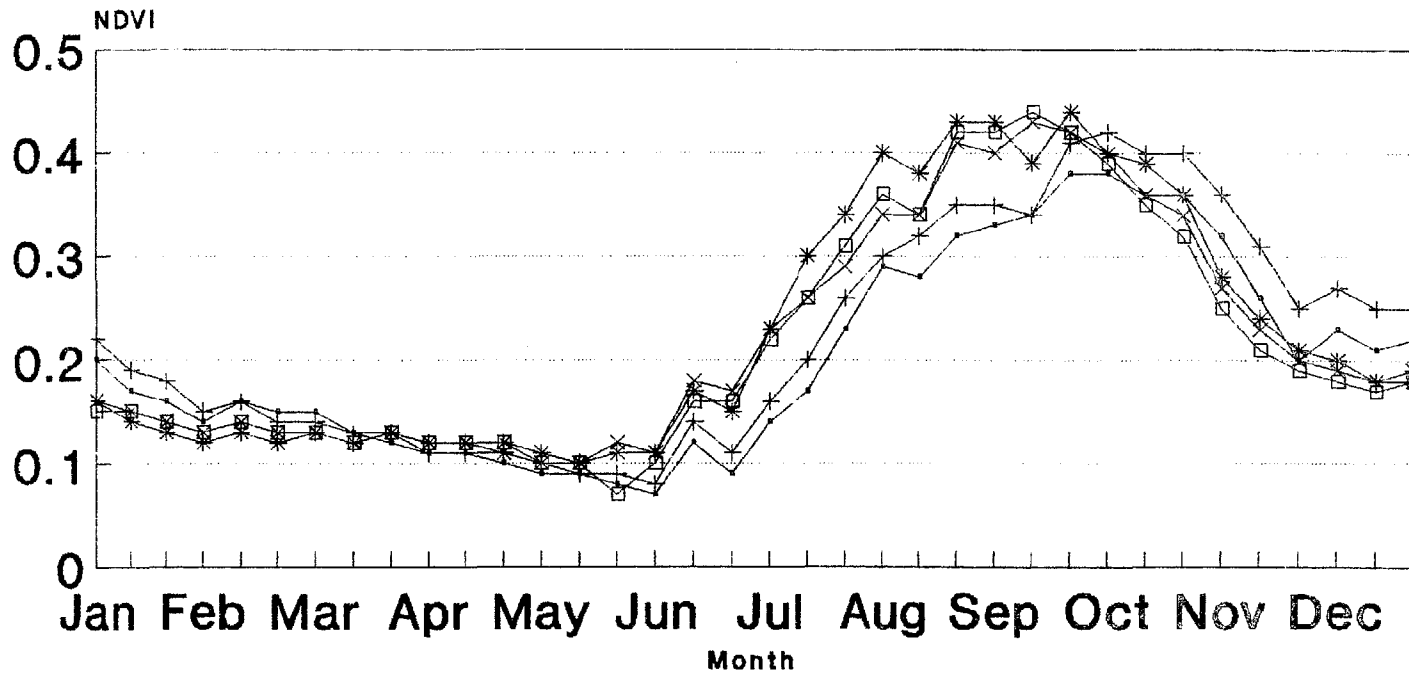
Mean malaria prevalence rates (in children age 1-4) in the different study areas (data from Thomson *et al.*, 1994)



Thomson, et al 1994

Mean NDVI 1981-1990  
from FAO/ARTEMIS data set

Figure 3.



—•— West S      —+— West N      —\*— Central  
—□— East N      —×— East S

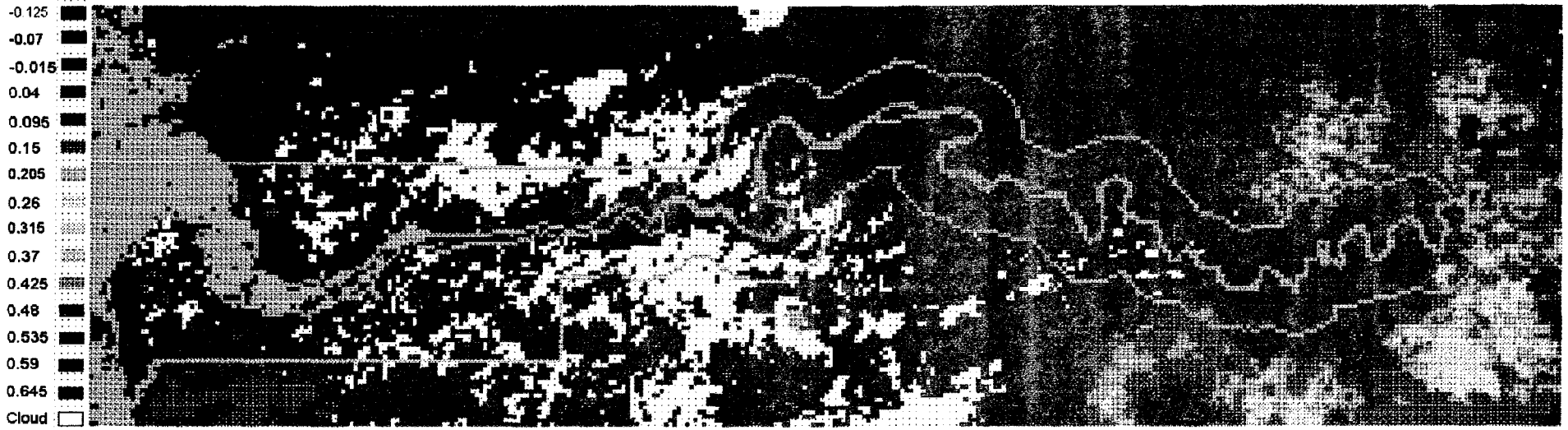
hbr

NDVI

Figure 4.

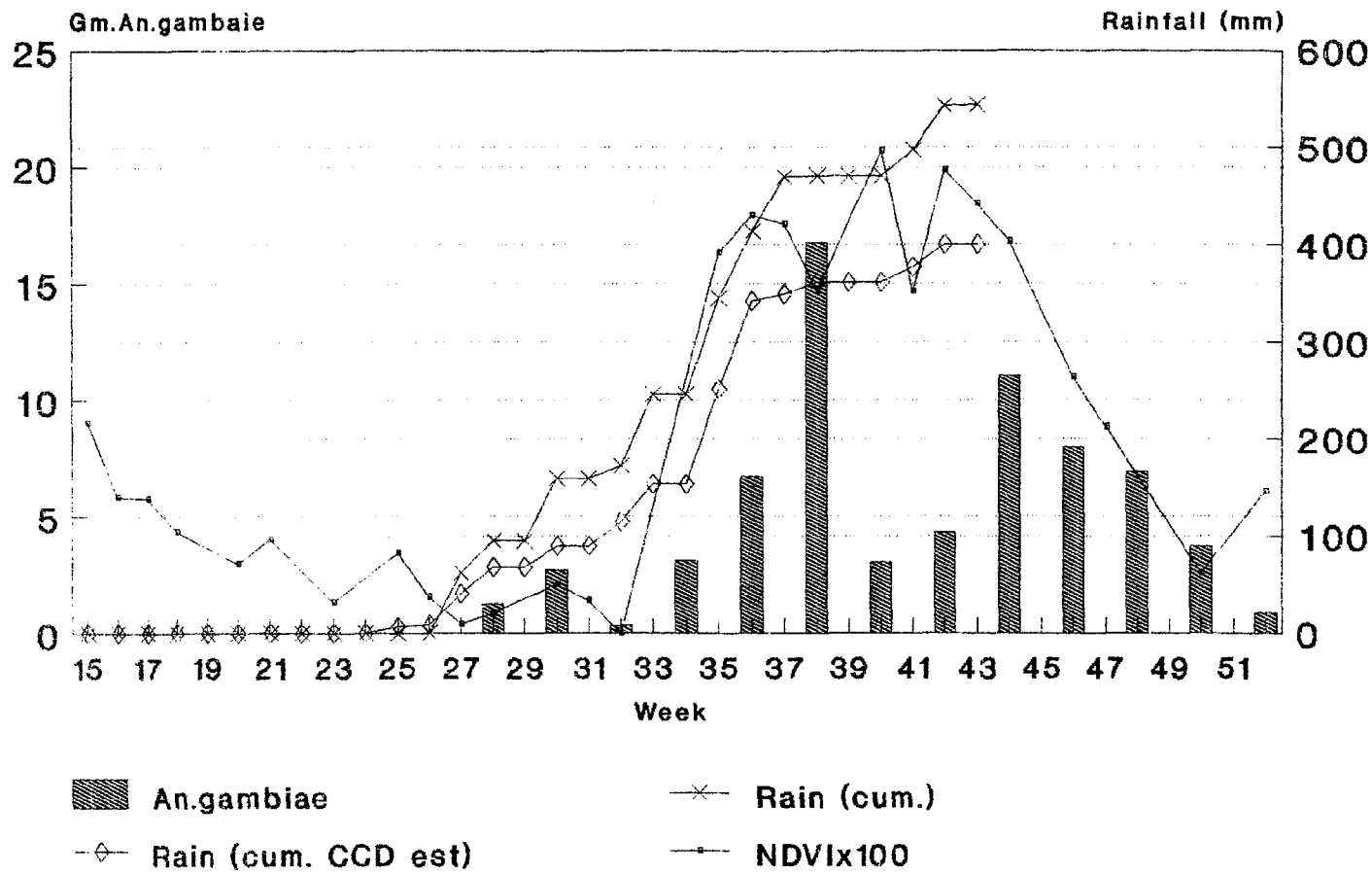
Composite of Images of NDVI obtained during the few days prior to 21 July 1991

### LAC NDVI image of The Gambia - 21 July, 1991



Mosquito densities found in one of our study villages during the rainy season compared with rainfall, CCD rainfall estimate and LAC NDVI.

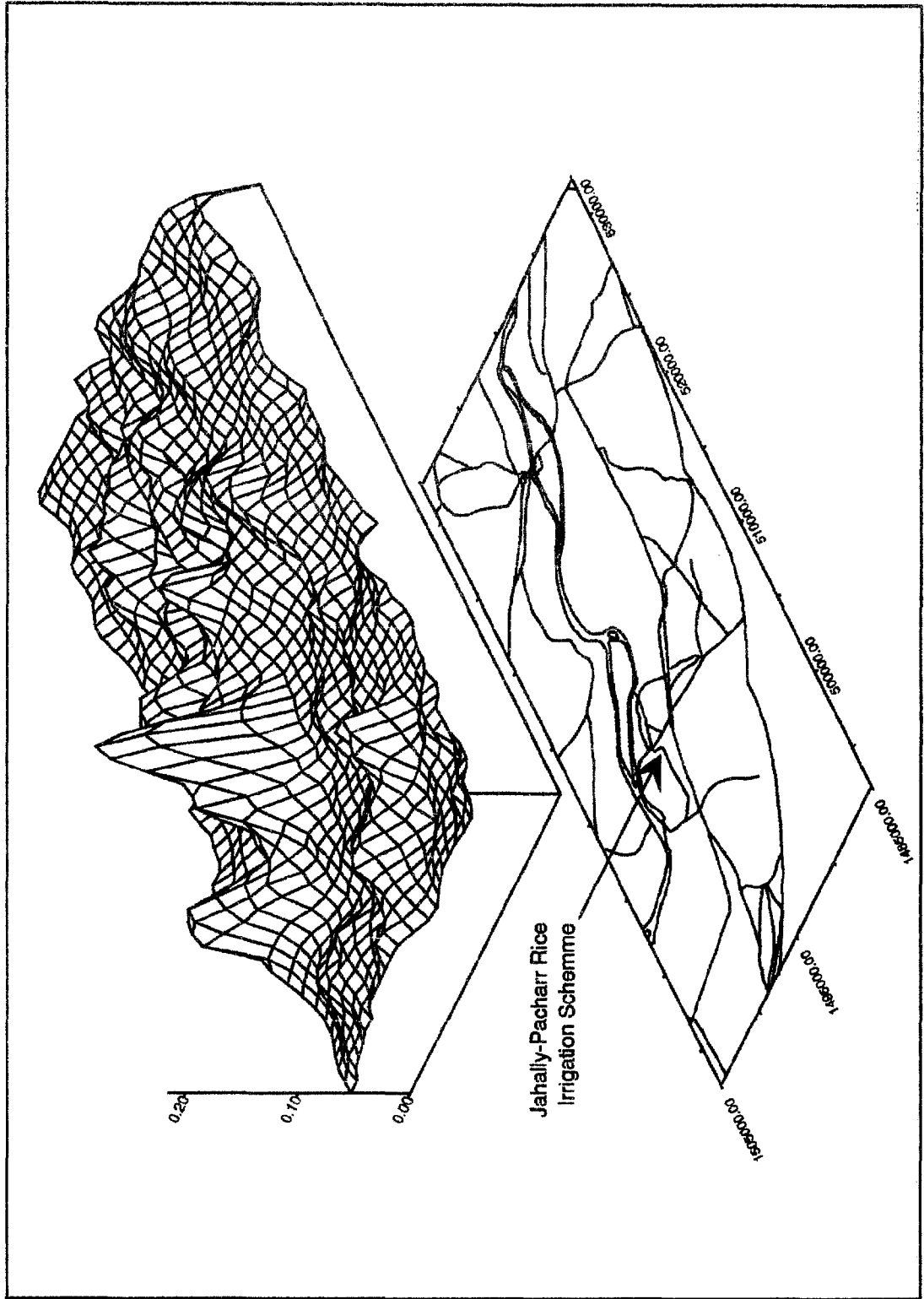
Figure 5.



4/2/06

Figure 6

Map of LAC NDVI image covering part of The Gambia - 17 June, 1991



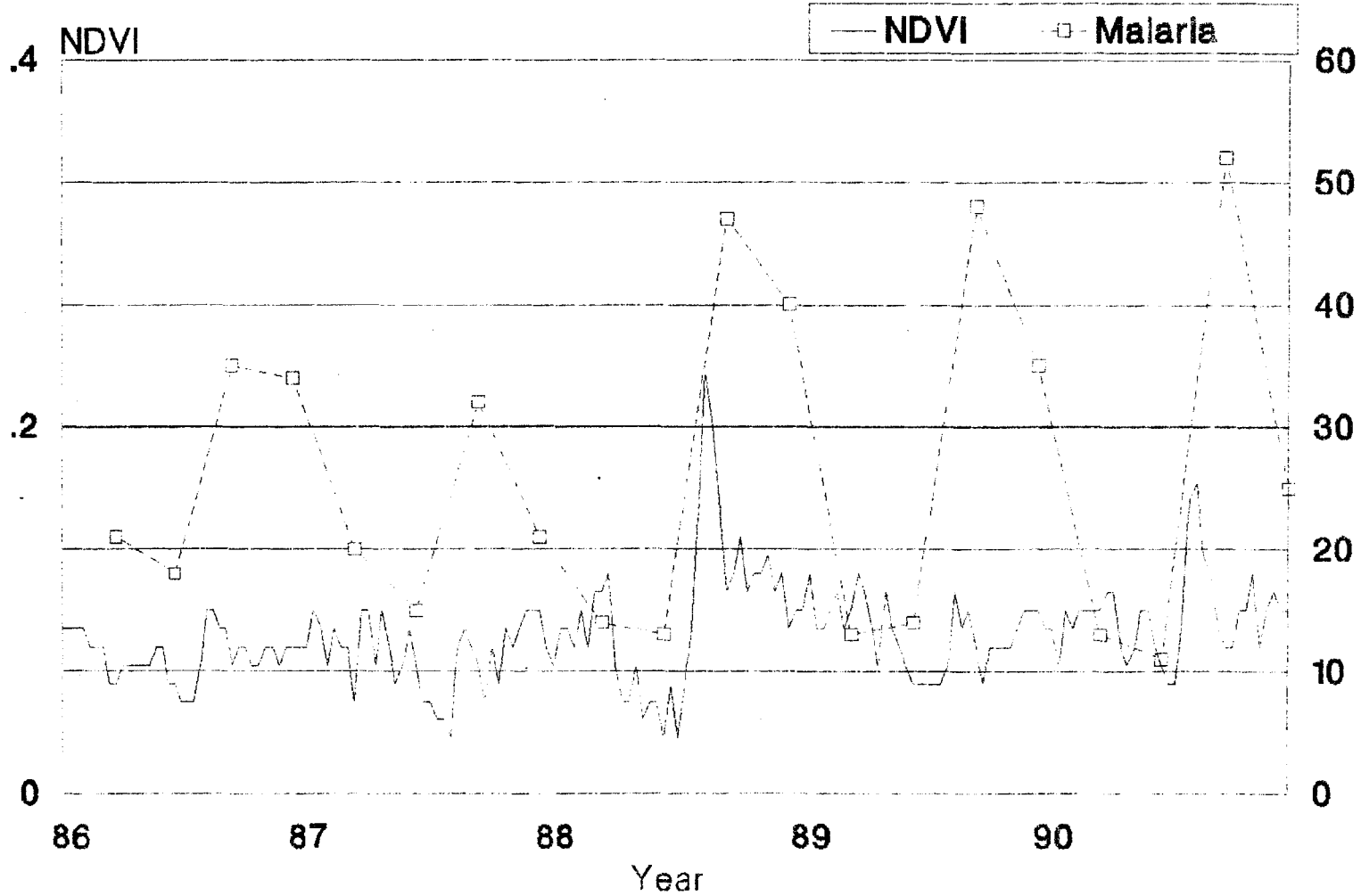
LAC NDVI values which correspond with a localised map of The Gambia in the McCarthy Island Division. The peak NDVI value corresponds with the position on the map of the Jahally-Pacharr irrigated rice fields.

487

Figure 7

NDVI data from the ARTEMIS data set is compared with data on the percentage of hospital admissions that may be related to malaria in Mirriah, Niger (Julvez *et al.*, 1992).

Changes in % of malaria cases compared with NDVI  
Data from Mirriah, Niger, (Julvez *et al.*, 1992)

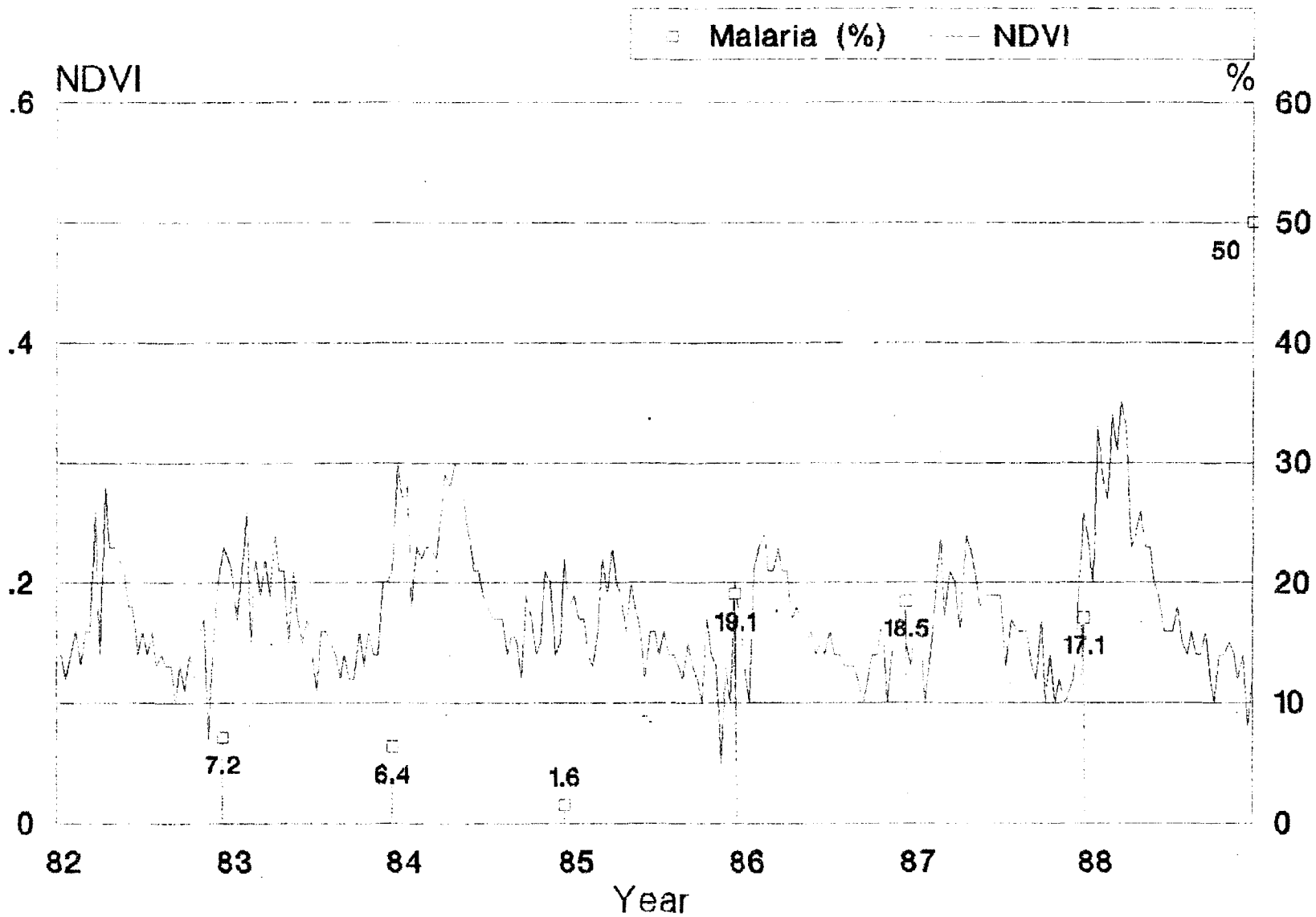


6907

489  
b89

Figure 8

A comparison of malaria prevalence rates in school children (which are marked as small boxes) with NDVI values in Ngamiland, Botswana.



## References

- Beck, L.R., Rodriguez, M.H., Dister, S.W., Rodriguez, A.D., Rejmankova, E., Ulloa, A., Mexa, R.A., Roberts, D.R., Paris, J.F., Spanner, M.A., Washino, R.K., Hacker, C., Legters, L.J. (1994) Remote sensing as a landscape epidemiological tool to identify villages at high risk for malaria. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 5 (3), 271-280.
- Bonifacio, R.; Dugdale, G.; Milford, J.R. 1993. Sahelian rangeland production in relation to rainfall estimates from Meteosat. *International Journal of Remote Sensing*. 14 (14), 2695-2711.
- Connor, S.J., Thomson, M.C., Flasse, S. & Williams, J.B. (in press) The use of low cost remote sensing and geographical information systems in identifying and monitoring the environmental factors associated with vector-borne disease transmission. *Proceedings of The International Workshop on Geographical Information Systems (GIS) for Health and the Environment*, Colombo, Sri Lanka, 5-10 September 1994.
- Dugdale, G., & Milford, J.R. (1986) Rainfall estimates over the Sahel using METEOSAT thermal infrared data. *Proceedings of ISLSCP conference on parameterization of land surface characteristics*. 1985 ESA SP 248.
- FAO. 1990. Satellite remote sensing in support of early warning and food information systems, strengthening national early warning and food information systems in Africa, Annex 7, FAO Workshop, Accra, Ghana, 23-26 October 1989.
- Heilkema, J.U.; van Herwaarden, G.J. 1993. Operational use of ARTEMIS data for food security and locust control. *FAO Remote Sensing Centre, Rome*.
- Holben, B.N. 1986. Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*. 7, 1417 pp.
- Hulme, M., Biot, Y., Borton, J., Buchanan-Smith, M., Davies, S., Folland, C., Nicholds, N., Seddon, D. and Ward, N. (1991) Seasonal rainfall forecasting for Africa. Part I: Current status and future developments. *International Journal of Environmental Studies*. 39: 245-256.
- Julvez, J., Develoux, M., Mounkaila, A., & Mouchet, J. (1992) Diversite du paludisme en zone sahel-sahareinne, Une revue a propos de la situation au Niger, Afrique de l'Ouest. *Annals de la Societe Belge de Medicine Tropicale* 72, 163-177.
- Lindsay, W.S.W., Wilkins, H.A., Zieler, H.A., Daly, R.J., Petrarca, V. and Byass, P. (1991) Ability of Anopheles gambiae mosquitoes to transmit malaria during the dry and wet seasons in an area of irrigated rice cultivation in The Gambia. *Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 94, 313-324.
- Linthicum, K.J., Bailey, C.L., Tucker, C.J., Mitchell, K.D., Logan, T.M., Davies, F.G., Kamau, C.W., Thande, P.C., Wagateh, J.N. 1990. Application of polar-orbiting, meteorological satellite data to detect flooding of Rift Valley Fever virus vector in mosquito habitats in Kenya. *Medical and Veterinary Entomology*. 4, 433-438.
- Malingreau, J.P. (1991) Remote sensing for tropical forest monitoring: An overview. *Remote Sensing and Geographical Informations Systems for resource management in developing countries*. Ed. A.S. Belward & C.R. Valenzuela, Dordrecht: Kluwer. 253-278.
- Milford, J.R., & Dugdale, G., (1990) Estimation of rainfall using geostationary satellite data. In: Applications of remote Sensing in Agriculture, *Proceedings of the 48th Easter School on Agricultural Science, University of Nottingham, July, 1989*, Butterworth, London.
- Najera, J. A. (1989) Malaria and the work of WHO. *Bulletin of the World Health Organisation*. 67 (3): 229-243.



- Pope, K.O., Sheffner, E.J., Linthicum, K.J., Bailey, C.L. Logan, T.M., Kasischke, E.S., Birney, K., Njogu, A.R & Roberts, C.R. (1992) Identification of central Kenya Rift Valley fever virus vector habitats with Landsat TM and evaluation of their flooding status with airborne imaging radar. *Remote Sensing and Environment*. 40, 185-196.
- Rogers, D. & Randolph, S. (1991) Mortality rates and population density of tsetse flies correlated with satellite imagery. *Nature*. 351, 739-741.
- Sear, C.B., Williams, J.B., Trigg, S., Wooster, M., Navarro, P. (1993) Operating satellite receiving stations for direct environmental monitoring in developing countries. In: *Proceedings of the International Symposium on Operationalization of Remote Sensing*. April. ITC, Enschede, Netherlands, Vol 8. 293-302.
- Thomson, M.C., D'Alessandro, U., Bennett, S., Connor, S.J., Langerock, P., Jawara, M., Todd, J.E., Greenwood, B.M. (1994). Malaria prevalence is inversely related to vector density in The Gambia, West Africa. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine & Hygiene*. 88: 638-643.
- Thomson, M.C., Adiamah, J. H., Connor, S.J., Jawara, M., Bennett, S., D'Alessandro, U., Quinones, M., Langerock, P., & Greenwood (in press) Entomological evaluation of the Gambia's National Impregnated Bednet Programme. *Annals of Tropical Medicine and Parasitology*
- Washino, R.K. and Wood, B.L. (1994) Application of remote sensing to arthropod vector surveillance and control. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* (Supplement). 50 (6), 134-144.
- Wernsdorfer, W.H. & McGregor, I. (1988) *Malaria: Principles and Practice of Malariology*. 2 Volumes. Churchill Livingstone.
- WHO (1990) *Tropical disease in 1990*. Geneva: World Health Organization.
- WHO (1991) Characteristics of unstable malaria areas. Inter-country Seminar on Vector Control in Unstable Malaria Areas. Addis Ababa. 21-25 January, 1991. *AFR/VBC/WP/06*.
- WHO (1994) Information Systems for the Evaluation of Malaria Control Programmes: A Practical Guide. *AFRO/CTD/MAL/94.3*.
- Williams, J.B.; Rosenberg, L.J. 1993. Operational reaction, processing and application of satellite data in developing countries: Theory and Practice. *Proceedings of the UK Remote Sensing Society, annual conference, towards operational applications*. Chester (UK).
- Wood, B.L., Beck, L.R., Washino, R.K., Hibbard, K.A., Salute, J.S. 1991. Estimating high mosquito-producing rice fields using spectral and spatial data, *International Journal of Remote Sensing*. 13 (15), 2813-2826.

# APPORTS D'UNE STRUCTURE SPECIALISEE DANS LA GESTION DES RESSOURCES NATURELLES POUR LA MISE EN PLACE D'UN SIG APPLIQUE A LA SANTE PUBLIQUE.

**J. DUSART, A. I. WADE**

Centre de Suivi Ecologique, Dakar, Sénégal

**I. NUTTALL**

Organisation Mondiale de la Santé, Genève, Suisse

**A. H. SYLLA, L. C. SARR**

Ministère de la Santé et de l'Action Sociale, Dakar, Sénégal

## INTRODUCTION

Depuis une vingtaine d'années, la vallée du fleuve Sénégal connaît des mutations importantes. Les aménagements hydroagricoles (barrages, périmètres irrigués, remise en eau de vallées mortes) posent de nouveaux défis socio-économiques ou démographiques (Engelhard 1987). Ils constituent également un creuset pour le développement des maladies tropicales. Celles-ci, en effet, sont étroitement liées aux changements de l'environnement et notamment la présence d'eau (schistosomiase ou paludisme). L'impact épidémiologique des aménagements est variable, il peut dépendre du type de plan d'eau (température, profondeur, courant), de l'état des rives (rives envasées, présence d'herbiers aquatiques) et des pratiques socio-économiques des populations (riziculture, disponibilité en eau potable, habitudes nutritionnelles). Les effets seront donc liés à la qualité de l'aménagement (Rey et al. 1992, Gioda 1992).

De nombreuses études analysent ces effets, quantifient la prévalence des maladies tropicales et de la bilharziose plus particulièrement avant et après les barrages (Handschumacher et al. 1992, Chippaux 1994). Ils analysent les conditions écologiques des différents intervenants des maladies hydriques: agent pathogène, vecteur, hôte intermédiaire, hôte définitif, la maladie ne survenant que s'il y a interconnexion de l'écologie des différents acteurs. La connaissance de ces milieux peut orienter les moyens de lutte: utilisation de produits molluscides pour la lutte contre la schistosomiase, entretien des berges, élimination des zones de ralentissement du courant, etc.

L'approche géographique a toujours été intégrée dans les programmes de lutte contre les maladies tropicales (OMS, 1965). En 1988, une épidémie dramatique de schistosomiase (ou bilharziose) intestinale à *Schistosoma mansoni* (Talla, 1990) survenue sur la vallée du fleuve Sénégal, suite au barrage de Diama, a mis l'accent sur la nécessité de pouvoir avoir les moyens de suivre l'évolution de la maladie dans l'espace et ses relations avec les modifications de l'environnement. Une meilleure connaissance de la répartition géographique de ces milieux associée à un outil efficace de collecte et de gestion des indicateurs de santé peut contribuer à l'exploitation optimale des moyens de lutte.

## I. OUTILS DE SURVEILLANCE

La surveillance épidémiologique n'est pas nouvelle. Au Sénégal, la Division des Statistiques du Ministère de la Santé et de l'Action Sociale (MSAS) est responsable du suivi statistique des différentes formations sanitaires présentes sur le territoire. Elle définit et prépare avec les décideurs et les professionnels de la santé les indicateurs de

base, les formulaires de collecte des données et propose des recommandations au travers de plans quinquennaux par exemple (MSAS 1991).

La généralisation progressive d'un nouveau programme de collecte et d'exploitation de données (SIG: Système d'Information à des fins de Gestion) vise à remodeler le système d'information sanitaire (MSAS 1994). La mise en place de ce système s'accompagne d'un important volet de formation des agents de la santé, formation au remplissage des formulaires, au dépouillement statistique, à l'analyse des données, au calcul d'indicateurs dérivés (couverture vaccinale, incidences de maladies). Pour chaque type d'activité (planification familiale, consultations prénatales, vaccinations, surveillance nutritionnelle, lutte contre le paludisme, activités curatives), plusieurs taux sont calculés: indicateurs de disponibilité, d'accessibilité, d'utilisation, de couverture.

Les données recueillies sont consignées dans des rapports dans chaque poste de santé du pays, puis agrégés à chaque niveau de la hiérarchie médicale (poste, district, région médicale, MSAS). Les rapports sont également analysés aux différents niveaux et permettent d'évaluer l'impact des programmes et de définir des stratégies appropriées pour améliorer la situation déterminée par les indicateurs (MSAS, op. cit.). Si des problèmes apparaissent (indicateurs défavorables), les types de cause sont identifiés et des stratégies correctrices sont proposées.

## II. SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE

L'analyse optimale des données se heurte bien souvent à la composante géographique que les seuls indicateurs d'accessibilité ne suffisent pas à intégrer. La majorité des indices se base sur l'identification d'une population cible du poste de santé. Seule une représentation cartographique des postes de santé permettrait d'identifier avec plus de précision la zone de responsabilité de chaque poste de santé. L'exploitation des indicateurs ne suffit pas non plus à proposer des stratégies de planification (construction de nouveaux postes, affectations du personnel médical, des médicaments ou des moyens financiers), ou de lutte contre les maladies hydriques. Associer une référence géographique à ces indicateurs constituerait donc un progrès dans la prise en compte de l'environnement au sens large des postes de santé.

Les progrès technologiques ont permis l'émergence de nouveaux outils informatiques d'analyse, les systèmes d'information géographique (SIG). Leur utilisation en santé varie de la simple cartographie informatisée de données épidémiologiques (Pyle, 1994), à l'analyse plus complexe d'images satellitaires pour la mise en évidence des relations vecteurs / environnement (Hugh-Jones 1989, Malone 1992, Perry 1991 ).

L'intégration de données collectées dans les postes de santé dans un Système d'Information Géographique (SIG) peut contribuer à prendre en compte la dimension spatiale de la surveillance médicale, suivre les modifications de l'environnement dans la Vallée. Il peut à terme guider les interventions sanitaires. Le tableau 1 présente quelques questions et stratégies de réponses que les décideurs sont susceptibles de poser et auxquelles le Système d'Information Géographique peut apporter sa contribution. Les questions sont triées par ordre de complexité croissante et requièrent donc des stratégies de mise en oeuvre de plus en plus sophistiquées. L'utilisation du SIG doit être décentralisée au niveau des Districts, de la Région Médicale et répondre à des questions différentes selon les différents niveaux de la hiérarchie.

Le passage au niveau supérieur requiert la mise en correspondance de nouvelles données (répartition des zones humides), l'utilisation d'outils méthodologiques plus sophistiqués (croisement de données, calcul de zones-tampon). Le suivi sur une longue période permet d'atteindre le niveau d'abstraction supérieur qui permet la modélisation de la répartition spatiale des principales causes de morbidité, la prévention des endémies, la mise en place de programmes plus efficaces de lutte contre les maladies hydriques.

Questions	Niveau d'analyse	Moyens/données	Outils	Résultats/Actions
<u>Activités des postes de santé</u>	District	Rapport postes	Graphiques comparatifs Cartographie thématique	Recentrage de la formation et des activités de supervision
<u>Répartition et évolution morbidité</u> <u>Gestion du personnel</u>	Région médicale	Rapports districts Répartition des maladies Répartition du personnel	Cartographie thématique	Programme régionaux ou nationaux (vaccination, éducation sanitaire) Renforcement en moyens ou en personnel, création d'infrastructures
<u>Simulation</u> <u>Modélisation</u>	MSAS (national)	Rapports région analyse multivariée Evolution environnement	Mise en oeuvre d'opérateurs spatiaux dans un SIG	Evaluation de l'impact des aménagements ou des modifications environnementales Stratégie d'ensemble

Tableau 1: Hiérarchisation des problèmes, données et outils méthodologiques

En 1994, le Ministère de la Santé et l'ensemble des services de santé de la Région du Fleuve (St-Louis) assistés techniquement par l'OMS et financièrement par le CRDI-Ottawa ont décidé d'utiliser un Système d'Information Géographique pour intégrer données sanitaires et données environnementales au niveau de la région. Il a été fait appel au Centre de Suivi Ecologique (CSE) pour appuyer la mise en place de la base de données, participer à la formation des utilisateurs et le développement d'applications; l'objectif étant qu'à terme, les responsables médicaux encodent eux-mêmes leurs données brutes, les mettent en forme, exploitent les outils d'interrogation et d'analyse des données à référence spatiale et enfin présentent les résultats sous forme cartographique.

La présente contribution présentera les principaux résultats issus de l'exploitation du SIG et de l'imagerie satellitaire SPOT XS, les méthodologies mises en oeuvre dans le choix et l'intégration de données multi-sources et les contraintes liées à la réalisation de ces objectifs.

### III. EQUIPEMENTS, MATERIELS ET LOGICIELS

Le besoin en information existant aux différents niveaux de la hiérarchie médicale, il convenait d'y installer les outils de consultation de la base de données. Suite à une étude de faisabilité menée en 1992 par un consultant OMS, le choix s'est porté sur un équipement en MacIntosh, vu leur interface conviviale et les passerelles existant désormais avec le monde des compatibles. Le projet concerne la Région Médicale de St-Louis, divisée en cinq districts sanitaires: St-Louis, Richard-Toll, Dagana, Podor et Matam. Dans chaque district a été installé une machine. A St-Louis, la Région médicale et le district travaillent ensemble. Un dernier ordinateur a été placé à la Division des Statistiques du MSAS.

MapInfo™<sup>(15)</sup> est le logiciel SIG retenu par la Division de Lutte contre les maladies tropicales (OMS), initiatrice du projet (Nuttall 1994). Les services de santé ont été équipés de la version MacIntosh, le CSE de la

<sup>15</sup> MapInfo est une marque déposée de Mapping Information Systems Corporation (MapInfo Corp.), Troy, New-York, USA

version Windows. En effet, les bases de données de ce dernier n'existent que sous le monde PC. Cependant, la transformation des fichiers PC dans le format d'échange de MapInfo™ permet de les transférer facilement sur MacIntosh. Le CSE est chargé de la structuration de la base de données. Il associe ses propres données (couverture de la végétation) à celles de projets d'autres directions: SIGRES (Direction de l'Hydraulique).

#### IV. METHODOLOGIE

La base de données regroupe les données recueillies au niveau des postes de santé (types d'activités, morbidité mensuelle, indicateurs dérivés) et les données environnementales. Au niveau périphérique, les données des postes de santé sont rapportées mensuellement par l'infirmier chef de poste, au médecin du district. Elles sont encodées par ce dernier ou par le superviseur. Les données de chaque district sont alors transmises par disquette à la Région Médicale et au MSAS. La coordination doit à terme être assurée par la Division des Statistiques.

Puisque le projet a une importante composante de décentralisation, il était indispensable de lui associer un volet de formation des utilisateurs de la base de données. Le CSE en partenariat avec l'OMS a proposé deux semaines de formation, la première consacrée à une introduction aux concepts de bases de données, la seconde, à l'utilisation de MapInfo™ et au développement d'applications SIG simples. Des notes de cours ont été rédigées comme support de la formation.

A l'issue de la formation, il sera procédé à un suivi périodique au niveau des districts sanitaires pour consolider les connaissances en SIG acquises par les agents, assurer l'assistance et l'expertise du CSE durant toute la phase d'exploitation du SIG et régler les problèmes opérationnels.

#### V. EXEMPLES D'APPLICATIONS

Quelques exemples d'applications pratiques sont ici proposés comme illustration de notre propos. Ils ont été mis en oeuvre par les stagiaires lors des séminaires de formation organisés au CSE et répondent à des besoins concrets. Ils concernent la représentation graphique d'indicateurs (évolution du taux de couverture vaccinale dans un district), la cartographie thématique (cartographie des taux de prévalence du paludisme dans le District de Dagana, cartographie de résultats d'enquêtes sur la schistosomiase dans plusieurs villages du même district), l'interrogation de la base de données (requêtes SQL), etc.

La démarche suivie est toujours identique. Elle vise à identifier les composantes et données nécessaires à la résolution d'un problème concret. Nous l'illustrerons par un exemple. Le Médecin-Chef souhaite connaître le nombre d'habitants se situant à plus de 10 km de tous les dispensaires du Département de Dagana. Le problème peut se décomposer en deux étapes: une première permettant de calculer la population totale du Département et une deuxième la population située dans un rayon de moins de 10 km autour des dispensaires. L'information recherchée sera la différence des deux valeurs. L'information donnée dans chaque table ne suffit pas, il faut pouvoir les combiner pour obtenir des informations dérivées. On sélectionne d'abord tous les villages du Département et on calcule la population totale de ce dernier. MapInfo permet de calculer des zones-tampon (*buffers*) autour de points, vecteurs ou zones. L'expression d'une requête SQL permet de calculer la population totale incluse dans le buffer.

En affinant la méthodologie, il devrait être possible d'identifier plus précisément la zone de responsabilité de chaque poste de santé et donc dériver des indicateurs plus réalistes de l'efficacité d'un programme de vaccination ou de planning familial. D'autres applications ont été réalisées: répartition spatiale des principales affections, identification des zones sous-équipées en matière d'infrastructures sanitaires, identification des villages de moins de  $x$

995

habitants, situés à plus de y km de la route nationale, etc. Ces applications simples à mettre en oeuvre par des non-spécialistes des SIG illustrent la puissance du SIG comme outil de gestion et de planification sanitaire.

#### IV. CONTRAINTES ET CONDITIONS DE SUCCES

##### 4.1. Choix et disponibilité des données

Les attentes du traitement des données sont conditionnées par la qualité et la disponibilité en information médicale ou environnementale. La structure de la base de données et les données qui y sont intégrées reposent sur le Système d'Information à des fins de Gestion (SIG) développé par la Division des Statistiques. La cohérence de la base ne peut donc être assurée que dans la mesure où l'ensemble des districts médicaux a été formé aux nouveaux indicateurs et aux techniques de collecte des données. A ce jour, la formation n'a été dispensée que dans deux districts. Les méthodes traditionnelles de collecte sont toujours d'application. L'encodage de données dans le SIG peut donc apparaître comme un fardeau supplémentaire si les avantages qu'il procure ne sont pas clairement perçus. Les données ne peuvent être insérées dans le SIG que lorsque les rapports de chaque poste de santé sont parvenus au Médecin-Chef de District. Les retards accumulés dans les grands districts (plus de quarante postes) diminuent la pertinence des analyses réalisées.

L'intégration de données environnementales n'est pas aisée. Elle est tributaire de l'échelle d'analyse retenue et impose des choix conditionnés par des hypothèses qui peuvent être discutées. Ainsi en matière d'occupation du sol, seules les surfaces en eau, les périmètres irrigués et les surfaces couvertes par de la végétation sur sol humide ont été retenus. La répartition de ces classes d'occupation apparaît en effet comme un facteur déterminant de l'écologie des divers intervenants des maladies hydriques cités en introduction. Cette relation n'est cependant pas univoque comme l'ont déterminé plusieurs études (Doumenge 1992) prouvant par exemple qu'à proximité de réservoirs d'eau importants, les populations acquièrent après un certain temps une pseudo-immunité et que le taux de prévalence du paludisme n'est donc pas nécessairement le plus élevé. Dans le cas de densités élevées de population, la probabilité pour une personne d'être piquée par les anophèles peut aussi diminuer (Rey et al. 1992).

L'absence de données environnementales récentes ou aux échelles recherchées ( $\pm 1/200000$ ) conditionne également le pouvoir explicatif de la base de données. Les classes d'occupation du sol mentionnées ci-dessus ont été extraites après généralisation de cartes au 1/50.000 réalisées à partir de scènes SPOT/XS pour le compte de projets forestiers (Progona-FAO) et d'aménagements de périmètres irrigués (Premina-FED). Les cartes ne couvrent que la plaine alluviale du fleuve (le Walo) et l'ensemble du Département de Podor, et sont basées sur des scènes acquises en 1990 et 1991. Depuis peu cependant, des efforts importants d'harmonisation sont réalisés, pour que les différents ministères et organismes utilisent les mêmes données, aux mêmes échelles. Cet effort ne porte actuellement que sur les cartes à petite échelle (1/1.000.000), mais des projets, comme Africover (FAO), se proposent de couvrir l'ensemble de l'Afrique au 1/250.000.

Les contraintes budgétaires ne permettent pas d'envisager d'importants relevés de terrain. Il n'est pas possible par exemple, vu l'ampleur de la zone considérée ( $\pm 40000 \text{ km}^2$ ), de mesurer et de relever exhaustivement tous les points d'eau (puits, mares, canaux). La répartition des surfaces en eau sera donc incomplète. Cependant la structure souple de la base de données autorisera l'intégration ultérieure de ce type de données.

Il en est de même pour les pistes et les voies de communication. Aucune carte à jour suffisamment détaillée ne nous renseigne sur l'accessibilité des villages et l'état des pistes. La reconnaissance des tracés sur compositions colorées SPOT permet de pallier partiellement cet inconvénient. Mais le nombre d'images nécessaire pour couvrir l'ensemble de la zone ne permet pas leur intégration dans la base de données. Enfin, il est difficile d'ajouter dans un

SIG la composante démographique. Il est possible d'associer à chaque village des données de population à un temps t, mais plus difficile d'intégrer la dynamique de cette population. Or, il est évident que les déplacements de personnes peuvent favoriser la propagation des maladies. Malheureusement, dans les relevés statistiques des consultants, l'origine et l'ethnie de ceux-ci n'est pas mentionnée.

#### 4.2. Conditions d'exploitation optimale de la base de données

Parmi les limites à l'exploitation optimale de la base de données, figurent le choix de l'échelle d'analyse. Les objectifs d'exploitation de la base de données comme outil de suivi, de gestion et de planification ne permettent pas l'utilisation pour des applications de micro-suivi. Cette limitation n'empêche cependant pas l'intégration ultérieure dans le SIG de données à plus grande échelle issues par exemple de l'Atlas Informatisé de Richard-Toll (Handshumacher 1992) dont le niveau d'analyse est l'îlot urbain.

Le succès de la base de données sera également lié aux technologies utilisées. Si celles-ci sont trop sophistiquées (intégration d'images satellitaires lourdes à manipuler et auxquelles les utilisateurs ne sont pas et n'ont pas davantage à être formés), ou que les limitations des outils d'analyse spatiale sont trop importantes, les utilisateurs perdront leur précieux temps à mettre en oeuvre des solutions de remplacement à leurs problèmes. Au cours de la formation, l'accent a toujours été mis sur la simplicité et l'efficacité. Si la complexité devait l'emporter, les utilisateurs se détourneraient rapidement de cet outil.

Afin d'éviter ces éventuels dérapages et pour que les utilisateurs conservent les acquis de la formation, un programme de suivi sur site a été mis en place dès la fin de la formation. Le CSE, relayé par la Division des Statistiques à la fin du projet, se chargera de ce suivi auprès des utilisateurs.

L'identification pertinente des utilisateurs est un facteur essentiel de réussite: chaque niveau de la hiérarchie doit identifier clairement les personnes responsables du maintien à jour de la base de données, suivant un programme préalablement établi. Le succès de l'entreprise dépend également du flux de l'information au sein du Ministère de la Santé. L'information collectée circule hiérarchiquement depuis le niveau des districts jusqu'au niveau central. Un plan de gestion doit donc accompagner le projet.

### **CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES**

L'importance que prennent dans les pays en voie de développement les maladies tropicales à transmission vectorielle impose de mettre en place des programmes de lutte efficaces malgré les moyens réduits. L'efficacité de cette lutte étant liée à la connaissance du niveau actuel de ces maladies et leur répartition spatiale, les Systèmes d'Information Géographique constituent un outil original d'intégration de composantes environnementales et de données sanitaires.

La mise en place de SIG dans le domaine de la santé peut également fournir les données et recommandations nécessaires aux études d'impact de projets d'aménagement. Le SIG devient dès lors un pilier des EIS (Études d'Impact sur la Santé). L'EIS a pour but de prévoir les effets positifs et négatifs sur la santé d'un projet déterminé, ainsi que de recommander les mesures propres à atténuer les éventuelles conséquences négatives. Il devient envisageable d'intégrer des garanties pour la santé dans les phases de planification des projets.

A l'avenir, et si l'expérience s'avère concluante, le SIG pour être étendu à l'ensemble du territoire du Sénégal. Il constituerait alors un tableau de bord dynamique de l'état sanitaire et offrirait de nouvelles perspectives aux études des liens entre vecteurs et environnement (identification des zones d'habitat, corrélations de densité de maladies avec densité de vecteurs et de certaines affectations du sol).

## REMERCIEMENTS

Nos remerciements s'adressent au Ministère de la Santé et de l'Action Sociale (Direction de l'Hygiène et de la Santé Publique) qui a initié ce projet avec l'OMS Genève (Division de la Lutte contre les Maladies Tropicales, CTD) et avec le soutien financier du CRDI Ottawa (Canada), ainsi qu'à tout le personnel médical de la Région de St-Louis qui a toujours marqué son intérêt pour ce projet.

## REFERENCES

**Chippaux J.-Ph.**, 1994, *Le Ver de Guinée en Afrique, Méthodes de lutte pour l'éradication*, ORSTOM Editions, Collections didactiques, Paris

**Doumenge J.-P.**, 1992, *Aménagements hydroagricoles et santé: peut-on concilier les deux*, in *Dynamique des Systèmes Agraires, la Santé en Société*, coordination Ch. Blanc-Pamard, ORSTOM Editions, Coll. Colloques et Séminaires, Paris, pp. 213-224

**Engelhard P.** (sous la direction), 1987, *Enjeux de l'après-barrage, vallée du Sénégal*, ENDA Tiers Monde et Ministère de la Coopération de la République Française, Dakar

**Gioda A.**, 1992, *Les mêmes causes ne produisent pas les mêmes effets: travaux hydrauliques, santé et développement*, Sécheresse, Vol. 3, N° 4, pp. 227-234

**Handschumacher P., Hervé J.-P., Hébrard G.**, 1992, *Aménagement hydroagricoles et maladies hydriques dans la vallée du fleuve Sénégal*, Sécheresse, Vol. 3, N° 4, pp. 219-226

**Hugh-Jones, M.** 1989. *Applications of Remote Sensing to the Identification of the Habitats of Parasites and Disease Vectors*, *Parasitology Today*, vol.5, no.8, 244-251.

**Malone J.B., Fehler D.P., Loyacano A.F. and Zukowski S.H.**, 1992, *Use of LANDSAT MSS Imagery and Soil Type in Geographic Information System to Assess Site-Specific Risk of Fasciolosis on Red River Basin Farms in Louisiana*, reprinted from *Tropical Veterinary Medicine: Current Issues and Perspectives*, Vol 635 of the *Annals of the New York Academy of Sciences*, 389-397.

**Ministère de la Santé et de l'Action Sociale**, 1991, Région médicale de St-Louis, Plan Régional de Développement Sanitaire 1991-1995, 119 p.

**Ministère de la Santé et de l'Action Sociale**, 1994, *Manuel de formation sur le SIG (Système d'Information à des fins de Gestion)*, 193 p.

**Nuttall I.**, 1994, *Geographical Information Systems (GIS), Management tools for the control of tropical diseases: applications in Botswana, Senegal and Morocco*, International Workshop on GIS for Health and Environment, Colombo, Sri Lanka, 12 p.

**OMS.** 1965 *La reconnaissance géographique au service des programmes d'éradication du paludisme*, Organisation Mondiale de la Santé, Division de l'éradication du paludisme, Genève, PA/264.65.



**Perry B.D., Kruska R., Lessard P., Norval R.A.I., and Kundert K., 1991.** *Geographic information systems for the development of tick-borne disease control strategies in Africa.* Prevent. Vet. Med. 11:261-268.

**Pyle G.F., 1994.** *Mapping tuberculosis in the Carolinas,* Sistema Terra, Vol. III, No.1, pp. 22-23.

**Rey J.-L., Sellin B., 1992,** *Bilharzioses et développement agricole,* in Dynamique des Systèmes Agraires, la Santé en Société, coordination Ch. Blanc-Pamard, ORSTOM Editions, Coll. Colloques et Séminaires, Paris, pp. 87-108

**Talla, I. et al. , 1990.** *Outbreak of intestinal schistosomiasis in the Senegal River Bassin.* Ann. Soc. belge Med. Trop., 70

# LA LUTTE CONTEMPORAINE CONTRE LA MALADIE DU SOMMEIL: UN SIG OUTIL INDISPENSABLE A LA DECISION

**J.-P. HERVOUËT**

Institut Pierre Richet / OCCGE, Bouaké, Côte d'Ivoire

## **Une maladie en pleine expansion:**

Au cours des dernières décennies des techniques de lutte remarquables contre la maladie du sommeil ont été mises au point tant en ce qui concerne le dépistage (Truc Ph., et coll. 1993) que la lutte contre les vecteurs (Laveissière Cl., Hervouët J.-P., 1992). Ceci n'empêche pas que, pour cette endémo-épidémie, la situation n'ait jamais été aussi dramatique depuis plus de cinquante ans: 55 000 000 personnes exposées au mal et 20 000 nouveaux cas sont déclarés chaque année dans les 36 états situés au sud du Sahara soumis au risque, mais l'on estime aussi (OMS 1994) que si l'ensemble de la population à risque pouvait bénéficier d'une surveillance médicale sérieuse, le nombre de malades dépistés serait de 250 à 300 000 !

## **Des structures sanitaires inadaptées au contrôle:**

Cette situation est liée en partie à la désorganisation des services de lutte contre la maladie du sommeil consécutive à la crise économique que subissent les pays africains où étaient juxtaposés une médecine curative et des services spécialisés dits des "grandes endémies" opérant largement avec des équipes mobiles. Ces équipes mobiles n'existent plus et il est illusoire d'envisager leur reconstruction, du moins dans leur forme ancienne (une équipe par secteur de santé rurale). En outre, la fréquentation des structures de santé existantes est faible: moins de 25 recours pour 100 habitants et par an en moyenne. De plus, les villages où sont implantés les dispensaires fournissent en général 70 à 80% des patients alors qu'ils ne représentent guère que 35% des utilisateurs potentiels des structures de santé. En d'autres termes, plus de la moitié de la population - celle soumise aux plus forts risques - accède moins d'une fois tous les dix ans à une structure sanitaire (Hervouët J.-P. et coll. 1994)!

Dans ces conditions et en l'état actuel des choses, les structures de soins en place ne peuvent ni jouer un rôle de sentinelles, ni participer valablement au contrôle de la maladie du sommeil.

## **Une nécessité: se rapprocher des populations à risque**

La conférence d'Alma Ata en 1978 est restée célèbre pour sa déclaration relative aux Soins de Santé Primaire (c'est-à-dire de base, primordiale et non primitive). De nombreuses raisons y firent largement obstacle et bien peu de services les mirent en vigueur. L'"Initiative de Bamako", en 1987, relançait l'idée de se rapprocher des utilisateurs du système de santé tout en pratiquant le recouvrement des coûts, par la décentralisation d'un système de soins s'appuyant sur des Agents de Santé Communautaire (ASC) issus de la population locale.

En ce qui concerne la maladie du sommeil, encore plus que pour les autres pathologies, il convient de se rapprocher des populations si l'on veut vaincre le mal. Les ASC offrent cette opportunité pour peu qu'une formation complémentaire leur soit assurée et qu'un minimum de matériel leur soit fourni: bicyclette pour les déplacements, médicaments de premiers soins pour les pathologies ou les problèmes ne relevant pas du Centre de Santé.

En Côte d'Ivoire, au début des années 90, un projet pilote de surveillance/contrôle de la maladie du sommeil s'appuyant sur des Agents de Santé Communautaires a démontré la "faisabilité" d'une telle approche (Laveissière C1., Meda H., 1993).

### **Mais ou faut-il mettre en place ces structures de contrôle et de lutte ?**

Si le dépistage de la maladie du sommeil peut être intégré aux Soins de Santé Communautaire, encore faut-il savoir où il est prioritaire d'intervenir, afin de limiter les coûts et d'optimiser le rendement des équipes engagées dans cette lutte et le contrôle de la maladie. Il est impensable qu'à brève échéance des ASC communautaires formés au dépistage de la maladie du sommeil puisse être implantés partout. Par contre si l'on connaît les espaces d'intervention prioritaires, il serait possible, moyennant un minimum d'organisation, d'y mettre en place les hommes et le matériel indispensable à la lutte.

Aussi, vaincre la maladie du sommeil implique que l'on puisse disposer de données permettant d'apprécier l'étendue réelle et la gravité de l'endémie. Ceci n'existe presque nulle part et, en Afrique Centrale ex-française (au moins), à partir des registres des Centres de Santé, on ne peut même pas dire de quels villages proviennent les patients qui se présentent dans ces structures ! Quant à dire où sont les malades et les foyers, on reste, "accroché" aux vieux foyers historiques que l'on dit reviviscents, livrant à eux-mêmes d'immenses espaces à risques ou jamais la moindre équipe de prospection ne se déplace.

Or, les travaux épidémiologiques menés en Côte d'Ivoire forestière au cours des vingt dernières années et les observations menées dans d'autres pays ont mis en évidence l'existence de divers faciès épidémiologiques de la maladie liés autant, sinon plus, aux structurations physiques et sociales données à leur environnement par les sociétés humaines qu'aux caractéristiques "naturelles" de celui-ci. Les espaces à risques sont les espaces socialement ouverts, où les hommes circulent beaucoup, entraînant des densités humaines apparentes, pour les glossines, élevées et pérennes. Par contre les espaces où les populations bougent peu, les espaces socialement clos, ne présentent que peu de risques de voir la maladie se développer: la maladie du sommeil n'est pas une maladie inéluctable mais bien l'une des manifestations de l'inadéquation des modalités de gestion d'un milieu par les populations aux potentialités épidémiques de celui-ci. De ce fait, les foyers de Trypanosomiase Humaine présentent des "signatures" spatiales précises selon les schémas épidémiologiques considérés.

Même si les travaux n'ont guère été nombreux dans ce domaine, analyses spatiales, SIG et télédétection doivent permettre, d'une part, de caractériser les faciès épidémiologiques et de hiérarchiser les espaces à risques, et d'autre part, de prédire l'apparition de risques nouveaux afin de pouvoir placer les services de santé publique à l'amont de la maladie (Hervouët J.-P., Laveissière C1., Paillat., 1994).

Cette approche, fruit de la collaboration entre les disciplines médicales et para-médicales et les sciences humaines, autorise d'une part de différencier les espaces potentiels<sup>1</sup> des espaces d'expression (ou fonctionnels) de la maladie<sup>2</sup>, les seuls où une surveillance médicale (parasitologique ou immunologique) est indispensable, c'est-à-dire là où les Agents de Santé Communautaire doivent impérativement être sensibilisés au problème de la Trypanosomiase Humaine Africaine.

## BIBLIOGRAPHIE

Hervouët J.-P., Foumet Fl., Kone A. Structures sanitaires et lutte contre les grandes endémies. Population, santé, développement. A paraître. 1995

Hervouët J.-P., Laveissière Cl., Paillat. Détermination des zones à risques de trypanosomiase humaine; application au contrôle et à la lutte. Yaoundé, XVIIème Conférence Technique de l'OCEAC. 1994. 1-7

Laveissière Cl., Hervouët J.-P. Trypanosomiase humaine en Afrique de l'Ouest: Epidémiologie et contrôle. Bondy, ORSTOM Coll. Didactique 1992: 1-157

Laveissière Cl., Meda H. Equipes mobiles ou Agents de Santé: Quelle stratégie contre la maladie du sommeil? Ann. Soc. Beige m&l. trop.; 1993; 73: 1-6

O.M.S. la lutte contre les maladies tropicales: La maladie du sommeil. Genève 1994: 1-16

Truc Ph., Baylay J.W., Doua F., Laveissière Cl., Godfrey D.G. A comparison of parasitological methods for diagnosis of gambien trypanosomiasis in an area of low endemicity in Côte d'Ivoire. Trans. Roy. Soc.trop. Med. Hyg. 1993, 88:419-421

- 1 Pour schématiser. les espaces, à moyenne échelle, où il y a simultanément des glossines et des hommes.
- 2 Là où la maladie prend -peut prendre, pourra prendre - des formes endémiques et épidémiques et hiérarchise l'espace.

# RECENT PROGRESS IN THE DEVELOPMENT OF DECISION SUPPORT SYSTEMS FOR IMPROVED ANIMAL HEALTH

**R.L. KRUSKA, B.D. PERRY, R.S. REID**

International Livestock Research Institute (ILRI), Nairobi, Kenya

## **Introduction**

The International Livestock Research Institute (ILRI) is developing methods, through the use of information and decision support systems, to enhance animal health and thus improve livestock and agricultural productivity in the developing world. ILRI is conducting research on more effectively assessing the overall impact of diseases and their improved control, and to use the products of these studies in decision support systems directed at users in the public and private sectors. The recent explosion in the availability of spatial databases, as well as enhanced ability to report locations of disease and other incidents through the use of global positioning devices, means that greater precision can be given to disease reporting.

Furthermore, there is increasing potential to analyze patterns in the distribution and dynamics of diseases in geographic information systems (GIS) and using these data in models to predict the occurrence and effects of diseases. However, critical to the successful use of GIS in decision support systems are digital data of an appropriate quality and resolution, and models that are tested and validated. This paper will discuss databases currently available for many areas of Africa, including information on diseases, arthropod vectors, wildlife and domestic animal hosts, veterinary and country infrastructures, cattle density, human populations, land use, climate and natural resources. Developing national databases and models for animal health decision support systems in selected countries will be discussed, including Uganda, Namibia and Zimbabwe.

## **Computer Software and Hardware**

Geographical Information Systems are computer-based systems for entering, storing, manipulating, analyzing and displaying geo-referenced data. A major advantage of using GIS in the area of animal health is the ability to integrate a wide variety of information so that it can be readily accessed and analyzed at varying levels of spatial resolution. The two GIS systems currently in use at ILRI are pcARC/INFO (ESRI, 1994) and IDRISI (Eastman, 1993) running on Pentium-based PC computers. Most of the spatial databases held at the institute are in pcARC/INFO vector format which is efficient for the storage of multiple attributes of single spatial elements (points, lines and polygons). This format is also widely used for data exchange and conversion to other common systems currently in use. IDRISI, on the other hand, is a raster-based system (grid-cell based) that efficiently handles continuous data, such as climatic surfaces. For this reason, IDRISI is used extensively to store and process spatial information to be used in statistical packages and in modelling efforts.

Arcview (ESRI, 1992a) is a spatial query and visualization tool that enables scientists and decision-makers with little or no technical GIS background to explore relationships among variables. The package allows users to easily display, interrogate and overlay geo-referenced databases. Arcview 2, just released, will go one step further and allow users to customize the system to suit their particular needs, by including a scripting (macro) language to manipulate the tabular and spatial databases, and the ability to relate other databases to geo-referenced features from a wide variety of existing database management systems (dBASE, Excel, Access etc.).

503

Epi Info version 6 is a widely used microcomputer-based database management system, developed by the US Centers for Disease Control and the World Health Organization (Dean et al., 1994). The system has been designed primarily for the input, management, reporting and statistical analysis of epidemiological data. A recent addition to the program is Epi Map, which allows users to display their information in mapped form (Dean et al., 1992).

A custom agricultural health surveillance system, CORRAL, has also been developed as an application of Epi Info, and has modules for animal and plant health as well as for meat inspection. The software has been written by the Caribbean Animal and Plant Health Information Network (CARAPHIN) specifically for developing nations in that region, but could easily be used elsewhere. CORRAL's database is assembled from existing veterinary investigation reports or inspection certificates, and includes details such as locational information; disease risk; animals affected, dead, treated, vaccinated and slaughtered (Lees and Fedorick, 1994).

HandiSTATUS (Help with World Animal Disease Status) is an animal disease database program which was developed by the Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture to help improve the safe trade of animal products (Bernardo and Schuyler, 1993). The database contains information from the Animal Health Yearbook (FAO) as well as the International Animal Health Code and World Animal Health (OIE) about diseases that are important from a human health or economic perspective. Disease distribution data for multiple years can be displayed on global or regional-scale maps, and are updated on a regular basis.

A wide variety of global positioning system (GPS) devices are now available which allow the generation of high quality locational and altitudinal information from a constellation of 24 satellites around the globe. These portable receivers range in price from US\$300 to thousands of dollars, depending on accuracy features and a multitude of options. The lower-cost receivers usually only provide a locational accuracy of approximately 30-100 meters and offer little or no data point storage or downloading facilities. More expensive units allow real-time integration, or software that directly converts the data for use in a GIS. The GPS could revolutionize veterinary data reporting because of long-standing difficulties with geo-referencing such information from maps. Very little training is necessary to learn to use the receivers, and the units that allow the downloading of collected points eliminate data entry errors.

### **Spatial Databases for Animal Health Studies**

ILRI has developed and acquired a vast amount of information for its GIS at various scales of resolution: continental, national (or regional level) and local (site specific). The appropriate resolution for a particular application depends on the type of spatial processing required: continental and national-level databases, although low resolution, are still valuable for investigating broad relationships among variables; whereas local (high resolution) databases often offer information precise enough to examine and model the interactions between themes.

#### *Distribution of host populations*

For animal health studies, information on the distribution of host populations (such as cattle) is essential. Unfortunately, these data are often of poor quality, obsolete or nonexistent. Regular, accurate cattle population census activities are very expensive to conduct, and are thus often replaced by official estimates that vary widely in quality.

In the past year, ILRI has collected country-level cattle census information to create a cattle density layer for sub-Saharan Africa. The census figures are usually reported on the basis of administrative boundaries which can vary widely in resolution (province, district, division etc.). An administrative boundary layer for the continent was acquired from FAO, and the best available cattle information was attached. Areas of zero cattle population, such as protected areas and water bodies, were not included in order to improve density calculations. The cattle density layer (Figure 1) will be improved continually as new information becomes available. Because of the variation in the quality of the census figures from country to country, additional attribute fields were added to the density database that include the administrative level of information obtained, as well as the date of the census figures (Figure 2). This provides 'visual' documentation for users of the data layer.

Total livestock population data by administrative boundaries, even at tertiary (sub-district) level, while useful for broad-scale economic planning purposes where GIS may not enhance the analysis, is generally not useful for studies of the epidemiology of diseases and the efficacy of control measures. For such studies, higher resolution data may be required, both in spatial and demographic terms. Spatially, population data are of more value epidemiologically when related to natural features such as altitude, climate,

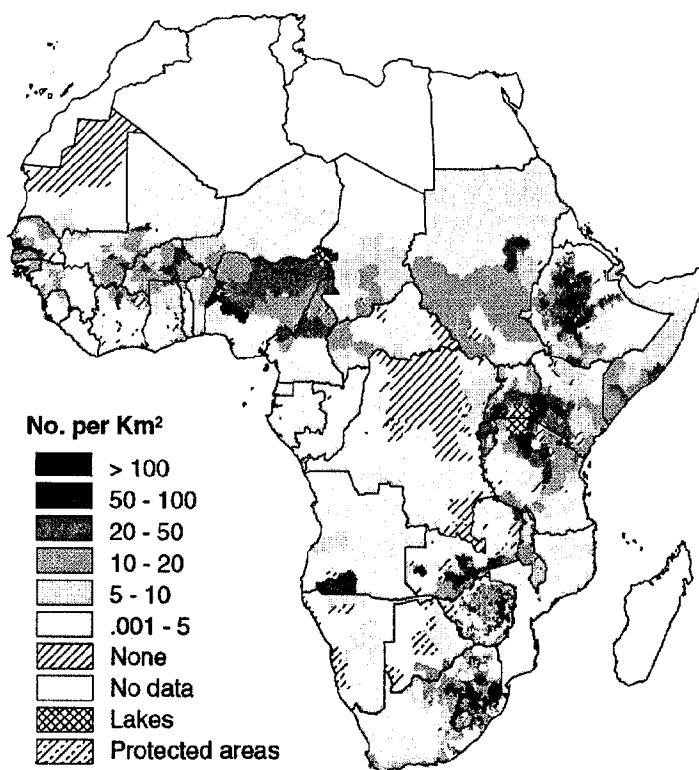


Figure 1. The cattle density layer for Africa.

605

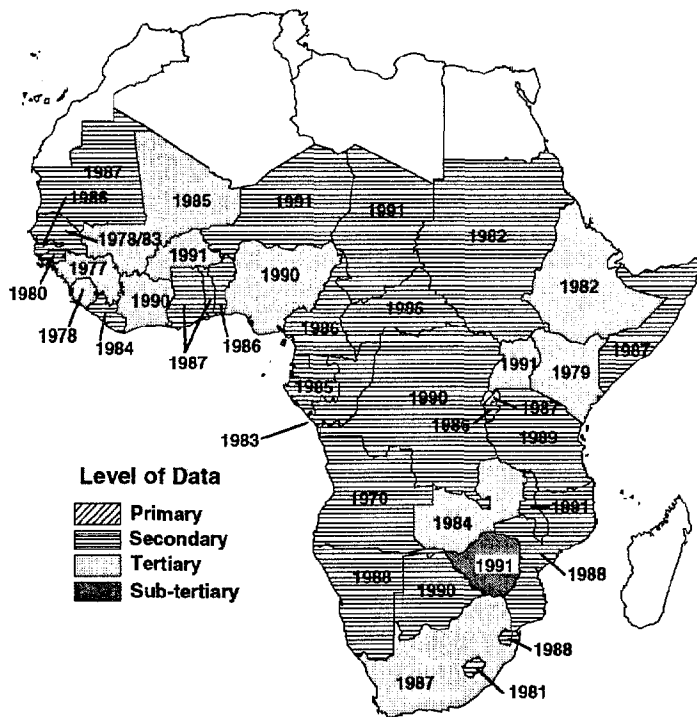


Figure 2. The administrative level and census date of information collected for the cattle density layer.

vegetation, roads and rivers, rather than to administrative boundaries. Demographically, it is best if livestock populations are broken down by species, breed, age and production system. In addition, the understanding of disease spread is enhanced with data on formal and informal livestock markets, and the movement of animals to and from markets. *Disease and vector occurrence*

Reporting systems for disease and vector occurrence are often rudimentary or of poor quality. The quality of diagnostic procedures varies widely, reporting procedures are inconsistent, and veterinary incidents are often reported only by administrative boundary rather than by geo-referenced point locations. Disease reporting is becoming more timely and efficient and this will be discussed in country-specific case studies.

New studies on disease vector identification and distribution are uncommon, yet this information is critical to the validation of models that predict disease occurrence. Efforts have thus been made to compile historical information on vector distribution (mainly for ticks). ILRI has developed continental databases for *Rhipicephalus appendiculatus* and related species, the vector of *Theileria parva* (Lessard et al., 1990); multiple tick species for Tanzania (Yeoman and Walker, 1967) and many tick species for Zimbabwe (Norval, 1983).

*Climate and elevation*

Much recent progress has been made on the development and distribution of digital climatic and elevation surfaces for the African continent (Figure 3). Long-term, mean monthly climatic surfaces for Africa have been developed using the Laplacian method or "thin-plate, smoothing splines" (Corbett, 1993). This advanced

506



interpolation technique uses altitude in the interpolation to vastly improve the accuracy of the temperature and rainfall surfaces, especially in areas of complex terrain and/or areas with few meteorological stations. The surface coefficients for the continent have been processed into mean monthly surfaces at the International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF) and ILRI at a resolution of .05 degrees for rainfall, minimum temperature, maximum temperature and evapotranspiration.

Development of more detailed digital elevation models (DEM's) will allow the creation of even higher resolution climatic surfaces. For example, ICRAF is developing a climatic database for Ethiopia from a one-kilometer resolution DEM developed by EROS Data Center (Sioux Falls, S. Dakota). A one-kilometer resolution DEM for the whole continent has also recently become available from the same source. At this resolution, the DEM is approximately 180 megabytes in size, making the creation of multiple monthly continental surfaces a significant data processing and storage task. Nonetheless, regional climatic databases could be developed when the need arises.

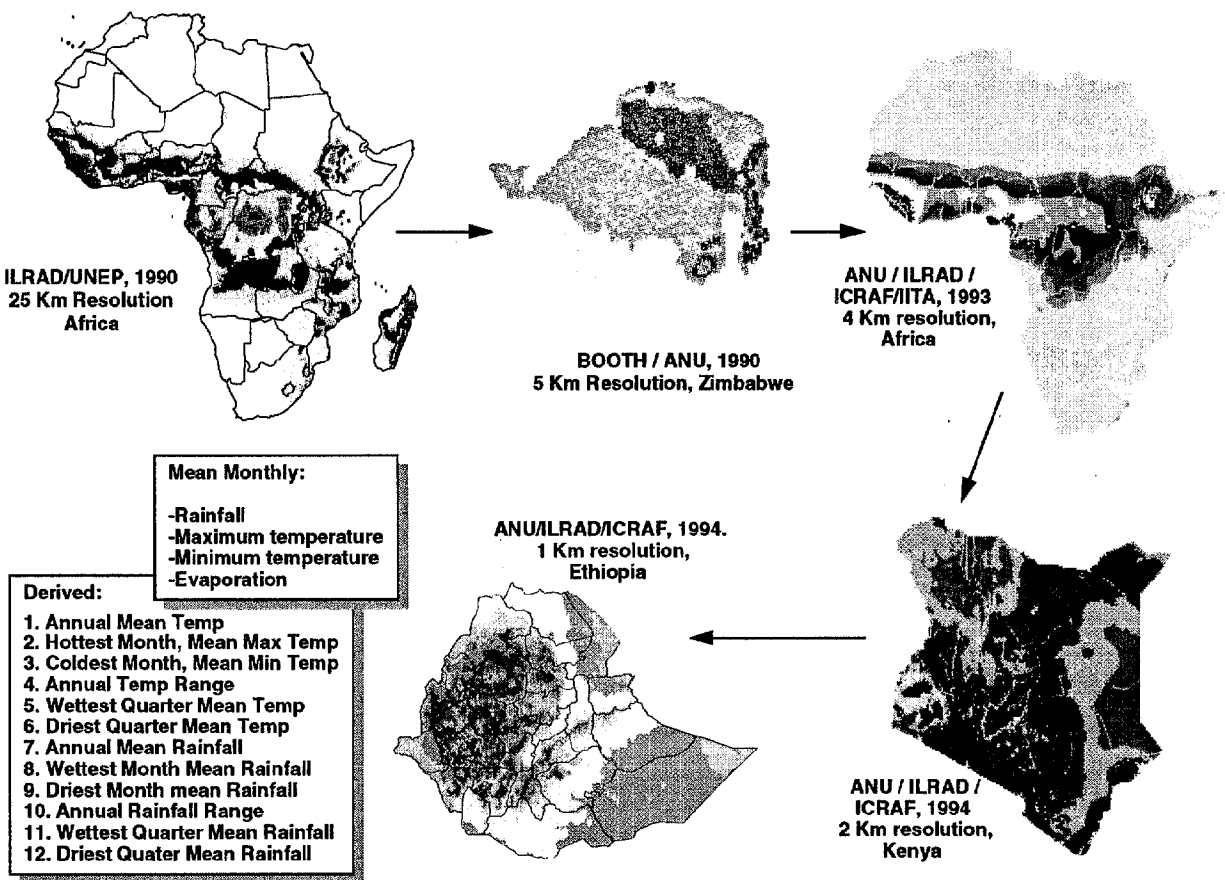


Figure 3. The evolution of climatic databases for Africa.

607

### Base data layers

Baseline data such as rivers, transportation networks and settlements are often not available at high scales of resolution. However, the Digital Chart of the World (DCW) contains such features in digital format at a scale of 1:1,000,000 (ESRI, 1992b). The database comes on a set of CDROM's and is readily available at a cost of about US\$200. Experience with extracting country-level information from the DCW at ILRI shows that while valuable as an initial baseline dataset, some of the information, such as roads, usually need to be updated or supplemented with more recent information.

There are much better, although limited, baseline databases available at the country level. For example, updated rivers, roads, settlements, topographic contours (for some areas) and land-use information at a scale of 1:50,000 for all of Uganda will be available shortly (National Biomass Study, 1992). Similar database development at 1:250,000 scale of many baseline features for Zimbabwe has been initiated by the Surveyor General's Office in Harare.

### Veterinary infrastructure

Veterinary infrastructure, such as dip tanks, marketing points, slaughter pens, cattle movement, game fences and extension offices, is usually not readily available in digital format. However, in many countries, this information is being entered into GIS databases as veterinary departments begin to develop information systems. Figure 4 illustrates these digital layers actively being used in Zimbabwe.

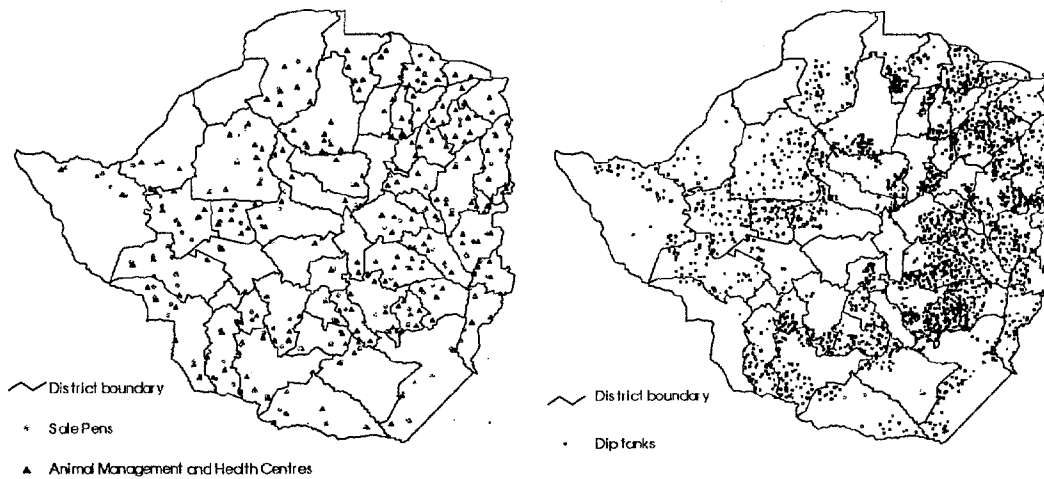


Figure 4. Veterinary infrastructure databases for Zimbabwe including sale pen locations and animal management and health centres (left) and dip tank locations (right).

### *Demographic and land-use data*

Deichmann (1994) has developed a continental, medium-resolution database of human population density (Figure 5). "Medium resolution" refers to attaching published census information to primary or secondary administrative boundaries. Populations were distributed within each administrative unit based on the proximity to towns, roads and rivers (Deichmann and Eklundh, 1991). Although this database is useful at continental and regional scales, there is still a need for finer-resolution information at national and local scales. Finer-resolution information for Kenya has recently been created based on location and sublocation boundaries using the 1979 and 1989 population census data.

Land-use information is available only for a few countries because of the difficulty and expense of collecting such information. However, land-use intensity layers are available from the Famine Early Warning System (FEWS) for Burkina Faso, Chad, Malawi, Mali, Mauritania, Mozambique, Niger, Zambia and Zimbabwe. Land-use (crop) intensity for Burkina Faso is shown in Figure 6. These datasets were created using MSS Landsat data and were rarely ground-truthed, so they must be used with caution.

### *Natural resources*

Soil and vegetation information is available for the continent at only very coarse scales (FAO soils at 1:5,000,000). Better information can be obtained at the country (1:1,000,000) or local levels (e.g., from site-specific vegetation studies).

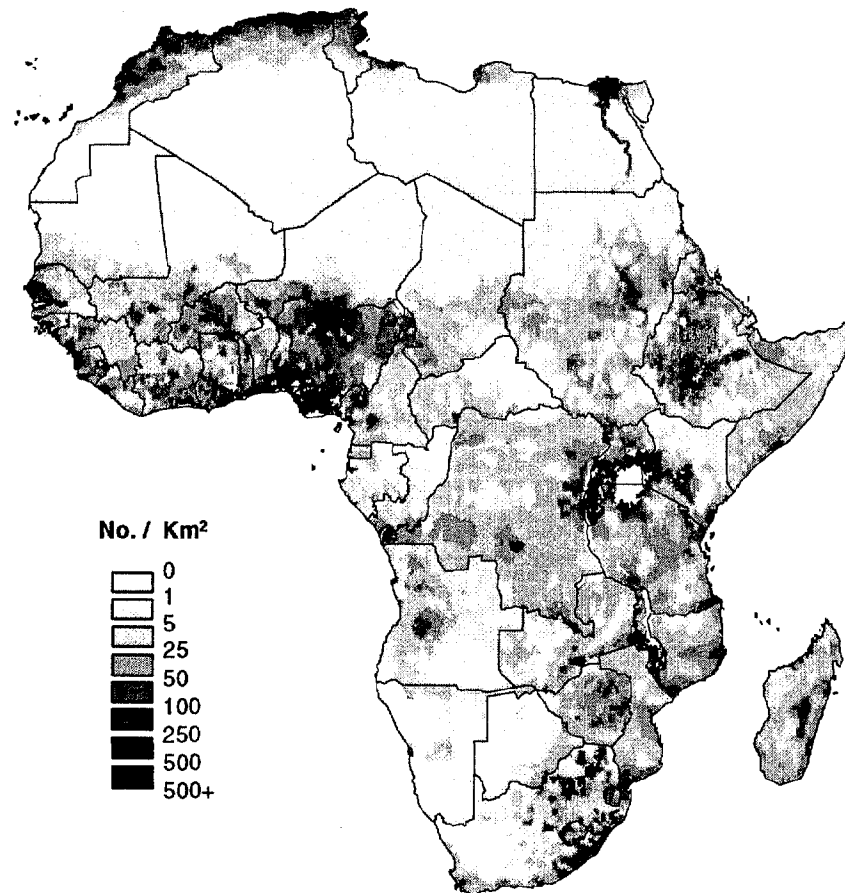


Figure 5. Human population density for Africa (Deichmann, 1994).

509

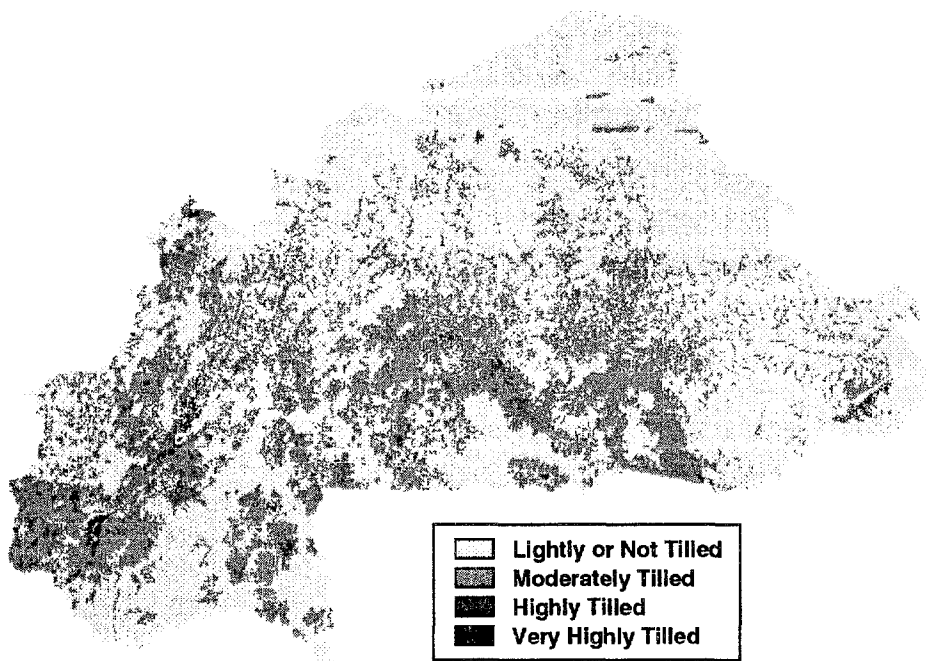


Figure 6. Land-use intensity for Burkina Faso.

### Predictive Models in Epidemiology

Application of effective animal health interventions, whether by vector control or immunization, require high quality information on vector distribution and abundance. Since such information is often lacking, predictive modelling techniques have been developed to estimate distribution and abundance using information about the relationship between vectors and their habitat. These techniques have evolved from models which use only climatic variables to predict occurrence to more flexible models that incorporate other parameters important to predicting vector distribution. Although development of such models is at a very early stage, it is hoped that these techniques will eventually strengthen the capabilities of animal health decision support systems.

Climate-matching models that have been used include CLIMEX (Sutherst and Maywald, 1985) and BIOCLIM (Nix, 1986). These models predict vector distributions based on the use of pre-defined climatic parameters that best meet the biological requirements of each vector (CLIMEX) or by using the known distribution of the vector to create a 'climatic envelope' of suitability (BIOCLIM). These models have proven useful in continental studies of broad vector distribution patterns, but are limited by their inability to incorporate other variables that may be important in defining occurrence such as vegetation and land-use.

HABITAT (Walker and Cocks, 1991) and DOMAIN (Carpenter et al., 1993) are two similar models that use species presence/absence information to define an 'environmental envelope' from multiple variables that is then used as a 'training set' to map out similar areas of potential distribution. A major advantage of these models is their ability to accept a variety of data types (continuous and categorical) to improve distribution predictions.

Some statistical models are now being tested, including discriminant analysis (Rogers and Randolph, 1993 and Perry et al., 1995) and logistic regression (Perry et al., 1995). The advantage of these models is that they allow the use not only of climatic parameters, but other important variables such as vegetation and land-use and then allow assessment of the importance of each variable's contribution to the distribution prediction. Model outputs are usually in the form of "probability of occurrence" or risk maps for a particular species. Recently, the logistic regression approach has been applied to many tick species and disease outbreaks in Zimbabwe. Figure 7 illustrates the predicted distribution of *Theileria parva* infections using this approach.

The next step is to incorporate these epidemiology models with other analysis techniques to create integrated decision support systems. For example, EPIMAN (Sanson et al., 1993) has been used to predict the spread of, and assist in the control of potential foot and mouth disease (FMD) epidemics in New Zealand, but it could be modified for use in other countries or for other animal diseases. EPIMAN incorporates GIS processing of spatial databases, models of FMD epidemiology (i.e. the dynamics of spread), expert systems for decision-making and statistical analysis.

### Probability of *Theileria parva* Outbreaks

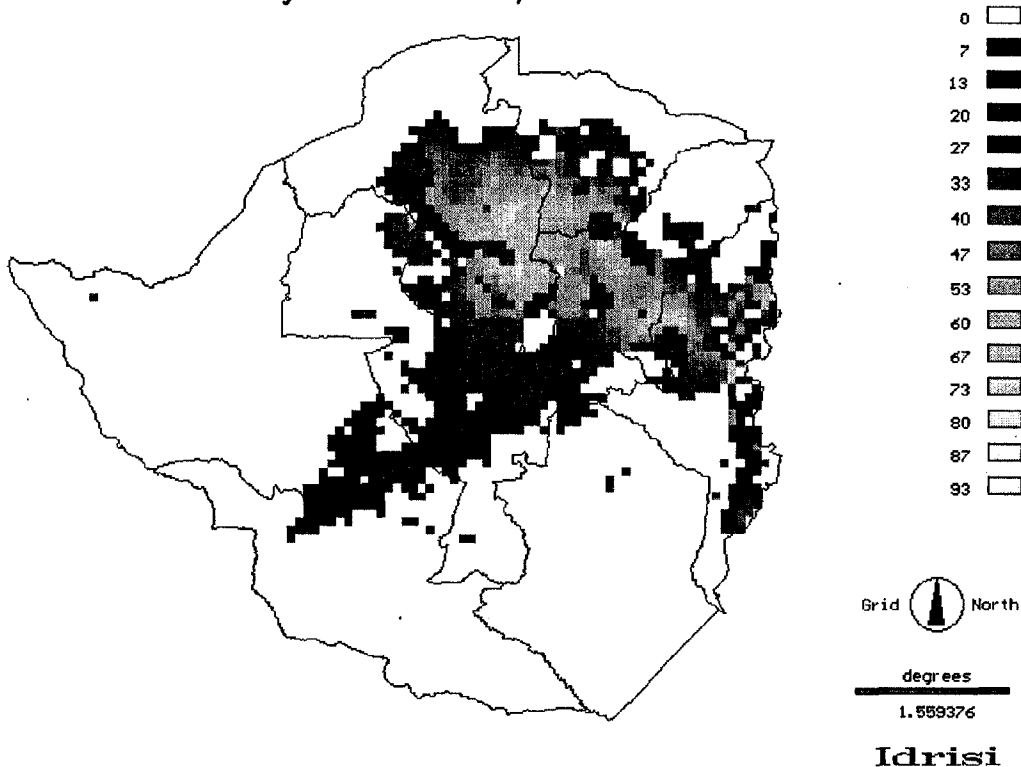


Figure 7. Output from the logistic regression model predicting *Theileria parva* outbreaks for Zimbabwe.

### Animal Health Decision Support Systems-Case Studies

GIS is now being used to enhance decision-making within some veterinary services in Africa. The examples below from Uganda, Namibia and Zimbabwe illustrate the evolution of such systems from simple disease reporting towards more integrated decision support systems.

## *Uganda*

The Epidemiology Unit within the Directorate of Animal Resources, Ministry of Agriculture, Animal Industry and Fisheries, in Entebbe, Uganda began computerizing their monthly district veterinary reports in mid-1993. Before that time, the reports were written in a narrative form which made it very difficult to summarize district-level activities and disease situations (Ogwang and Heinonen, 1994).

Reporting forms were standardized to provide timely information on disease occurrence; stocks of vaccines and drugs; livestock numbers, production, marketing and movement; staff; training; equipment and revenue collection (Ogwang and Heinonen, 1994). The district reports are now entered in the PANACEA-2 database management system and standardized reports are issued on a monthly basis. The databases have also been linked to the district GIS database using pcARC/INFO, and much of the information can be summarized in map form. Separate maps for each notifiable disease are printed for the whole country and are sent back to each district office as well as to the Directorate and other concerned departments. The timeliness of this disease reporting in a visual format is expected to improve the decision-making capabilities in the department, and to provide a valuable historic record of the changing disease situation over time.

Future plans for the system in Uganda include the possible reporting of disease occurrence at point locations within the districts, hopefully with the aid of GPS receivers to automate the tedious process. Uganda's 1:50,000 GIS database of land-use and baseline features will offer a unique opportunity to expand the GIS capabilities of the Unit from disease mapping and reporting to more in-depth spatial analysis and eventually modelling of the epidemiology of various diseases.

## *Namibia*

In 1985, the Directorate of Veterinary Services in Namibia began a computerized database of herd health, disease, grazing patterns, vaccinations and other treatments, laboratory results, field investigations, socioeconomic data and abattoir information for the purpose of providing more timely and complete field veterinary reporting for decision-making. According to Biggs and Hare (1994), the main components of the system are:

- 1) An incident-based data collection approach by field staff,
- 2) Streamlining the data entry for field staff by requiring few forms,
- 3) Rapid feed-back to field staff with monthly reports for validation and updating, and
- 4) Automated report generation on a monthly and annual basis, and semi-annual production of animal disease maps.

All data are entered into dBASE at regional veterinary offices using microcomputers, and these databases are then sent to the Central Veterinary Laboratory for compilation. Maps of disease occurrence are created using the Supercalc spreadsheet. Disease locational data are collected by field veterinarians using a grid system for the country and is mapped onto the spreadsheet using the columns and rows as the X and Y of a Cartesian coordinate system. District boundaries are also mapped in the same way, and although the maps are of a rather coarse resolution, they have been very effective for disease reporting and data visualization. A conceptual

outline of the system is shown in Figure 8. There is some interest within the department to expand the current activities using a commercial GIS package.

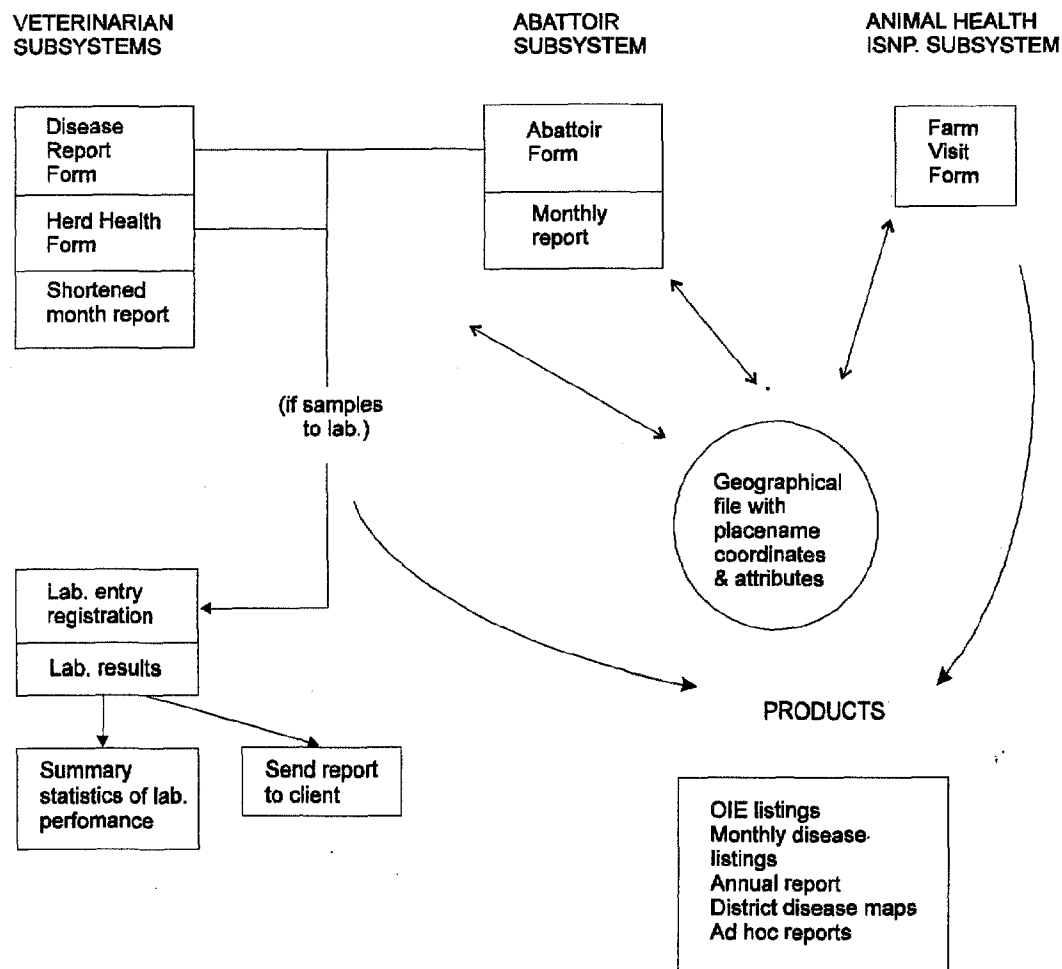


Figure 8. A conceptual outline of the computerized veterinary reporting system in Namibia (adapted from Biggs and Hare, 1994).

### Zimbabwe

In the past, the International Laboratory for Research on Animal Diseases (ILRAD, now the International Livestock Research Institute) has collaborated with the Veterinary Research Laboratory (VRL) in Zimbabwe to develop modelling systems to predict changes in disease occurrence in the country as well as the cost-efficacy of alternative disease control options. More recently, there has been an urgent need in Zimbabwe to better define target populations for vaccines against tick-borne diseases, and to predict the impacts of their use. To meet these needs, a project was initiated between the VRL, ILRI and the Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR) to establish a computerized, geo-referenced, decision support system for the improved control of animal diseases in the country.

573

Over 90 geo-referenced data layers for the country were developed at ILRI and transferred from to the ACIAR-funded VRL GIS, where they could be more readily accessed, updated and analyzed. These databases include information on the veterinary infrastructure, country infrastructure such as roads and towns, notifiable disease reporting, vector distributions, wildlife distributions, cattle density, human population, natural resources and 50 climatic surfaces. Software systems installed included pcARCVIEW, pcARC/INFO and IDRISI.

The system was immediately used for reporting monthly notifiable disease outbreaks at point locations on country-wide maps, a relatively simple task as all such information was already recorded in digital database systems. Rabies cases by species are also currently being reported on a weekly, monthly, quarterly and yearly basis thus providing very timely mapped information to the VRL and provincial and district offices for monitoring both disease spread and control efforts (Figure 9). Plans are underway to use the analytical capabilities of the GIS and the extensive spatial database for disease surveillance in addition to the useful mapping capabilities.

Another project, supported by the Département d'élevage et de médecine vétérinaire (CIRAD-EMVT), is taking place within the department to strengthen information about the extensive network of cattle dips in the country. This has included a complete inventory of dipping facilities in Mashonaland East Province, which includes accurately locating each dipping site with the use of a GPS and incorporating all data into the VRL GIS.

**QUARTERLY RABIES REPORT - ZIMBABWE  
JULY - SEPTEMBER 1994**

COW	17
DOG	41
DONKEY	1
ORNEY	1
BOAT	4
HONEYBADGER	1
JACKAL	66
KUDU	1
MONGOOSE	1
SHEEP	1
TOTAL	134

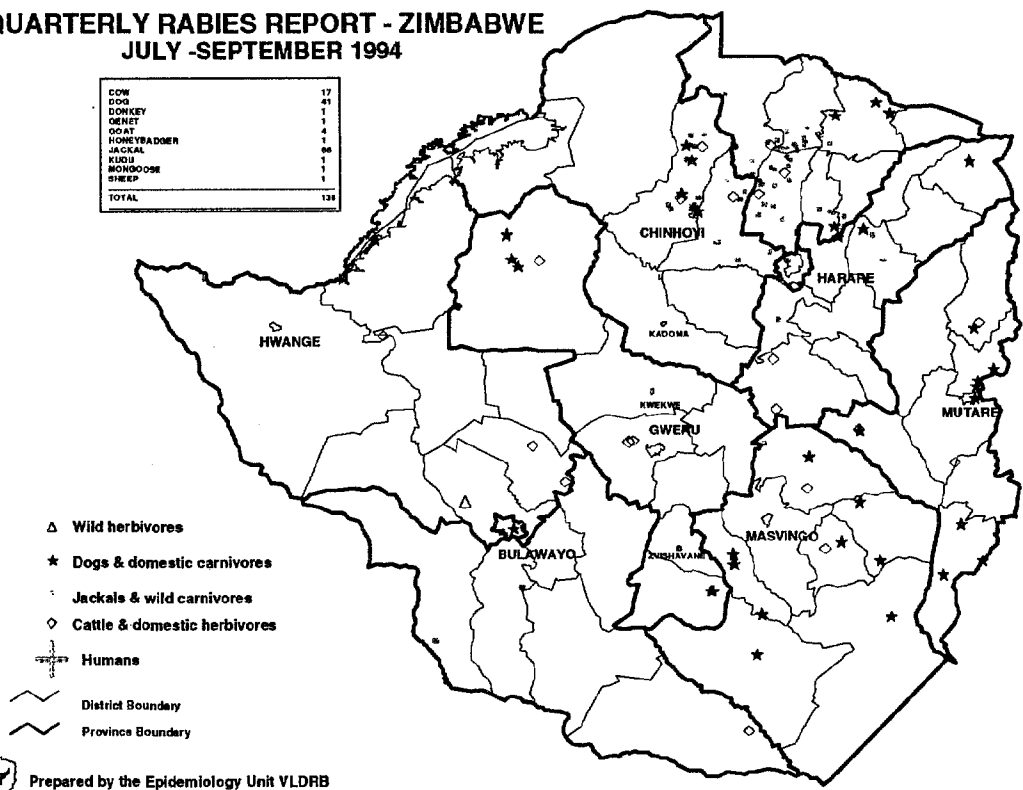


Figure 9. A quarterly rabies map produced by the Veterinary Research Laboratory in Harare, Zimbabwe.

514



It is hoped that the VRL will acquire GPS receivers for each province so that similar inventories can be carried out.

In 1995, it is intended to further develop the system through the introduction of EPIMAN, for improved control of foot and mouth disease, in collaboration with Massey University, New Zealand. The control and monitoring of foot and mouth disease is of great economic importance because of Zimbabwe's extensive beef exports to the European Union.

## CONCLUSIONS

Over the last decade, the use of GIS by epidemiologists has evolved from rudimentary display of mapped data to recent attempts to use these data as part of fairly sophisticated modelling and decision support systems. This has been accomplished by an evolution of the databases themselves and of the way this information is analyzed and presented. As this evolution proceeds, the ability to solve problems with GIS information is determined less and less by the databases available and more and more by the questions being asked.

Some databases have evolved into high resolution, continental coverages that provide a standard basis for analysis (e.g., climatic surfaces), while others are still of poor quality and resolution (e.g., livestock populations, disease occurrence). This latter set of data layers needs to be improved, which will require extensive effort on the part of national veterinary services to collect, geo-reference (using GPS technology), and report the information in a standard GIS format. The ability to do this varies widely across the continent, with several veterinary services (e.g., Uganda, Namibia and Zimbabwe) serving as models for other countries in Africa. Only with improvement of these databases at national and sub-national scales of resolution will the ability to control livestock diseases improve.

The case studies described in this paper show that GIS can be used for much more than simple data visualization with maps. GIS can be integrated with modelling, expert systems, and statistical analysis to provide sophisticated information to decision-makers in a form that is timely and easy to use. In concert, the GIS tools themselves have evolved so that simple analysis can be done by decision-makers themselves, rather than only by GIS specialists.

In the next decade, it is hoped that the use of GIS for epidemiological applications will evolve further so that the massive amount of information available can be profitably used to improve animal disease control. Moreover, it is hoped that these tools will help to integrate animal disease control efforts with other attempts to improve agricultural production while maintaining environmental quality.

## REFERENCES

- Bernardo, T. and C. Schuyler. 1993. HandiSTATUS: Help with World Animal Disease Status, User Tutorials and Manual. Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture (IICA), San Jose, Costa Rica.
- Biggs, H.C. and K.M. Hare, 1994. Essential Features of an Integrated Veterinary Disease Information System for Namibia. Proceedings of the 7th International Symposium of Veterinary Epidemiology and Economics, 15-19 August, 1994.
- Carpenter G., A.N. Gillison and J. Winter. 1993. DOMAIN: a flexible modelling procedure for mapping potential distributions of plants and animals. *Biodiversity and Conservation* 2, 667-680.
- Corbett, J.D., 1993. Dynamic Crop Environment Classification Using Interpolated Climate Surfaces. Proceedings, Second International Conference/Workshop on Integrating Geographic Information Systems and Environmental Modeling, September 26-30, 1993, Breckenridge, Colorado, U.S.A.
- Dean, A.G., D. Coulombier, K.A. Brendel, D.C. Smith, A.H. Burton, R.C. Dicker, K. Sullivan, R.F. Fagan and T.G. Arner, 1994. Epi Info, Version 6: a word processing, database and statistics program for epidemiology on microcomputers. Centers for Disease Control and Prevention, Atlanta, Georgia, USA.
- Dean, J.A., A.H. Burton and A.G. Dean, 1992. Epi Map: a mapping program for IBM-compatible microcomputers. Centers for Disease Control and Prevention, Atlanta, Georgia, USA.
- Deichmann, U. and L. Eklundh, 1991. Global Digital Datasets for Land Degradation Studies: A GIS Approach. Global Resource Information Database, Case Study Series No. 4, United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya.
- Deichmann, U., 1994. A Medium Resolution Population Database for Africa. National Center for Geographic Information and Analysis, Dept. of Geography, University of California, Santa Barbara, CA. (unpublished).
- Eastman, R.J., 1993. IDRISI Version 4.1 Update Manual. Clark University Graduate School of Geography, Worcester, Massachusetts, USA.
- Environmental Systems Research Institute (ESRI), 1992a. Arcview User's Guide. 380 New York Street, Redlands, California, USA.
- Environmental Systems Research Institute (ESRI), 1992b. The digital chart of the world for use with arc/info: data dictionary. 380 New York Street, Redlands, California, USA.
- Environmental Systems Research Institute (ESRI), 1994. pcARC/INFO version 3.4.2. 380 New York Street, Redlands, California, USA.
- Lees, V.W. and D.J. Fedorick, 1994. CORRAL: Computerized Agricultural Health Surveillance for Small, Developing Countries. Proceedings of the 7th International Symposium of Veterinary Epidemiology and Economics, 15-19 August, 1994.
- Lessard, P., L'Eplattenier, R., R.A.I. Norval, T.T. Dolan, H. Croze, K. Kundert, J.B. Walker, A.D. Irvin and B.D. Perry, 1990. Geographical information systems for studying the epidemiology of cattle diseases caused by *Theileria parva*. *Vet. Rec.*, 126:255-262.
- National Biomass Study, 1992. National Biomass Study, Phase I. Forest Department, Kampala, Uganda.

Nix, H., 1986. A biogeographic analysis of Australian elapid snakes. In: Atlas of Elapid Snakes of Australia. Editor, R. Longmore, Australia Flora and Fauna series, No. 7, Australian Government Publishing Service, Canberra, pp. 4-15.

Norval, R.A.I., 1983. The ticks of Zimbabwe. VII. The genus *Amblyomma*. *Zimbabwe Veterinary Journal* 14, 3-18.

Ogwang, F. and R. Heinonen. 1994. Computerised district reporting (CDR) with help of a geographical information system for veterinary services in Uganda. Proceedings of the 7th International Symposium of Veterinary Epidemiology and Economics, 15-19 August, 1994.

Perry, B.D. and R.L. Kruska, 1994. Information Management Technology to Strengthen Veterinary Services: an Appraisal of the Systems Available and Their Uses in Developing Countries. Expert consultation: The Need for Information Systems to Strengthen Veterinary Services in Developing Countries, FAO, Rome, November, 1993.

Perry, B.D., R.L. Kruska, D. Pfeiffer, L. Duchateau, R.A.I. Norval, S.E. Randolph, D.J. Rogers and U. Ushewokunze-Obatolu. 1995. Modelling the distribution of tick-borne diseases in Zimbabwe using geographical information systems (in preparation).

Rogers, D.J. and S.E. Randolph, 1993. Distribution of tsetse and ticks in Africa: past, present and future. *Parasitology Today* 9, 266-271.

Sanson, R.L., G. Struthers, P. King, J.F. Weston and R.S. Morris, 1993. The potential extent of transmission of foot-and-mouth disease: A study of the movement of animals and materials in Southland, New Zealand. *New Z. Vet. J.*, 41:21-28.

Sutherst, R.W. and G.F. Maywald, 1985. A computerized system for matching climates in ecology. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 13, 281.

Walker P.A. and K.D. Cocks, 1991. HABITAT: a procedure for modelling a disjoint environmental envelope for a plant or animal species. *Global Ecology and Biogeography Letters* 1, 108-118.

Yeoman, G.H. and J.B. Walker, 1967. The ixodid ticks of Tanzania. A study of the zoogeography of the Ixodidae of an East African country. Commonwealth Institute of Entomology, The Eastern Press, London, 215 pp.

# GIS APPLICATION FOR HEALTH CENTRE PLACEMENT

**D. W. LONG**

AGRHYMET Regional Centre, Niamey, Niger

A GIS has been used in Niger to help tackle the problem of health centre placement. Niger's health profile is characterised by the continued presence of contagious and parasitic diseases such as malaria, tuberculosis, measles, leprosy, schistosomiasis and dracunculiasis. The infant mortality rate for the country is one of the highest in Africa at 123 deaths per 1000 live births. When combined with the child mortality rate (1-4 years of age) of 223 deaths per 1000 live births, it is found that nearly one child out of three will die before its fifth birthday. Access to health services plays a critical role in the health of a population. In Niger at the present time, 32.1 percent of the population lives within 5 kilometres of a health facility, the standard which is used to measure access to health services. One of the principal goals of the government with regard to health is to increase the national health coverage rate from 32 percent to 45 percent before the year 2000. To reach this goal, the government hopes to update and improve 122 of the 314 existing health facilities and build and equip 181 new health facilities.

A GIS has been used to prepare base maps for WHO showing location of existing health centres. Health centre data came from SNIS, the Niger national health database. Administrative boundaries, roads, and village locations were digitised from IGN maps.

Maps were produced at four scales, National, Department, District, and individual town of Niamey with increasing information as scale is decreased.

The first map shows department capital cities and the associated health centres. Population figures are added from the Niger 1988 census and each department is shaded to show population density.

Maps of each district were then produced showing location of each health centre in the district. road system was added as a point of reference. Once again, population figures were added, this time aggregated to the district (arrondissement) level.

The third level administration maps show the same health centre information as the second level, but village level population data is added. A circle is drawn around each village with a radius proportional to the population of the village. This allows one to visualise the population distribution around each health centre and search for possible sites for new centre locations.

A health centre location map was included for the city of Niamey since several types of health centres exist within the city. At this level other information could be added such as number of beds, number of patients served per year, etc.

## GIS Analysis

The above are simply examples of cartography using a GIS package. The GIS shines, however, when an analysis problem is presented such as finding the best site for a new health centre. In order to simplify the process for this first attempt at medical centre placement, we chose just one attribute for consideration, population within a 5 kilometres radius around each village. This represents the catchment area of the health centre or zone of influence. By adding up the population of each village within a 5 kilometres radius around a target village, one can calculate the catchment population expected if a health centre were to be added to the target village.

This is very tedious if done by hand, but the computer can do it rapidly and efficiently with the use of some simple computer programs and a GIS. In fact, the potential catchment population of every village in Niger could be calculated overnight with no need of an attendant to monitor the program.

Once this calculation is finished the villages are simply listed in order according to size of catchment population. The villages at the top of the list are most desirable choices for new health centres since they will attract the most people.

By adding one by one new centres to the villages beginning at the top of the list and recalculating the total number of people served in the system and calculating the resulting percentage of the population served, one can bring the expected total health coverage up to the desired 45%.

Using this technique, the minimum number of new health centres will be established necessary to bring the health coverage up to 45% nation-wide.

This is a rather simplified criterion for selection of potential health centre sites. Other factors may be important including distance to another existing health centre (affecting distribution of health centres over the land) and population size of the village to house the health centre.

However, this exercise gives a good first approximation of potential sites of future health centres. It also serves as an example of the procedure that can be used in selection procedures using more complex selection criterion.

We ran into a database problem which we could not completely solve in this project. The Niger 1988 census data could not be matched to all villages digitised from the IGN maps due to village name inconsistencies. Spelling differences between names in the two databases caused many mismatches when combining the databases. Many villages have multiple names, some have moved since the IGN maps were produced, and new villages have been established.

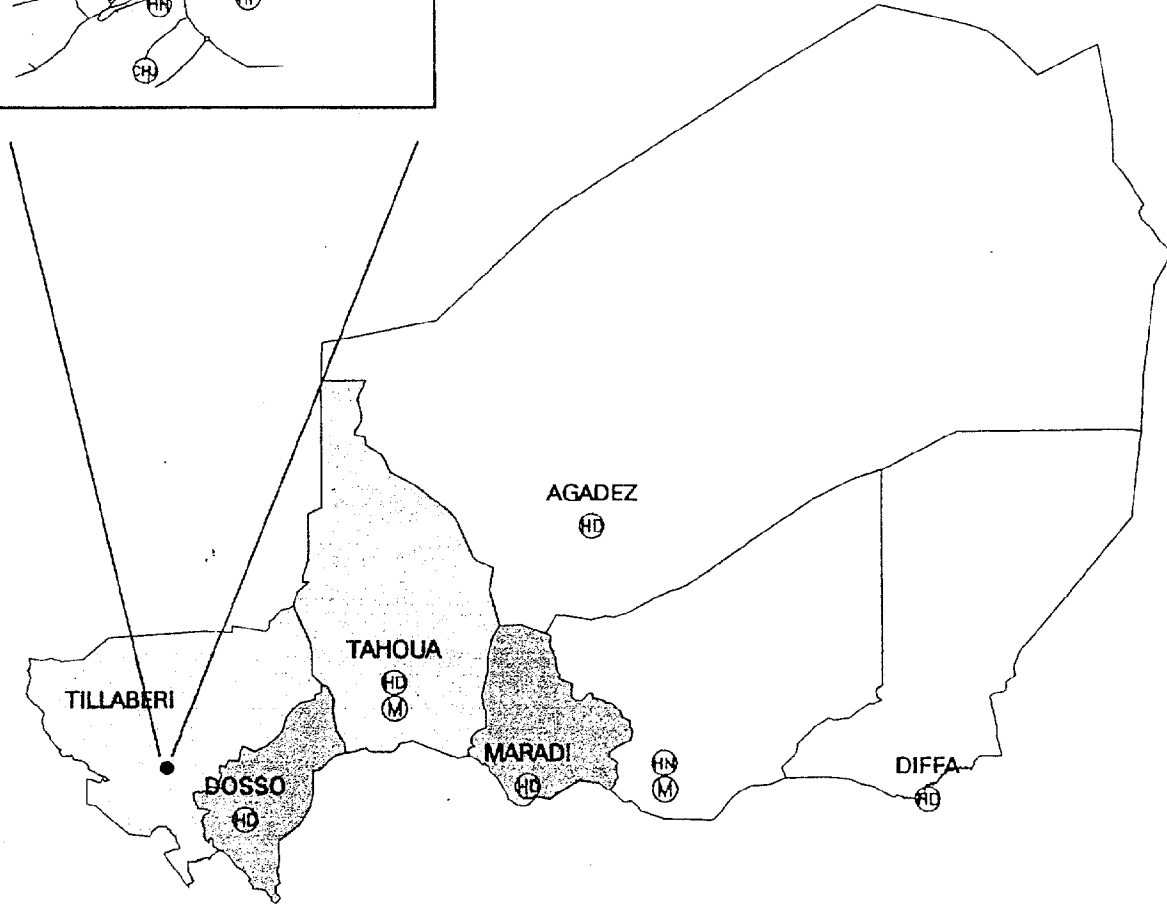
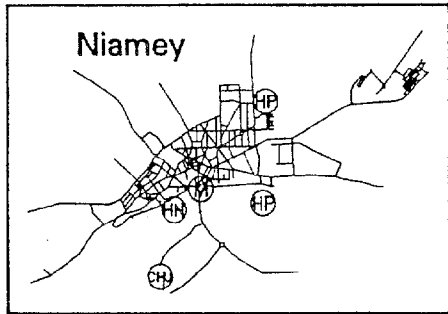
Overall for the country of Niger, only 35% of the census villages could be matched to the digitised villages from IGN maps. The villages that did match accounted for 65% of the total population of Niger. Thus any analysis done with the AGRHYMET village population data results in an under-estimation.

#### **Conclusion:**

GIS proved to be very useful in producing base maps for the Niger health centre system. These base maps could be valuable for other uses such as school system planning, marketing and infrastructure analysis, and development project planning and administration.

The GIS also proved valuable for analysis of potential sites for new health centres. It was possible to find the villages with the largest population within a 5 kilometres radius. The computer provided a means of determining the best villages to choose for new health centre placement in order to achieve the national goal of 45% health coverage.

# Departements Sanitaires du Niger



Population du Niger: 7,243,975 (RGP 1988)

## LEGENDE

- CHU
- Maternite de Référence
- Hopital Departemental
- Hopital Privé
- Hopital National

Densité population  
par departement  
(population / km<sup>2</sup>)

- < 1
- 1 - 10
- 10 - 20
- > 20

### Population par departement

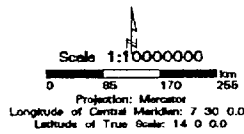
Agadez	205,232
Diffa	187,230
Dosso	1,025,828
Maradi	1,387,930
Tahoua	1,307,433
Tillabery	1,719,331
Zinder	1,410,933



O.M.S. / Niger

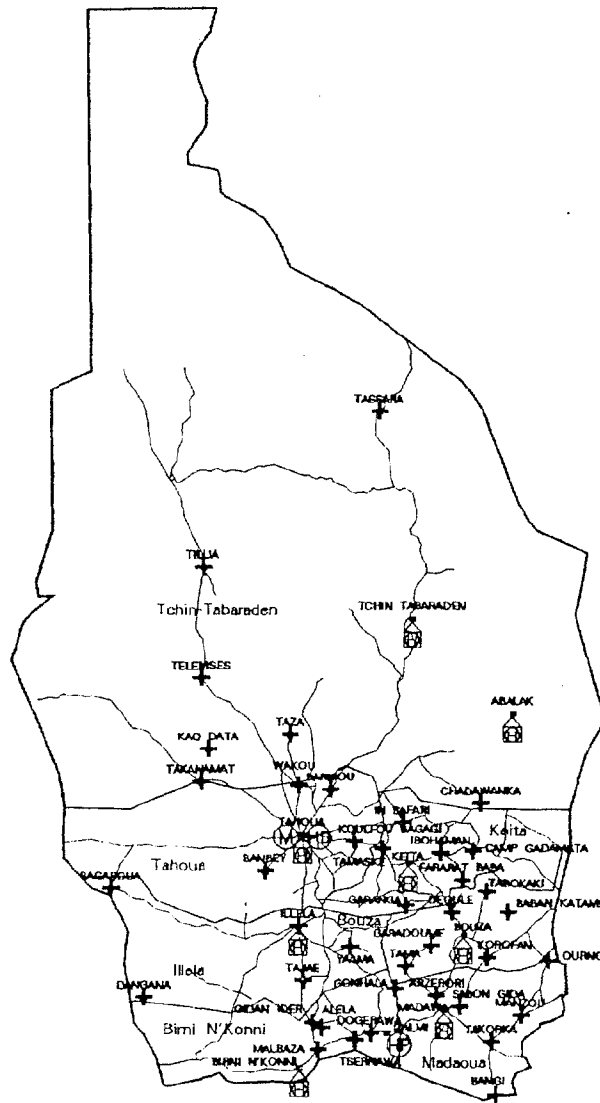


Préparé au labo SRS  
Centre Régional AGRHYMET, Niamey, Niger



# Departement Sanitaire de TAHOUA

## Formations Sanitaires



### LEGENDE

- Centre de Sante Integre (CSI)
- Hopital de District
- Hopital Departemental
- Maternite de Réference
- Hopital Privé
- Routes
- Limite de Arrondissement
- XX Nom d'Arrondissement

### Population per Arrondissement

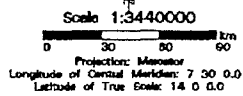
Tchin-Tabaraden	84553
Tahoua	239231
Keita	159819
Bouza	180924
Illela	175092
Medaoua	214188
Birmi N'Konni	253846



O.M.S. / Niger

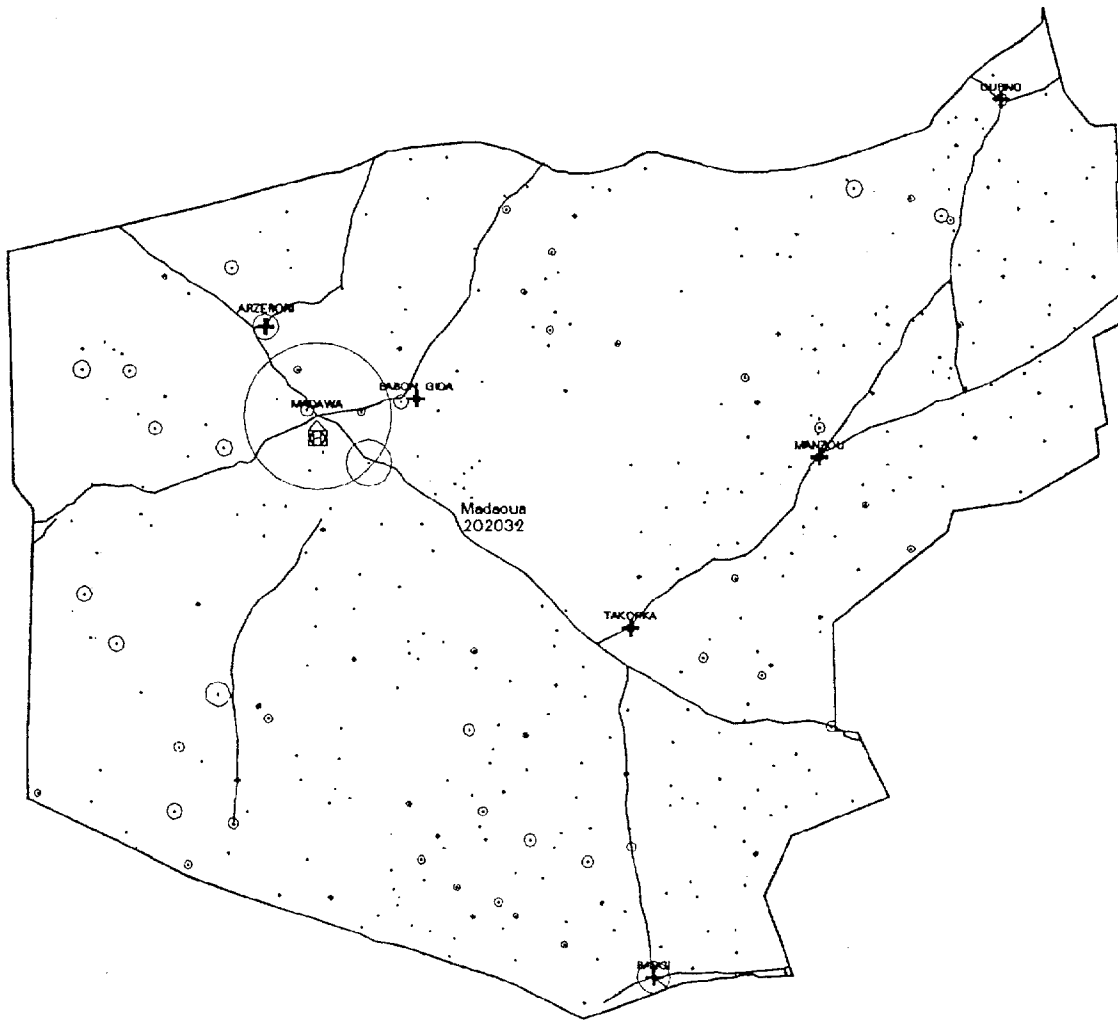


Préparé sur base SFG  
Centre Régional AGRHYMET, Niamey, Niger



# District Sanitaire de Madaoua

## Formations Sanitaires



### LEGENDE

- Centre de Sante Integre (CSI)
- Hopital de District
- Routes
- Limite de Canton
- Population de Canton

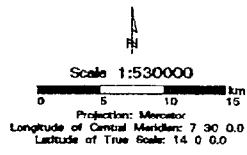
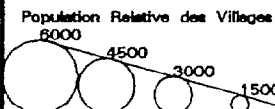
PARTENARIAT  
 USAID  
 HKI  
 INITIATIVE ROUGEOLE  
 SNV  
 BM/IDA/UNICEF



O.M.S. / Niger



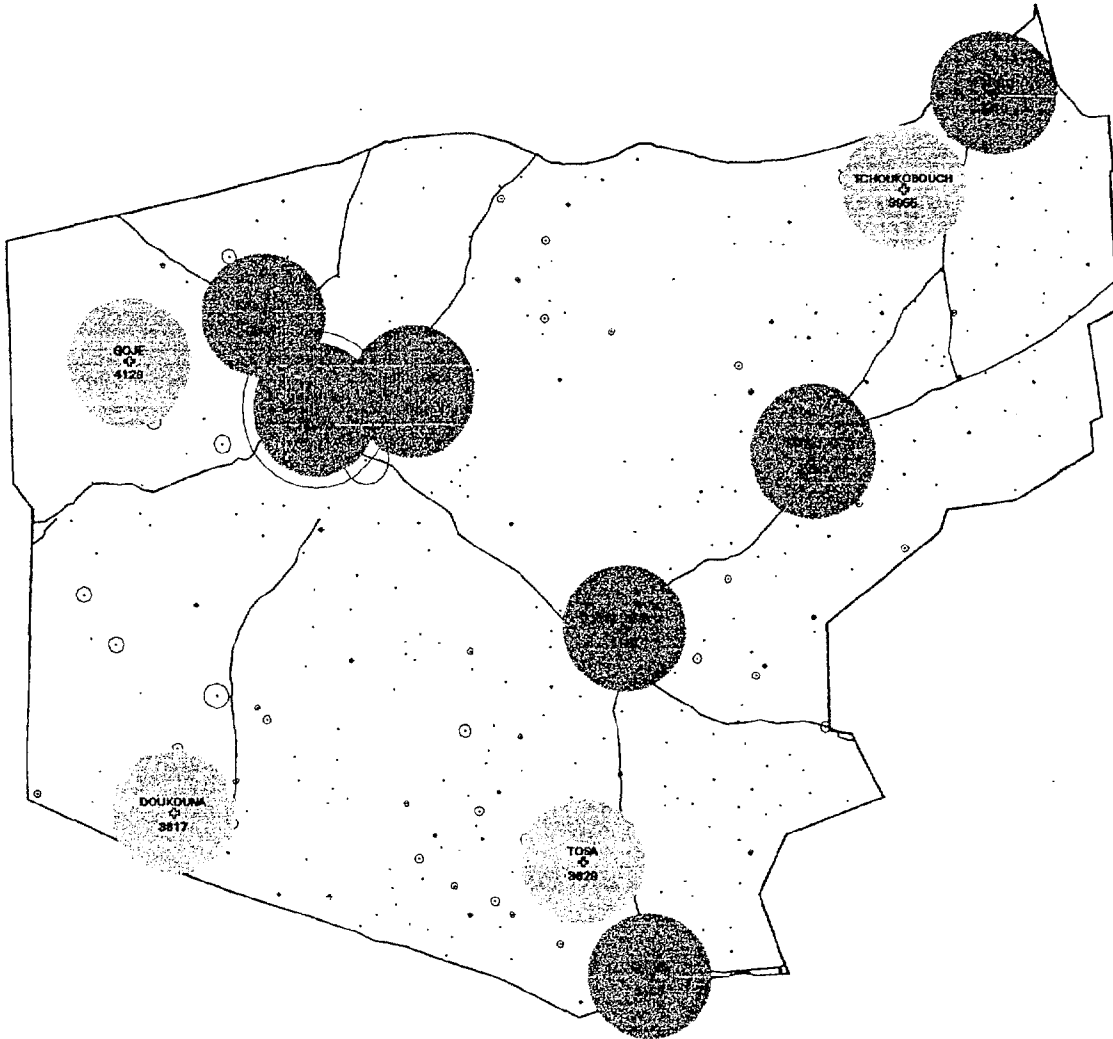
Prepares au labo SIO  
 Centre Regional AGRHYMET, Niamey, Niger



522



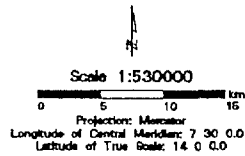
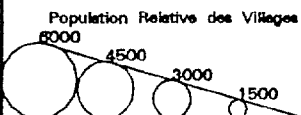
# Couverture sanitaire de 45% d'habitants Madaoua Arrondissement



— Routes  
 + Centre de Santé  
 • Village

**Zone d'influence**  
 ⊗ Centres existants  
 ⊙ Nouveaux centres  
 xxx Personnes couvertes

Population total 91894  
 Population served current 27817  
 Population added 15530



Préparé au labo ERG  
 Centre Régional AGRHYMET, Niamey, Niger

575

# USING A GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM TO INVESTIGATE THE MACRO-EPIDEMIOLOGY OF MALARIA IN SOUTH AFRICA

**C. MARTIN, D. LE SUEUR, B. SHARP**

National Malaria Research Programme, Medical Research Council, South Africa

**S. NGXONGO**

Malaria Control Programme, Department of Health, South Africa

The malarious areas of South Africa are along the eastern coastal region and the north eastern border shared with Mozambique and Zimbabwe. This presentation will focus on the use of polygon data as a tool for controlling malaria.

Historically, malaria in the province of KwaZulu-Natal extended 250km south of Durban in 1927, and in 1932, 2% of the population of nearly 1 million died. The Malaria Control Programme began as a result of this in 1933. In 1938 malaria was prevalent over most of KwaZulu-Natal and occurred over the whole of the eastern region of the Transvaal, from Mozambique to westwards of Johannesburg and Pretoria and northwards to the border with Botswana and Zimbabwe.

The annual malaria incidence for the country from 1976 to 1993 shows that it is neither static nor constant. This is highlighted by the following figures:

- 1976 - 2 000 cases
- 1980 - 3 000 cases
- 1985 - 11 000 cases
- 1990 - 6 500 cases
- 1993 - 11 000 cases

The current malaria control programme has two components, one directed at the vector and one at the parasite. The vector control component relies on the indoor residual application of insecticide to every house on an annual basis. The parasite component consists of both active and passive detection of cases. Active detection is carried out by people on bicycles who routinely visit households and take blood slides, which are then screened. Passive cases are those that report to clinics and hospitals. Other follow-up techniques such as epidemiological investigation and mass blood examinations are also conducted. Cases from all sources are stored in Dbase format by the Control programme.

Chloropleth plots of the malaria incidence in the Transvaal in 1987, 1990 and 1993, shows a gradual westward spread of the disease. Points of high risk are at either side of the Kruger National Park, adjacent to the Mozambique border. These areas coincide with the major entrant points for travellers from Mozambique. This is thought to be due to the advent of chloroquine resistance and its continued use by the Control programme in the Transvaal until recently, resulting in a failure to eliminate the parasite in carriers and thereby extending the parasite reservoir. Delineations are at a magisterial district level which is useful for a regional perspective but is inadequate for effective management purposes as they do not reflect the distribution of high and low risk areas, which occur at a smaller geographic scale.

KwaZulu-Natal is also divided into large magisterial districts which have been subdivided by the malaria control programme into smaller malaria areas. The malaria control team consists of approximately 400 staff

524

members for this northern region, with each control team of 8 - 12 people being responsible for two areas. Each area has been further subdivided into sections, usually 10. This region is characterised by dispersed homesteads rather than village settlements and there is no address system by which to identify each homestead for test results or to keep a record of which homestead has been sprayed. Each house is therefore allocated a number which is kept on a green card and stored under the eaves of the roof of the homestead. All control activities (vector and parasite) are referenced through this number.

This breakdown into the smaller section of 5 - 30 square kilometres is very useful for highlighting the focused nature of the high risk areas. There are two high risk areas in the region, one in the north west, close to the Mozambiquan border, and the other further south near the inland town of Jozini. The low risk areas are along the coast from where the incidence increases to the high risk areas. Plotted data has shown that from 1980-1991 the low annual case incidence of 0.2% or less is concentrated along the coast, with the figure increasing closer to the high risk areas in the north west. This is a marked change from 1938 when the coast was the high risk area. This is due to the efforts of the malaria control programme which has resulted in the eradication of *Anopheles funestus* by control measures. The breeding sites in this area are those favoured by *funestus* (which was recorded to have occurred in the region and been sporozoite positive). The remaining vector *Anopheles arabiensis* does not favour these sites and is therefore largely absent from the area. Extensive entomological surveys have been carried out in the entire region and were published in 1988 (le Sueur and Sharp, 1988).

Comparative plots of cases for the periods, 1980-1986 and 1987-1991, shows a low incidence between 1980-1986, largely as a result of severe drought and a high incidence between 1987-1991. The latter is a result of improved rains, irrigation development, the advent of chloroquine resistance and increased population migration from Mozambique due to the civil war.

Records are kept of the country and region of origin of the infected people with many Mozambiquans being tested and found to have the disease while in South Africa. Many of these asymptomatic migrants play an important role in starting focal and seasonal epidemics. No malaria control is currently carried out in rural Mozambique. Maps of the imported cases recorded from 1980-1991 show that they are focused in the western section of the region and coincide with the high incidence areas of the Province (KwaZulu-Natal) and the main entry points for travellers from Mozambique. The absence of a relationship between local incidence and the entry point in the East is thought to be due to the absence of vector species, as explained earlier.

The system can also be used to assess the catchment population of hospitals and compare the functional (actual) versus the official catchment, indicating that the hospital serves a larger population than was planned for. Population density per square kilometre is known for the area and was used to assist in planning the route of a power line to ensure that it served the largest number of people, given the dispersed nature of the settlements. Other data on schools, clinics, shops and other infra-structural facilities are also available at polygon level and indicate how a malaria driven GIS effort can facilitate a cross-sectoral approach, especially with regard to rural development.

A generalised malaria incidence map based on the long term epidemiological patterns (maps) has been drawn up to advise the public and tourists who intend visiting the area. A more localised map of northern KwaZulu-Natal is printed in the regional newspaper prior to the Easter weekend of 1994 indicating the transmission situation and gives an indication of whether or not visitors to certain region should take prophylaxis.

A study of this nature addresses three issues that are relevant not only to malaria but to diseases in general. They are: origin, incidence and geographic distribution, all of which need to be considered for the effective management of the disease.

The usefulness of this study can be determined in terms of the management implications. The maps that have been produced give a clear indication of the significance of the proximity of Mozambique which has no control programme and whose residents carry the disease into South Africa. Mozambiquans account for 30-60% of all reported cases of malaria in South Africa, highlighting the need for regional co-operation as the disease is not a country specific problem.

The changes in incidence of the disease can be linked to various factors such as new irrigation scheme, chloroquine resistance and the movement of people from surrounding countries, some of whom come across to work. It is important to monitor these incidence changes in order to be able to react promptly to situations as they arise. New projects and schemes in the region need to take into consideration the possible impacts that they may have in promoting environmental conditions which could increase the incidence of malaria.

Changes can clearly be seen in the geographical distribution of the disease since 1938, as a result of effective control. In addition current long term (past 12 years) distribution maps have important implications for deploying the malaria control staff (mainly parasite surveillance personnel) to meet the increased needs in the high risk areas and to be used in other primary health care functions in the low risk areas. The residual spraying of the whole area will be continued as *Anopheles funestus* could "re-invade" from Mozambique in the absence of vector control efforts.

This project has been running since the beginning of 1994, is PC based and uses the existing infrastructure of the Malaria Control Programme to collect the data. MapInfo is a relatively cheap GIS given its capabilities and provides an adequate management tool which can be used by the field based Control Programme and by the Medical Research Council.

# USING A GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM TO INVESTIGATE THE MICRO-EPIDEMIOLOGY OF MALARIA IN SOUTH AFRICA

**C. MARTIN, D. LE SUEUR, B. SHARP**

National Malaria Research Programme, Medical Research Council, South Africa

**S. NGXONGO**

Malaria Control Programme, Department of Health, South Africa

In this talk, we will demonstrate the value of point data (down to individual family units). In the earlier presentation we showed how polygon based data can be a useful tool in the control of malaria. The size of these polygons is however critical if they are to allow a "focusing" of control efforts. If the polygons (geographic units) are too large then areas of intense transmission may be masked by the inclusion of large areas of lower risk. The size of the geographic unit, to which data can be allocated is critical. The finest data which one can achieve is that relating to individual family units. Considerable effort has to however be expended in the obtaining and maintenance of such a data set. Thus it is important that we carefully assess the implications and value of setting up such a "detailed GIS" system. It is our belief that although such a system could not necessarily be implemented on a large scale (countrywide), it plays an important role in using GIS as a research tool (as opposed to a management tool). Many of the findings from such research will be of value to managers and we will try to illustrate this in the presentation .

The area which will be discussed includes the two northern magisterial districts of the Province of KwaZulu-Natal. The implementation of malaria control has led to each magisterial district being divided into approximately 20 malaria areas, which are again sub-divided into 10 sections. One team of 8-12 personnel being responsible for malaria control activities in two areas. Each house within a section is numbered by means of a malaria green card stored under the eaves of the roof. This card also records visits by surveillance personnel who take thick smears for parasite detection, as well as the annual application of residual insecticide. Thus each house is visited annually and it was during these routine visits that a database was built for every house. Below is a simplified form of the database (Table 1)

**Table 1. Homestead database for areas under malaria control.**

Data field	Example
Owner	Aaron Siyaya
Area	Mamfene
Section	8
Homestead number	145
Population	12
Bed bugs present	Yes/No
Insecticide used	DDT/FICAM/CYFLUTHRIN
Longitude	28°12'43.2"S
Latitude	30°58'39.7"E
Wall surface-	
Mud	3
Reed	1
Wood	0
Cement	0
Painted	1

521

The database is printed every second year and updated by control program staff during their annual spraying; changes recorded are subsequently made to the existing database. With each update, additional information is added.

In the current update, the entire database was printed and the sheets for each malaria control area were bound into a folder and given to the spray team leader for updating. In the current update information on school and clinic attendance are being obtained. Collaboration was established with the department of Agriculture and a further 16 GPS units were purchased. This enabled many of the teams to be equipped with a GPS to obtain the Longitude and Latitude for individual family units. It is important to note that people in the area do not live in villages but in patriarchal homesteads which are scattered.

Three examples are given where GIS has been used in this study, at the micro-epidemiological level:

1. Malaria and agricultural development
2. Malaria incidence and location of breeding sites
3. The use of GIS and the micro-epidemiology to design an impregnated bednet study.

Mamfene is an agricultural irrigation development area within the northern control regions. This area had an annual incidence of 12.6 cases per annum between 1976 and 1986. Irrigation development then led to the occurrence of localised epidemics in the region with an annual incidence in excess of 600 cases from 1987 to 1989.

The two causes were:

1. The dumping of excess irrigation water
2. The introduction of rice paddies into the region. The rice paddies themselves were not a direct contributor as their flooding period was largely in the non-malarious season. However overflow water from the rice paddies was dumped and resulted in the provision of winter breeding sites.

The location of every homestead in Mamfene, was obtained using GPS and the number of cases per homestead for 4 months (high incidence period, March to June) of 1993 were plotted. 2 km Buffers were generated around the exacerbating features, resultant from the irrigation scheme, to estimate vector mosquito range. From this it was evident that almost all the cases fall within these buffers, thus supporting the association between the scheme and malaria incidence. The question may be asked "what about the surrounding area is this just not a matter of scale?"

A plot of the same area was thus made at polygon level, so that areas surrounding the scheme, but outside of the 2 km buffers, could be viewed comparatively to those falling within the buffers. This clearly showed that the scheme was an "island" of high incidence, with risk of infection decreasing away from it.

The next example illustrates how the plotting of cases at the "micro-epidemiological" level can be used to identify environmental features which constitute an increase in transmission risk, for a given geographic area. Cases plotted on a monthly basis showed that cases were occurring recurrently at a given point, but with an interruption period of up to two months. The reason for the interruption is that the control programme had intervened with treatment, thus eliminating the parasite reservoir. When a new parasite carrier enters the area, a localised epidemic outbreak occurs. Thus indicating that certain environmental factors pre-dispose the area to the continued presence of vector species. Initial digitising was done at 1:250 000 scale and no unusual geographical feature associated with the focus could be seen. Digitising was then carried out at 1:10 000 scale from orthophotos and the association between the cases and a number of perennial and non-perennial waterbodies was clearly evident once the two were overlaid. Such sites can then be targeted for environmental

management to remove or modify the hazard point such that it is no longer suitable for vector breeding. In this manner GIS and epidemiology can be used to target areas for more focused, long term non-chemical methods of control.

The theory on which this project was conceptualised was that malaria is seasonal in southern Africa and that breeding is thus localised to permanent waterbodies, in the winter months. The aim was thus to use the first malaria cases of the season to localise these winter sites and then target them for control. Winter control would be enhanced by the fact that the bulk of the vector population are present as larvae in winter, due to the long duration of the larval cycle (Egg to adult, Summer = 8 days, Winter = 44 days). We believe that it is important that the initiation of any GIS project, should be "hypothesis-needs driven" if it is to succeed.

The last example is the use of micro-epidemiology and GIS in designing a study. We used the GIS to design a study, which will compare the use of treated bednets to the application of residual insecticide, for malaria control. In this exercise all the cases occurring over a 7 year period (1987-1993) were allocated to the individual homesteads, from which they originated (point data). This was done for the highest risk malaria areas of the Province of KwaZulu-Natal, which was defined on the basis of polygon malaria incidence data.

An experimental block layer was then overlaid and the boundaries of the block were manipulated such that the annual incidence for the areas encompassed by each block was in the region of 5% (i.e. Such that the total number of cases for all the points {homesteads} within each block was 5% per annum). The data for each year was then split into the individual years and the experimental block layer was overlaid and the incidence occurring within each block was extracted. The incidence between blocks over time was then compared statistically (Breslow Day test for homogeneity). In this manner it was possible to pair blocks in which the long term epidemiological patterns of malaria incidence are the same. This process means that a 3% change in incidence between the block pairs (one under bednets and the other under residual application of DDT), will be significant at the 95% confidence level. Thus using the GIS it was possible to prove to funders that such a study was possible, with a high degree of sensitivity in terms of measuring efficacy, when they had felt there was insufficient incidence to carry out such a study. This study would not have been possible in the absence of the Malaria Information System (MIS).

In the earlier presentation some ancillary applications at the polygon level were shown. Similarly there are such applications for point data. The system is being used to define exact catchments for schools and clinics and thus identify areas which are under serviced and to look at the ergonomic placement of new facilities. Such ancillary applications are important to the long term sustainability of the system.

Where to next? We will now start to look at the integration of the clinics into the system such that the clinic and hospital record of disease incidence can also be spatially referenced. e.g. The association between the incidence of diarrhoeal diseases and access to water source and type.

629

# ENVIRONMENTAL IMPACT OF TSETSE CONTROL IN WESTERN ZIMBABWE; HISTORICAL STUDY OF LAND COVER CHANGE, 1972 - 1993, USING REMOTE SENSING AND GIS

## A. MILLS

Environmental Science Group, Natural Resources Institute, Chatham Maritime, Kent, United Kingdom

### Goal and Purpose

The use to which land is put following successful tsetse elimination and the impact of such control on natural resources are important considerations in planning future strategies for managing tsetse fly, land use development and wildlife resources. To assist future planning by tsetse control organisations and natural resource managers, an attempt has been made to quantify land use and vegetation change over the past 20 years in the Zambezi Valley of Zimbabwe using remotely sensed data sources. Although tsetse distributions fluctuated in the study area over this period, it was finally cleared of tsetse by 1990. Two phases of the project have been completed, assessing the capability of aerial photography and remotely sensed imagery to identify current land use patterns and vegetation types, and quantifying historical land use changes using GIS. The project forms part of NRI's Livestock Production Programme funded by the British Overseas Development Administration (ODA).

### Data sources and Quality

The main data source was Landsat TM (30m resolution) and MSS (72m resolution) imagery from 1972 to 1993 at approximately three year intervals. Deterioration of digital data in the Landsat archive and the unavailability of earlier digital data meant only photographic material could be used for the 1970s. Aerial photography was utilised to define land units in certain areas. Additional topographical information was digitised from 1: 250 000 maps with permission of the Surveyor General, Harare. Image rectification was achieved to within 40m over most of the area.

### Technical Approach

Remote sensing and GIS techniques have been used to quantify changes in land cover but the historical archive of high resolution satellite data has not often been exploited. In this study, dry season Landsat TM and MSS imagery shows strong contrasts between human dominated land use and natural vegetation. However, the semi-arid study region has low vegetation cover during this season which emphasise substrate differences on the image. To solve this problem and maximise vegetation information, data were automatically classified to create masked images delimiting changes in substrate brightness. A Maximum Likelihood Classifier then produced six major vegetation / land cover classes for each mask using training data derived from field surveys. Human dominated land use was interpreted from edge enhanced and false colour composite imagery for seven years between 1972 and 1993 and input to ARC/INFO GIS. Changes in extent of human dominated land use over time were quantified by comparing results from each image in the GIS.



### **Product Generation and Distribution**

Following completion of the interpretation, results will be published in NRI bulletins. GIS outputs consist of coverages showing land cover (including natural vegetation complexes) and land use change derived from the imagery, together with information on tsetse control, soils, geology, topography and roads. Following a seminar on land use in the Zambezi Valley, an agreement was reached to share data between organisations working in the area. As well as the Tsetse and Trypanosomiasis Control Board (TTCB, Harare), other organisations involved in this agreement include Agritex (Harare), World Wide Fund for Nature (Zimbabwe), the International Livestock Research Institute (ILRI, Kenya), Environmental and Remote Sensing Institute (ERSI, Harare) and the Veterinary Services and Wildlife Departments (Harare).

### **Use and Impact**

A future phase will evaluate factors driving rural development in tsetse areas in Africa, including social, economic and environmental changes. Comprehensive data layers will be used to locate the depletion of natural resources such as indigenous woodlands and for planning environmentally sound tsetse control strategies in national and regional control programmes.

# THE USE OF GIS FOR SCHISTOSOMIASIS CONTROL IN NORTHERN BOTSWANA

**S.S. MOKGWEETSINYANA**

Ministry of Health, Francistown, Botswana

Tropical diseases are among the major health problems in Africa. In Botswana, malaria, and schistosomiasis are priority problems, particularly in the sparsely populated northern part of the country, where population movements and climatic variations contribute to constant changes in the epidemiology of these diseases and the risk of focal epidemics.

Schistosomiasis (or bilharzia) has been known to exist in Botswana since the 1930s. Humans get infected by contact with contaminated water (bathing, fishing, etc.). Many surveys that have taken place since that time have indicated that urinary schistosomiasis due to *Schistosoma haematobium* was in most parts of the country while intestinal schistosomiasis due to *S. mansoni* was mainly confined to the Okavango Delta and Chobe District in the North West of the country. In 1983 a survey of Primary school pupils in Maun indicated that over 80% of them were infected with intestinal schistosomiasis, and this led to the organization of a control programme funded by the Edna McConnell Clark Foundation, run by the Ministry of Health and guided by WHO. It is based on identification and treatment of all infected persons, improvement and extension of water supply and sanitation facilities in Ngamiland, promotion of health education activities at community level, and assessment of the feasibility of snail control measures wherever necessary (the parasite replicates in fresh water snails). Detection of infected persons was done through school surveys and community surveys. It was decided that, when the prevalence rate of infection in the schools is reduced to less than 10 %, the maintenance phase would begin, one which integrates schistosomiasis control programme into the existing Primary Health Care system.

The programme ran for about five years, and as the prevalence rate decreased to almost 10%, GIS was seen as a good tool for further monitoring of the control.

A three year project is being supported since 1994 by the International Development Research Centre (IDRC), Ottawa, Canada, WHO and ESRI Conservation Programme with the objective of:

- (1) integrate environmental data and health data into a GIS to analyze the correlation between schistosomiasis distribution and other spatial information (population density, ground water, sanitation, etc).
- (2) To utilize the information provided by the GIS for monitoring schistosomiasis and planning for environmental and community control of the disease.
- (3) To integrate in the system other diseases data (eg. malaria, diarrheal diseases) and explore the potential for planning of control measures.

Methodology:

Several departments of various ministries (e.g. Department of Water Affairs, Department of Town and Regional Planning, Department of Wildlife and National Parks) were already using GIS. WHO has supported the ongoing activities through the promotion of institutional collaboration. Base mapping of Northern Botswana (1:250 000) was done in ArcInfo format so that it could be used by the Ministry of Health as well as other ministries.

The Department of Environmental Sciences of the University of Botswana collaborated in the training of Ministry of Health staff in the use of Arcview.

The initial GIS application uses schistosomiasis data that had been systematically collected, processed initially by hand with preparation of preliminary tables, entered into DBase III files and definitively analyzed since 1985. These data records include locality or school, age, sex, quantitative faecal S. mansoni egg counts.

The GIS is now used by the schistosomiasis control team and the district health officers with active participation of the Unit of Epidemiology of the Ministry of Health.

The next step will be to integrate malaria morbidity data and vector species into the GIS for monitoring malaria control activities in Northern Botswana. Ultimately the GIS will be used in national disease surveillance.

# A GIS APPROACH TO THE DETERMINATION OF CATCHMENT POPULATIONS AROUND LOCAL HEALTH FACILITIES IN DEVELOPING COUNTRIES

**H.M. ORANGA**

Geographic Information Systems (GIS) Unit, African Medical and Research Foundation (AMREF), Nairobi, Kenya,

## *Introduction*

Health care systems in Sub-Saharan Africa, face increasingly diverse and complex health problems, rapidly growing populations, and severe resource constraints. Rational allocation of scarce resources is difficult, and is dependent on the size of catchment populations. Expensive hospital-based health care systems are protected by strong vested interests, reorientation is mainly rhetorical, and primary health care is making only slow progress.

Health care management and the use of health information at the local level are restrained by highly centralized decision-making processes. Several other weaknesses further restrict the usefulness of the health information system in Kenya. Some highly desirable information such as population-based epidemiology, service quality data and socio-cultural information is not being collected. Problems also exist in the flow of information from the field, including delays, non-reporting, non-response, and a generally unsatisfactory quality of generated data. Moreover, current reporting is largely restricted to acute and brief illness episodes in people fit and affluent enough to seek care at a health facility; those living far away, those too sick to travel, those worried about cost implications, and those chronically sick and disabled who have little to benefit from a visit, remain "invisible", neglected by the service system and overlooked by planners. Much of this is known by the local community, but unknown to the health care system and its staff.

The Kenyan population is heterogeneous with ethnic, religious and socio-economic differences influencing illness concepts and demands for health care. However, the only available information on the local population is the Census of Population, normally conducted every ten years, which does not coincide with the actual catchment populations served by health facilities. The health information system should reflect these circumstances, but available data are almost exclusively about care-seeking clients and their service utilisation. A need exists for a more precise and complete description of the catchment population and health situation. It is important to generate this information at village, community and division levels.

Three interrelated problems are prominent. First, health care planning and programming are highly centralised and largely incremental in nature. Second, most staff are poorly prepared for management and planning responsibilities, particularly at and below the district level. Third, existing health information systems are unsatisfactory both as tools for planning and as a basis for local community development and action. The use of geographical information systems for determining catchment populations may help to alleviate some of these inherent problems.

## ***Geographical Information Systems (GIS)***

### ***Applications***

A geographic information system (GIS) is designed to work with spatially referenced data (EPA 1987; Maxwell 1976). In other words, a GIS has both attribute and spatial databases with specific capabilities for manipulating spatially-referenced data, as well as a set of operations for working with the attribute data; in a sense, a GIS manipulates spatial and non-spatial data.

The essential components of a GIS are the same as those of any other information system, namely:

- data acquisition;
- pre-processing;
- data management;
- data manipulation and analysis; and,
- product generation.

Data should be acquired through field surveys, and should include analyses of existing secondary data from maps, aerial photographs, reports and other documents. Data accuracy and completion must be ensured.

The main emphasis of data analysis should be on the production of maps of demographic data. This activity relies on the collection of point data from known locations, and the global positioning system (GPS) is used to record precise locations where sample data are located. At the end of the data collection activity, an associated count data (point data) will exist for each sample location. In the collection of data, efforts should be made to locate those areas from which no participants are coming. This will aid in the interpolation, by ensuring that areas with zero count (no patients) are taken into consideration.

This point data will be input into the GIS. To facilitate data input, the data should be in ARC/INFO ungenerated point format, that is: *Value, X-coordinate, Y-coordinate*, with *value* being the observed count for the location identified by the X-, Y-coordinates.

The next step is to generate a points coverage (digital version of a map) in GIS and to build a correct topology with related feature attributes. Additional information can be added to the attribute table, for example counts by sex. This coverage will form the input to the triangulated irregular network (TIN) module.

Using the ARC/INFO TIN routine, a TIN coverage will be generated. From this coverage, an isoline coverage will be produced. The final coverage will show those areas of equal numbers through the use of contours.

The determination of health facility catchment areas is more involved, as it requires the active participation of the local communities. Homesteads/villages are identified through a unique numbering system. As patients visit a health facility, they will be required to also provide their homestead/village particulars. In this manner, for a maximum of about two months, the spatial coverage for a facility serving a typical village (about 600 - 1,000 people) can be identified, and the specific areas where patients originate mapped.

The frequency of visits will then be tabulated/graphed. Interpretation of this data must take into consideration a number of factors, such as transportation costs, condition of roads, availability of local medicinemen, and so on. These factors will affect the size of population visiting a health facility, frequency of visits, types and conditions of illnesses involved, and so on.

535

For each health facility, a plot showing from where patients in a given period come will be produced in the form of a dot map. All patients visiting health facility  $n$  will also be recorded as  $n$ ,  $X$ -Coordinate,  $Y$ -Coordinate, where  $X$ -,  $Y$ -Coordinate is the homestead location. Isoline maps produced from this data will show the geographical reach of health facility  $n$ . Areas of overlap between catchment areas will be determined by overlaying maps from health facility  $n$  and  $n + 1$ .

Health planners are confronted with the problem of selecting the optimum location for a health facility in relation to the spatial distribution of the catchment population and infrastructural facilities already in place. While this is not an easy exercise, the application of GIS may aid in decision-making. A study to find the best location for a health facility would start by identifying homesteads, road networks and health facilities in the study area. For the allocation of health facilities, a number of variables such as road conditions/types and travel times will have to be incorporated into the database before running the allocation function. The various solutions generated will have to be evaluated against the criteria specified for siting the health facilities. Such criteria may be to locate a facility where travel costs are minimized.

### *Software*

Although there are several softwares on the market, the pc ARC/INFO system is preferred for its extra spatial analytical capabilities. However, it needs a number of modules to facilitate work in the project described above. These are:

- a TIN module, for generating triangulated irregular networks;
- a NETWORK module, for resource location/allocation and selecting the shortest path between a given set of points; and,
- NEXPERT, an expert decision system (EDS).

The development of EDS with GIS for health management is technologically feasible. Determination of catchment populations in the nomadic communities is more cumbersome and complex. The only reliable source of information is remote sensing. It is in the above situations that remote sensing data, particularly from the AVHRR sensor on board the NOAA-8 satellite, would be recommended (Shlien 1977; Wetmore and Townsend 1975). Plans are underway to test the feasibility of the technology in mapping and sampling of the nomadic communities. However, a need exists to consolidate the knowledge base required for implementing a satisfactory system. The acquisition of the ERDAS system should enable satellite image processing to be performed. In addition, the ERDAS system can easily share data with the pc ARC/INFO system. A multitasking operating system is necessary for improving machine usage, which tends to be under-utilized, especially during the slow processes of digitizing and topology building.

536

## ***Conclusion***

The application of the GIS technology for determining catchment populations is feasible. The data required from health facilities serving a typical African village would take a maximum of two months to collect. The incorporation of remote sensing is also needed for handling migratory populations, such as the nomadic communities found in the semi-arid and arid lands in eastern and northern Kenya.

## ***References***

- Cohen J.M.; Hook R.M. 1987. Decentralized planning in Kenya. *Public Administration and Development*. 7:77-93.
- EPA. 1987. US cancer mortality rates and trends, 1950-1979 (EPA 600/1-83/015). U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, N.C.
- GOK: 1984. District focus for rural development. Nairobi Office of the President.
- Mason, T.J.; McKay, F.W.; Hoover, R.; Blot, W.J.; Fraumeni, J.F. Jr. 1975. Atlas of cancer mortality for U.S. counties: 1950-1970. DHEW Publication No. (NIH) 75780. Washington, D.C. Government Printing Office.
- Maxwell, E.L. 1976. Multivariate system of analysis of multispectral imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, September, pp 22-24. Edmonton, Alberta, Canada.
- Ministry of Health. 1986. National guidelines for the implementation of primary health care in Kenya. Nairobi.
- Shlien, S.; Smith 1977. A rapid method to generate special theme classification of LANDSAT imagery. *Remote Sensing of Environment* 4. pp 67-77.
- Wetmore, S.P.; Townsend, G.H. 1975. A geographical mode for storage identification, Analysis of Ecological data. KREMU Technical Report No. 1. Nairobi, Kenya.

**INTEGRATED MANAGEMENT FOR A SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF COASTAL AND MARINE  
AREAS IN COTE D'IVOIRE: A TENTATIVE APPROACH**

J. ABE, S. BAKAYOKO .....561

**LAND SUITABILITY EVALUATION OF THE NORTH COASTAL DESERT OF EGYPT BY GIS  
CASE STUDY: EL OMAIED TEST AREA**

B. B. SALEM .....566



# INTEGRATED MANAGEMENT FOR A SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF COASTAL AND MARINE AREAS IN COTE D'IVOIRE: A TENTATIVE APPROACH

**J. ABE, S. BAKAYOKO**

Centre de Recherches Océanologiques, Abidjan, Côte d'Ivoire

In the Earth Summit held in Rio in 1992, and according to the Agenda 21, coastal states have committed themselves to integrated management and sustainable development of their coastal areas and the marine environment under their national jurisdiction. The focus of this paper is the coastal zone, the narrow band of water and land where the ocean meet the continents. In fact, the coastal zone includes both the area of land subject to marine influence and the area of the sea subject to land influence (Anon, 1991). It is the location of major population and transportation centre, fishing industries and tourist resorts, agricultural activities and industrial facilities. The coastal zone contains the planet's most productive ecosystems with rich biodiversity reserves. Coastal areas and habitats (mangrove swamps, estuaries, wetlands, seagrass beds, coral reefs, deltas, dunes, etc.) are fragile, biologically productive and susceptible to degradation through human activities and natural events.

Because of their economic and cultural importance, coastal areas are anticipated to absorb most of the population increase in the future. The problems in these areas are: increase of human induce pollution, habitat loss with concomitant loss of fish and wild life species, depletion of economically important fisheries through over fishing and habitat loss, depletion of ground water resources leading to saltwater intrusion, and coastal erosion. Those problems are exacerbated in low-lying countries by climate change and sea level rise, such as Côte d'Ivoire.

Situated between 4°30' and 10°30' N, Côte d'Ivoire is in West Africa and is characterised by a transition climate, warm and humid in the south and tropical dry in the north. Two major types of vegetation's are observed: Guinean dense forests and Sudanese savannah, the climate cycle is divided into four seasons: a big dry season (beginning of December to 15 April), a big rainy season (15 May to 15 December), a small dry season (15 July to 30 September), a small rainy season (during October and November). The average annual temperature and rainfall variations in the coastal zone are respectively about 3° (from 24°C to 27°C), and 2,000 mm.

The coastal zone concerned in this study can be defined as the area situated between 20 km of the coastline and the bathymetric line of 120 meters. Areas to explore are too many, and I will try to point out a few of them in which some additional knowledge will make the process of management more effective.

## COASTAL GEOMORPHOLOGY

The Ivorian coast is about 600 km long. According to its orientation, the coast can be divided into three subunits: Tabou to Sassandra, Sassandra to Abidjan and Abidjan to Assiie.

Three-fifths of the coast are composed of Holocene sedimentary basin with Cretaceous to Mio-Pliocene deposits and thin Quaternary sands on them, while the remainder is of Precambrian origin. Those formations are crossed by two main rivers, Comae and Bandama and several small ones which rich the sea cutting the sedimentary basin constituting estuaries.

## LAGOONS

Lagoons are rounded along 60 per cent of the coast and cover about 1.200 square km. There are three main lagoons connected with the sea and each other by natural or artificial channels. These are, from west to east, the lagoons of Grand-Lahou, Ebrié and Aby. The smallest and the shallowest of them is the Grand-Lahou lagoon, which covers 190 square km. The average depth is about 3 meters. Ebrié lagoon, in the middle, covers 566 km<sup>2</sup> and is on an average 4.8 meters deep. It is connected to the sea by the Vridi canal in Abidjan and by the Grand-Bassam inlet. Aby lagoon in Assinie, near the Ghana border covers 424 km<sup>2</sup>.

Lagoonal seasons are determined by riverflow and rainfall. The dry season (January to April) is characterised by marine influence (maximum temperature and salinity). During the rainy season (May to August), heavy rains swell forest rivers. They bring few water to the Lagoon area. The flood season corresponds to maximum input by "Sudanese" rivers Comoe and Bandama.

## THE GROWING POPULATION

The population of the country is about 12,000,000 inhabitants, and about 1/3 (4 million) of that population live on the coastal areas (about 2.5 million of them live in Abidjan). One of the first reasons is the fact that the south part of the country is covered by tropical forest. The economy of the country is essentially based on agricultural productions such as coffee (second producer in the world) and cocoa (first in the world). The industrial cities, the economical capital, harbours (Abidjan and San-Petro), the international airport and tourist infrastructures are mainly located in the coastal areas. For those reasons people from the other parts of the country are still migrating to the coast. The growing population places more and more stresses upon the resources of the coastal zone.

## TOURISM AND RECREATION

The Ivorian Government recognises the potential of coastal tourism as an economic incentive to facilitate sustainable development and effective resource management in coastal areas. Indicative of an increasing interest in this area is the establishment of a charter airline for the destination Côte d'Ivoire and the improvement of tourist related infrastructures (roads, hotels, airports, etc.) built near to the picturesque coastal landscapes. Many hostels built on the eastern low and sandy beaches are affected by storm surges. The most important are the holiday village of Assinie, the old colonial houses in Grand-Bassam classified as a part of the world cultural heritage by UNESCO, the Azagny National Park in Grand-Lahou and the luxury hotel "la Baie des Sirènes". The lagoon areas are often used for recreation. The national income is not well-known but seems to be important, as the contribution of tourism in the world economy is between 5 and 10 per cent and the coastal zone is involved with a substantial percentage.

## SEA LEVEL RISE

The long term changes in the sea level rise is attributed to the melting of ice sheets as a result of global warming due to increasing concentrations of atmospheric carbon dioxide and other gases. The mean sea level studied at Takoradi (Ghana) and Santa Cruz show an elevation of the sea level of 0.34 cm per year (+/- 0.05 cm) from 1930 to 1969 and 0.26 cm per year (+/- 0.05 cm) from 1927 to 1974 (Verstraete, 1989). This is the incitative element of planning in the coastal zone. Now the Abidjan Institute for Oceanography is implementing a programme for the assessment of sea level rise impact in the coastal zone.

## THE COASTAL EROSION

Concerning the coast, the interruption in the supply of beach sand is the primary cause of coastal erosion. But the most important retreat of the coast is caused by some rare but damageable storm surges. The loss of beaches for their recreational and aesthetic values may be reflected in decreased tourist revenue and in the overall quality of life for the resident citizenry. The problem to a large extent is the result of dams which result in the accumulation of the sand in the continents, sand which normally would have been fed by rivers to the oceans. In some cases where large lakes have been formed, the local climate has been changed.

In Côte d'Ivoire, the western part of the coast remains generally stable, the central sector between Sassandra and Abidjan has a retreating sandy coastline (except where the breakwater at Vridi has intercepted eastward drift to produce local accretion), and the barrier coast east of Abidjan, which is hardly retreating. In 1903 the beach to the east of the harbour breakwaters suddenly retreated up to 80 meters in 35 minutes following nearshore submarine landslides into the head of the nearby submarine canyon "Trou-Sans-Fond". On the littoral spreading from Sassandra to Abidjan the littoral drift is about 800,000 - 1,000,000 m<sup>3</sup> per annum. Since 1943, the construction of the Vridi canal and the Abidjan harbour had stopped the littoral drift. This has led to an accumulation of sediments on the west part of groin and the erosion of the Port-Bouet coastline evaluated of about 3 meters per year. This erosion is now reduced to 1.5-2 metres per year. From Abidjan to the Ghanaian frontier, the coast is low; its altitude is between 10 and 2.5 meters. The littoral drift is only 400,000 m<sup>3</sup> per annum. The coasts located between Grand-Bassam and Assinie are regularly submerged by spring tides occurring July-August. Most of storm surges are observed in that period. Here the coastal retreat is about 1 meter per year.

The aim of this erosion study is to establish a coastline sensitivity map including the topography of the coast, the geology and the erosion and accretion rates of the coastline. The map will be of a great help in the management of coastal area.

## FARMING THE LAGOONS

Aquaculture is enjoying rapid and successful growth at the present time in Côte d'Ivoire. The contribution of farmed fish to that of their wild counterparts will increase in the future as a result of economic forces and of genetic engineering. That activity is placing increasing demand upon coastal space. The world aquaculture species production in 1988, including catfish is evaluated about 14,466,306 metric tons (FAO, 1988). Researches on catfish in Abidjan, have increased the production from 50 tons in 1986 to 150 tons in 1987 (Trébaol; 1991). Fish farming can create anoxic environment. It can produce organic residues from uneaten food and the metabolic wastes. In the bottom of the water these materials release dissolved biostimulants such as phosphate, nitrate, silicate and ammonia to the water. It is well known that benthic communities are specially sensitive to oxygen depletion. That was the recent case of pollution observed in the aquaculture station "LAYO" in Côte d'Ivoire. In Assinie and in Grand-Lahou a valuable but declining ecosystem is associated with shrimp farming. Actually those activities have been stopped in the region.

## COMMERCIAL FISHING

In the world, fish stock abundance have decreased due to overfishing, loss of estuarine and wetland areas, the nursery and breeding ground for much of their catch. In Côte d'Ivoire the annual fish production is around 90,227 tons, including industrial fisheries (45,697 t), small fisheries (44,000 t) and aquaculture (350 t). The needs of populations have been evaluated about 22 000 tons. Fishes are the main source of protein for coastal populations; but the gulf of Guinea is poor in fish. Therefore, it becomes necessary for the Ivorian Government to change his fishery management policy and negotiate some fisheries conventions with the coastal west African countries as Senegal (7 June 1979), Guinea Bissau ( 8 November 1987), Ghana (:23 July 1988) and with EEC countries (11 January 1991).

## TRANSPORTATION AND OFFSHORE MINERALS

The West African region export oil to Europe and America. The coastline lies to the east and is downwind of the main route of oil transport from the Middle-East to Europe. The total volume transported annually along the Gulf of Guinea has been estimated to be  $70.10^6$  tons (IMCO/UNEP, 1982). However, the sea lanes are very wide and the number of accidents involving tankers has been low, compared to elsewhere in the world. It is now apparent that oil found on beaches arises as a result of spills or tank washings discharged from tankers visiting ports in the region; although other sources are also important (industrial or domestic wastes). No incident involving transport of substances other than oil by sea, although a wide variety of chemicals are known to be transported to and from the ports in the region. The main harbours are located in San-Petro and Abidjan and are concerned in the national trade by 68% export and 60% import. The Abidjan harbour is the first tuna and container port in the west African region.

## THE ROLE OF THE OCEAN IN THE WASTE MANAGEMENT

The discharge of pathogens in domestic wastes to the coastal zone and consequential morbidities or mortalities from the consumption of lagoon food. The Government of Côte d'Ivoire, through the Direction of Environment, the Centre for Oceanologic Research (CRO) and the Centre for Pollution Control (CIAPOL), has a broad range of expertises from which it can draw to support environmental needs, particularly in the areas of control of land based sources of pollution. In Côte d'Ivoire, such as in the world, many scientists and engineers emphasise that oceans are under-utilised in the acceptance of wastes, while land resources, such as groundwaters waters, are being contaminated through the inadequate husbandry of toxic discards. Few factories treat their effluents, discharging them directly into the nearest stretch of water (river, estuary and lagoon). That is why one of the main resolutions is to collect all the domestic wastes and evacuate them to the open ocean.

## THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE COASTAL ZONE

The Sustainable development is defined as a dynamic process designed to meet today's needs without compromising the ability of future generations to meet their own needs. It must not endanger the atmosphere, water, soil and ecosystems that support life on earth.

In Côte d'Ivoire, coastal zone and its resources are managed by different single function departments concerned with fisheries, transport, conservation, water quality, waste disposal, tourism, mineral development. In that way are not taken into account the interests and the needs of other related sectors, leading to multiple resource conflicts. Example: in the environmental management are involved the Ministries of scientific research, of environment and industry. However, concerning the coastal erosion phenomenon, a working group have been created which is composed of members of different Ministries. Its mission is to think about a coastal protection policy for the coastline of Abidjan and the surrounding areas.

Our institutions are involved in many international coastal zone management activities such as the United Nations Environmental Programme (UNEP) Oceans and Coastal Areas/Programme Activity Centre (OCA/PAC) in coastal and marine environmental problems; the UNESCO's Major Interregional Project on Research and Training Leading to the Integrated Management of Coastal Systems (COMARAF); the Environment Directorate of the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD); the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) in the study of strategies to reduce the potential for impact of sea level rise; the Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC) with the Global Sea Level Observing System in collaboration with the World Meteorological Organisation (WMO); the International Union for the Conservation of the Nature (IUCN).

## NATIONAL LEGISLATION

To face environmental events, the Government of Côte d'Ivoire is elaborating an environmental code. This document will contain all legislative texts in marine and coastal environment established and ratified by the state, such as:

- International convention for prevention of oil pollution in the sea (17 July 1967);
- African convention for the conservation of the nature and resources (15 June 1969)
- Treaty banning nuclear weapons under seas and oceans (18 May 1972);
- International convention for conservation of Atlantic tuna (6 December 1972)
- Convention concerning the protection of world cultural and natural heritage (21 Nov. 1977)
- International convention on civil liability for damages due to oil pollution (22 May 1979)
- United Nations convention on the law of the sea (10 December 1982)
- Convention related to the protection and the use of west and central African coastal zone (5 august 1994)
- International convention related to the creation of an international compensation fund in case of oil pollution (3 January 1988)
- Vienna convention for the preservation of the ozone layer (30 November 1992)
- Rio convention on biodiversity (June 1992)
- Rio convention on climate changes (June 1992)

The national legislation for the coastal zone management should take into account the international legislation.

## CONCLUSION

The priorities in coastal space utilisation and research in Côte d'Ivoire are: harbour development, bioresources utilisation, mineral resources, recreation and tourism, scientific research, environmental protection and military objectives. The contribution of the coastal area in the national economy is about 40%. A national committee on coastal zone management is necessary for the co-ordination of all activities due to the population changes. This will be possible through an appropriate legislation.

Without an adequate management of the coastal area the livelihoods of a large number of fishermen are threatened. The environment and economic changes are related to demographic changes in the Ivorian coasts. Many of the qualities that give rise to attracting people to the coastal zone will diminish without an implementation of a coastal zone management plan.

## REFERENCES

ABÈ J.(1993), *Coastal impacts of climate change through integrated coastal zone management in Côte d'Ivoire*, Doc. of the WORLD COAST 93, The Netherlands

ABE J. and AFFIAN K., *Morphology and tourist infrastructures of the Ivorian coast*. P.P. Wong (ed), *Tourism V Environment*, Case for coastal areas, 99-108, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 1993

ANONYMOUS, *Policy options for the 1992 United Nations Conference on Environment and Development*, Background paper prepared by the Interagency Subgroup on Coastal Zone Management, 1991

EDOUARD D. GOLDBERG, *Coastal Zone Space, Prelude to conflict?* IOC Ocean Forum 1, Environment and Development, UNESCO (ed), 1994

N.B. This document has been presented in INDIA-Madras, 1994, for the International Ocean Institute annual course.

# LAND SUITABILITY EVALUATION OF THE NORTH COASTAL DESERT OF EGYPT BY GIS CASE STUDY: EL OMAYED TEST AREA

**B. B. SALEM**

Ecology Laboratory (Remote Sensing and GIS Unit) Botany and Microbiology Department  
Faculty of Science University of Alexandria, Alexandria, Egypt

Assessing suitability for a particular land use type is the main theme of this study. Suitability for four major land use types were taken into consideration, decisions were done according to the FAO framework for land evaluation and Geographic Information System (GIS) as a tool for the analysis of spatial and aspatial existing data of the study area. With the advent of GIS technology, land suitability evaluation has been achieved in this study automatically by overlaying the existing spatial data ( maps and satellite images) of land characteristics that are relevant to the current land use patterns of the area under study. The result of overlaying was a composite map of land characters that can be regarded as a land quality map associated with the corresponding non-spatial data (information tables). It then became easier to apply an appropriate land evaluation procedure and develop suitability of a specified land use type.

El Omayed test area was chosen as a representative transect of the coastal desert of Egypt, where the ecosystem is continuously degrading due to the frequent misuses of the land.

Adopting the FAO framework for land evaluation, four potential suitability maps were produced each for one of the major land use types that are currently taking place in the area. These land uses are: irrigated agriculture of annual crops; rainfed cultivation of annual crops; rainfed plantation of orchards; and using the land as a natural pasture (rangelands). Another attempt was made to represent the results of suitability codes in a mathematical form to obtain numerical suitability rankings. It was found that the best suitability rank was attained by the natural pasture as a land use type, followed by the rainfed cultivation of annuals. It was concluded that this fragile ecosystem is generally overused and the current development of this region needs to be directed towards its suitability potentials.

<b>Groupe de Travail 11:</b>	<b>GESTION DU MILIEU URBAIN ET INFRASTRUCTURES</b>
<b>Working Group 11:</b>	<b>URBAN MANAGEMENT AND INFRASTRUCTURES</b>

**L'INTEGRATION DES DONNEES ISSUES D'IMAGES SATELLITES  
(SPOT, LANDSAT, ERSI) DANS UNE BASE DE DONNEES URBAINES  
SUR LE DISTRICT DE TUNIS (TUNISIE)**

L. AOUNI .....569

**PROJET DE MISE EN PLACE D'UN SYSTEME D'INFORMATION  
POUR LA GESTION DU DEVELOPPEMENT URBAIN**

H. DRIDI .....577

**PROJET REGISTRE FONCIER URBAIN DE COTONOU  
UNE REALISATION DE L'IGN BENIN: PLAN PARCELLAIRE DE COTONOU,  
VERS UN SYSTEME D'INFORMATIONS GEOGRAPHIQUES URBAINES**

A. FANNOU .....584

**URBAN GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM IN BOTSWANA**

R. SEGODI, V. VELDIC .....591

**REALISATION D'UN SYSTEME INFORMATISE DE GESTION DES LOTS**

CNTIG (Domaine Urbain) .....613

52/15

# L'INTEGRATION DES DONNEES ISSUES D'IMAGES SATELLITES (SPOT, LANDSAT, ERSI) DANS UNE BASE DE DONNEES URBAINES SUR LE DISTRICT DE TUNIS (TUNISIE)

**L. AOUNI**

Centre National de Télédétection, Tunis, Tunisie

## Resumé:

Les images satellites à haute résolution spatiale constituent une source de données appréciable pour le développement d'un système de données géographiques destiné à la planification et l'aménagement régional des agglomérations urbaines.

L'objectif de cette communication est de présenter un cas réel où les données de télédétection occupent une place de choix dans la mise en place d'une base de données urbaines exhaustive et actualisée au District de Tunis, étant le principal gestionnaire de l'agglomération de Tunis. En effet, depuis les années 70 le grand Tunis s'est distingué par une évolution socio-économique et surtout spatiale très accélérée ceci a conduit à l'apparition de plusieurs problèmes d'aménagement et de dysfonctionnement de l'organisation de l'espace ce qui a rendu la gestion de ce territoire une tâche très complexe.

Conscient de cette lacune le District de Tunis s'est orienté vers une approche basée sur l'intégration des données récentes de Télédétection dans son système de planification et gestion urbaine.

Un premier projet pilote a été conduit en collaboration avec le Centre National de Télédétection pour l'étude de l'évolution de l'agglomération de Tunis entre 1975 et 1991 à partir d'images satellites (landsat-MSS et Spot, XS et P) et établir un inventaire cartographique et statistique de l'occupation du sol dans le District de Tunis 1990. Les images radars ERSI ont été aussi intégrées pour fournir un complément d'information en matière de classification et typologie de tissu urbain de la ville.

Les résultats du projet ont été intégrés sous forme numérique dans cette base de données urbaines au District de Tunis.

Une deuxième étape du projet se poursuit avec la mise en place d'une véritable base de données urbaines exhaustive et diversifiée où la Télédétection tient une place privilégiée compte tenu de la qualité et de la fiabilité de l'information fournie.

Cette mise en phase a commencé par le dimensionnement et le montage institutionnel de la BDU en vue d'organiser l'intervention des différents opérateurs et faciliter l'échange des différents flux d'informations géographiques.

En pratique l'intégration des différentes données a été entreprise sur un secteur test (sud de Tunis) puis sur la totalité du District par la digitalisation des couches d'informations à partir des plans et cartes en utilisant le logiciel ARC/info.

Le but de cette étape est l'homogénéisation de l'information pour la rendre compatible avec le reste des données de la BDU (Base de Données Urbaines).

Vu leur caractère numérique, les informations issues d'images satellites et fournies par le Centre National de Télédétection ont été facilement intégrées dans la BDU à un niveau de précision cartographique de 1/50.000.

Ainsi la télédétection et le SIG contribuent positivement à la constitution d'une base de données urbaines, véritable outil de planification et de gestion de l'espace urbain du grand Tunis.



## INTRODUCTION

Les gestionnaires de l'espace du Grand Tunis (District de Tunis, Direction Générale de l'Aménagement du Territoire) réalisent des études pour une meilleure planification et un usage rationnel du sol (Plan d'Aménagement Régional, Plan Directeur de l'Urbanisme). Ces études sont élaborées à partir des photographies aériennes, des enquêtes sur terrain et des dossiers de lotissements publics.

Ces études ne couvrent pas l'ensemble du Grand Tunis et occasionnent des coûts très élevés et des délais de réalisation très importants.

Ainsi, un projet pilote, sur l'étude par télédétection de la Pression Urbaine sur les Terres Agricoles dans le Grand Tunis a été mené par le Centre National de Télédétection en collaboration avec le District de Tunis (D.T) et la Direction Générale de l'Aménagement du Territoire (D.G.A.T). Ce projet a bénéficié d'un appui méthodologique et financier de la coopération française.

Les objectifs de ce projet sont:

- Etudier l'évolution de l'agglomération de Tunis entre 1975 et 1991 et son effet sur les terres agricoles
- Etablir une cartographie de l'occupation du sol dans le District de Tunis en 1990
- Mettre en place une première base de données géocodées sur le Grand Tunis

## I- ETUDE PAR TELEDETECTION DE L'OCCUPATION DU SOL ET SON EVOLUTION DANS LE GRAND TUNIS ENTRE 1975 ET 1991

### I EVOLUTION DE L'AGGLOMERATION DE TUNIS 1975 - 1991

#### 1.1 Méthodologie

La cartographie de l'évolution de l'agglomération de Tunis entre 1975 et 1991 a concerné la majeure partie urbanisée du District de Tunis et a été réalisée à partir des données Landsat MSS (75, 81), Spot XS (86, 88, 90, 91) et Spot P (90, 91).

La méthodologie développée pour la réalisation de cette carte repose sur les points suivants:

- les traitements se font d'une manière chronologique de façon à ce qu'une date donnée puisse hériter des informations extraites à une date suivante ou précédente.
- au départ est considérée la date la plus récente (image 91) avec la meilleure précision géométrique (image Panchro: 10 x 10 m) de manière à ne pas surévaluer la taille des urbanisations.
- compte tenu de l'aspect des zones urbaines, leur extraction nécessite l'utilisation mixte de critères spectraux et texturaux. Tenant compte de ces principes, la méthodologie adoptée est résumée dans l'organigramme en annexe N° 1.

#### 1.2 Chaîne de traitements

Pour chaque date, on procède à une analyse de texture en utilisant des critères morphologiques, sur le panchromatique pour les années 91 et 90 et sur le canal rouge pour les images XS, afin de ressortir les contrastes locaux.

Cette analyse de texture débute par la réalisation d'un filtre "chapeau haut de forme". Cet opérateur morphologique consiste à effectuer:

- un filtrage appelé ouverture morphologique (de taille 1) sur le canal panchromatique (XS2). La taille est la demi longueur de la fenêtre de filtrage utilisé; dans le cas présent une fenêtre de 3 x 3 pixels.
- une différence entre le canal panchromatique ou XS2 et le résultat de l'ouverture. Cette opération a la propriété de faire ressortir les petites structures claires (en général le bâti) sur un fond sombre et dans le cas présent de taille inférieure à la fenêtre. En remplaçant l'ouverture par la fermeture, on peut ainsi faire ressortir les petites structures foncées sur un fond clair (le plus souvent, des routes dans les agglomérations).

La somme des résultats de ces deux opérations donne une image permettant de ressortir à la fois du bâti et les routes des agglomérations.

### 1.3 Analyse des résultats

L'extension de la ville de Tunis se caractérise par un développement en tache d'huile selon les tendances majeures ou axes d'urbanisation liés au développement socio-économique de la capitale. Cette avancée urbaine se traduit à la périphérie par le développement de certains pôles urbains grignotant un espace non destiné à l'urbanisation.

Les statistiques des superficies de l'agglomération de Tunis dans le temps sont reportées sur le tableau suivant:

Année	1975	1981	1986	1988	1990	1991
Superficie en ha	6180	11890	15360	16670	19280	19520

L'analyse des résultats montre que l'agglomération de Tunis est passée d'une superficie de 6180 ha en 1975 à 19520 ha en 1991 avec une augmentation d'environ 300 % à raison de 830 ha par an en moyenne.

## 2 ETUDE DE L'EMPRISE DE L'URBANISATION SUR LES TERRES AGRICOLES

La pression urbaine sur les terres agricoles a été analysée à travers la réalisation de documents cartographiques retraçant l'évolution du paysage entre deux dates de référence. Les états choisis sont ceux de 1986 et 1991 qui correspondent aux dates extrêmes pour lesquelles les images SPOT sont disponibles. Les cartes réalisées sont les suivantes:

- Nature des sols urbanisés;
- Etat réglementaire des espaces urbanisés;
- Evolution des périmètres irrigués.

### 2.1 Carte de la nature des sols urbanisés 1986-1991

La comparaison des masques urbains de 86 et 91 permet de ressortir les zones urbanisées entre ces deux dates. Sur ces zones, on cartographie l'occupation du sol en 1986. L'analyse de cette carte montre que l'emprise s'est faite principalement sur les sols agricoles situés soit à la périphérie de l'agglomération de Tunis (Mannouba, Essijoumi, etc.) soit aux environs des noyaux urbains secondaires en plaine extension ( Oued Ellil, Fouchana, Mornaguia, Soukra, etc..). Ces sols occupaient une superficie d'environ 2500 ha ce qui correspond à une moyenne de 500 ha perdus chaque année au profit de l'urbanisation.

### 2.2 Objectifs de la BDU du District de Tunis

Le but recherché par le District de Tunis est de permettre la bonne cohérence des interventions dans la région de Tunis est d'assurer une assistance technique au x collectivités publiques et locales, de ce fait, il a toujours éprouvé le besoin d'une information urbaine à la fois fiable, disponible et inter-active.

Pour l'élaboration d'études spatiales thématiques ou sectorielles, les techniciens comme les politiques font appel à des informations soit en les prenant telles quelles à la source, soit en les modifiant, soit, enfin, en créant des informations non disponibles ou peu fiable. Ainsi, des dizaines d'enquêtes de toutes sortes ont eu lieu portant sur des sujets et des territoires très diversifiés à travers le District de Tunis.

La masse d'information que doit manipuler le District de Tunis pour l'accomplissement de ces missions d'études, de coordination, de contrôle et de suivi requiert une bonne connaissance sans cesse actualisée.

Etant donné l'interdépendance des différents secteurs impliqués dans le fonctionnement de la région il est primordial de garantir la cohérence à ce niveau en optant pour un découplage des différents intervenants, et ceci passe par une meilleure circulation de l'information gérée par un système informatisé qui est la base des données urbaines du District de Tunis.

### **2.3 Avancement des travaux de la BDU**

Actuellement les travaux d'alimentation de la BDU se poursuivent par la saisie, par numérisation des couches d'information cartographique de base au niveau de l'îlot urbain en tant qu'unité élémentaire de la gestion urbaine de la ville de Tunis.

La saisie des données s'appuie sur une couverture cartographique allant de l'échelle 1/5.000 jusqu'à 1/50.000 en fonction de la précision voulue. Parallèlement, des travaux d'intégration du réseau routier sont en cours sur la totalité du périmètre du District.

L'ensemble des travaux de saisie et d'intégration utilise les performances du logiciel ARC-INFO.

### **2.4 Intégration des résultats de télédétection dans la BDU:**

Les images résultats du projet ont été récupérées sous ARC-INFO en leur associant des attributs géographiques. Par la suite elles ont été vectorisées. A chaque couverture créée, une topologie et une table attributaire a été associées.

Les produits obtenus au format ARC-INFO (logiciel de gestion de bases de données géographiques installé à la Direction Générale de l'Aménagement du Territoire et au District de Tunis) sont directement exploitables par les utilisateurs.

## **3. EVALUATION DE LA PERFORMANCE DES CLASSIFICATIONS**

Une évaluation de la performance des classifications a été réalisée en comparant les résultats de la classification numérique aux données relevées sur terrain dans des segments de 1 Km X 1 Km uniformément réparties sur l'image et choisies par tirage au hasard. Les taux d'identification obtenus sont de 90,9% pour l'urbain, 70,7% pour l'agricole et 67,5% pour le milieu naturel. En ce qui concerne le milieu urbain, le taux d'identification obtenu montre l'intérêt de l'utilisation des procédures d'interprétation visuelle, sur l'image panchromatique, et automatiques pour les données multispectrales dans les classifications. Les résultats obtenus pour le milieu agricole et naturel sont moins satisfaisants en raison de la non disponibilité des images d'une autre saison permettant de lever certaines confusions qui sont apparues entre les sols nus, les grandes cultures et les friches agricoles. Ces thèmes présentent des réponses voisines au cours du mois de Juillet (date de prise de vue des images).

## **4 APPORT DES DONNEES ERS - 1 A LA CARTOGRAPHIE DES ZONES URBAINES**

Les possibilités de cartographie des zones urbaines à partir des données radar ont été testées sur des images ERS-I de Août et Octobre 1991.

Ces tests n'ont pas abouti à des résultats probants en raison du niveau de speckle élevé de ces 2 images. Ceci semble être dû au fait qu'elles ont été acquises pendant la phase de réception du satellite. Cependant en utilisant le masque urbain extrait à partir des images SPOT, certains thèmes ont pu être distingués.

On effectue un flitrage moyen de 9 x 9 de l'image. A partir de l'image résultat  $f(x,y)$  on calcule une image  $g(x,y)$  suivant la formule suivante:

$$g(x,y) = \sum_{i=x-12}^{x+12} \sum_{j=y-12}^{y+12} A(f(i,j) > m + 3\sigma)$$

où

A = 1	:	Si la condition est vérifiée
A = 0	:	Si la condition n'est pas vérifiée
m	:	moyenne de l'image
$\sigma$	:	l'écart type de l'image
$f(i,j)$	:	l'image filtrée

Un seuillage sur l'image résultat permet de ressortir d'une façon globale (contours non précis). Les zones industrielles et le centre ville caractérisés par des bâtiments de grandes tailles et souvent en toitures métalliques ondulées pour les zones industrielles.

## II-INTEGRATION DES RESULTATS ISSUES D'IMAGES SATELLITES DANS LA BDU DU DISTRICT DE TUNIS:

### 1.1 LA BASE DE DONNEES URBAINES:

Le projet de base de données urbaines a comme champ d'étude l'espace appelé communément la zone du district de Tunis, vaste territoire composé de trois gouvernorats de Tunis, BEN AROUS et l'ARIANA, et qui s'étend sur un espace dont la superficie est estimée à 300.000 Ha.

### 1.2 Carte de l'état réglementaire des espaces urbanisés 1986 et 1991

Cette carte a été obtenue en croisant le masque des zones urbanisées entre 86 et 91 et la carte de la protection des terres agricoles élaborée par les services du Ministère de l'Agriculture selon la loi de protection des terres N° 83-87 du 11 Novembre 1983.

Cette carte met en évidence deux types de dépassement

- une consommation de l'espace par l'urbain en zone d'interdiction:

Ces espaces sont localisés essentiellement dans la zone Ouest (Mannouba, Ezzahrouni, Essijoumi, etc.), autour des centres urbains secondaires (Mornaguia, Oued Ellil) et parfois autour des parcs forestiers (Boukormine, Radés et Gammart). Ce type de dépassement a envahi environ 530 Ha, soit un rythme annuel d'environ 100 Ha.

- une consommation de l'espace en zone de sauvegarde: ces espaces sont situés dans des zones à vocation agricole. Ce type de dépassement a envahi environ 680 Ha soit 140 Ha par an.

### 1.3 Carte de l'évolution des périmètres irrigués 1986-1991

Cette carte est obtenue à partir du croisement du masque des zones urbanisées entre 86 et 91 et la carte numérisée des périmètres irrigués.

Cette carte montre la disparition de certains périmètres irrigués occupés actuellement par des nouveaux quartiers d'habitat réglementé et spontané. Cette perte est évaluée à 800 Ha, soit un rythme annuel de 160 ha. De nouveaux périmètres correspondant à la mise en culture de nouvelles parcelles non exploitées auparavant ont été identifiés. Ce gain est évalué à 760 ha, soit un rythme annuel de 150 ha.

## 2 CARTOGRAPHIE DE L'OCCUPATION DU SOL

La carte d'occupation du sol a été réalisée sur les images de 90 (date de revision du Plan Directeur de l'Urbanisme (P.D.U)). Cette carte a été établie à partir d'une mosaïque d'images SPOT multispectrale, une image SPOT panchromatique et a concerne la quasi-totalité du territoire du District de Tunis.

La méthodologie développée pour la réalisation de cette carte repose sur les points suivants:

- extraction automatisée de l'urbain par analyse de texture;
- séparation par photo-interprétation de l'habitat/non habitat dans la zone urbaine;
- approche multirésolution pour l'analyse des thèmes urbains à histogrammes multimodaux (ex. bâti boisé)

L'organigramme en annexe N° 2 présente la méthodologie adoptée:

### CONCLUSION

Ce projet a permis de tirer les conclusions suivantes:

- Les résultats obtenus confirment l'adéquation des données SPOT dans la cartographie du milieu urbain. Les possibilités des images ERS-1 n'ont pas été bien exploitées au cours de cette étude en raison de la qualité des images utilisées. Ils nous semble qu'une complémentarité entre les données SPOT et ERS-I est tout à fait envisageable pour la cartographie des thèmes de l'urbain. Les images ERS-1 sont intéressantes dans la séparation automatique des zones d'activités ou industrielles et l'habitat alors que les données SPOT se prêtent bien à une classification de l'habitat.

- Cette étude a été l'occasion de développer une méthodologie adaptée au milieu urbain et a permis d'obtenir des résultats fiables dans les délais raisonnables.

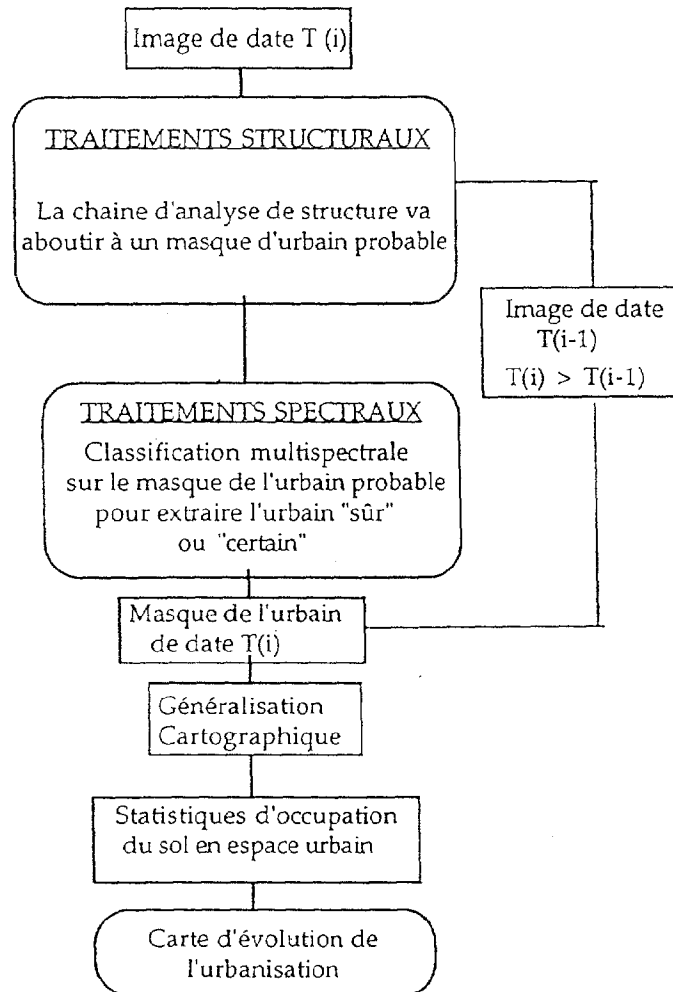
- Les produits cartographiques de cette étude ont pleinement contribué à l'enrichissement des bases des données géographiques des organismes responsables de la gestion du territoire du Grand Tunis (BDU).

Ainsi la télédétection contribue à l'alimentation et l'actualisation des données géographiques de la base de données urbaines mise en place au District de Tunis, principal gestionnaire de l'espace du Grand Tunis.

### BIBLIOGRAPHIE

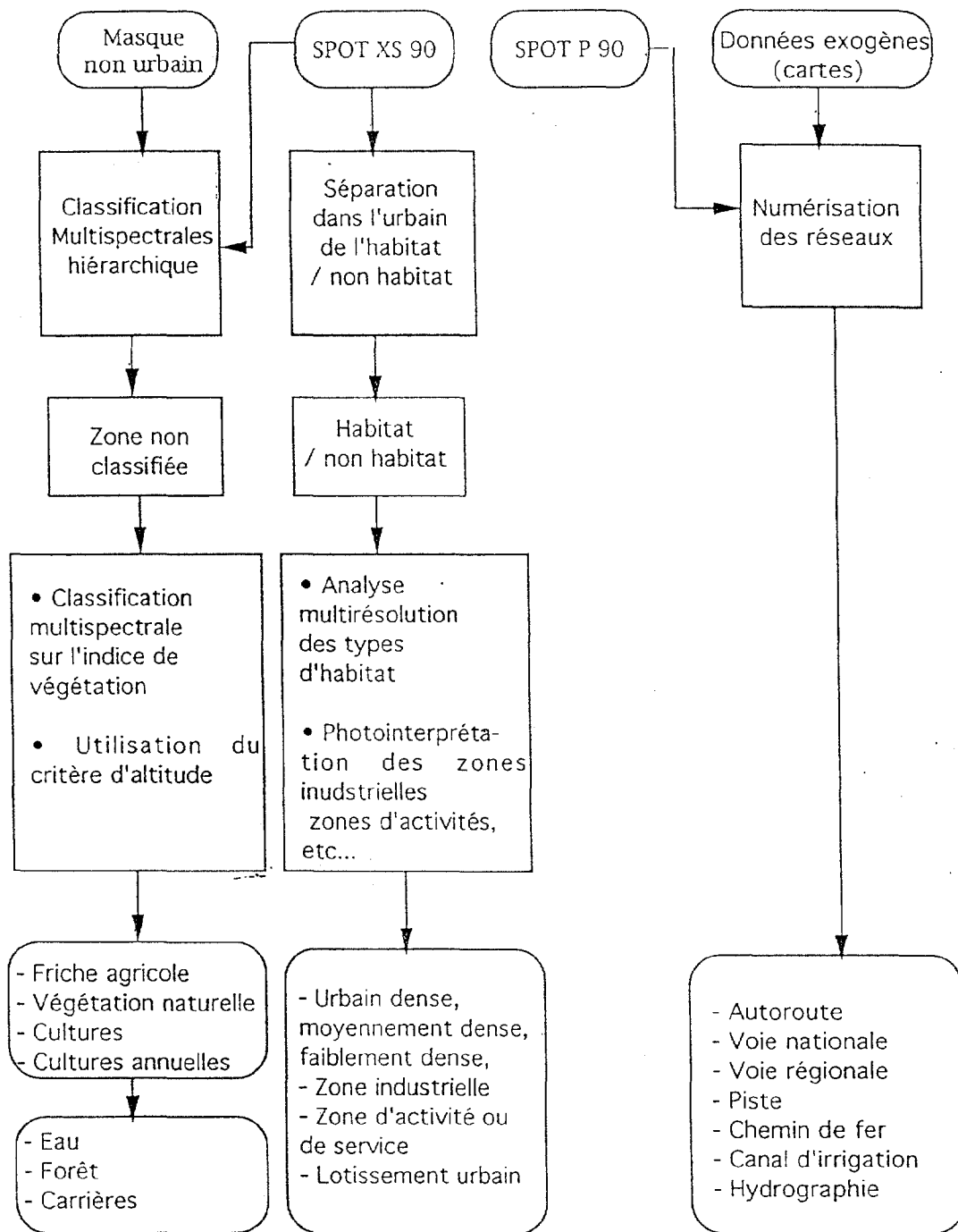
- |                          |  |
|--------------------------|--|
| D.G.A.T (1985)           | Schéma Régional d'Aménagement du Territoire Rapport final volume 3-1985  |
| District de Tunis (1989) | Plan Directeur d'Urbanisme du Grand Tunis Note d'orientation   |
| HERVE A. et al. (1990)   | Extraction d'éléments textures dans les images SPOT. Rapport de stage. ISTAR et INRIA  |
| MACHAT Moncef (1992)     | Etude de la pression urbaine sur les terres agricoles. International Space Year - ISY 1992   |
| MESSAR Y. et N. (1992)   | Segmentation d'images satellitaires pour la caractérisation de l'espace urbain: Cas de la ville d'Oran ISY 1992  |
| MICHEL A. et al. (1987)  | L'utilisation de la télédétection pour l'observation des populations urbaines. Une recherche en cours à Quito (EQUATEUR). SPOT 1. Utilisation des images, bilan, résultats. pp 505-514 |

Annexe n° 1



Organigramme de la méthodologie de réalisation de la carte d'évolution de l'agglomération de Tunis

ANEXE 2 : ORGANIGRAMME DE LA METHODOLOGIE DE REALISATION DE LA CARTE D'OCCUPATION DU SOL DANS LE GRAND TUNIS :



663

# PROJET DE MISE EN PLACE D'UN SYSTEME D'INFORMATION POUR LA GESTION DU DEVELOPPEMENT URBAIN

**H. DRIDI**

Ministère de l'Équipement et de l'Habitat, Tunisie

## I. INTRODUCTION :

Le petit Larousse donne au terme informatique la définition suivante : « Science de traitement rationnel, notamment par machines automatiques, de l'information considérée comme support de connaissances et de communications dans les domaines : technique, économique et social ».

De cette définition, on retiendra « le traitement automatique de l'information ». En effet, le terme informatique vient de la contraction des mots information et automatique; c'est à dire la rapidité, la précision et la bonne présentation.

L'informatique dispose maintenant d'outils simples, souples et précis où le dessin est « discrétisé » en objets : des segments de droites, des cercles, des arcs de cercles etc... faciles à « paramétrer » et à manipuler à l'aide de l'ordinateur avec la possibilité de séparer le plan en couches d'informations (parties superposables à volonté) permettant un meilleur rendu.

Tous ceux qui ont pratiqué le dessin connaissent les journées passées à tracer des hachures et des cotations sans atteindre la qualité souhaitée.

## II. PRESENTATION DU PROJET :

### A) Présentation de la situation actuelle :

La direction de l'Urbanisme du Ministère de l'Équipement et de l'Habitat dispose d'environ 1500 plans topographiques de format A0 et d'un nombre similaire de plans d'aménagement nécessitant d'être mis à jour pour suivre le développement des agglomérations.

L'exploitation de ces documents et des données descriptives qui les accompagnent (réglementation et autres) présentent certains inconvénients :

- ° Gestion difficile, voir impossible;
- ° Fabrication longue et coûteuse (de l'ordre de 2 à 3 ans, date à laquelle, elles seront dépassées par les événements...);
- ° Document figé;
- ° Extraction difficile de l'information recherchée;
- ° Présentation médiocre;
- ° Reproduction difficile.



## **B) Mise en place d'un système d'Information :**

La masse importante des cartes et des informations mène, la Direction de l'Urbanisme, à décider de faire appel au service de l'informatique pour permettre aux différents intervenants d'être servis rapidement, si possible à l'instant où l'information se produit, et ce, malgré la complexité des problèmes traités.

Cette volonté requiert la mise en place d'une cellule fonctionnelle d'exploitation du système d'information pour la gestion du développement urbain : soit, installer, au sein de la Direction de l'Urbanisme, un moyen automatique de saisie, de traitement et de transmission des informations relatives à l'ensemble de la cartographie et des autres données urbaines.

Ce système manipulera deux types d'objets : des entités graphiques et des entités descriptives porteuses d'informations quantitatives et qualitatives (densité de population, affectation des sols, etc...). Le système comblera les possibilités de dessin de cartes assisté par ordinateur (D.A.O.) avec les capacités de manipulation de données d'un système de gestion des bases de données (S.G.B.D.).

Ainsi le logiciel, « SIG », de gestion du système d'information sera bâti par des algorithmes qui attaquent un ensemble de fichiers de bases de données urbaines où figurent, en plus des informations traditionnelles, les localisations géographiques des informations qui permettent de faire réaliser des études thématiques, sociales et statistiques sur les différentes zones.

### **1) Avantages des Systèmes d'Information :**

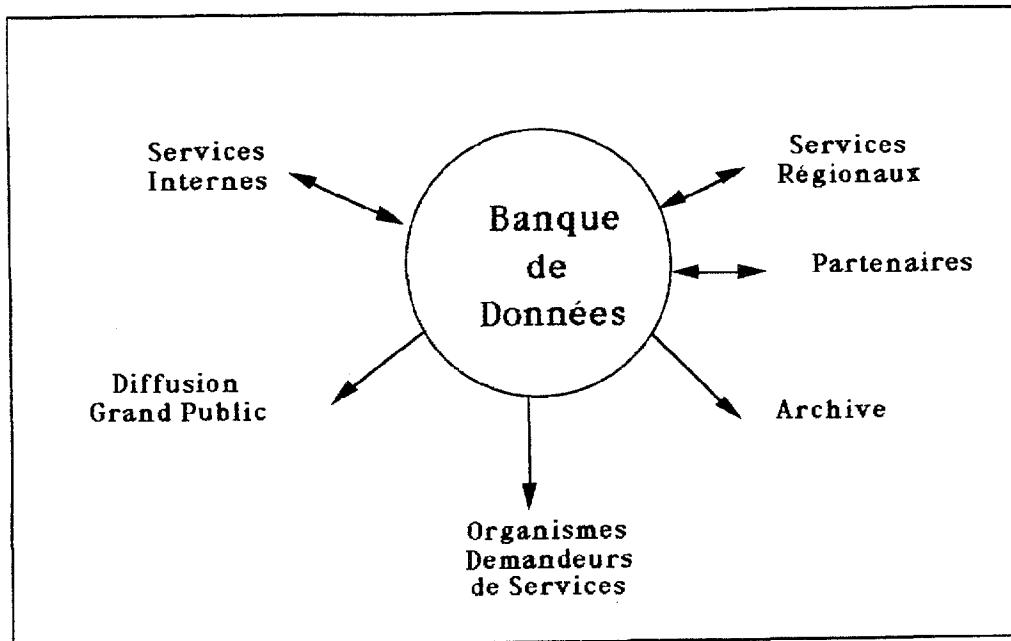
- Les données sont stockées sous forme informatique, donc condensées; elles peuvent être extraites facilement et à faible coût;
- L'outil informatique permet d'améliorer la précision et la vitesse d'exécution de certaines opérations;
- La mise à jour rapide, voir à temps réel est possible;
- La mise à la disposition de toutes les données;
- L'échange rapide des informations;

### **2) Inconvénients des Systèmes d'Information :**

Le principal inconvénient des Systèmes d'Information est leur coût (coût d'acquisition du matériel et des logiciels; coût d'acquisition des données sous forme numérique; recrutement du personnel spécialisé et frais de formation; coût de maintenance, d'administration et de mise à jour des bases de données.).

### III. ORGANISATION SPATIALE ET OUTILS :

Au niveau central une banque de données sera installée destinée à assurer les fonctions d'échanges d'information avec les différents intervenants comme le montre le graphique suivant :



Partenaires : OTC; CNT; CNI; IRSIT; INS; INM; MA; MP; CGDR; SONEDE; STEG; ONAS; Municipalités; Collectivités P.L. etc...

Figure 1.

Le système évoluera, par la suite, vers les régions où des banques de données urbaines régionales seront installées à l'intérieur du pays et plus précisément à l'échelle des communes pour qu'elles puissent gérer leurs études urbaines. Ces communes adresseront à la Direction de l'Urbanisme les informations utiles au moment opportun pour mettre à jour la banque de données centrale.

Pour mettre en pratique ce système, on choisira une commune pilote, dont le Plan d'Aménagement doit comporter différentes vocations (habitat, habitat spontané, industrie, équipements, terres agricoles, etc.). A cet effet, la transmission des informations entre la banque de données régionale et celle de la Direction de l'Urbanisme se fait par l'intermédiaire d'une ligne de télécommunication (modem). Les mêmes démarches seront entreprises avec les autres communes de la Tunisie.

Les principales fonctions du Système d'Information sont :

- L'acquisition et la saisie des données graphiques et descriptives;
- L'habillage et les traitements;
- L'analyse et le croisement des données;
- Le stockage, la gestion et la mise à jour des données;
- La restitution, sous forme de cartes, de plaquettes, de rapports et de tableaux.

La masse des données et des traitements exige un matériel spécialisé de performance et de capacités suffisantes pour accomplir les fonctions citées plus haut.

556

## "Organisation de la Salle de traitement"

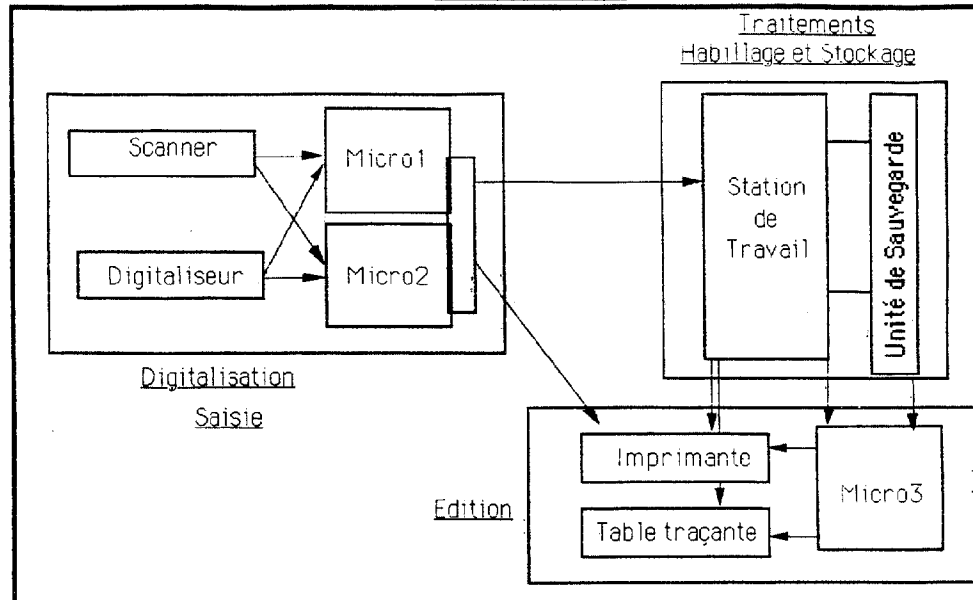


Figure 2

### **VI. ORGANISATION PREVISIONNELLE DU TRAVAIL :**

Les nouvelles formes d'utilisation et de communication des systèmes d'information nécessitent de repenser les organisations de travail depuis les agents d'exécution jusqu'aux décideurs. La mise en place d'un système d'information n'est pas seulement un problème informatique, mais surtout un problème d'organisation et de nouvelles structures qui apparaissent.

Ce qu'on propose, ici, est une organisation du métier « Gestionnaire de Système d'Information » et ses finalités pour mettre en place les moyens adéquats, avec le maximum d'efficacité et le minimum d'efforts.

Pour aboutir aux finalités voulues on a constaté qu'il faut :

- Bien analyser les services à rendre;
- Définir les opérations à entreprendre ou un plan d'action;
- Ecrire la définition du métier et les définitions des emplois qui les constituent;
- Analyser la situation existante (ampleurs des travaux, moyens humains et matériel, rendements, etc.)

#### **Cône d'évolution du métier :**

Le schéma ci-après s'appelle le cône d'évolution du métier : il regroupe l'ensemble des activités qui constituent le métier. Les activités sont représentées par des rectangles blancs mis dans un ordre qui permet de visualiser la responsabilité de l'agent et son évolution dans le métier. En effet, une ou plusieurs activités sont délimitées par un contour fermé qui définit l'emploi d'un ou de plusieurs agents, en tenant compte du volume de travail et des rendements.

**Métier: Gestionnaire de  
Système d'Information**

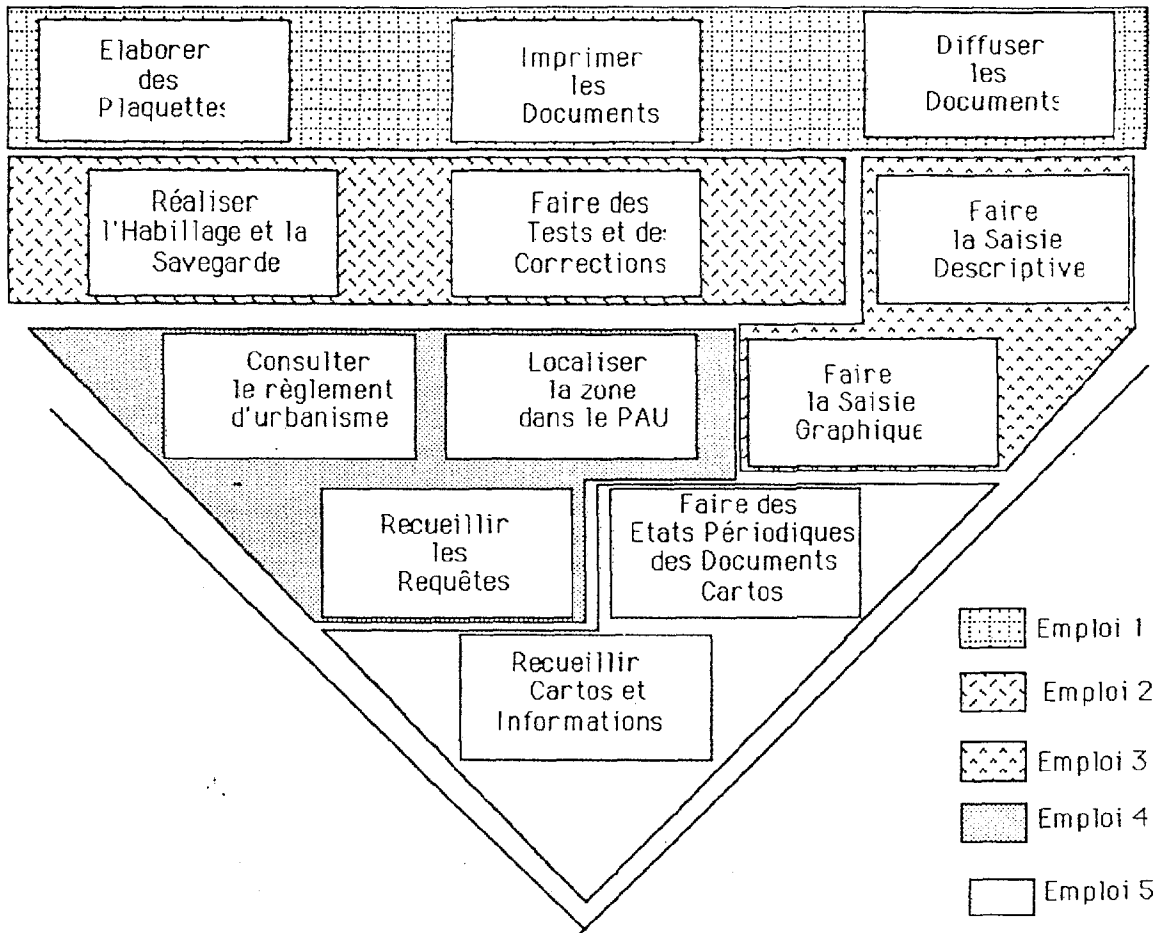
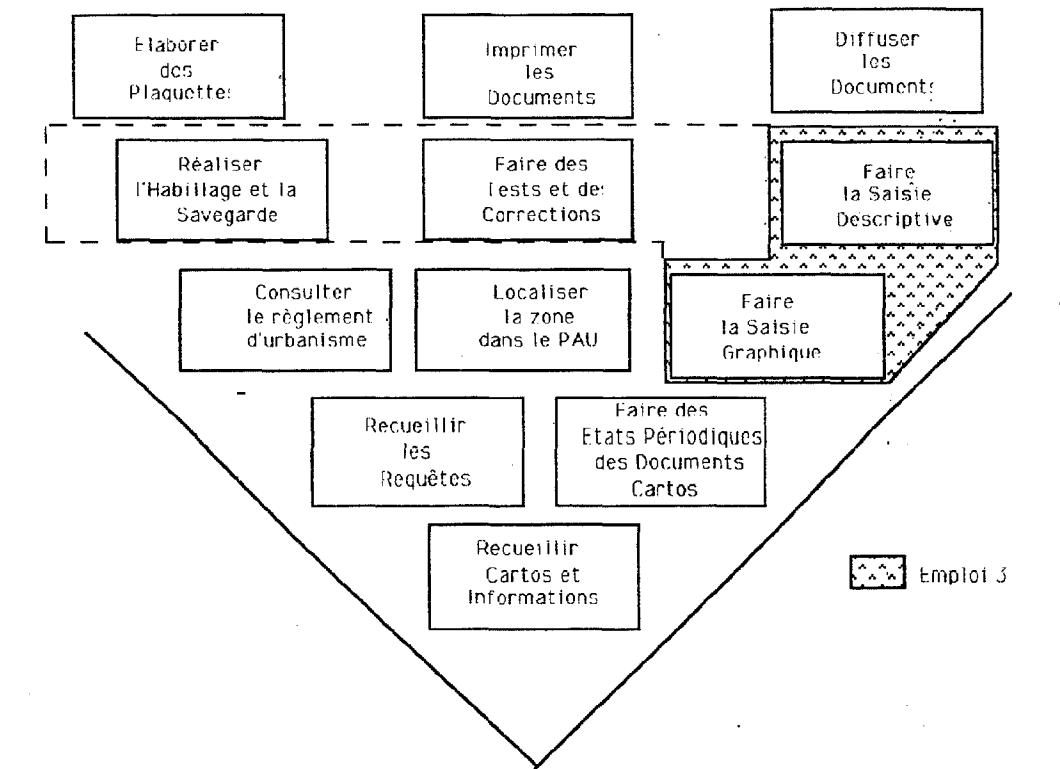


Figure 3

558

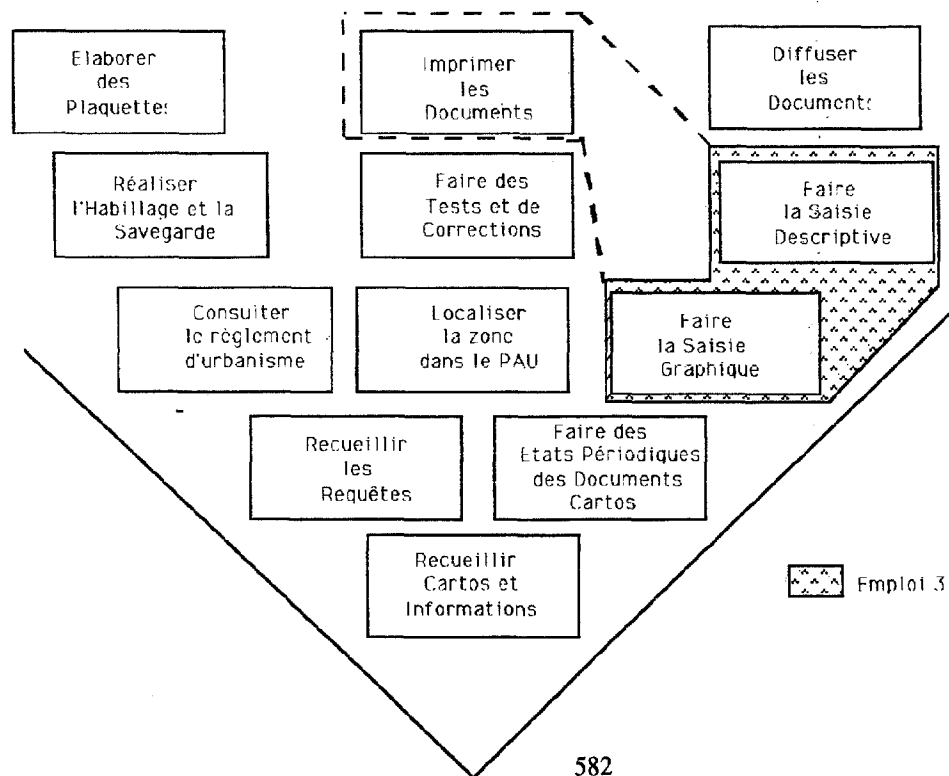
## Contour de l'emploi Futur :

### "Nécessité de Service"



## Contour de l'emploi Futur :

### "Volonté de l'Agent "



669

Si on considère l'agent qui occupe l'emploi n° 3, par exemple :

- il doit être préparé pour qu'il occupe l'emploi suivant par nécessité de service;
- il peut exécuter d'autres activités qui ne sont ni à sa charge ni constituant une nécessité de service, mais qui répondent à une volonté et satisfaction personnelle de l'agent.

Cette représentation nous a permis d'écrire la définition du métier, les définitions des emplois dans la cellule, de faire les affectations et d'établir un plan de formation et de stages pour le personnel.

Nous devrions travailler avec des prévisions pour pouvoir atteindre nos objectifs, et ce, moyennant des diagnostics périodiques pour constater, analyser les écarts et y remédier. Il est important de préparer, prévoir, organiser, contrôler. Il est tout aussi important de savoir maintenir les collaborateurs «en poussée de sève», favoriser leur créativité, leurs initiatives, leur goût du travail moyennant des stages de formation, de recyclage, en se basant sur de bonnes relations humaines à l'intérieur de l'unité : on réussit mieux en étant ouvert aux innovations.

## V. CONCLUSION :

L'introduction des logiciels « SIG » dans un organisme ne se limite pas à une installation de matériel informatique complémentaire. Les efforts de réflexion préalables que nécessite la mise en place de ce concept dans le système général d'information de l'organisme, les travaux nouveaux liés à la saisie des données, les modifications d'organisation nécessitées par l'installation des procédures de mise à jour et de consultation de la base de données, modifient profondément le mode de transmission des connaissances.

Par ailleurs, l'importance des coûts liés à l'acquisition et à l'exploitation des données ainsi que les redondances des informations dont l'organisme en question et les administrations extérieures ont besoin, imposent une forte collaboration entre tous les acteurs qui ouvrent sur le territoire de l'organisme. C'est à dire qu'il ne s'agit pas de mettre en place un Système d'Information et de l'exploiter : Le succès d'une telle alternative est tributaire du concours des efforts de tous les partenaires pour contribuer et actualiser périodiquement les données urbaines qui alimentent la banque.

# PROJET REGISTRE FONCIER URBAIN DE COTONOU

## UNE REALISATION DE L'IGN BENIN: PLAN PARCELLAIRE DE COTONOU, VERS UN SYSTEME D'INFORMATIONS GEOGRAPHIQUES URBAINES

**A. FANNOU**  
IGN-Bénin

### **1 Introduction**

Une des composantes principales du projet de gestion et d'aménagement urbain est la mise en place à Cotonou d'un Registre Foncier Urbain (RYU) dont les objectifs premiers sont:

- l'accroissement des ressources de la Circonscription Urbaine en rationalisant l'évaluation et la localisation de la matière imposable ainsi que l'identification et l'adressage des contribuables,
- l'amélioration de la gestion foncière par l'inventaire et la localisation des droits fonciers.

La localisation des parcelles et des contribuables passe par la mise en place d'un système d'adressage qui définit un numéro unique d'identification de la parcelle. Celle-ci étant repérée sur un plan (dit plan de repérage).

L'évaluation de la matière imposable et l'identification des contribuables issus des données collectées au cours d'une enquête exhaustive réalisée par les services des impôts.

Le Service d'Etudes Régionales, d'Habitat et d'Aménagement Urbain du Bénin (SERHAU) a piloté l'ensemble du Projet RFU, l'Institut Géographique National du Bénin s'est vu confier la réalisation du plan de base.

L'Etablissement de RFU se situant dans le cadre d'un projet plus général d'amélioration de la gestion et de l'aménagement urbain, il a été décidé de profiter de la mobilisation des moyens nécessaires à sa réalisation pour produire des documents et collecter des informations dont l'utilité dépasse largement les objectifs initiaux du RFU.

Ainsi, le questionnaire d'enquête ne s'est pas limité aux données fiscales et foncières mais recueille aussi des informations concernant les activités professionnelles, la qualité du bâti, l'état des équipements, les conditions de vie, etc.

De même, le plan de repérage prévu initialement peut être considéré comme un plan parcellaire général de la ville du fait de sa précision sur les limites de parcelles et de son exhaustivité. Il devient alors le plan de base pour tous les utilisateurs de la cartographie parcellaire de la ville de Cotonou et servira de "couche de référence" au système d'informations urbaines.

Quelques données sur la ville de Cotonou permettront d'évaluer l'ampleur des travaux:

- la population est de 650.000 habitants;
- la superficie est de 7.000 hectares (la superficie traitée ici étant de 6.000 hectares, 1.000 hectares n'étant pas encore lotis);
- il y a environ 60.000 parcelles regroupées en 3.700 îlots et 700 km de rues à traiter;
- dans le découpage adopté, l'ensemble du plan à 1/2.000 couvre 28 feuilles au format A0.

## 2 Le plan parcellaire général

### 2.1 Description du contenu

Le plan à réaliser dans le cadre du RFU: plan de repérage établi à l'échelle de 1/2.000 devait comporter les éléments suivants:

#### 2.1.1 Données topographiques de repérage

- voirie,
- immeubles importants,
- bâtiments publics,
- hydrographie principale.

#### 2.1.2 Données administratives

- limites des districts communes, quartiers;
- toponymie (noms des quartiers, des rues, des bâtiments publics, ...).

#### 2.1.3 Données foncières

- limites des îlots et de parcelles physiques;
- numéros des quartiers, des îlots, des parcelles.

### Remarques

Un îlot est constitué d'un ensemble de parcelles contiguës bordé de rues. On appelle ici parcelle physique, une parcelle physiquement délimitée sur le terrain par des éléments permanents (bornes, murs, haies, façades, clôtures, etc.) et qui constitue un objet fiscal. Les documents existants (schémas de lotissement, répertoires, anciens plans parcellaires) n'ayant pas été récoltés, ni mis à jour lors des mutations (divisions et regroupements) décrivent une parcelle administrative qui ne correspond plus à la réalité du terrain.

### 2.2 Processus

Afin de rester dans les limites de coûts imposées par l'objectif initial, mais néanmoins atteindre une précision suffisante pour d'autres utilisations, le processus mis en oeuvre fait appel au maximum à la documentation existante et tente de réduire les travaux topographiques.

#### 2.2.1 Inventaire de la documentation existante

##### 2.2.1.1 Documentation topographique

- Répertoire des coordonnées des points de triangulation complémentaire de la ville de Cotonou déterminés par l'IGNF en 1981 pour l'établissement du plan topographique à 1/5.000.
- Sortie sur film polyester à 1/2.000 du plan topographique à 1/5.000 réalisé par l'IGNF en 1982.
- Prise de vues aériennes à 1/10.000 effectuée en 1989 par l'IGNF.

##### 2.2.1.2 Documentation foncière

- Anciens plans fonciers à l'échelle 1/2.000 réalisés avant 1950 sur la vieille ville (15%).

562



- Plans de lotissement à l'échelle 1/2.000: plans ayant servi à l'implantation des lotissements. Les coordonnées des bornes à implanter sont mesurées sur ce plan (25%).
- Schémas des lotissements implantés portant les dimensions des parcelles (50%).
- Répertoires des coordonnées de bornes délimitant les îlots et les parcelles lorsque celles-ci ont été déterminées ( 10 % ).

Les plans fonciers, les plans de lotissements et les répertoires sont fournis dans des systèmes de coordonnées locales propres pour chaque zone.

## 2.2.2 Réalisation pratique

### 2.2.2.1 Mise en place des îlots

A partir des plans topographiques révisés en 1991 par l'Institut Géographique National du Bénin et des plans de lotissements ou des coordonnées des bornes, il est établi un plan à 1/2.000 sous forme graphique comportant la limite précise des îlots et des thèmes topographiques.

### 2.2.2.2 Le plan parcellaire

Le plan des îlots a servi à la mise en place des parcelles grâce aux documents topographiques et fonciers.

Autres étapes importantes caractérisent cette phase:

- parcours systématique du terrain par des équipes topographiques chargées:
  - . d'identifier, de confirmer et de mesurer la limite des parcelles physiques réelles,
  - .de positionner les entrées de parcelles bordant les rues,
  - .de positionner les entrées de parcelles,
  - .de collecter des informations sur la nature de certains objets géographiques (voies, parcelles, etc).
- Numérotation des parcelles dans le système d'adressage défini par le SERHAU (QIP) identifiant sans équivoque chaque parcelle.
- Numérotation des rues et des entrées de parcelles dont le marquage provisoire à la craie assure la validation supplémentaire du plan parcellaire.

### 2.2.2.3 Quelques difficultés

L'absence d'archivage et d'entretien des plans de lotissement d'une part et la disparité des levés opérés par divers cabinets de géomètres ont rendu pénible l'intégration de toutes les données.

Aussi, il est souhaitable que le plan parcellaire de Cotonou serve de document de base pour la réalisation des levés ultérieurs favorisant ainsi l'uniformité des levés.

## 2.3 Information

Dans le but de créer la "couche de référence" du système d'informations urbaines qui sera constitué par le SERHAU à partir de la base de données issues des enquêtes, l'IGNB a entrepris de numériser l'ensemble des données figurant sur le plan graphique.

Le processus est le suivant:

- récupération des données topographiques et de repérage dans les fichiers restitués IGNF 82
- numérisation des données topographiques et de repérage nouvellement restituées ou issues du complètement de terrain
- numérisation des données foncières,
- nouveau contrôle de la mise en place du parcellaire par croisement avec les fichiers IGNF 82.

Ces données ont été saisies par couches nécessaires afin de favoriser la gestion future des plans urbains. Leur distribution se fera au format d'échange (DXF) qui est le plus utilisé dans le monde.

Par ailleurs, les fichiers peuvent être livrés aux clients dans les formats de dessins des logiciels Autocad ou Microstation.

## 3 Les moyens

La réalisation du plan parcellaire sous forme graphique a duré 18 mois (du 1/03/91 au 1/09/92).

Les moyens matériels utilisés sont ceux disponibles à l'IGN Bénin: véhicules, équipement de topométrie, stéréorestituteur, matériel de dessin, matériel de reproduction.

La documentation géographique (plans topographiques à 1/2.000 et photographies aériennes récentes) existaient.

La documentation foncière, très souvent en mauvais état de conservation, a pu en grande partie, être récupérée auprès des différents producteurs (géomètres, organisme chargé des lotissements, etc. ).

La mobilisation du personnel a été la suivante:

- 8 mois-technicien de stéréorestitution;
- 4 mois-équipe de topométrie;
- 5 mois-équipe de complètement terrain;
- 30 mois-équipe de mesures de façades de parcelles;
- 60 mois-dessinateur.

La numération et l'édition des plans se font sous Microstation.

Le projet a financé l'acquisition:

- d'une station de numérisation avec un PC 486/33 équipé de Microstation PC et une table numériser OCE Graphics au format A;

- d'une station d'édition composée d'une station de travail Intergraph (Interpro 2000) et d'un traceur au format A0 HP DRAFTMASTER.

La production du plan numérique a commencé en octobre 1992 et devrait s'achever en Mai 1993 en mobilisant 24 mois-technicien.

#### 4 Les résultats

L'objectif initial de réaliser un plan de repérage exhaustif des parcelles de la Circonscription Urbaine de Cotonou afin de localiser la matière imposable et contribuables a été atteint. Les enquêtes foncières et fiscales de la Direction des Impôts qui s'appuient sur ce document le confirment.

En outre, l'exigence supplémentaire de précision au niveau du positionnement des flots, les nombreuses mesures sur le terrain, la comparaison entre les données administratives et les données topographiques, le processus par étapes avec le contrôle conduit à une précision sur limites de parcelles physiques inférieures à 0,50 m. Ceci est corroboré par le croisement des données topographiques (murs, haies, clôtures) et des données foncières (limites de parcelles).

La base de données cartographiques obtenue comporte déjà les couches suivantes:

- voirie,
- bâti,
- hydrographie,
- orographie,
- limites de parcelles
- limites administratives,
- toponymie (noms et numéros des rues, numéros des parcelles, adresses des parcelles, noms des quartiers, des bâtiments publics, etc.),
- réseau de points géodésiques et de points complémentaires.

#### 5 Les coûts

En prenant en compte les coûts de production au niveau de l'Institut Géographique National du Bénin (personnel, amortissement des équipements, consommables, frais généraux) on peut estimer le prix de revient de l'établissement du plan graphique à 40 millions de francs CFA. Il se décompose de la façon suivante:

- |                         |          |
|-------------------------|----------|
| - documentation:        | 1 MFCFA  |
| -stéréorestitution:     | 4 MFCFA  |
| -topographie flots:     | 8 MFCFA  |
| -topographie parcelles: | 15 MFCFA |
| -dessin:                | 12 MFCFA |

L'équipement de cartographie numérique a nécessité un investissement de 20 MFCFA. Les travaux de numérisation hors amortissement du matériel sont estimés à 8 MFCFA. Il convient de signaler que ces coûts méritent d'être actualisés; les travaux ayant été effectués avant la dévaluation du Franc CFA.

## 6 Perspectives

### 6.1 Applications immédiates

Le plan parcellaire général de la ville de Cotonou tel qu'il est conçu (précision, exhaustivité, mise à jour permanente diffusion aisée) permet d'envisager de nombreuses applications:

- il devient le fond cartographique commun à tous les utilisateurs potentiels reposant sur le système géodésique en vigueur à Cotonou;
- il constitue un plan de repérage fiable basé sur une première localisation par référence parcellaire (QIP) et une autre par adresse (REP). Les premiers bénéficiaires seront l'Office des Postes et Télécommunications (distribution du courrier, localisation des abonnés), la Société Béninoise d'Electricité et d'Eau (abonnés), la Direction des Impôts (RFU), les pompiers, la sécurité, ...;
- sa qualité métrique permet d'envisager une utilisation comme plan d'études pour les concessionnaires de réseaux, les services de la voirie, les services de l'urbanisme d'une part, et plan de base pour les levés des corps de rue, le calcul des surfaces des entités géographiques;
- la numérisation du plan permet déjà de nombreuses éditions: changements d'échelle, sélection des thèmes.

### 6.2 Vers un système d'informations géographique urbaines

On entend ici par un système d'informations géographiques urbaines, l'ensemble des données numériques urbaines structurées muni d'un système informatique qui permet une gestion harmonieuse de toutes les données graphiques et alphanumériques de la ville.

Premier pas vers un système d'informations géographiques: la numérisation du plan parcellaire de Cotonou permet de bénéficier de nombreuses possibilités offertes par l'informatique:

- Edition diverses:

- changement d'échelle,
- sélection par thème,
- dessin par entités géographiques.

- Mise à jour facile.

Une fois les données collectées, mémorisées dans les fichiers, il est très facile de les réutiliser pour modifier, supprimer, ajouter, déplacer les éléments. Le dessin automatique permettra de réaliser un plan à jour.

Un système d'information géographique se constituera sur cette base cartographique. Différents thèmes seront développés par les utilisateurs. La comptabilité géographique des données thématiques en permettra la diffusion et le partage suivant les choix des producteurs d'information.

L'Institut Géographique National du Bénin sera un prestataire de services à destination des usagers et pourra gérer, outre les informations cartographiques de base, les données localisées de ces usagers.

Aussi, on peut citer par exemple des réseaux OPT, SBEE, CEB pour faciliter la localisation des branchements, repérage des réseaux et simulation des projets de leur implantation.

- Les réseaux d'assainissement,
- Les zones inondables de Cotonou,
- Les centres de santé,
- Les entrées d'intérêts touristiques.

Dans les années à venir, le financement de la mise à jour de la conservation de cette carte de base sera assuré par la ville de Cotonou, principal bénéficiaire du projet RFU du fait de l'amélioration considérable de ses recettes fiscales.

L'expérience de Cotonou est reconduite dans d'autres villes du Bénin: Djougou (1993), Porto-Novo (en cours).

Les compétences acquises par les techniciens de l'IGN-B, les équipements achetés pour ce projet, seront valorisés par d'autres productions cartographiques:

- numérisation de documents;
- exploitation des cartographies numériques existantes (ex.: plans d'études à 1/5.000 et 1/2.000 édités pour l'OPT à partir d'une cartographie à 1/25.000);
- édition automatique de levés topométriques.

## **7 Conclusion**

Le plan parcellaire de Cotonou a été établi dans les délais imposés, en allant au delà des spécifications initiales, par l'Institut Géographique National du Bénin.

Ce type de réalisation devrait pouvoir être mis en oeuvre dans d'autres pays en voie de développement.

En dehors de l'informatique, on peut penser que de nombreux pays disposent d'agents de qualification suffisante ainsi que des équipements nécessaires à l'obtention d'un tel résultat.

La ville de Cotonou possède maintenant une cartographie de base de bonne facture, outils importants dans la gestion et la planification des localités administratives. Son utilisation commune par tous les intervenants dans l'aménagement de la ville sera un facteur important d'efficacité dans le développement et de réduction des coûts.

Ce produit a ouvert la voie à la réalisation du plan guide de Cotonou dont l'édition est attendue avant la francophonie.

# URBAN GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM IN BOTSWANA

**R. SEGODI, V. VELDIC**

Department of Town and Regional Planning, Ministry of Local Government, Lands and Housing, Botswana

## **Introduction**

Urban planning and cadastral agencies need detailed information about the distribution of land resource in towns and cities. Readily available and reliable information base is essential if towns/cities/villages are to be effectively managed. Lack of information contributes to the problems such as ineffective urban development programmes and activities, un-economical and badly planned investment projects; poor functioning of land markets, property tax, transport and utility systems and disregard of environmental impact on the population. This is particularly true throughout the developing world where urban managers and policy makers make strategic decisions on environmental protection, infrastructure development, land development etc. In most cases these managers and policy makers have very little or no access to up-to-date base maps and systematic information on the extent of settlements, land use patterns, environmental problems and utilities.

The need for solutions to compile, analyse, update, store and improve the management of information is increasingly being recognised. The tools and techniques must be cost effective and easily adaptable to conditions of developing countries. One promising tool is the use of Geographical Information System (GIS). A Geographical Information System is a computer based system designed to work with geo-referenced data. It has the capability to store, manipulate, analyse display and integrate both spatial and non-spatial data. The system has the capability to support land-related tasks which user organisations with the responsibility for planning and management can use.

Botswana is among the many developing African countries which has adopted the use of geographical information system for planning resource management, infrastructure development etc. The Department of Town and Regional Planning in the Ministry of Local Government, Lands and Housing has made several and somewhat successful attempts to employ the use of GIS in planning. This paper will discuss and demonstrate the use of GIS in urban planning. Emphasis will primarily be on the detailed urban planning aspects. The discussion centres around a case study involving the planning of the development of the Gaborone Central Business District Master Plan.

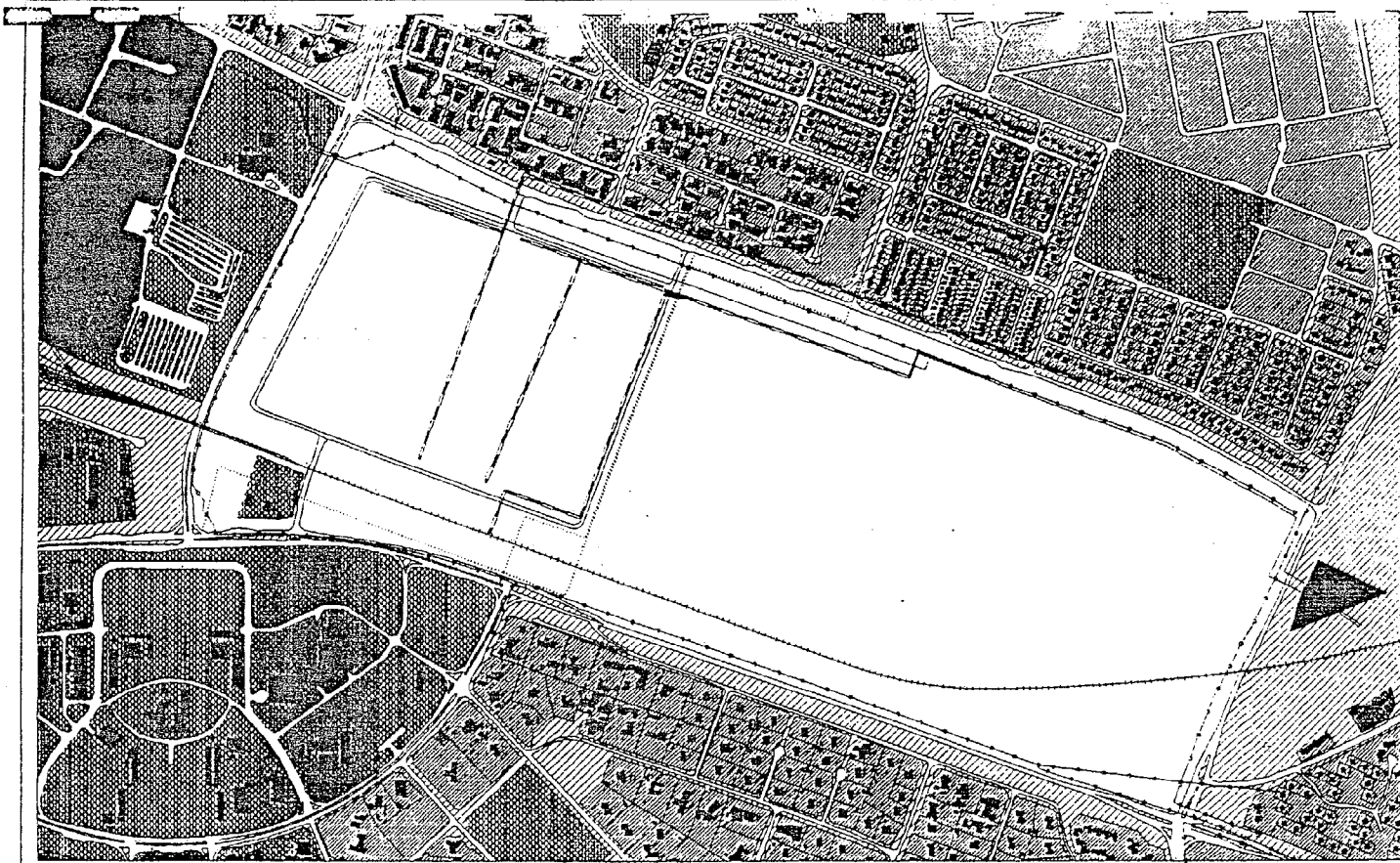
## **GABORONE CENTRAL BUSINESS DISTRICT MASTER PLAN**

Gaborone Central Business District Plan is a comprehensive long-term plan intended to guide the development of the CBD. The main justification for developing the plan include:-

- Facilitating public participation and furthering better understanding of the planning
- Encouraging the active involvement of the public officials in the planning process
- Enhancing the guidance provided by responsible planning authorities.

569

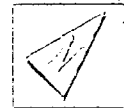
BEST AVAILABLE COPY







CENTRAL BUSINESS  
DISTRICT  
MASTER PLAN

MAP 1

EXISTING LAND  
USE AND  
INFRASTRUCTURE



- |   |  |
|---|--|
|  CIVIC & COMMUNITY |  RAILWAY LINE |
|  COMMERCIAL        |  WATER        |
|  INDUSTRIAL        |  SEWER        |
|  OPEN SPACE        |  POWER        |
|  RESIDENTIAL       |  TELEPHONE    |
|  ROAD              |  |

REVISION	DATE	DESCRIPTION
DEPARTMENT OF TOWN & REGIONAL PLANNING PRIVATE BAG 9842, GABORONE, BOTSWANA		
MAP COMPLETION DATE		APPROVED DATE
SCALE 1:25000		
DRAWING 15		

### Purpose and Scope of the Plan

The CBD is the future heart of Botswana's capital. It is envisioned to become the centre of communication and the focus of shopping, business, entertainment and service for the future population. The proposals and policies promoted in the CBD are designed to tackle the existing problems and to take advantage of existing and future opportunities.

### Functions of the Plan

The primary function of the Gaborone Central Business Master Plan is to guide and promote efficient land use. The plan can therefore be viewed as statement of goals, desires, and expressions of ambitions and tools for :-

- indicating intended future use of the CBD land use development patterns;
- Generating policies and general proposals and relating them to specific sites;
- Providing clear locational preferences to policies and proposal for development;
- Providing detailed basis for future development control;
- Providing a detailed basis for co-ordinating and directing public and private land uses;
- Demonstrating how interested players, including land owners, local authorities, commercial interests, residents, developers and investors collectively are expected to develop the CBD; and
- Bring local planning issues before the public for their input, review and considerations.

The Central Business District covers an area of 104 hectares located in the centre of Gaborone, west of the railway line. The site is rectangular in shape (see Map 1). The area surrounding the CBD is divide into nine morphological units, each layer analysed according to the overall structure, access, traffic characteristics and pedestrian movements. These units have been documented and analysed to determine:-

- a) how they might influence the CBD;
- b) its impact on the adjacent neighbourhoods; and
- c) the two areas can be integrated and connected to achieve harmonious and orderly development.

### Land Use and Infrastructure

The CBD is located on land which was formerly owned by private individual and use for agricultural purposes. In 1960s the land was converted to recreational i.e racing car sports field. The unprecedented development of the city in the 1980s forced development to west'. The land was acquired for the development of CBD and was left to fallow. The natural vegetation has since crept back.

The existing infrastructure and utilities located in this area are shown on Map 1. The infrastructure was developed along the earlier design with a strong emphasis on housing and lower scale commercial development.



### Major objectives of the CBDGIS pilot-project

As already mentioned the CBDGIS is an on-going project conceived as a first step or, a pilot model for setting up much more comprehensive Geoinformation System for planning and development management. It has the following tasks and objectives:

- 1) To create realistic, but manageable GIS database and procedures for supporting:
  - the integration and analysis and of a wide range of interconnected geo-referenced data and related attributes needed for CBD master plan preparation;
  - the automated processing and indexing of all CBD development projects, planning proposals and building permits
  - the provision of online information about the characteristics of each parcel of land.
  - monitoring workloads, development activities and financial information for use in planning budgeting and fiscal control.
- 2) To design and build, using pcARC/INFO Simple Macro Language (SML), an integrated set of computer-assisted procedures (user interface) capable to facilitate CBD database query, updating and other tasks by users who are not experienced GIS users.
- 3) To start implementing, project-oriented in-house training for the DTRP local GIS team to get awareness and master GIS softwares (ARC/INFO, IDRISI) including AutoCAD.

### CBDGIS DATABASE CONCEPT

The CBDGIS database is conceived to be an integrated and common source of basic information of existing and expected conditions of the CBD, a compendium of information that all future participants in the CBD development process have equal access to background information and definition of key planning terms, thus promoting a more rational decision making. This will follow the approach developed by Environmental System Research Institute (ESRI, Redlands, USA), the central component of its conceptual design is the so-called "shared data base" which can be used for multiple purposes. The shared data base is organized into several categories or "types" of data: basemaps, transportation network, land records, areas, facility network and environment. Each type of data, given on Figure 1, includes map features and related tabular attributes.

The database is designed and build using pcARC-INFO (release 3.4.1) which has been proven as an appropriate software tools for supporting a range of tabular and cartographic data, manipulation procedures and analysis required by the CBDGIS pilot-project.

#### Approach to the development of CBDGIS database - issues

Approach for the development of the CBDGIS database could be generally divided into three phases, namely: conceptual database design; physical database design; development of the user interface.

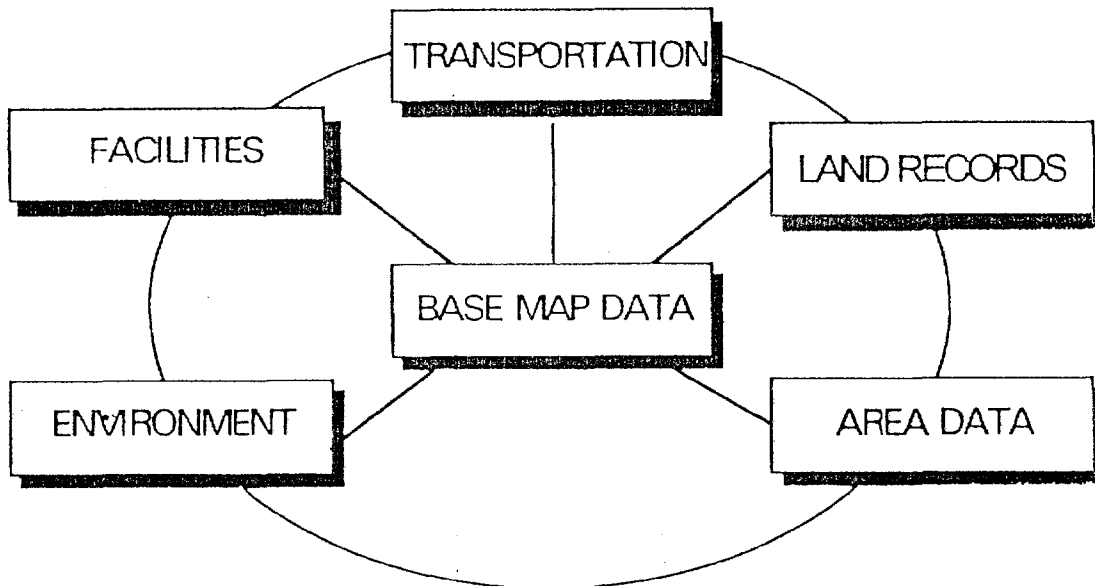


Figure 1. The scheme with the main data categories in PGIS

**Basemap data** Includes data layers for control points (geotics), topographic and planimetric features.

**Land Records Data** Includes map layers and related set of tabular data files which depict (or will depict) the legal and other descriptions of lot boundaries created through land subdivision process.

**Transportation network data** includes roads and railway centrelines data layer and road-related facilities along with the associated attributes.

**Area data** contain data layers and related attributes for administrative, planning and statistical reporting and analysis areas.

**Environmental data** includes data layers which depict natural and man-made features of the environment.

**Facility network data** will contain map layers along with the descriptive data file for the various utilities and related facilities.

572

Conceptual database design or rather to say initial design framework for the CBDGIS database included several mutually related activities such as:

- Identification of data requirements;
- Collection and categorization of available data, as well as evaluation of their usefulness for planning team and as a sources for GIS data input.
- Determination of the scope and contents of GIS data base along with the development of the database model and its components,database documentation etc.

An important issue which faced the development of the database is related to the problem of data accessibility and quality. Namely, land related data and their alphanumeric attributes necessary for the work of the planning team were almost seldom available and rarely in possession of the planning department. The bulk of maps and documents concerning social-economic data, transportations, facilities are held by various institutions on separate locations. Further the available data have often been collected with specific and narrow purposes in mind, with formats ranging from written records, drawings to a variety of digital formats. This process of identifying potential data sources and the processing of the data led to the modification of the originally proposed GIS database contents including reduction of its tentative contents to be used in spatial analysis.

In addition to data accessibility and documentation issue, another point is the problem of data quality. The proposed GIS database needed to support planning activities normally lead to acquisition of a varieties of sources of analogue data, each with their own characteristics of scale, precision and accuracy. The realities of data availability led to the conviction that the development of CBDGIS should be based on strategy "start small-build gradually" . Under this approach, it has been concluded that, the establishment of system should begin with using available low-cost data which would meet as wide range of CBDGIS users as is practical. Consequently, the so-called "first generation" system has been developed so far, providing capabilities to meet some of the basic CBDGIS requirements mentioned above.

The second phase involved in developing the proposed GIS database, namely, physical database design, started parallel to or immediately after its conceptual design. It included the following:

- Preparation of the basemap which used for registering and spatial referencing all other data layers of the CBDGIS database;
- Map manuscripts preparation - map sheets originally prepared as an input for automation (digitalization);
- Map automation which included digitization, identification and correction of digitizing errors, establishment of topology, assignment of attributes, quality control;
- "Fist generation" database creation along with its testing and evaluation;

## USER INTERFACE

As already noted, the objective of the third phase involved in developing CBDGIS was to design and build, using the pcARC/INFO Simple Macro Language, an integrated set of computer-assisted procedures which will facilitate the database query and analysis by users who are not trained in GIS. In other words, this phase included the development of the user interface which will be composed of numerous SML programs, each serving a related set of functions. From the user perspective, it can be understood as a menu-driven system-that is at any point of time the user will be

offered possible options which he/she can select from a menu provided by the system. Options that are provided by the user interface so far are the following:

- drawing and removing one or more data layer with keys and scalebars;
- pan and zoom functions;
- getting attribute data and associated text files of the indicated spatial element of the layers drawn (data base query);
- performing statistics on selected set of spatial elements and their attributes;
- processing of land use/structural changes at CBD lot/block level;

Options (procedures) that are planned to be developed in the foreseeable future are:

- processing and indexing of all CBD development projects;
- provision of online information about the characteristics of each parcel of land, along with a set of capabilities for monitoring the land development processes and fiscal control.

The basic idea of this activity is closely related to the development of desktop GIS as a planners' (or manager's) working environment and appropriate tool in supporting analysis and decision-making processes. "Desktop" here means a PC based system, affordable enough to be on the planners desk. The core of such a system is appropriate GIS database and a number of applications developed by and for planning team. Figures 2 and 3 are an attempt to illustrate the user-interface that has been developed so far).

The CBD database is designed for multiple planning purposes and is organised into several categories. These include basemaps, transportation networks, utility networks, environment and as well socio-economic data.

The base map which has provided a considerable details particularly on topography i.e contours had to be manipulated to extract the information required for CBD planning. Information obtained from engineering reports were digitised and matched with the rest of the data from the base map.

### **DEVELOPMENT PROPOSALS**

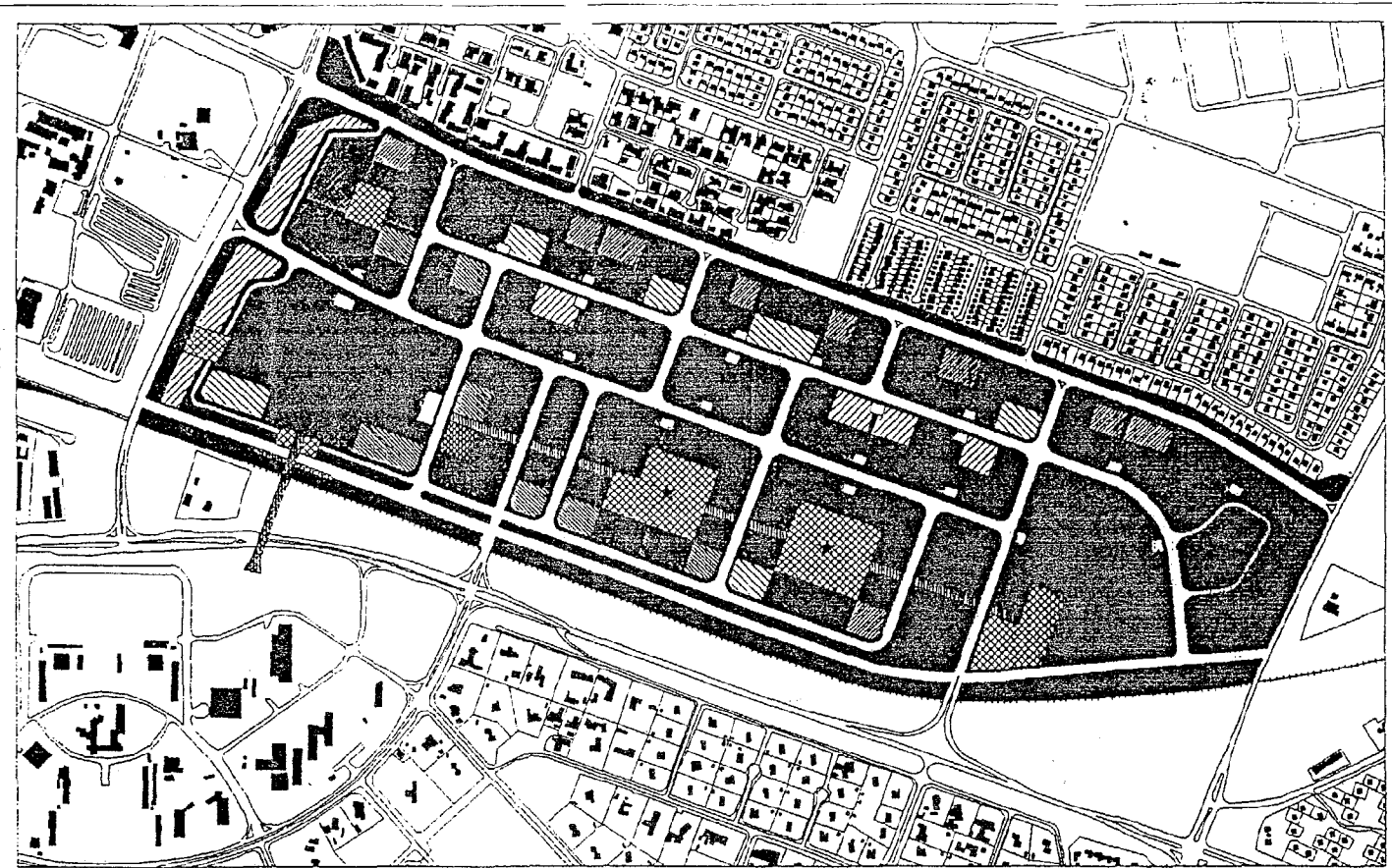
Special planning concepts and principles developed for the CBD are to promote a well coordinated growth and other goals for the area. The concepts are a blend of reality and vision; incorporating old and new ideas. These principles which are illustrated in Map 4 are:

- compact and concentrated expanding inward and upward from its outer edges towards the interior of the site;
- rooted in sound infrastructural and technical concepts, particularly with regards to road, traffic and transportation;
- a balanced mix of built and open spaces; and
- oriented to the needs of pedestrians and street side areas.

In order to fully capture the character of the 'downtown' district the CBD is proposed to be compact and concentrated. The compact form optimises market opportunities by concentrating people and consumers in a relatively small area.

276

BEST AVAILABLE COPY



CENTRAL BUSINESS DISTRICT MASTER PLAN

MAP 2

STRUCTURE PLAN



BUILDING ZONE I: COMMUNA. PARKING ZERO-SETBACK FROM STREET	LARGE PARK, PLAZA & STREETSCAPE	ROAD & RAILWAY RESERVE
BUILDING ZONE II: ON-SITE PARKING VARIABLE SETBACKS	MINI-PARK	LANDMARK
PARKING TYPE I: SHORT-TERM GARAGE PARKING	ENCLOSED PEDESTRIAN MALL	
PARKING TYPE II: LONG-TERM GARAGE PARKING	LARGE PEDESTRIAN CORRIDOR	
PARKING TYPE III: SHORT-TERM PARKING LOT	SMALL PEDESTRIAN CORRIDOR	
PARKING TYPE IV: LONG-TERM PARKING LOT	PUBLIC TRANSPORT EXCHANGE	
TAXI RANK	UTILITY ROAD	

REVISION	DATE	DESCRIPTION
DEPARTMENT OF TOWN & REGIONAL PLANNING PRIVATE BAG 0042, GABORONE, BOTSWANA		
MAP COMPLETION DATE		APPROVED DATE
SCALE: 1:10000		
DRAWING No.		

The growth should be inward and upward from outer edges towards the interior of the site, the most intensive development converging on the central north south spine. As illustrated in Map 3, building heights should steadily increase from the short ends of the site (eastern and western edges) towards the central avenue where the CBD skyline is concentrated. Building heights will rise at street corners and gently fall towards the centre blocks in a series of waves. Development in the north should taper down providing a contrast to the more intense development in the south supporting uses which are in line with surrounding neighbourhood. Figure (2) illustrate a possible configuration of CBD building heights when developed according to this concept.

### Transportation and Traffic Proposals

The street network is one of the main elements that shape one's perception and perspective of a city, especially for the first time or occasional visitor. The ease and comfort with which people find their destinations, park their cars and get to public transport facilities are major factors for creating a good first impression of the CBD. A good transportation and traffic system maximises movement, first when entering the area, then when getting from place to place and finally when leaving.

As illustrated in Map 4, the plan incorporates the north-south orientation of the site to its advantage, with access to the CBD primarily from the "short" western edges of the site. Vehicular circulation within the CBD is centred on public transport and pedestrian corridors which follow the long axis. This design prevents direct vehicular penetration through the site, thus deterring east-west vehicular "shortcuts" and promoting safer vehicular and pedestrian circulation by limiting the number of 4-way intersections. The proposed CBD transportation and traffic system has been designed holistically, focusing on the following functions and components:

***Vehicular Access and Circulation*** - As illustrated in Map 6, there are ten vehicular access points into the CBD, five of which are major access points. These have been sited to maximise access to the site, thus promoting better circulation and movement within the area.

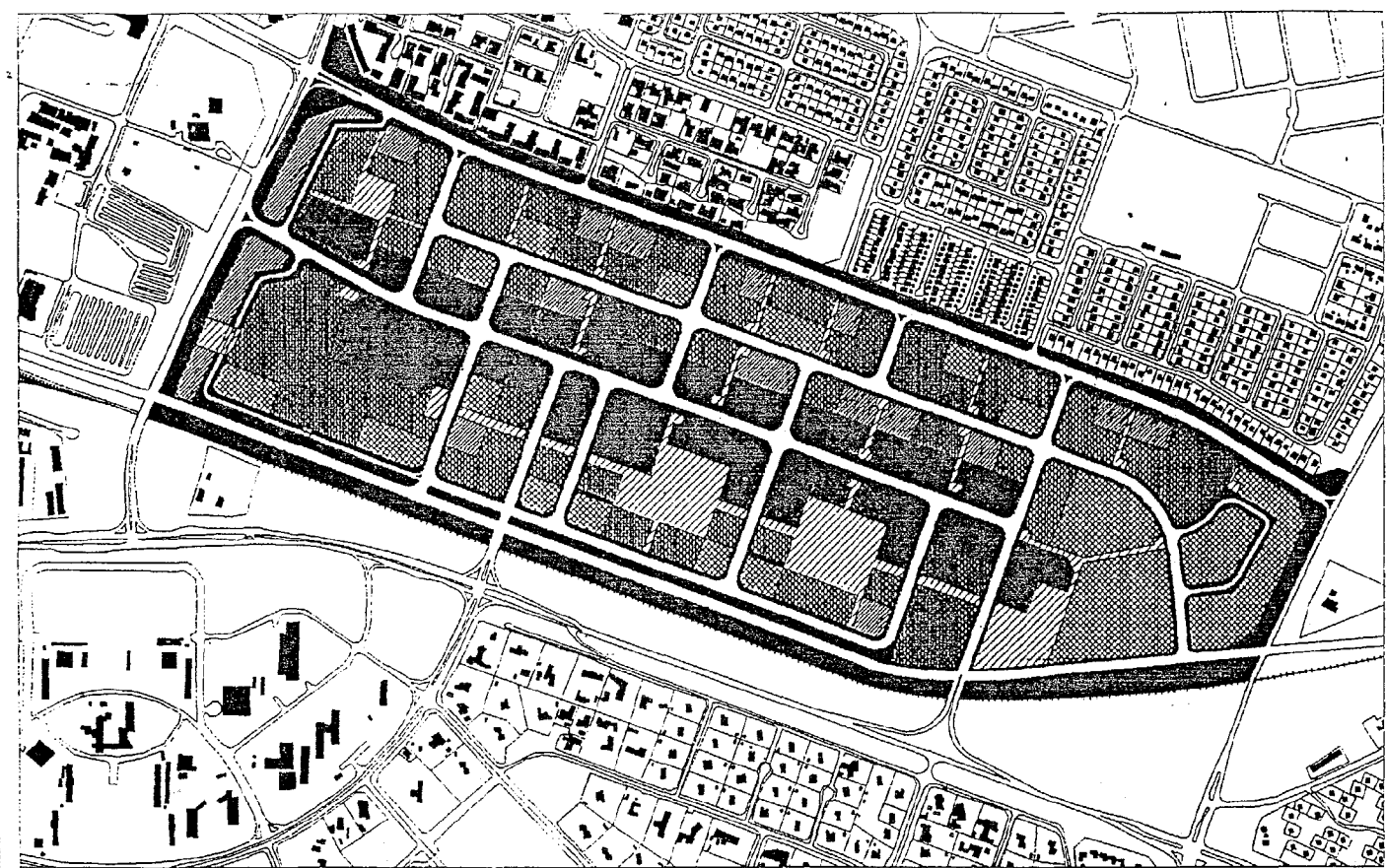
The internal CBD road network is composed of nine road types. Each road has been designed to maximise access into the site and to promote interior circulation and access to parking. The layout provides good accessibility to the CBD core for all vehicles while discouraging non-stop through trips. The forecast increase in traffic volumes and the impact of CBD generated traffic will also necessitate the long term upgrading of the road network surrounding the CBD.

The most efficient means of moving people through the city and CBD is via shared public transport. The advantages of public transport over private vehicles include reduced parking demand, less road space per person transported, less pollution and reduced travel time when promoted within exclusive rights-of-way or when given preferential status.

Buses and mini-buses are likely to be the primary transit service to the CBD from other parts of the city and areas beyond. Bus and mini-bus movements will be promoted with the development of a modified Public Transit Corridor (PTC) system.

***Pedestrian Access and Circulation*** - Walking is by far the most flexible and efficient means of movement in the CBD. It is slow enough to permit activities en route (window shopping, making sudden stops and quickly changing direction) yet capable of moving large numbers of people per unit of time. Pedestrians also bring a high intrinsic value to the CBD, representing buying power, interest and excitement.

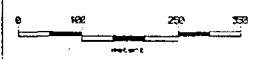
577  
BEST AVAILABLE COPY



CENTRAL BUSINESS DISTRICT MASTER PLAN

MAP 3

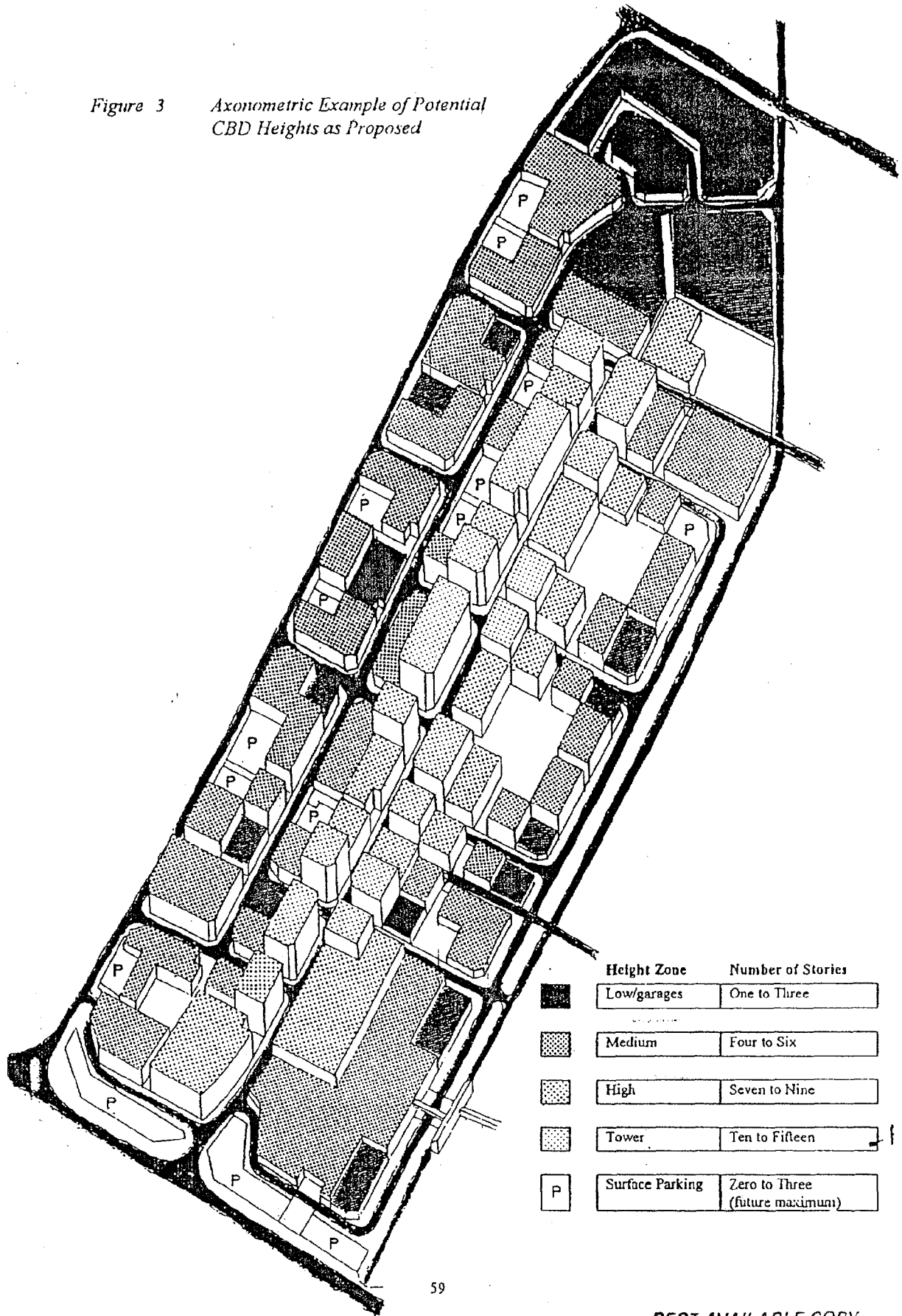
HEIGHT ZONES



	SURFACE PARKING ZONE: 0 - 3 STOREYS (FUTURE MAXIMUM)		LANDSCAPE ZONE: 0 - LEVEL
	LOW HEIGHT ZONE: 1 - 3 STOREYS		ROAD AND RAILWAY RESERVE
	MEDIUM HEIGHT ZONE: 4 - 6 STOREYS		ROAD
	HIGH HEIGHT ZONE: 7 - 9 STOREYS		UTILITY ROAD
	TOWER ZONE: 10 - 15 STOREYS		

REVISION	DATE	DESCRIPTION
DEPARTMENT OF TOWN & REGIONAL PLANNING, PRIVATE BAG 0042, GABORONE, BOTSWANA		
MAP COMPLETION DATE		APPROVED DATE
SCALE: 1:1000		
DRAWING No		

Figure 3 Axonometric Example of Potential CBD Heights as Proposed

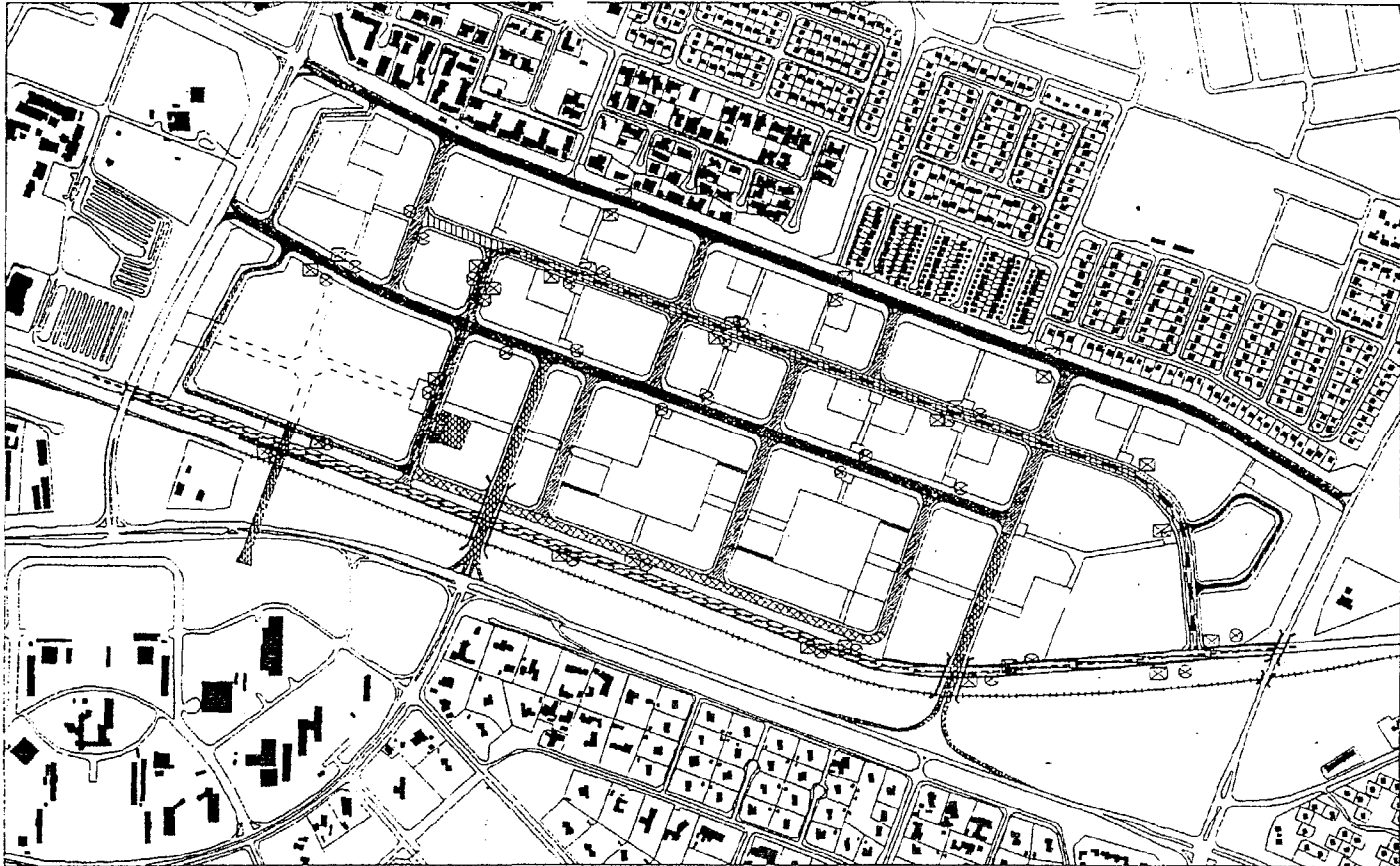


578



579

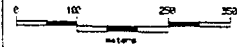
BEST AVAILABLE COPY



CENTRAL BUSINESS DISTRICT  
MASTER PLAN

MAP 4

STREET, TRANSPORTATION  
AND TRAFFIC PLAN



- A. 3-WAY ARTERIAL BOULEVARD (35 METRE WIDE)
- B. 2-WAY EXPRESS PUBLIC TRANSPORT CORRIDOR (20 METRE WIDE)
- C. 2-WAY ARTERIAL - TYPE I (25 METRE WIDE)
- D. 2-WAY ARTERIAL - TYPE II (35 METRE WIDE)
- E. 2-WAY DISTRIBUTOR - TYPE I (25 METRE WIDE)

- F. 2-WAY DISTRIBUTOR - TYPE II (25 METRE WIDE)
- G. 2-WAY DISTRIBUTOR - TYPE III (35 METRE WIDE)
- H. 1-WAY LOCAL ACCESS ROAD (16 METRE WIDE)
- I. 1-WAY SERVICE ROAD (20 METRE WIDE)

- UTILITY ROAD
- TAXI RANK
- PUBLIC TRANSPORT EXCHANGE TERMINAL
- EXPRESS PUBLIC TRANSPORT CORRIDOR (EPIC)
- INTERNAL PUBLIC TRANSPORT CORRIDOR (IPIC)
- BUS STOP
- TAXI STOP

REVISION	DATE	DESCRIPTION
DEPARTMENT OF TOWN & REGIONAL PLANNING PRIVATE BAG 0842, GABORONE, BOTSWANA		
MAP COMPLETION DATE		APPROVED DATE
SCALE 1:10000		
DRAWING No		

As illustrated in Map 5, the CBD has been laid out to promote pedestrian movement and enhance a diverse range of pedestrian experiences. The various sidewalks, corridors, pathways, skyways, tunnels and malls will be integrated with building entrances, parks, plazas, transit stations and transport stops to form a core pedestrian system. Each facility will be designed and developed to promote unique pedestrian experiences, thus helping to create a diverse, vibrant and exciting place. The design and development of these elements should promote day-round and year-round use that entices people to the core of the CBD.

***Bicycle Access and Circulation*** - Bicycling is one of the most cost and energy efficient modes of urban transport. It is therefore promoted as a viable means for reducing reliance on automobiles and reducing the negative impacts they pose to the CBD, city and region. An integrated CBD bikeway system is proposed that will link the CBD to an eventual city-wide system, thus providing a fast, safe means of cycling to and within the site. Bicycle access to the CBD will be available from:

As illustrated in Map 6, the CBD bikeway system consists of primary and secondary bicycle routes. Primary bicycle routes carry the main flow of bicycle traffic and should be designed and developed accordingly. There are three primary bicycle routes in the CBD, each of which promote quick north-south movement through the central core and along the peripheral edges of the site.

Bicycle routes and bikeways should be designed and developed in conjunction with landscape and environmental protection concepts.

#### Land Use Proposals and Principles

The CBD should be a thriving city centre, home to a wide range of uses and activities. The arrangement and location of these uses is a complex process which must strike a balance between careful integration and strict segregation. If this is successfully realised; the CBD will become a more interesting, dynamic place. This plan supports the development of a complex mix of land uses, the majority of which fall under the following general categories:

- **Civic and Community Land Use;**
- **Commercial and Office Land Use;**
- **Recreation and Leisure Land Use;**
- **Residential Land Use; and**
- **Transport Land Use.**

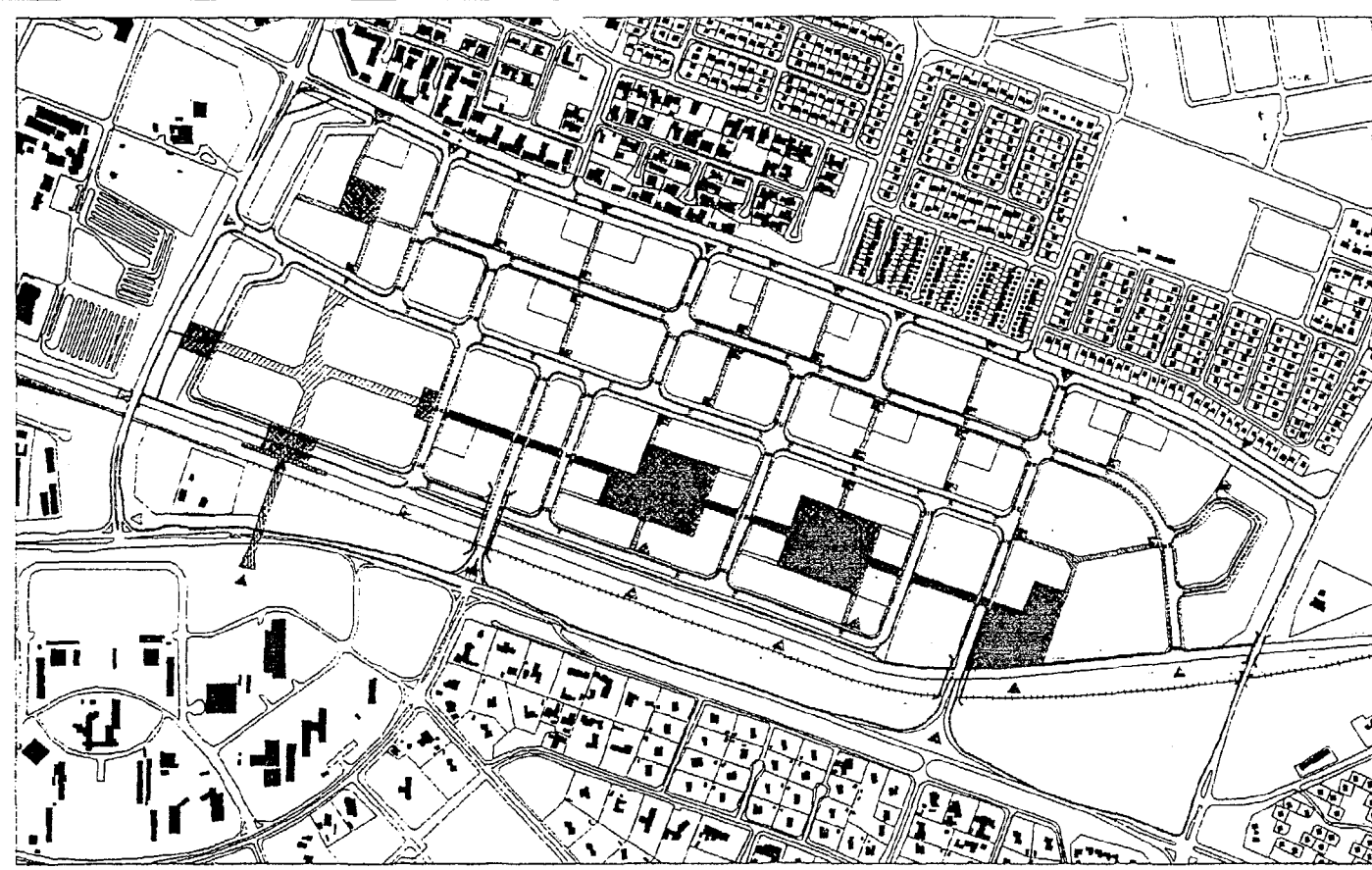
These categories are significant not only for their aggregate size and economic significance, but also for being divisions where private initiative often intersect public policy. All of the envisioned land uses should be integrated horizontally (at ground level) and vertically (floor to floor), each particular zone predisposed to a certain land use profile. As illustrated in Table 1, some land use zones focus more on commercial, civic and community uses, while others centre on recreation and transport uses, but all should allow for the integration of a broad mix of compatible uses. The inclusion of different character, thus promoting greater land use diversity, more activity throughout the site and a good profile of appropriate mixed uses.

The land uses proposed are intended to provide information and signals to developers, investors, architects, urban designers, landscape architects, engineers, civic leaders and public officials when considering certain types of development activities in particular locations. Land uses are proposed by block, zone and plot, the specificity of each directly related to the scale of the area (see Maps 7 and 8 for clarification). For example, if a variety of uses are proposed for a given block, the proposals should be considered spatially non-specific within the block and allowed to develop in response to future needs and market forces, unless indicated otherwise. In cases where a particular land

580

681

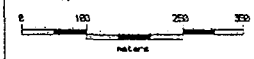
BEST AVAILABLE COPY



CENTRAL BUSINESS DISTRICT MASTER PLAN

MAP 5

PEDESTRIAN ACCESS AND CIRCULATION PLAN

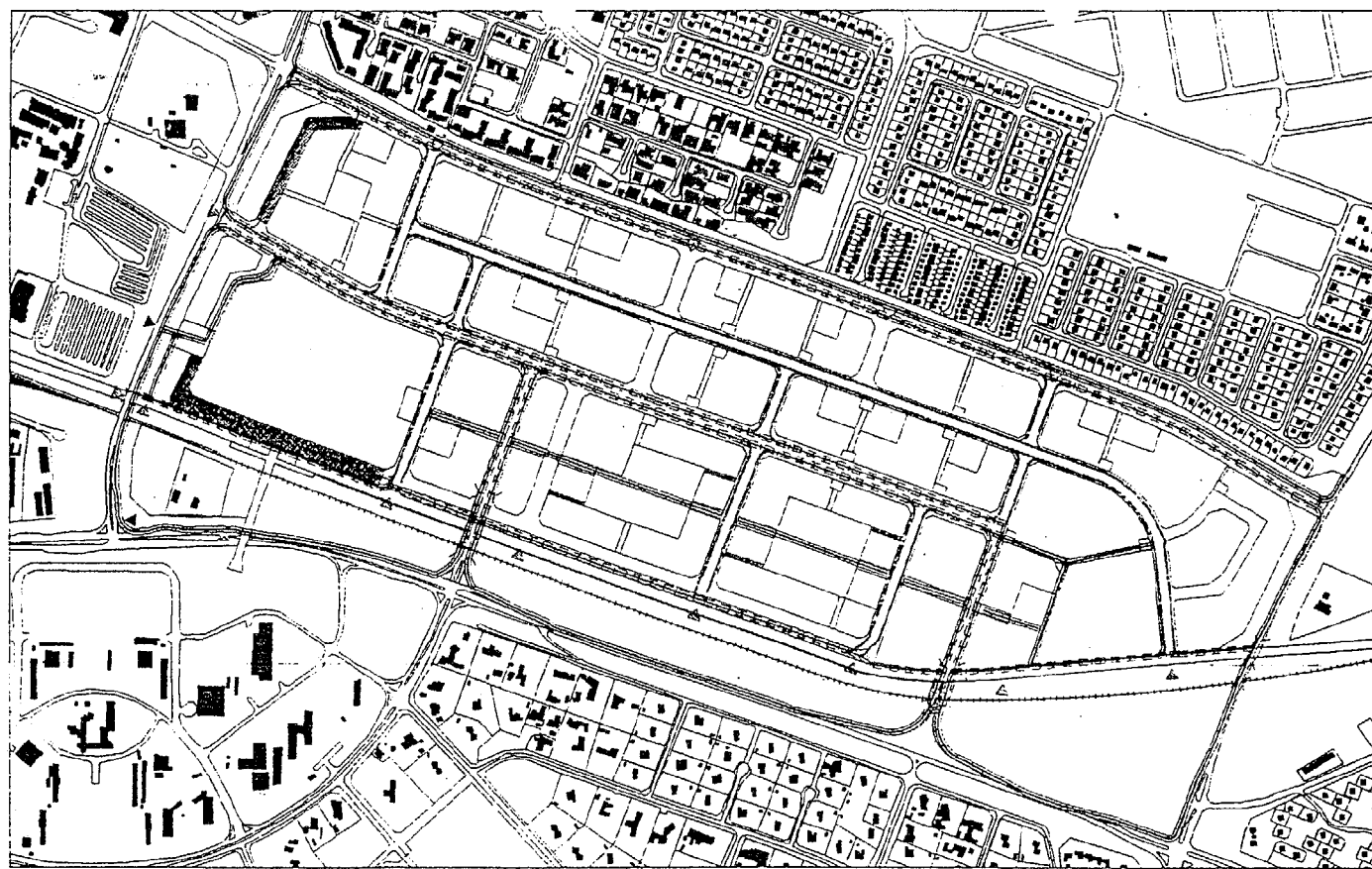


PEDESTRIAN ACCESS		PEDESTRIAN CIRCULATION	
	EXISTING PEDESTRIAN UNDERPASSES		SIDEWALKS
	ALONGSIDE ALL VEHICULAR ACCESS CORRIDOR		CROSSWALKS & CROSSING ZONES
	PEDESTRIAN CORRIDORS		LARGE PARK & PLAZA
	PUBLIC TRANSPORT EXCHANGE TERMINAL		MINI-PARK
			LARGE PEDESTRIAN CORRIDOR
			SMALL PEDESTRIAN CORRIDOR
			PEDESTRIAN SKYWAY
			PEDESTRIAN TUNNEL
			ENCLOSED PEDESTRIAN WALK

REVISION	DATE	DESCRIPTION
DEPARTMENT OF TOWN & REGIONAL PLANNING PRIVATE BAG 0042, GABORONE, BOTSWANA		
MAP COMPLETION DATE		APPROVED DATE
SCALE: 1:10000		
DRAWING No.		

BEST AVAILABLE COPY

CBP






CENTRAL BUSINESS  
DISTRICT  
MASTER PLAN

MAP 6





BICYCLE ACCESS AND  
CIRCULATION PLAN





BICYCLE ACCESS

-  EXISTING PEDESTRIAN UNDERPASS
-  MAJOR VEHICULAR ACCESS POINTS & THE EPTC
-  MAJOR VEHICULAR ACCESS POINT

BIKEWAY TYPES

-  CLASS I BICYCLE PATH
-  CLASS II BICYCLE LANES
-  CLASS III BICYCLE ROADWAY
-  BICYCLE EXCLUSION AREAS (ALL SERVICE AND UTILITY ROADS)

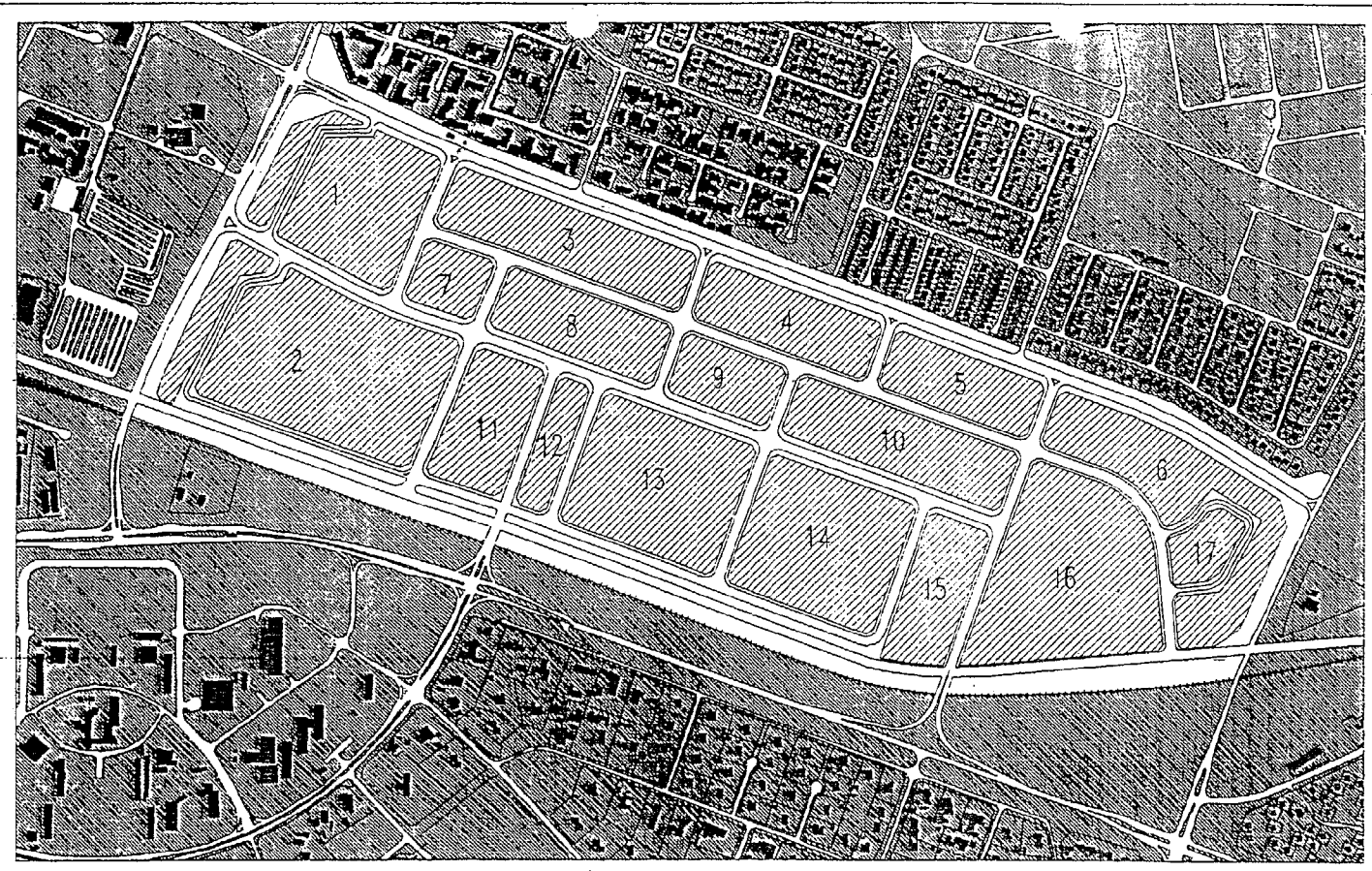
BICYCLE ROUTES

-  PRIMARY ROUTE
-  SECONDARY ROUTE

REVISION	DATE	DESCRIPTION
DEPARTMENT OF TOWN & REGIONAL PLANNING PRIVATE BAG 0042, GABORONE, BOTSWANA		
MAP COMPLETION DATE		APPROVED DATE
SCALE 1:10000		
DRAWING No		

663

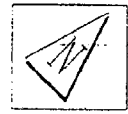
BEST AVAILABLE COPY





CENTRAL BUSINESS  
DISTRICT  
MASTER PLAN

MAP 7

BLOCK AND ROAD  
RESERVE PLAN



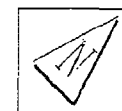
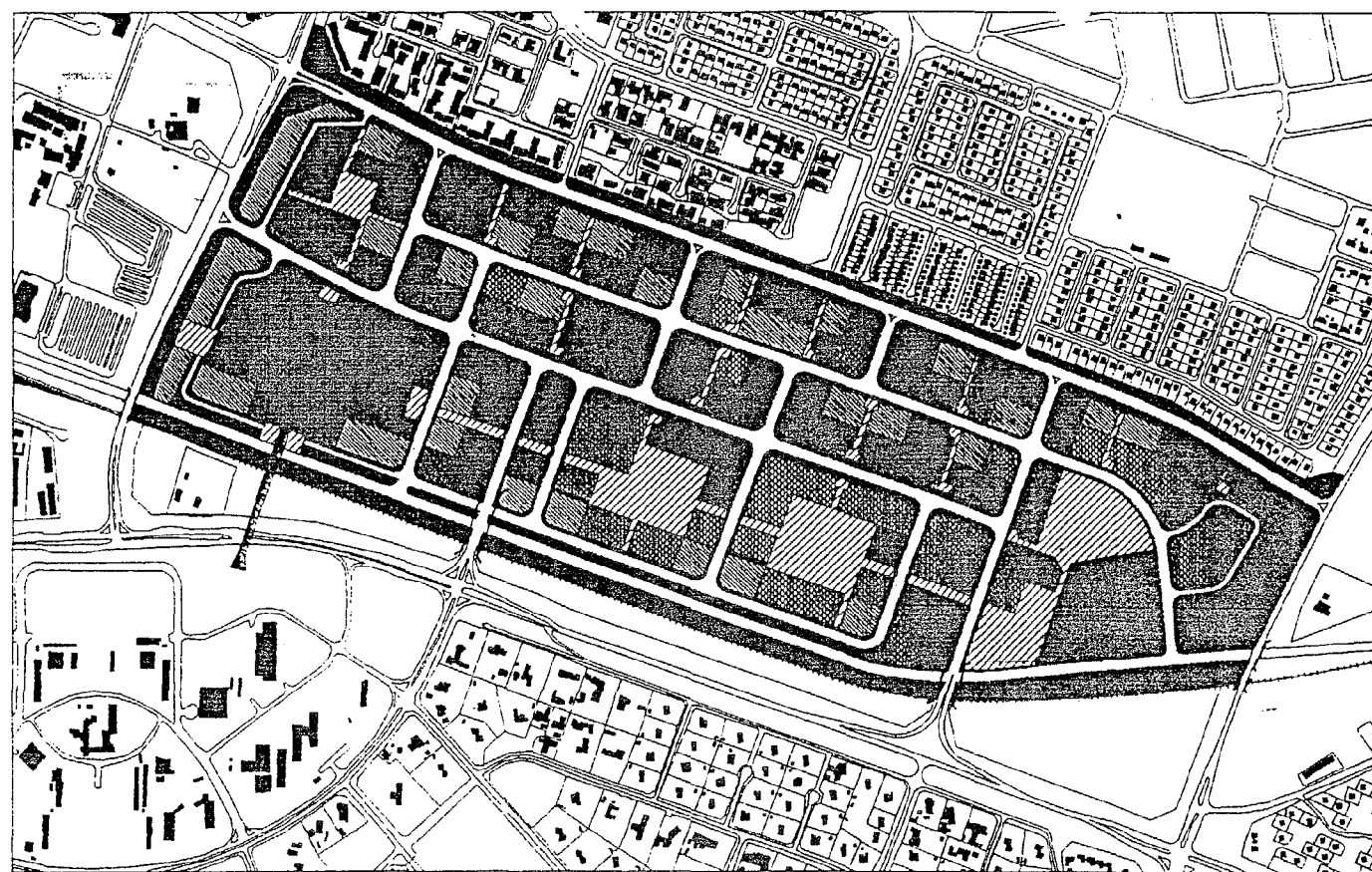
-  PROPOSED BLOCK PLAN
-  ROAD AND RAILWAY RESERVE

REVISION	DATE	DESCRIPTION
DEPARTMENT OF TOWN & REGIONAL PLANNING PRIVATE BAG 0042, GABORONE, BOTSWANA		
MAP COMPLETION DATE		APPROVED DATE
SCALE 1:10000		
DRAWING No		

CENTRAL BUSINESS DISTRICT  
 MASTER PLAN










MAP 8

GENERAL LAND USE  
 PROFILE PLAN



BEST AVAILABLE COPY

684

 CIVIC & COMMUNITY	 ROAD
 COMMERCIAL & OFFICES	 PARKING LOT & GARAGE
 RECREATION & LEASURE	 PUBLIC TRANSPORT EXCHANGE
 RESIDENTIAL	 UTILITY ROAD
 ROAD AND RAILWAY RESERVE	

REVISION	DATE	DESCRIPTION
DEPARTMENT OF TOWN & REGIONAL PLANNING PRIVATE BAG 0042, GABORONE, BOTSWANA		
MAP COMPLETION DATE		APPROVED DATE
SCALE 1 : 10000		
DRAWING No		

use is deemed most appropriate for a given zone or plot, or where a given use will have important spin-off effects, the area designated for that use should be firmly adhered to. Only a handful of land uses have been attached to specific sites. Instead, land use profiles have been developed at the block level which allow the location of specific land uses to be determined as development proposals are made and detailed urban designs carried out.

### **URBAN DESIGN AND ARCHITECTURAL CONCEPTS**

The planning principles, proposals and general emphasis of the CBD promote a city centre which is efficient, economic and attractive. The intent is to provide the essential framework for CBD development. A truly exciting CBD is by necessity a well-designed CBD. Designing a good CBD is much easier than persuading other people to take design seriously or carry out designs in a consistent fashion. A strong image from near and afar helps to develop an active and attractive CBD. The scale, height and bulk of buildings and the relationship they share with the surrounding open spaces are critical for developing a positive CBD image, particularly when viewed from a distance or from above (Map 9). The details of the built form, the fine grain of design and the presence of trees and other landscape features help to present a positive expression of the place up close.

Five design concepts merit special emphasis in the development of Gaborone CBD. These are based on creating a sense of place, a sense of unity, a sense of time, a sense of encounter, and a sense of theatre.

### **DEVELOPMENT TIMING AND PHASING**

The attraction of the CBD as an investment area is attested by the impressive number of variety of private development initiatives being proposed for the area. The list includes many projects firmly committed to begin within next five years in addition to a number of private proposals not yet specifically indicated in the plan.

Although there is a large amount of private development underway, some sectors are not experiencing sufficient activity. Community action is necessary to create a more balanced CBD market. The future CBD development program should therefore consist of programs and projects recommended as public, private or joint public/private action which support these efforts.

Each individual proposal will develop according to a time scale which enhances its own objectives. This may not always relate to those envisioned in the plan. It is therefore suggested that the Gaborone Central Business District Master Plan be implemented with a degree of flexibility rather than following rigid, yearly increments, the contribution and progress of each policy or proposal measured at the following specified key dates:

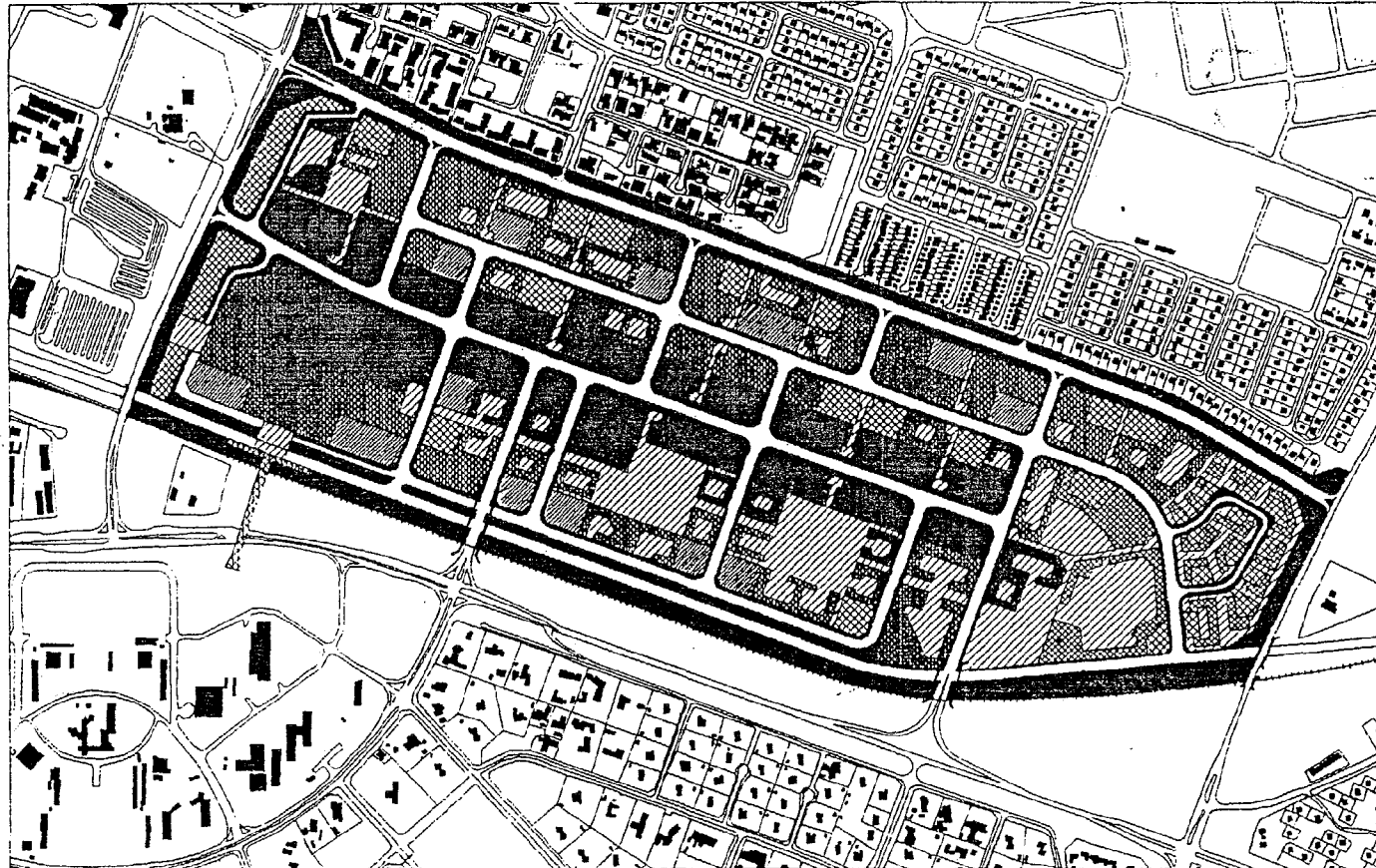
Phase I	1994-1999
Phase II	2000-2004
Phase III	2005-2014

Map 11 illustrates the proposed areas covered by the three implementation periods (1994-2014). An additional phase is envisioned as a time to complete and finalise the project. The next five year period (1994-1999) is particularly critical for establishing momentum for the process. Since major public and private commitments have already been confirmed, successful implementation will be promoted by ensuring that the necessary supporting actions occur as needed.



BEST AVAILABLE COPY

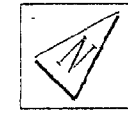
5/16



CENTRAL BUSINESS  
DISTRICT  
MASTER PLAN

MAP 9

URBAN DESIGN  
SKETCH PLAN



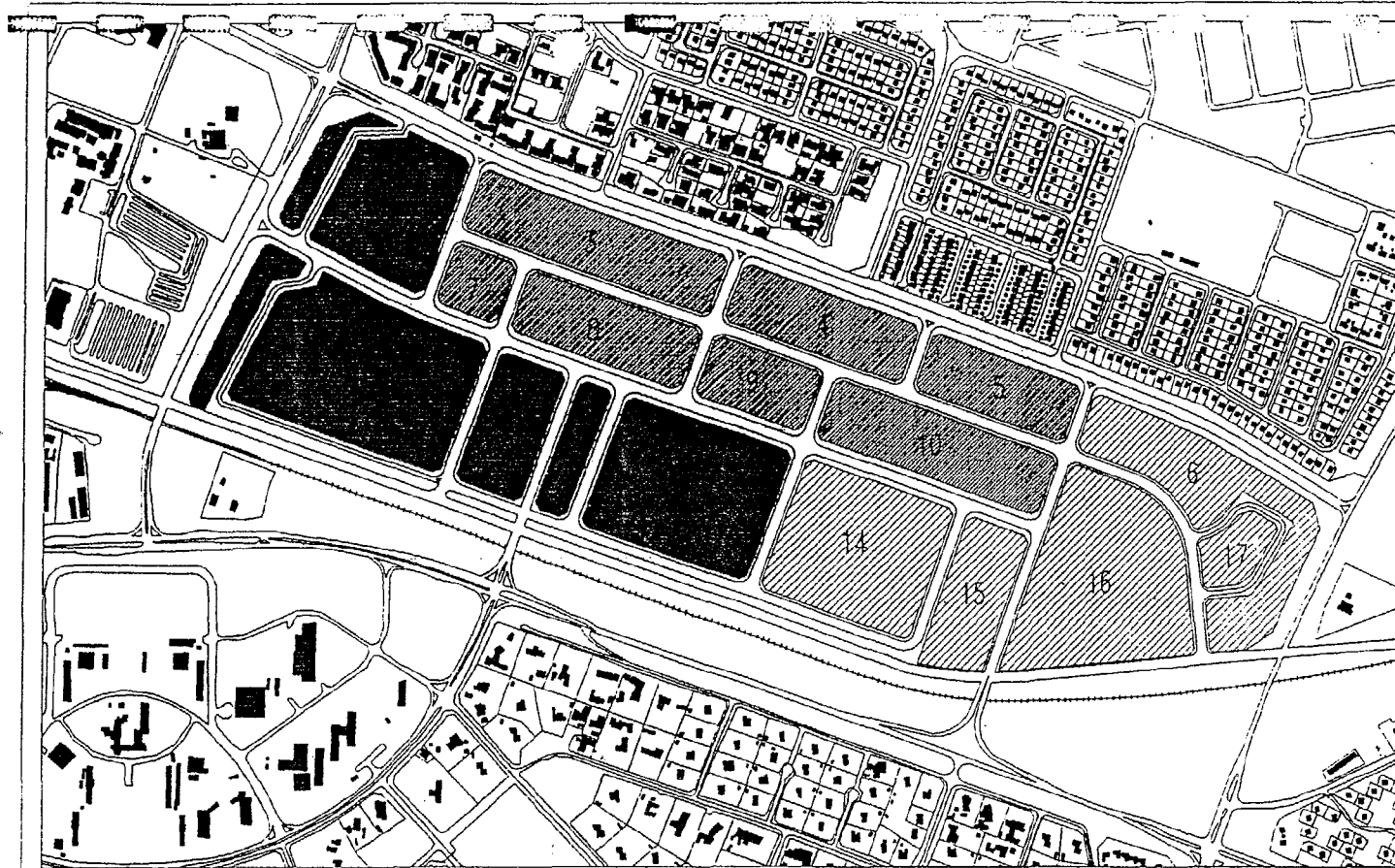
- |  |   |
|--|---|
|  LOW BUILDINGS    |  PARKING GARAGE              |
|  MEDIUM BUILDINGS |  SURFACE PARKING & TAXI RANK |
|  TALL BUILDINGS   |  LANDSCAPE AREA              |
|  TOWERS           |  SKYWAY                      |
|  |  ROAD AND RAILWAY RESERVE    |

REVISION	DATE	DESCRIPTION
DEPARTMENT OF TOWN & REGIONAL PLANNING PRIVATE BAG 0042, GABORONE, BOTSWANA		
MAP COMPLETION DATE		APPROVED DATE
SCALE 1 : 10000		
DRAWING No		



587

BEST AVAILABLE COPY







CENTRAL BUSINESS  
DISTRICT  
MASTER PLAN

MAP 11

PHASING PLAN



-  PHASE I: 1994-1999
-  PHASE II: 2000-2004
-  PHASE III: 2005-2014
-  ROAD AND RAILWAY RESERVE

REVISION	DATE	DESCRIPTION
DEPARTMENT OF TOWN & REGIONAL PLANNING PRIVATE BAG 3042, GABORONE, BOTSWANA		
MAP COMPLETION DATE		APPROVED DATE
SCALE : 1:10000		
DRAWING No		

## **IMPLEMENTATION**

### **General Process and Recommendations**

The CBD cannot be developed without the active participation of the Gaborone City Council. Since many individual decisions and actions are required by both public and private interests to achieve the objectives of the CBD Master Plan, the most critical initial operation is to establish a process by which the CBD Master Plan and its numerous projects will be co-ordinated and financed. Since the general implementation process is more critical than the details of individual projects, the following recommendations are proposed:

- Designate the entire CBD and related surroundings as a special development zone to be implemented through the use of land use regulations and performance standards; and
- Utilise rates to finance improvements and maintenance of the CBD.

This plan provides the basis for developing preliminary urban, architectural, landscape and engineering designs, guidelines and details. The emphasis of these refinements should be based on the following proposals, guidelines and recommendations:

- Detailed designs prepared by the various project consultants should be considered by the Gaborone CBD Advisory Committee, Gaborone City Council and the Town and Country Planning Board. All urban, architectural, landscape and engineering designs and market feasibility studies should be guided by the policies and proposals contained in this plan;
- Institutional procedures capable of dealing with multi-agency and private interests as well as comprehensive planning and implementation requirements should be established.

## **TRAINING**

Although the knowledge and application of Geographical Information is still at an early stage of development in the Department, a base platform has already been set. The adoption of the use of GIS started in 1990/91 with the assistance of UNEP/UNITAR. UNEP provided some training and hardware. The other most valuable training was also carried out through the University of Botswana which has a reasonably well developed GIS set up. Both UNEP and University GIS training covered basic principles of GIS and its applications through pilot projects. Another also most important and practical training was through Geographical Information Management System (GIMS) of South Africa, who provided training in Arc Info.

The Department is of the opinion that although academic training is necessary and important the most important approach is the project-based training. The project based training is essential for serving officers. It has the potential of developing interest among users.

The GIS training will be designed according to the needs of each individual and the section one is working in. The training would cover basic computing, GIS principles for beginners. The second level which is the priority for the Department will include training in the use of Arc Info Software, AutoCAD and IDRISI. The emphasis will be on Arc Info which is used as a basis for designing and building of the data bank and the sharing of information. However AutoCAD which is popularly used in urban and architectural design would also be carried out in training.

The training should not only concern itself with the use of a particular software but should go further to upgrade the skills of data organisation and management and the transmission of data to other users within and outside the department. This require clear lines and effective methods of communication among users.

It is intended to extend the training to local authorities in particular the City Council staff who would operate the need basic and intermediate training.

A training programme will be developed to cater for the various needs of members of staff, i.e. Technicians, Planners and the management of the Department. The training programme will also include specific local authority department who would operate the GIS.

## REALISATION D'UN SYSTEME INFORMATISE DE GESTION DES LOTS

### **CNTIG (Domaine Urbain)**

Côte d'Ivoire

La gestion de l'environnement urbain constitue un facteur essentiel pour le bien-être de la population qui y vit. Cette gestion nécessite une connaissance exacte du mode d'occupation du sol urbain. A cet effet beaucoup d'efforts sont déployés par les autorités en vue de constituer et de maintenir des bases de données actualisées sur le tissu urbain.

C'est dans cette optique que le Service du domaine urbain du Ministère de l'équipement et des transports a décidé de mettre en place avec la collaboration du CNTIG un système informatique de gestion de ses plans cadastraux et des données statistiques qui y sont associés.

Ce projet expérimental, réalisé par le CNTIG a pour objectif majeur de créer un système informatique de gestion des différentes données relatives à l'occupation surfacique sur une zone test.

Ce système permet non seulement la création et l'exploitation d'une base numérique graphique et statistique fiable et très facile à mettre à jour et permet aux décideurs de disposer d'un système de gestion et de requête des données urbaines.

Ce système pourrait constituer aussi une base d'informations à laquelle on pourrait associer d'autre données telles que les réseaux de drainage des eaux, de téléphone, d'électricité etc...

**Groupe de Travail 12: METEOROLOGIE ET CLIMATOLOGIE**  
**Working Group 12: METEOROLOGY AND CLIMATOLOGY**

**THE USE OF METEOROLOGICAL INFORMATION IN GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS**

**F. A. BANDA .....617**

591

# THE USE OF METEOROLOGICAL INFORMATION IN GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS.

**F. A. BANDA**

Department of Meteorology, Lusaka, Zambia

All rainfall measurements in Zambia are point values from gauges but frequently the average rainfall over an area such as a catchment or a sub-catchment is required. To provide such areal values gauge values are often interpolated using the Thiessen Polygons method (Thiessen, 1911 ) or the areal value is assumed to be equivalent to the gauge value. Such an assumption may be misleading as rainfall is very variable in time and space over Zambia. The density is high along the line of rail and gets poorer the further away you get from the railway line. During the growing season isohyetal maps of rainfall over longer periods, such as decades are derived from raingauge networks, but the density of the gauges is such that linear interpolation may not be justifiable.

The paper describes the methodology developed and presents the preliminary calibration results for Zambia. It further shows how RCD and NDVI have been used to qualitatively assess the rain seasons since the 1991/92 rain season.

Since the programme started at the Department of Meteorology, Rain Cloud Duration (RCD) and Normalised Difference for Vegetative Index (NDVI) images have been received from USA via FAO Hg in Rome. The management in Rome in turn send them to the Regional Centre in Harare, Zimbabwe who relay them to us in the shortest possible time. Once the images are received, I process and analyse the and distribute them to relevant users. As at now there are more than 300 recipients of our products within and outside the country. Samples of the images in the format that are being sent to different users are shown on a different paper which were displayed. Apparently I have been comparing the drought and normal seasons. Currently, with the help of the Famine Early Warning System (FEWS) a USAID project we are analysing the NDVI images to come up with valuable information as regards to the start, length, peak etc. of the each growing season in the country. This is already showing good results.

## CALIBRATION OF ARTEMIS SATELLITE RAINFALL ESTIMATES

### DATA SOURCES

To carry out the calibrations we need long term climatological rainfall to define areas which have within a month a uniform rainfall climatology. In addition we must have sets of concurrent rainfall and satellite data to determine the best temperature threshold and the rainfall rate associated with the rain cloud. Because of very large spatial variability of rainfall, it is preferable to use high resolution satellite data which reduces the uncertainty of the calibration. We therefore use the best available resolution satellite data, even though the actual rainfall estimate will, for most applications, be averaged over much larger areas.

## METHODOLOGY

The basic methodology of the rain cloud statistics comprises the following steps:

### (a) Defining areas with homogeneous rainfall climatology

Rainfall zones are considered homogeneous if they have uniform average rate of rainfall from rain cloud. Meteorological and climatological advice is available in the country to indicate where the boundaries of these zones are. Three criteria can also be employed based on historical climatological data.

- 1) Does the zone have similar total monthly rainfall?
- 2) Is mean rainfall per rainday similar across the zone?
- 3) Are the number of thunder days similar?

Using this criteria Zambia was divided into two 'homogeneous' zones on the basis of the 1000 mm isohyet. Dividing the country this way corresponds to separating the country into the wetter north and the drier south.

### (b) Selection of threshold temperature

Selection of the threshold temperature is done with the help of contingency tables. The contingency tables of decadal rain cloud duration and the corresponding rainfall measurements are used to identify the cloud top temperature threshold that best discriminates between active and inactive cloud masses. They also are the bases for identifying anomalous areas or meteorological conditions and for the actual calibrations of rain cloud in terms of rainfall. Satellite and rainfall data is sorted into sets representing each month and each homogeneous zone. Contingency tables are then prepared for each month and climatologically homogeneous zone and the best threshold temperature selected. However, usually there is no advice on the critical level of the rainfall so we select that threshold temperature which:

- (1) Maximises the percentage of correct classifications on a rain and no rain basis.
- (2) Divides the errors in (a) above equally between rain/no-cloud and no-rain/cloud.
- (3) Gives the smallest intercept when the calibration has been calculated by regression as described in the next section.

This last criterion is often the most important at the height of the wet season when dry decades are very rare.

### (c) Development of regression equations

We seek for a simple linear regression equation of the form

$$r = a^0 + a^1 \text{RCD}$$

Where:  $r$  = estimated rainfall

RCD = rain cloud duration (hours)

$a^0$  &  $a^1$  = constants for region and month

This regression is applied to all non zero RCD's. If the RCD = 0 then we set  $r = 0$  which is consistent with our thresholding criteria.

## **RESULTS AND DISCUSSIONS**

Given below are the calibration results for the whole country considered as a homogeneous zone, the north and south zones. In all the three cases data for the two seasons 1990/91 and 1991/92 were combined. As for Zambia -40 was found to be the best threshold.

For the whole country overall success rate, at 0 mm 89%, at 6mm 88%, on 1090 data points, the northern zone overall success rate, at 0 mm 92%, at 6 mm 92%, on 505 data points, and the southern zone overall success rate, at 0 mm 88%, at 6 mm 88%, on 555 data points.

## **THE DROUGHT GROWING SEASON AS MONITORED USING RCD**

This part shows how RCD have been used qualitatively in assessing the performance of rainfall during the 1991/92 compared to the other growing seasons which were almost normal.

For both seasons monthly cumulative RCD images were prepared and these are plotted side by side to allow visual comparison of the two seasons. This was done for the past four seasons as can be seen on the images. The RCD and NDVI images were validated by comparing RCD values with observed rainfall data. For a number of stations the monthly rainfall values were plotted in the RCD images, and appropriate RCD values were established to coincide with the broad rainfall classes.

By accumulating the RCD values the progress of the season was easily assessed. The images of both seasons clearly demonstrate that, as expected, the rains start in the north-western half of the country. This pattern can be attributed to the gradual southward movement of the ITCZ, the main rain generating system. When the RCD images for these two images are compared, it was seen that the RCD values for the months of October to December were higher in the 1991/92 season as compared to 1989/90 season. Comparison of rainfall data from meteorological stations with the RCD values confirmed that higher RCD values in 1991/92 resulted in more widespread rains than in the same period in 1989/90 season.

The RCD values for the following months January and February, however, showed that few rain clouds were present over the south-western part of the country. January and February are the critical months for maize yield because this period coincides with the flowering and seed filling stages such that low rainfall during this period reduces yield considerably. Therefore, the lower number of rain clouds hours during the period meant that little rainfall was received. During the remainder of the growing season (March to April) the entire country received rains. These rains came too late to save the damage already done to the crops in the south-east of the country.

## **CONCLUSION**

I must say on behalf of the Department that we are in an advanced stage in the use of Geographical Information System in as far as RCD and NDVI images are concerned. As at now we have a well equipped data base at the department. I would like to take this opportunity to thank the World Meteorological Organisation for affording me a chance to learn and share with others at the conference. I also thank FAO who have been exchanging data with us for the past 5 years that the programme has been working.



<b>Groupe de Travail 13:</b>	<b>RÔLES ET ACQUIS DES COMITES NATIONAUX SIG / SIE</b>
<b>Working Group 13:</b>	<b>ROLES AND EXPERIENCES OF NATIONAL COMMITTEES GIS / EIS</b>

**ENVIRONMENTAL INFORMATION NETWORKING IN GHANA**

J. A. ALLOTEY, J. GYAMFI-AIDOO .....623

**DEVELOPMENT OF AN ENVIRONMENTAL INFORMATION SYSTEM IN ZAMBIA**

B. CHIRWA .....631

**EVOLUTION INSTITUTIONNELLE DANS LA MISE EN PLACE DES SIE EN AFRIQUE DE L'OUEST:  
CAS DU BURKINA ET DU NIGER**

M. ARI ARIMI, O. DEMBELE .....635

**LES MISSIONS DE L'U.T.I.G. ET SES REALISATIONS**

S. DIALLO .....638

595

# ENVIRONMENTAL INFORMATION NETWORKING IN GHANA

## **J. A. ALLOTEY**

Environmental Protection Agency, Accra

## **J. GYAMFI-AIDOO**

Remote Sensing Applications Unit, University of Ghana, Legon, Accra

### **Background**

Ghana's National Environmental Action Plan (NEAP) places the sustainable management of environmental resources as the basis for the improvement and maintenance of a high quality of life for Ghanaians (EPC, 1991a).

Actions envisaged under the Plan relate to:

- ◆ land resource management
- ◆ forestry and wildlife management
- ◆ water management
- ◆ management of marine and coastal ecosystems
- ◆ management of human settlements
- ◆ pollution control

The thrust of the NEAP is effective environmental management. There is therefore a shift from the "react and cure" (control) strategy of the past to the management of environmental factors founded on a preventive approach. This objective is being pursued through a strategy, the Environmental Resources Management System (ERMS) which aims to strengthen the capacity of national institutions to manage environmental resources using existing structures. The strategy emphasises mechanisms and processes rather than being prescriptive about environmental action.

This involves the following processes:

- ◆ Supervision of environmental impact assessments
- ◆ Monitoring of indicators
- ◆ Environmental problem-solving
- ◆ Law enforcement
- ◆ Promotion of public awareness

ERMS is being implemented through the Ghana Environmental Management Project (GERMP). The project is designed to:

- (a) develop the capability of key institutions which would be involved in these processes; and
- (b) establish the Environmental Resources Management System and operationalise it.

In the area of environmental information the focus is on the development of a viable delivery system rather than setting up a central "facility" for the purpose.

## **Goals of EIS Development**

Good information is a prerequisite for effective management. The development of Environment Information System (EIS) is based on the premise that management measures to solve a problem cannot be formulated if the information required to understand this problem is not available.

The information requirements for environmental management functions are very varied. The long-term objective for establishing an EIS is to provide an efficient flow of accurate, relevant and timely information to policy and decision makers, with the view to effectively influence environmental and resource management decision making. The functions of the system would include:

- ◆ serve as a readily accessible archive of homogeneous data sets on environmental quality;
- ◆ provide organised data and information on the state of the environment and to serve as information support for policy analysis and development planning; and
- ◆ provide a means for early warning and evaluating the impact of development activities and environmental interventions.

The immediate need, however, is to address the basic problem of data and information availability. A primary concern is the improvement of the consistency of information on the state of the environment (Figure 1).

The short-term (project framework) objectives are to:

- ◆ improve the availability and quality of land-related data sets
- ◆ upgrade the capabilities of institutions to update and maintain the data sets
- ◆ promote information exchange
- ◆ develop analytical expertise within the institutions

## **Networking**

Like many other countries environmental information in Ghana is collected, processed and analysed by many different institutions. However the general economic decline that the country experienced in the recent past greatly affected the operations of all the institutions that gather and process data (WRRI, 1987). The network approach was therefore primarily dictated by the integrated nature of environmental issues and the need to strengthen information management capabilities of these institutions, to the extent possible under a single project.

Also, earlier experiences had shown that the optimal approach to GIS development for environmental management had to be pursued through task-sharing in a network of information suppliers. Efforts are therefore aimed at strengthening institutions involved in the collection, processing and analysis to produce environmental information in their area of competence.

The procedure for network development followed a strategy that has been adopted by the United Nations Sudano-Sahelian Office (UNSO), and is consistent with The World Bank's strategy and principles for supporting the development of information systems for environmental management (Falloux, 1989; UNSO, 1992). Specific requirements were determined at a national workshop which identified the purpose for which information would be used, and the manner in which it would intervene in environmental management. Priorities were also established, with emphasis on land-related information (EPC, 1991b).

597

## NEIS DEVELOPMENT

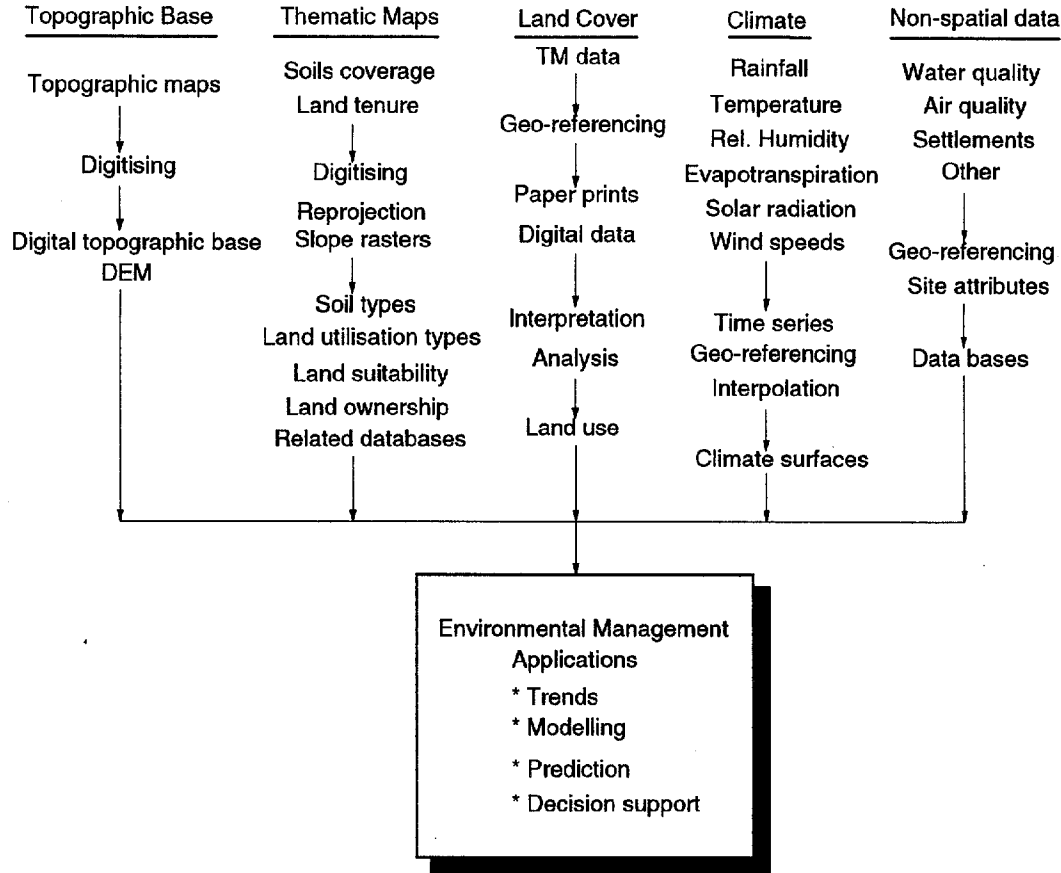


Figure 1. Chart showing data sources and steps in the development of EIS

### Data Sets

In a report on land use planning (MLNR, 1979) it was recognised the importance of the collection of land resource information was recognised and it was in a form suitable for planning. The report noted the lack of systematic collation and arrangement of existing information in a form easy and convenient to use. However, no efforts were to rectify the situation.

The NEAP also identified insufficient and inadequate information on land use as a major stumbling block in any environmental interventions. It was recommended that basic land use and land capability maps should be produced at a scale of 1:250,000, within a standard spatial framework, for use at the national and regional levels, to give broad outline of land use patterns for policy information, planning and monitoring. The basic data set identified to meet this objective were as follows:

#### ***Topographic base***

It is recognised that a well-structured digital topographic data base is pre-requisite for the implementation of a successful EIS programme. In order to meet this need within the context of current initiatives and future demands for digital map products, the Survey Department, the national mapping authority, has been tasked to develop a digital map base for the entire country. The following will be produced, among other products:-

- ◆ conversion of existing 1:50,000 scale series of map sheets, covering the entire country (about 238,300 km<sup>2</sup> in area) into a digital base;
- ◆ derivation of a 1:250,000 map series from the 1:50,000 scale data set; and
- ◆ preparation of a Digital Elevation Model (DEM) from the digitised contours based on the 1:50,000 scale data set.

The digital topographic base will provide a basic spatial framework, support the geo-referencing of satellite imagery for land use mapping, and provide information on slope and aspect, as well as information on human settlements.

#### ***Land use***

Information on how land is presently utilised is a key factor in managing the environment effectively. There is, however, no up-to-date land use map of Ghana. To meet this need a Remote Sensing Applications Unit has been established as part of the EIS development to produce digital and paper copy maps of current land use for the whole of the country.

Maps will be produced at the scale of 1:250,000. Landsat TM data is being used for the mapping exercise. Images will be validated with original field work.

#### ***Land suitability for agriculture***

The use to which a particular parcel of land is put is determined in great part by the characteristics of the land. Information on the suitability of the land for the intended use is therefore a key input in the environmental management process.

To meet this need a digital map coverage of the soil types of Ghana is being produced. A database of agronomic suitability indices for selected crops is being developed based on interpretations of the soil coverage at the scale of 1:250,000. Land suitability maps will be produced at a scale equivalent to 1:1,000,000 for 10 major land utilisation types.

#### ***Land ownership***

Land tenure in Ghana is a complicated and delicate issue as a result of the country's socio-cultural history, colonial past, and the different flavours of government since independence. As these have become more and more inter-twined and the emergent socio-economic system more complex, so have the patterns of land ownership. The underlying principle, however, has always been that land is a common-good natural resource held in trust by a designated authority.

Since environmental management decisions ultimately influence what can or cannot be done with certain tracts of land, ownership maps are essential to complement land use and land suitability information. A national digital map coverage of land ownership is being produced. Given the complexity of the land ownership issue the maps will be indicative only and will not have any legal status.

Within the framework of the Environmental Resources Management System the primary use of these maps would be to promote the consideration of, and access to land ownership information in the environmental management process. Mapping is according to five broad categories of land ownership:

- ◆ Stool/Skin Land
- ◆ State Land
- ◆ Family Land
- ◆ Individual Land
- ◆ Vested Land

Mapping is at a scale equivalent to 1:250,000. The data base will include records (history) of ownership, leases and concessions.

### ***Climate***

Information on climate is an essential ingredient in managing the environment. Climatological records have been kept for a long time in Ghana. However, these have not been rendered machine-readable and, in its current form, it remains effectively unavailable to users.

For environmental management functions under the Environmental Resources Management System the primary need for meteorological information is for land suitability mapping and other investigations that would require time series data. To meet this need a computerised data base of climatological records for the period since 1930 are being produced.

Climatic variables of interest include rainfall, temperature, relative humidity and evapotranspiration. To render the data sets compatible for integration with other data "climate surfaces" will be generated for these variables using appropriate data interpolation routines and a standard digital map reference.

### ***Non-spatial data***

For the sake of categorisation "non-spatial" is used here to designate data types where data is either not already in map form, or data elements have no specific inherent spatial attributes.

Under the EIS development initiative air and water quality data are being generated through a separate network of institutions. In addition there will be substantial inputs from existing data sources, including national census and other Government sources, such as the Statistical Service. There will also be information from studies commissioned on specific subjects. Wherever possible, data will be appropriately geo-referenced to facilitate their use within a GIS environment.

### **Networking Advantages and Synergy**

There are many advantages in the "distributed" approach to EIS development, as is being implemented in Ghana. Emphasis is placed on developing and strengthening skills and capabilities of network partner agencies, rather than the technology. Transfer of technology and the production of outputs takes into account the specific needs of the individual institutions. The development of skills is geared, first and foremost, towards their own unique applications.

An important advantage is that data verification and validation is carried out by the agency that generates and, therefore, understands the original data set and is most sensitive to it. This would ensure a high quality standard. Another advantage of the network approach is also the promotion of GIS applications on a much broader front simultaneously.

The network approach takes advantage of economies of scale. It ensures that a large amount of compatible national level data will be made available to network partners and other users in a relatively much shorter time than could otherwise be achieved by individual agencies. A network builds on the collective strengths of partner agencies to overcome individual limitations.

Duplication of effort is avoided through the effective rationalisation of limited resources. The task of each institution complements others, and the limited trained personnel will focus on their area of competence.

This synergy ensures a speedy transfer of technology to several agencies in a systematic, cost-effective and demand-driven manner. It ensures compatibility of systems, techniques, procedures and outputs across a broad front of agencies with different needs. Man-power development is also more focused on specific need areas, and because of the demand-driven nature, momentum can be sustained. More importantly the network approach facilitates the building up of a critical mass of viable installations that can attract local computer service companies to develop support capabilities and expand the technological base.

### **Organisation and Co-ordination**

Despite the advantages, however, there are serious co-ordination issues involved in the approach. Primary outputs must conform to the requirements of the individual institution while remaining compatible within the established framework. Priorities may differ. Effective co-ordination is therefore essential. This is the responsibility of the Environmental Protection Agency (EPA) which plays a lead role in the promotion of land information standards and as the driving force in the production of environmental information in Ghana.

Under the leadership of the Agency mechanisms for establishing guidelines for data compatibility and quality control, and in the choice of hardware and software for use across the board have been set up. It will also ensure the use of a standard digital spatial framework for data collection.

The EPA hosts four inter-sectoral networks on which the ERMS rest. These networks bring together the sectoral agencies whose programmes impact on the environment. One such network is the Natural Resource Inter-Sectoral Network (NRISN) under which land management issues fall. The NRISN deals with issues outside the scope of the project but within the context of ERMS. It also ensure co-ordination with institutions involved in supply or use of related information and handles questions of nomenclatures, data formats and priority areas to investigate. It is expected to play the role of a watch dog for enforcing national policy on information standards.

A sub-committee of the NRISN is the Land Information Project Operations Committee (LIPOC). It will provide a platform for technical meetings, maintenance of information about existing data, and the sharing of experiences. A committee has been set up to supervise inter-agency provision of services, and ensure the timely production of information.

LIPOC is chaired by the National Development Planning Commission . This is to ensure that the Commission which is responsible for co-ordinating overall national development planning can utilise the products generated in the planning process. EPA hosts the Secretariat whilst agencies providing the basic data sets serve as members. Management of project activities are co-ordinated by EPA. EPA also operates the project accounts in the execution of the project activities.

### **Defining EIS Products**

Information is not produced for its own sake. It must lead to knowledge and understanding of the situation about which the information is acquired. Furthermore, it must be meaningful to the recipient and must have real or perceived value in current or prospective management actions.

Production of environmental information products is being guided by the following general principles:

- ◆ information must be relevant to policy and decision-making in respect of the environment and natural resources development;
- ◆ information must be concise, easy to understand and to use, timely and appropriately packaged with regard to format and the medium of dissemination;
- ◆ information presented must be accurate, as complete as possible, and trustworthy;
- ◆ information must be analytical and attractively presented;
- ◆ the significance of the information must be immediately recognisable;
- ◆ the direct economic implications of options suggested by the analytical treatment of data must be indicated;
- ◆ information must be appropriately targeted to the different levels of decision-makers and other potential users.

◆

### **System Development Considerations**

- ◆ System-wide compatibility is being ensured in respect of the essential operational software and hardware.
- ◆ A client-server environment has been recommended based on UNIX workstation platform.

601

- ◆ PCs will be used as data input and editing stations within a local area network configuration.
- ◆ PCs should integrate into the client-server environment seamlessly and as transparently as possible to the user.
- ◆ End-user systems will be based on PCs.
- ◆ The Windows graphical user interface will be the standard "operating system" on PCs.
- ◆ ARC/INFO will be the standard geographic data conversion, management and analysis software.
- ◆ Software for end-users must be easy to use by non-GIS people and must integrate well with other information production "tools" available on the PC platform.

### **Pathways to Decision-Making**

It proposed to set up an Environmental and Resource Information Workgroup (ERIW) whose main task would be to analyse and integrate data from different sectors, and to facilitate the dissemination of this information without the constraints imposed by institutional rigidities. ERIW would operate as an independent technical group outside the narrow institutional mandates to develop information products based on established needs, criteria and specification. It would be made up of technical personnel who would be tasked to undertake specific information production tasks using resources available in their institutions.

The following strategy has been proposed to facilitate the flow of information among the different sectors of government machinery:

- ◆ Sectoral agencies constitute the primary source of data and information on their respective sectors
- ◆ Each agency will categorise its data holding, and publish the conditions of access or exchange
- ◆ Each agency will officially designate contact persons who will have authority to provide information on request without the need to seek approval before doing so
- ◆ Integration and analysis of inter-sectoral data would be the responsibility of the Environmental and Resource Information Workgroup
- ◆ Basic data compilation will be at the level of the district and organised on the basis of the region.

### **Current Activities**

The following objectives are currently being pursued:

- ◆ Definition and harmonisation of classification schemes and specifications for each of the data sets. Specifications and harmonisation will be tested through a common project.
- ◆ Capacity development, including training of technical staff and agency-wide sensitisation
- ◆ Establishment of framework for co-ordination and co-operation involving the following:
  - ◇ common database "architecture"
  - ◇ data exchange norms
  - ◇ clear definition of institutional responsibilities within the network
- ◆ Seeking agreement on data formats, access, packaging and dissemination
- ◆ Promotion of awareness about information technologies, trends and impacts on mandates of organisations

### **GIS Platform for EIS Development**

GIS technology is providing an opportunity to decentralise the management of environmental information while ensuring compatibility at the same time. At the institutional level GIS is providing a focal point for inter-agency co-operation. It is now possible to work towards the collation and updating a wide variety of generally incompatible and widely scattered information within a single framework. The collaborative effort is increasing the sensitivity of agencies to others needs and perceptions of the data that they generate or that is required by users.



At the technical level the technology is providing a stimulus for dialogue and discussion regarding common quality standards and specifications in the development of a truly national environmental information system. It is promoting the adoption of a common frame of reference for organising resource and environmental information. There is the possibility to develop a common framework for reporting information relating to land, environment and natural resources. It is hoped that the dissemination of resource and environmental information available in the country will be greatly facilitated, and their accessibility enhanced.

GIS offers the possibility to rapidly produce a combination of derived maps and data that would show how the environment is changing as a result of resource exploitation and other pressures. However, more than its functionality, it is perhaps the element of integration that is most significant in the context of the development of EIS. The technology offers a platform for integrating disparate data types using the one common feature that links them together - a spatial reference. It thus provides an essential link between socio-economic issues and physical and geographical information, and offers a consistent framework for the analysis of policy information.

### **Major Problems**

A number of problems have been experienced in the implementation of EIS development. Notable among these are:

- Delays in project start-up due to:
  - \* lack of understanding of technical issues
  - \* administrative bottle necks
  - \* delay in commencement of technical assistance
- Slowing decision-making process as a result of unfamiliarity with technology (computers, remote sensing GIS, etc.) at senior management level. However, after undergoing training, confidence of personnel of the implementing agencies is expected grow for them to face up to the task.

### **References**

- EPC, 1991a. Ghana Environmental Action Plan (Volume 1), Environmental Protection Council, Accra. 106 pp.
- EPC, 1991b. Workshop on land information requirements for land use planning in Ghana, 28 October - 1 November 1991, Final Report, Environmental Protection Council, Accra.
- EPC, 1992a. GIS for environmental resource management: Workshop on Geographic Information Systems, Accra, 9 - 10 April 1992, Report, Environmental Protection Council, Accra, pp. 8 - 10.
- EPC, 1992b. *op. cit.* pp. 11 - 13.
- Falloux, F., 1989. Land information and remote sensing for renewable resource management in Sub-Saharan Africa: a demand-driven approach, World Bank Technical Paper No. 108, Washington, D.C., 70 pp.
- UNSO, 1992. Information systems for environmental management, presented at the Fourth Meeting of the Advisory Committee for the Program on Environment Information Systems in Sub-Saharan Africa, Kampala, January 15 - 17, 1992, Environment Division (AFTEN), The World Bank, pp. 35 - 54.
- WRRI, 1987. Report of the Inter-agency Group on data collection, processing, storage and retrieval, Water Resources Research Institute (C.S.I.R.), Accra. 83 pp.
- MLNR, 1979. Land Use Planning Committee Report. Ministry of Lands and Natural Resource. May 1979. Republished by EPC/GERMP September 1994

# DEVELOPMENT OF AN ENVIRONMENTAL INFORMATION SYSTEM IN ZAMBIA

## **B. CHIRWA**

Geo-information Systems Officer, Environmental Council of Zambia

### **1.0 Background**

Development of a national environmental information system in Zambia dates as far back as 1985 when the Zambian Government adopted the National Conservation Strategy ( NCS ) as the principle policy document guiding the conservation of the country's natural resources. During the preparation of the NCS, the inadequacy and inaccessibility of existing data on natural resources were identified. The NCS therefore recommended the establishment of a Natural Resources Data Bank to improve accessibility to and identify gaps in existing natural resources data. The data bank would also facilitate natural resources planning and development and would form the basis for setting research priorities in the country. The Data Bank was therefore established in 1989 with funding from Norad. In 1991, the Geographic Information Systems and Natural Resources Management was set up in the Ministry of Agriculture, Food and Fisheries with the help of UNEP, who provided training for two staff, hardware and software. In 1991 parliament passed the Environmental Protection and Pollution Control Act which facilitated the formation of the Environmental Council of Zambia (ECZ). This led to the incorporation of the Data Bank into the ECZ. In the light of the development of the Natural Resources Data Bank within ECZ, it was proposed that the existing NRDB should be merged with the Geographic Information Systems. In 1993, ECZ with the help of UNEP/GRID and Asplan Viak prepared a project document for the development of the NEIS program.

### **2.0 Long term Goal**

The long term goal of this program is to develop and strengthen the operational Environmental Information Systems Network in Zambia. Such a network would service decision makers, planners and resource users in Zambia by providing access to data on natural resources and environment that otherwise might be difficult or impossible to obtain. The program therefore was to identify priority gaps and to begin to fill them within the constraints of resources available. The objective of this program was therefore to setup, maintain, expand and make available an operational environmental information system within ECZ so that environmental information is integrated into the economic and social decision making processes and also support the existing network of sectoral environmental information systems within the country. To achieve these objectives, it was intended that GIS forms an integral component of the necessary tools.

### **3.0 Technical Approach**

#### **3.1 Establishment of Basemap**

A basemap is a general purpose map upon which specific information is mapped and usually gives reference to the national geodetic survey network. The elements of the basemap build the necessary topographic framework to locate the theme. The digital basemap was created at a scale of 1:1.5 million to present existing and future information, the main objectives which were to facilitate illustration of spatial data and information in the State of Environment Report on the one hand and to initiate the construction of a national spatial environmental

database on the other. Future activities involve developing datasets in larger scale meant for specific purposes and in specific areas. A digital basemap of Lusaka from which potential waste disposal sites will be determined has been started.

### **3.2 Methodology**

The initial task involved determining what spatial datasets were to be part of the state of environment report. This was achieved by looking at the old state of environment report to see what datasets were already there and therefore which datasets would be necessary. The activities involved the following:

- Acquisition of topographic maps from the mapping authority.
- Obtaining information from other relevant institutions.
- Digitizing the topographic maps and editing digitizing errors.
- Entering attribute data into the database and making final plots.

One important activity involved holding discussions with the Mapping Authority in order to enhance coordination and avoid duplication of effort in digital mapping. Collaboration was also undertaken with line agencies that may already have the relevant data in digital format. The basemap was digitized from maps of scale 1:1 million.

The basemap was digitized in pc arc/info 3.4D plus. The final map was projected into UTM coordinates. Zambia is covered by two zones (35 and 36). This creates a problem for the country because the choice of one zone over the other creates distortion in one direction. However, zone 35 which covers most of the country is generally used at this scale. Probably new systems in the future could solve this problem.

### **4.0 Organization**

The NEIS program has the overall objective of facilitating a coherent system of collecting, storing and utilizing environmental data for enhanced natural resource management. This includes developing capacities and mechanisms for various institutions and individuals outside the ECZ to generate and /or acquire relevant data on the environment in interchangeable formats. In Zambia systems for producing and disseminating information on the environment exist on sectoral basis within various institutions. However the mechanisms of knowing of the existence of and ways of accessing these data has not been well defined nor well developed. The context of networking pursued in this program refers to computerized systems of producing, storing and interchanging environmental data. The methodology that was used to implement the network is a phase approach. During the first phase of the NEIS program, an operational EIS capacity was developed within the ECZ with which to nurture suitable models for environmental database development and networking. During the second phase of the NEIS program, the ECZ will promote the development of compatible EIS capacities in other relevant institutions through technology transfer programs. During this phase, the nodes in the network will be encouraged to adopt a vertical networking with the provinces and districts to facilitate development of distributed environmental databases.

## **5.0 Data Exchange**

Although the methodology adopted in the first phase emphasized on building capacity in ECZ, there has been a lot of collaboration with different institutions in the implementation of pilot operations. Data exchange, especially that in digital format does take place between most institutions with GIS units. The ECZ has provided information on meta databases, SOE and who is who in environment either free or at a nominal price in some cases. The Zambia Association of Geographic Information Systems (ZAGIS) is expected to play an important role in developing collaborative links amongst institutions in the development of spatial environmental databases, as well as in standardization and data exchange efforts. A working relationship between ZAGIS and the ECZ will be necessary as the network is being developed.

## **6.0 Further Development and Institutional Cooperation**

Collaborating with sectoral agencies and the research community in providing environmental information for the public is challenging and requires special considerations. Institutions tend to be protective of information produced within their domain. They are ultimately responsible for the quality and reliability of the information. Production of information is also usually one of the main sources of funds and other support for such institutions. A free and open exchange of environmental information between institutions and a national environmental information systems program is an admirable goal, but usually such exchange is done within more restrictive policy guidelines agreed upon by both supplier and recipient.

## **7.0 Training**

Though several operational units using GIS have now been established in Zambia, the actual use of this technology for improved environmental management is still in its infancy. Taking into account the rapid growth of this technology and its proved usefulness and growing distribution in developing countries, the importance of building up national self reliance and competence in use of this technology cannot be over emphasized. Appropriate human resource development and utilization is the cornerstone of a country's participation in any technology. It is the most important infrastructure that needs to be continuously developed and strengthened. The success of any technology transfer program such as GIS, depends on provision of trained personnel. One of the main activities of the program was to ensure allocation of trained national personnel for professional implementation and maintenance of a geographic information system. To respond to this challenge, a comprehensive and coordinated GIS/EIS training program needs to be implemented. Training however will be expensive as most of the training in GIS is usually done outside. The University of Zambia has started short introductory courses in GIS.

## **8.0 Product Generation**

The output has been in the form of maps on A4 size print, reports such as the State of Environment Report, the "Who is Who" report, and computer based environmental presentations. Maps in pcx format have been used in environmental presentations which are computer based programmes developed in toolbook. These presentations describe the activities of the National Environmental Information System on one hand and datasets available in various institutions on the other. The new arcview has been used to generate hard copy printouts as well as displays. It is more of an operative system while the earlier one was more of a display system. It is user friendly and provides better and more and more convincing demos. It is easier for people to see benefits from data displayed using a system like this. There is now a possibility of linking photographs within arcview. The limitation in NEIS at present is the lack of a plotter which can provide better quality output. The method of

distributing the products is expected to be improved during the second phase with the involvement of the communications team in the programme.

## **9.0 Use and Impact**

Public awareness is crucial, both at community (grassroots) level among users of natural resources and at the level of local and national government decision makers. Training and awareness programs for information users who included decision-makers, planners and resource managers were conducted. Support was given to workshops and seminars for technical staff, managers, and policy and decision-makers dealing with environmental information. This was to ensure that the information collected and processed is actually available to the end users and can be utilized in planning and management. The recommendations by the users who attended one of the workshops was that for GIS to be successful in Zambia, collaboration among different institutions is essential. In particular, access to data kept by government departments and public bodies is essential for functional GIS. Without access to such data, the potential of the technology for assisting decision making may not be realized. There was limited use of information in the first phase mainly because this was a planning and mobilization phase in addition to the low publicity. Public awareness will form the major component in the second phase.

## **10.0 REFERENCES**

ECZ, 1994. Development of a National Environmental Information System - Final Report, Environmental Council of Zambia, Lusaka.

ECZ, 1994. Development of an Environmental Information System Project - Phase 2, Environmental Council of Zambia, Lusaka.

607

# EVOLUTION INSTITUTIONNELLE DANS LA MISE EN PLACE DES SIE EN AFRIQUE DE L'OUEST: CAS DU BURKINA ET DU NIGER

**M. ARI ARIMI**

Direction de l'Environnement , Niamey, Niger

**O. DEMBELE**

Institut Géographique du Burkina, Ouagadougou, Burkina Faso

## Introduction

Ces dernières années ont été marquées sur le plan mondial par l'émergence de préoccupations soutenue concernant la gestion des ressources naturelles et de l'environnement. Pour être efficace, la prise de décision dans ce domaine devrait s'appuyer sur des connaissances précises et disponibles au bon moment, de l'état et de l'évolution des ressources naturelles et de l'environnement.

Dans l'ensemble des pays du Sahel, la conjonction des facteurs climatiques et de la poussée démographique a eu pour conséquence immédiate la dégradation du potentiel productif et du cadre de vie et par la suite une prise de considération de l'environnement dans les programmes et politiques de développement.

L'urgence d'actions concrètes pour inverser les tendances de la dégradation s'est traduite dans les faits par de petites politiques de tâtonnement, manquant le plus souvent de bases d'analyse et d'évaluation chiffrées. Le constat se fondant le plus souvent sur des appréciations qualitatives et de données en général peu fiables.

Il y avait donc nécessité d'élaboration de stratégies fondées sur des analyses et des actions cohérentes. Les efforts ont dès lors portés sur la mise en place ou le renforcement de structures et de mécanismes institutionnels devant régir la gestion de l'environnement et l'amélioration des conditions de vie.

La mise en place ou le renforcement des nouvelles structures va faire appel à des outils et des technologies intégrant des données de télédétection, les SIG et au développement de concepts de SIIIE et de SIE que nos pays ne peuvent s'offrir dans l'immédiat. Pour cela, ils ont fait appel aux partenaires de développement et différents bailleurs de fonds. Ainsi l'UNSO aide à la mise en place de SIE et la Banque Mondiale de SIG pour la gestion des terroirs dans différents pays du Sahel (Burkina Faso, Niger, Mali, Sénégal, ...).

## Evolution institutionnelle au Burkina et au Niger

Au Burkina comme au Niger, la prise en compte de la gestion de l'environnement s'est traduite par l'adoption de plusieurs programmes pour aboutir à l'élaboration de Plan National de Lutte Contre la Désertification (PNLCD). Par la suite, au Niger, une fusion du PNLCD avec le Programme Intégré de Gestion des Ressources Naturelles (PIGRN) a conduit à la création d'une Cellule institutionnelle de Gestion des Ressources Naturelles (C/GRN). Cette cellule interministérielle est placée sous la double tutelle du Ministère de l'Hydraulique et de l'Environnement et du Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage. La cellule est chargée de coordination et de la mise en cohérence des stratégies de gestion des ressources naturelles. Contrairement au Burkina, le PNLCD a évolué en PANE (Plan d'Action National pour l'Environnement), structure interministérielle dotée d'un Secrétariat Permanent et placée sous l'autorité du Ministère de l'Environnement et du Tourisme. Au Niger, les efforts portent actuellement sur l'élaboration d'un

Programme National Cadre, Environnement et Développement Durable ou un Plan National d'Action Environnemental (PNAE).

La cellule Gestion des Ressources Naturelles a un rôle pour le moment consultatif et prépare le PNGRN (Programme Gestion des Ressources Naturelles). Contrairement au Burkina, le PNAE est déjà en place et se compose de trois niveaux hiérarchiques que sont le Comité Interministériel Technique de Gestion (CITG), le Secrétariat Permanent et les coordination des cinq programmes cadres que sont le Programme National de Gestion des Terroirs (PNGT), le Programme d'Amélioration du Cadre de Vie (PACV), le Programme National de Gestion des Patrimoines Nationaux (PNGPN), le programme National de Développement des Compétences en Environnement (PNDCE) et le Programme National des gestion de l'Information sur le Milieu (PNGIM). Le PNGIM est un programme d'appui aux quatre autres programmes nationaux.

Au niveau spécifique de l'information sur l'environnement, la responsabilité de la gestion de l'information est du ressort d'une multitude d'institutions. Ces institutions disposent théoriquement de cadres institutionnels pour se mettre en réseau de partenaires mais ces cadres ne sont pas encore effectivement opérationnels pour permettre les échanges et la diffusion de l'information sur l'environnement.

Au Burkina, le PNGIM tarde à disposer des moyens pour réaliser son programme. En effet, il n'a pas pu être actif en matière de coordination des activités en cours. Il s'agit entre autres du suivi écologique pour le PNGT, du programme de cartographie environnementale de Aires classées du Burkina, du recensement général de la population, du suivi pastoral national, des systèmes d'alertes précoces, etc.

Au Niger, la stratégie de mise en place de SIE s'articule autour de quatre axes:

- identification et classification des priorités en ce qui concerne les besoins en information;
- amélioration des capacités nationales de production de l'information;
- structuration de l'information et conditions d'accès;
- mise en place d'un réseau de producteurs et d'utilisateurs de l'information environnementale.

L'atelier de lancement du programme, tenu en juin 1994, a défini trois domaines prioritaires (information spatialisées, documentaires et bases de données statistiques) et un cadre institutionnel sur lequel devrait s'appuyer le développement des systèmes d'information sur l'environnement. Ainsi trois réseaux nationaux ont été mis en place; il s'agit:

- du réseau télédétection, cartographie et SIG;
- du réseau SGBD et statistiques;
- du réseau gestion des données documentaires.

L'atelier de lancement du programme SIE a également confié la responsabilité de la coordination du réseau national à la cellule de gestion des ressources Naturelles. Mais compte tenu de son personnel (très réduit) et n'ayant pas pour seule tâche cette activité, la cellule ne sera pas en mesure d'assumer pleinement le rôle qui lui aura été assigné, à savoir:

- l'élaboration des normes et standards pour intégrer les données produites au sein des différents sous-réseaux;
- l'élaboration d'un plan indicatif d'activité des réseaux;
- l'animation du réseau national.

Pour mieux coordonner les activités du réseau, les Directions de l'Environnement et des Ressources en Eaux sont constituées en points focaux.

Au Burkina, un réseau de partenaires en géomatique se met lentement en place. Diverses institutions se mobilisent pour la tenue d'atelier nationaux de concertation qui définiront les normes et standards nationaux et la distribution

gratuite de fonds de cartes numériques plus un prototype d'une base de données nationales pour servir de référence à tous les SIG sectoriels.

En fait, un SIG (avec utilisation de logiciel Arc-Info) pour la gestion des terroirs et qui devraient servir de noyau à la mise en place de SIE est installé et il est opérationnel (cas du Burkina) ou en cours d'installation (cas du Niger) avec l'appui de la Banque Mondiale est le principal bailleur de fonds des programmes nationaux de gestion des terroirs dans nos pays.

Les structures abritants déjà ou devant abriter ces SIG ont toutes été désignées par consensus national. Au Burkina, le SIG financé par la Banque Mondiale a été installée suite à un atelier national, à l'Institut Géographique du Burkina (IGB) et un contrat de prestation de service existe entre cette institution et le Programme national de gestion des terroirs pour l'exécution du volet "Suivi Ecologique à l'échelle nationale".

#### Conclusions et perspectives pour la mise en place de SIE

On peut être optimiste car l'évolution institutionnelle en cours dans nos pays permet d'envisager la mise en place de SIE au niveau national. La prise en compte du caractère transsectoriel de l'environnement et de la multitude des structures intervenants dans la gestion des ressources naturelles devraient permettre l'organisation des activités de production, d'échange et de diffusion de l'information environnementale. La mise en place de SIE doit se fonder sur la définition et l'élaboration de normes et de standards en géomatique devant servir de référence nationale d'une part et d'autre part sur un réseau de partenaires volontaires mobilisés autour d'un objectif commun notamment la production et la diffusion de l'information utile pour la prise de décision.

Les barrières institutionnelles sont aujourd'hui en passe d'être levées mais de façon relativement lente. Il est certain que la création de cadres institutionnels consensuels, au Burkina comme au Niger, permettra à terme la mise en place et le développement de SIE fonctionnels et dynamiques qui pourront répondre rationnellement aux préoccupations environnementales tant au niveau local qu'au niveau national et sous-régional.

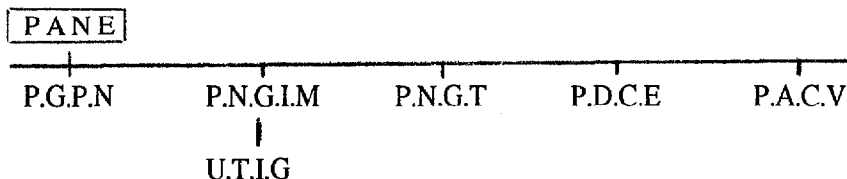


# LES MISSIONS DE L'U.T.I.G. ET SES REALISATIONS

## S. DIALLO

Directeur U.T.I.G., Ouagadougou, Burkina Faso

Créée en **Mai 1992**, l'Unité de Traitement de l'Information Géographique (U.T.I.G.), est un outil technique du Programme National de Gestion de l'Information sur le Milieu (P.N.G.I.M.), qui est un des cinq (05) programmes Cadres du Plan d'Action National sur l'Environnement (P.A.N.E).



## I/- MISSIONS

L'objectif premier du P.N.G.I.M est d'améliorer la pertinence, la qualité et la disponibilité des informations sur l'environnement. Pour mener à bien cet objectif, il a été décidé de mettre en place une formule institutionnelle de trois éléments de base :

- 1)- Le réseau de partenaires
- 2)- La cellule de coordination
- 3)- l'Unité de Traitement de l'Information Géographique (U.T.I.G)

1)- **Le Réseau de partenaires** seront responsables de la collecte des données de base du contrôle de leur qualité, et de la maintenance de bases de données, chacun selon ses attributions réglementaires.

2)- **La Cellule de coordination**, structure légère aura les objectifs suivants :

- Coordonner et contribuer à renforcer les capacités existantes en matière de collecte, de traitement et de diffusion de l'information sur le milieu ;
- Mettre en place un système efficace de circulation de l'information disponible à tout moment ;
- Assurer le bon fonctionnement du "feed-back" entre les prestataires, demandeurs et fournisseurs ;
- Appuyer les programmes Cadres du PANE et les actions de suivi des programmes et projets de développement.

3)- **L'Unité de Traitement de l'Information Géographique (U.T.I.G)**

Les missions de l'U.T.I.G sont à long et moyen terme.

Dans le long terme :

- être un instrument au service de la cellule de coordination, notamment pour :
  - . l'établissement d'un répertoire de jeux de données disponibles aux autres partenaires ;
  - . garantir la compatibilité des supports cartographiques de l'information, assurer un transfert de technologies (Choix et installation du matériel Informatique, formation....etc) ;
  - . assister et conseiller les autres acteurs dans l'élaboration des programmes techniques ;
  - . réaliser des prestations de services, les acteurs du P.N.G.I.M.

Dans le moyen terme :

exécuter le contrat qui le lie au Programme National de Gestion des Terroirs, par :

1)- la mise en place et le développement :

. Des capacités nationales de traitement d'informations sur le milieu pour la réalisation d'études sur l'importance de la dégradation

des ressources naturelles et sur l'évolution de l'occupation des terres et productions rurales ;

. Des capacités d'analyses spatiales, nécessaires, afin d'identifier les causes et de déterminer les tendances de ces phénomènes ;

2)- La fourniture au P.N.G.T d'information à l'échelle Nationale qui lui permettront de mieux cibler et évaluer l'impact de ses interventions,

3)- La mise en marche de certaines composantes du P.N.G.I.M définies plus haut.

Le contact U.T.I.G/P.N.G.T porte sur les tâches suivantes :

- réaliser une étude systématique des changements dans l'occupation des terres sur l'ensemble du BURKINA FASO à partir de l'imagerie satellitaire.

- Collecter des informations complémentaires de divers départements, afin d'apprécier l'évolution des ressources et des productions rurales,

- Intégrer les informations sur les changements dans l'occupation des terres et les informations complémentaires, afin d'évaluer les tendances évolutives et leur gravité pour chaque province.

Pour exécuter ce contrat, le P.N.G.T a alloué un budget de 779.000 U\$. pour :

- assurer le fonctionnement de l'U.T.I.G,

- l'acquisition du matériel informatique et des logiciels,

- assurer la formation du personnel de l'U.T.I.G.

### **III- REALISATIONS**

Après la mise en place de l'Unité de Traitement de l'Information

Géographique (U.T.I.G), l'U.G.O/P.N.G.T a mis à la disposition de l'UTIG en Janvier 1993 :

- 2 PC 486,

- 3 logiciels ARC/INFO,

- 1 table à numériser,

- 1 table traçante.

Ce qui a permis à l'U.T.I.G de produire la carte numérique, administrative du BURKINA FASO au 1/1.000.000è, avec trois (03) dérivées (Provinces, Départements, Régions Economiques). Cette carte a été reprise et à la date du 31 Décembre, les couvertures composant cette carte numérique, sont disponibles au prix du support.

Le Parc informatique a été augmenté et à ce jour, l'U.T.I.G dispose de 6 PC, 3 logiciels ARC/INFO, 2 tables à numériser A0, 1 table à numériser A3, 1 table traçante A0.

La production disponible actuellement est la suivante :

- 3 feuilles au 1/500.000è (Planimétrie, Hydro, Altimétrie)

- 5 feuilles au 1/200.000è ( " , " , " )

- des cartes thématiques (réseau routier, morphologique....etc)

En juillet 1995, débutera le traitement de l'imagerie satellitaire afin de produire les cartes d'occupation du sol.

A cet effet, l'U.T.I.G disposera de :

- trois (03) stations,

- deux (02) Arc/Info UNIX,

- deux (02) ERDAS,

- quatre (04) Arc/Info PC,

- trois (03) Arciew Unix,

- trois Arcview PC 2.0
- un (01) Scanner A1,
- un (01) réseau ethernet + le fasopac (internet),
- une (01) imprimante A0 à jet d'encre,
- de couvertures MSS LANDSAT de tout le territoire (17 scènes),
- de couvertures TM LANDSAT de tout le territoire(17 scènes) stockés sur disques optiques.

Le personnel de l'U.T.I.G est une équipe pluridisciplinaire de dix (10) agents ayant les formations et les fonctions suivantes :

- Responsable U.T.I.G: Informaticien, Photogrammètre, SIG
- Chef d'équipe N°1: Télédétection, Géographe, SIG
- Chef d'équipe N°2: Télédétection, Topographe, SIG
- Chef d'équipe N°3: SIG, Topographe
- Technicien N°1: SIG, Photogrammètre
- Technicien N°2: SIG, Photogrammètre
- Technicien N°3: SIG, Cartographe
- Technicien N°4: SIG, Cartographe
- Technicien N°5: SIG, Géomètre
- Technicien N°6: SIG, Photogrammètre

L'UTIG fournira au PNGT les produits suivants à la fin du contrat:

- 50 exemplaires d'un jeu de 5 cartes d'occupation des terres de 1973-1975 et 1992-1994, imprimées en polychromie à l'échelle du 1/500 000è.
- Les tableaux détaillant pour chaque province, les changements dans l'occupation des terres par classe d'occupation pour la période de 1973-1975 à 1992-1994.
- Les cartes sur l'ensemble du pays ou des tableaux par province pour les thèmes suivants :
  - Population
  - Bétail
  - Productions et rendements agricoles par année
  - Productions des pâturages
  - Eaux souterraines et eaux de surface
  - pastorale
- Une analyse pour chaque province dans l'occupation des terres à la lumière des informations complémentaires disponibles.

Dans le cadre de la production de la carte d'occupation des terres l'UTIG va associer des collaborateurs techniques nationaux et étrangers, en signant des contrats de collaboration.

Enfin, une commission de supervision nationale, vérifiera l'avancement des travaux qui se réunira 6 mois après le démarrage de l'interprétation des images satellitaires 1991-1992.

En outre, cette commission à la lumière des informations disponibles déterminera les analyses spécifiques à réaliser.

**GIS, A COMMERCIAL PERSPECTIVE**

S. HINE .....643

**CONCILIER LES LOGIQUES DE RENTABILITE ECONOMIQUE AVEC L'INTERET PUBLIC  
EN MATIERE DE SUIVI DES RESSOURCES NATURELLES: UTOPIE OU PASSAGE OBLIGE ?**

A. M. NIANG .....648

# GIS, A COMMERCIAL PERSPECTIVE

## S. HINE

GIMS, Pretoria, South Africa

### 1. INTRODUCTION

Geographic Information Management Systems is a privately held company that specialises in all aspects of spatial information management systems, This includes supply of the technology (hardware, software and communications), design, implementation and support of the systems. The company has been in operation for five years and has experienced significant growth over tiffs period. Our staff complement has increased from 4 in 1989 to over 70 in 1995. Our turnover has almost doubled every year.

This paper describes the company structure and discusses its growth over the last five years.

### 2. COMPANY OBJECTIVES

The management and staff at GIMS believe that the implementation of GIS technology in Africa can make a positive difference to the quality of people's lives and strive to achieve 'his goal. Even though we are in the technical field, we know that people matter and we guarantee to provide a professional and personal service to our clients. The management at GIMS takes pride in the fact that this is an equal opportunities company. Our caring starts at home with our own staff, We know that staff who are happy and secure will provide the sort of service our clients want and deserve.

### 3. COMPANY STRUCTURE

At the top of the company structure are the GIMS shareholders. Presently there arc three shareholders whose primary responsibilities are the high level strategic direction of the company. Each of the shareholders brings a specific level of expertise to the company, one in the financial field, one in the business field and one in the technical field. Two of the shareholders are South Africa and the third is American.

The next level of management are the Company Directors, The Directors are primarily responsible for the Companies operational strategy. Presently there arc three Directors.. Two of the Directors are highly technical and the third is business oriented.

The third level of management is the department managers, GIMS is divided into the following departments: Sales, Support, Training, Consulting, Projects, Data Capture and Administration. A manager is responsible for, .the day to day running for each of these departments. In addition to the responsibility of the day to day running of the department, this responsibility includes budgeting and budget management. Each department is run as a business centre.

### 4. PERSONNEL

Due to the nature of the business GIMS has a large compliment of professional staff. Initially all of the consulting, project and training staff were university graduates in natural and land sciences. More recently we have hired technical college graduates who have a more practical than academic background with good results. The university graduates took about six to nine months to become fully productive whereas the technical college graduates were productive with one to two months. The University graduates are good problem solvers whereas the technical college graduates are good project development people. Within the projects group we

now have made the graduates project leaders who are technically responsible for a number of junior projects people. This appears to speed up the learning process and reduces the stress that new staff are put under during the early stages of their jobs.

It is important that the graduates joining the company understand that GIMS is a GIS Technology company and not a scientific company, We apply the GIS technology to a problem and do not try to undertake scientific research. GIMS forms alliances with organisations that carry out scientific research.

One of GIMS's primary restricting factors is the lack of suitably qualified/experienced staff. To address this problem we, together with ESRI, have strongly supported the creation of GIS Labs at most of the Universities within Southern Africa. This program was initiated in 1988 and is now starting to produce graduates with some GIS Technology experience, This program will now be extended to Technical Colleges.

GIMS is also thinking of starting a type of "GIS internship program" Where young graduates can join the GIMS staff as interns. These are low salary, educational positions where they will start at the data capture department and work their way into the projects group. When they become productive they can join the GIMS staff as junior projects staff at a significantly increased salary, This program will address their existing problem of young graduates, without much computing/GIS experience, finding it very difficult to get work in the GIS field. Most commercial GIS Companies require experienced productive people and secondly GIS Companies are reluctant to hire an "expensive graduate" who will not be productive for six, to nine months.

Due to the highly technical nature of GIMS's business much emphasis is placed on the technical personnel but experience has shown that the administrative/financial staff play an equally important role in the Company. Technical staff generally tend to concentrate on technical issues and let administrative and financial issues slide. This can be extremely detrimental to the company. The GIS business is not a highly profitable business and thus requires that it be run extremely efficiently. This requires strict financial and administrative control and needs dedicated staff to support this function leaving the technical staff to concentrate on the technical issues. In retrospect the formation of this type of company requires the same amount of administrative/financial control as technical control.

## 5. TECHNOLOGY

### 5.1 Hardware

From its initiation GIMS has invested heavily in GIS technology.. Our philosophy has been *that the people are* by far the most expensive aspect of the business and any technology that can improve their efficiency should be acquired. The GIMS project team uses high powered UNIX workstation's for their GIS projects with 19" Colour Monitors. The workstation's are networked together and share a large UNIX server with about 30 Gbytes of disk. The project team also has a AO pen/pencil plotter for check plots and a A3 and A0 inkjet plotter for final plots. Within the data capture group we have two AO digitizers. The data capture group uses a local scanning bureau for scanning work. Additional hardware technology includes back-up devices (2Gbyte, 4Gbyte and 5Gbyte) and CD-READERS.

In addition to the workstation's GIMS has about 20 DOS/Windows based PC's which are used for word processing and other office automation activities. The Administration/Financial computer system is physically separated from the technical computer system because it was found that the technical users placed a significant load on the network which severely impacted the administration during critical operations (e.g. salaries).

### 5.2 Application Software

The project team uses the ARC/INFO software for all GIS related tasks. All image processing tasks are executed using the ERDAS image processing system. The data capture team uses a pc-based raster to vector conversion package called CADCORE as well as the ARC/INFO ArcScan module.

GIMS has standardised on the Microsoft Office Pack for the office automation tasks although there are some WordPerfect and Lotus users,

Generally GIMS tries to use only the application packages we have standardised on, A new package means a significant learning curve for the people which impacts productivity. New versions of the software are also tested before being implemented in the operational environment.

### *5.3 Communications*

The technical computer network is a TCP/IP network with NFS. The Administration network is a Novell network.

## 6. OPERATIONS

GIMS operations include sales, support, consulting, projects, data capture and training. Initially sales formed 90% of our turnover. Over the last few years this percentage has decreased to presently being about 40% of the GIMS turnover. The general philosophy was to build up the services departments to cover the basic operating costs with sales bringing in revenue over and above the basic operating costs. To date this objective has not entirely been achieved although GIMS is not as dependent on sales. The training, consulting and project departments do not generate large revenue but extend the companies GIS knowledge and provide complete GIS service to the users.

### *6.1 Sales*

GIMS is an ESRI International Distributor for Southern Africa and offer all ESRI products. In addition to these products GIMS is also distributor of the ERDAS Image processing system and the CADCORE line following software. GIMS has also just become the SURPAC 3-D mining and environmental modelling distributor.

GIMS is also a distributor for all popular hardware platforms such as SUN, DEC, HP and IBM UNIX workstation's as well as most Spatial/GIS related peripherals such as plotters, digitizers, scanners etc. GIMS will generally only offer a total solution and will not sell hardware as a single item.

GIMS has recently followed the ESRI example of putting together a data provision service, This is still a new service and time is required to decide on the feasibility of offering such a service.

GIMS does not use traditional sales people to sell the products but rather use experienced technical people to try to analyse the user's requirements and offer a solution. This approach has been very successful.

### *6.2 Support*

GIS technology is a complex subject and is really still in its infancy in Africa. This means that users require significant support especially during the early implementation phases. GIMS offers a computerised Hot-line desk for taking, allocating and tracking support queries. Generally the support calls can be answered by our general support staff, however if they are unable to answer a specialised query this can be referred to one of the specialist project persons. If they are unable to respond to the call, the call is then sent to ESRI in Redlands.

### *6.3 Consulting*

GIMS consulting department consists of our most experienced staff and offers a consulting service both internally to the GIMS staff and externally to outside clients. The consulting service includes user requirement analysis, system design and general advice on technology.

#### *6.4 Projects*

GIMS has one of the largest and best equipped projects teams in Southern Africa and is capable of handling significantly large projects. The biggest stumbling block with this group is trying to find suitably qualified/experienced people. During the early years of the Company we were forced to hire inexperienced staff which put a significant financial strain on the company as we had to pay salaries with little returns. This has changed and we now have a stable level of experienced people who can help and guide the younger project's staff.

The second largest problem in the project group is trying to get the projects completed on time. This has been very difficult due to the pioneering nature of the work and the many unknown factors that tend to appear during the project. To try to minimise these problems GIMS has had to implement a strict project management strategy where every project is specified in detail. The projects people develop a detailed implementation plan which is then accepted by the client and project group. This plan is then managed by the project group manager to ensure that the project is proceeding according to plan. As part of this project management philosophy we have had to implement a strict series of standards. These include primarily data definition and naming standards and operational standards. Each project is structured on the system in a similar manner and a standard naming convention is used. This reduces the dependency of the project on a specific person and helps if the project team is changed.

#### *6.5 Data Capture*

The data capture service offered by the GIMS data capture bureau is generally limited to sales or projects related capture. Generally our overhead costs are too high for GIMS to compete with the "cottage industry" type capture services offered where the service is carried out at a home using very low cost technology. The biggest problem encountered here is personnel and ensuring that the data has been captured to a reasonable level of accuracy. Over the last few years ,GIMS has developed a capture procedure which helps ensure a high quality.

#### *6.6 Training*

All our training material is developed by ESRI. Our training staff are sent overseas w be certified by ESRI as being able to give the course at a standard acceptable to ESRI. This ensures a fairly high standard of training. Problems generally encountered here is the amount of high powered computers that are required to be able to offer UNIX and DOS type training. Also due to the complex nature of the subject being taught classes have to be restricted to a maximum of 8 people per class. This ensures that the trainer can give each class member a sufficient level of attention.

618



## 7. SUMMARY

It does appear that it is possible to successfully establish and ran a GIS company in Africa. The important lessons learned over the last few years can be summarised as follows:

7.1 Financial/administrative control within the company is critical. This generally should be done by a professional and not a technical person trying to do it part time.

7.2 Within the project and data capture group a system of strict project management is essential. This not only gives the projects people a chance to plan the project also gives the management and client an idea as to how the project is progressing. On the completion of a project a summary of resources used during project must be prepared and examined by the management and project team to learn from the experience.

7.3 A set of data and operational standards must be developed for the Organisation. These standards should be strictly enforced. Experience has shown that it is not practically possible to try to standardise data or the operational environment after the project.

7.4 The technology utilised should be carefully selected and once selected should be stabilised. The introduction of new technology, even software upgrades is very disruptive to the Organisation. It is essential to provide adequate technology for the job. People are far more expensive than the technology or data collection phase of the project.

# CONCILIER LES LOGIQUES DE RENTABILITE ECONOMIQUE AVEC L'INTERET PUBLIC EN MATIERE DE SUIVI DES RESSOURCES NATURELLES: UTOPIE OU PASSAGE OBLIGE ?

**A. M. NIANG**

Centre de Suivi Ecologique, Dakar, Sénégal

## INTRODUCTION

La persistance des longs cycles de sécheresse qui ont caractérisé les années 70 ont placé, les problèmes de désertification et de sécurité alimentaire au centre des préoccupations des pouvoirs publics et des organismes de coopération. De ce fait, l'exigence d'une meilleure gestion des ressources naturelles s'est imposée comme un impératif catégorique pour les pays Sahéliens. Or une gestion efficace de ces ressources implique que les processus de prise de décision dans le domaine considéré soient sous-tendus par l'existence d'informations fiables, pertinentes et opérationnelles. Dans cet ordre d'idée, le développement des techniques de télédétection que nous avons observé au cours de ces mêmes années 70 offre des perspectives très intéressantes pour l'amélioration de la gestion des ressources naturelles. Consistant en de simples opérations d'inventaires au départ, les applications de la télédétection se sont étendues à la surveillance de processus dynamiques tels que la croissance de la végétation et l'estimation des précipitations. C'est dire que les informations issues de la télédétection, une fois analysées et traitées, deviennent les éléments nécessaires à la définition et à l'exécution des plans stratégiques.

On peut donc considérer que les processus de collecte et d'analyse des données environnementales qui sont à la fois lents et onéreux revêtent une dimension stratégique. Les efforts déployés par nos pays pour rassembler de l'information sur les mouvements dynamiques des nos écosystèmes ont abouti à la création de plusieurs institutions de suivi des ressources naturelles. L'organisation de ces centres était bien souvent basée sur un subtil équilibre entre l'apport financier et technique de bailleurs de fonds et une contrepartie nationale en fonction de l'intérêt et du degré de priorité portés par les gouvernements à ces questions. Mais depuis peu, l'heure est aux désengagements. Les Etats sont soumis à de fortes contraintes financières qui laissent peu de place aux financements visant le moyen ou long terme et la Communauté des Bailleurs de Fonds de plus en plus intéressée par le financement de projets assurant un meilleur retour. De nouveaux défis se présentent donc pour assurer la pérennisation de ces structures. Plusieurs logiques d'évolution existent: depuis la poursuite des situations actuelles par l'appel renouvelé aux bailleurs de fonds jusqu'à la privatisation complète des activités.

## 1 EXPERIENCE DU CSE

Le Sénégal et la Région sahélienne en général sont soumis à des pressions environnementales qui peuvent mettre en cause l'équilibre des écosystèmes: déforestation associée à une croissance des surfaces cultivées, dégradation des sols suite à l'intensification agricole et la diminution de la pluviométrie, changement dans la composition floristique et réduction de la biodiversité, accroissement des surfaces brûlées, risques de surpâturage. Si tous ces processus semblent assez connus, leur intensité, leur extension et leur évolution potentielle le sont moins.

Ces changements doivent donc pouvoir être suivis, analysés et gérés à différentes échelles. Depuis 1987 (sans tenir compte de la phase-pilote), le CSE s'est principalement spécialisé dans l'exploitation de l'imagerie NOAA AVHRR pour le suivi de l'environnement. Il a développé plusieurs filières d'évaluation de la production de biomasse, de la pluviométrie, de suivi des feux de brousse et d'estimation des rendements. Au cours des années, le CSE a perfectionné les méthodologies mises en oeuvre et a accumulé un jeu de données unique en Afrique de l'Ouest. Il a

620

également commencé à exploiter les images à haute résolution. Les applications développées traitent des problèmes d'ampleur nationale et régionale. A ce titre, les produits (cartes de biomasse, de répartition des feux de brousse entre autres) sont largement distribués aux différentes directions des ministères chargés de la mise en oeuvre des politiques de gestion des ressources naturelles: Directions de l'élevage, des eaux, des forêts et chasse, de l'agriculture, etc.

Si ces applications traitent de problèmes d'ampleur auxquels sont sensibles les services gouvernementaux (identification des zones sensibles au passage des feux, cartes d'aptitude des sols, évaluation de l'impact des sécheresses sur le disponible fourrager, etc) et que les utilisateurs privés n'y accordent qu'une moindre importance vu les échelles de temps considérées, d'autres applications présentent un "intérêt" plus immédiat et la possibilité de couvrir les coûts nécessaires à leur création. Le CSE s'est donc engagé à satisfaire ces demandes nouvelles en offrant son expertise dans le cadre d'activités de prestations de services.

L'expérience du CSE touche des domaines variés: suivi de la production de la biomasse herbacée (imagerie NOAA), suivi et prévision des rendements (mil, arachide), suivi des feux de brousse, estimation de la pluviométrie, décompte du bétail, acquisition de photographies aériennes à basse altitude, cartographie de l'occupation/utilisation du sol, intégration de données dans les Systèmes d'Information Géographique, enquêtes socio-économiques, définition de plans de gestion et dissémination de l'information auprès des utilisateurs.

Le financement d'appui devrait arriver à échéance à la fin de cette année (1995). Afin de préparer l'avenir et d'assurer la pérennisation de l'institution, le CSE a depuis deux ans élargi sa base de financement en offrant des prestations de services. Si ces activités interviennent pour une part croissante dans le fonctionnement du CSE, elles n'ont pas encore permis d'atteindre l'autonomie financière complète. Dans les chapitres qui suivent nous essayerons d'identifier les freins et contraintes à cette évolution et présenterons quelques pistes qu'entend suivre le CSE dans les années à venir.

## 2 ENJEUX ET CONTRAINTES

Afin de mieux comprendre les défis qui se posent à l'évolution des structures environnementales vers la privatisation, il est nécessaire d'identifier les contraintes auxquelles elles sont soumises. Ces contraintes sont de divers ordres: institutionnelle, technique, marketing et financière.

### 2.1 Contraintes institutionnelles

Dans les plus brefs délais, le gouvernement devrait clarifier le statut du CSE. Il doit se demander quel rôle le CSE devra jouer à l'avenir au Sénégal en matière d'information géographique. Devra-t-il évoluer comme une institution gouvernementale, dotée d'une certaine autonomie ou comme un bureau d'étude privé orienté vers les seuls contrats "profitables"? Devra-t-il développer pour ses clients des solutions technologiques? Son rôle sera-t-il d'acquérir des données, de les gérer pour le compte des ministères? Si sa participation au développement (utilité publique) est reconnue, un plan stratégique de développement devrait être établi rapidement qui précise les modalités administratives, techniques et financière de répartition des tâches entre le CSE et les services ministériels. Cette clarification aiderait le CSE à développer son marché et à accroître son autonomie.

Les critères de maintien des produits qu'utilisent les services gouvernementaux ne devraient pas se restreindre à leur rentabilité immédiate, particulièrement dans le cadre d'un organisme de suivi des ressources naturelles situé dans le Tiers Monde. Les statuts envisagés doivent donc identifier les solutions susceptibles de financer les coûts associés à la production de ces produits dits "traditionnels". Si ces produits qui ont fait sa renommée à l'étranger devaient être suspendus, le CSE risquerait de devenir une compagnie de consultance comme une autre et sa contribution au développement du Sénégal et de la Sous-Région se verrait réduite.

Cependant le maintien d'une double casquette d'organisme de service public s'autofinçant partiellement doit être clairement perçu par les différents acteurs de l'environnement du pays. Les produits d'intérêt public ont un coût qui devra d'une manière ou d'une autre être pris en charge. La vocation d'utilité publique présente ainsi des inconvénients.

La production de cartes de biomasse représente d'importants investissements en personnel, travail de terrain, investissements que les utilisateurs ont souvent des difficultés à assumer. De même, l'activité Vols Systématiques de Reconnaissance (VSR destinés aux décomptes du bétail et à la prise de vue à basse altitude) ne peut plus être menée que dans le cadre de financements additionnels tant coûts sont élevés (location de l'avion, développement des films). A titre d'exemple, la GTZ et le CRDI ont commandité l'organisation d'une campagne de prise de vue destinée à la réalisation d'un inventaire forestier dans la région sud du pays. Auparavant, le CSE pouvait grâce à l'appui du bailleur de fonds organiser un survol annuel du territoire et offrir gratuitement les résultats des décomptes aux directions intéressées (Direction de l'Elevage).

## 2.2 Contraintes techniques

L'utilisation de données satellitaires a joué un rôle prépondérant dans le développement des activités du CSE. Il s'agit d'un domaine de haut niveau de technicité et en pleine évolution. Dans les prochaines années, de nouveaux capteurs seront disponibles ou d'usage plus répandu (SPOT 4, RADAR, nouveaux satellites géostationnaires). De nouvelles méthodologies de traitement devront être mises en oeuvre, impliquant l'utilisation de matériels informatiques toujours plus sophistiqués et d'un coût élevé.

Adapter constamment les compétences du personnel, les méthodes de travail, le matériel, constitue un défi ambitieux et coûteux. Une évolution trop rapide vers l'autonomie complète du CSE compromettrait le succès de cette adaptation. En effet pour assurer sa compétitivité, le CSE doit s'adapter à cette nouvelle donne en investissant dans les plans de formation, la recherche appliquée, l'acquisition de matériel de pointe, l'appui de structures de recherche. Or, les contraintes à cette adaptation sont nombreuses, les contacts avec les milieux scientifiques internationaux sont insuffisants, l'accès aux ouvrages et périodiques scientifiques reste limité.

Il s'agit donc d'encourager la participation à des conférences, la mise en place de contacts étroits avec d'autres centres d'excellence, l'intégration à des projets de recherche internationaux. Il faut identifier les enjeux scientifiques et techniques auxquels le CSE aura à faire face, moyennant la révision des méthodologies utilisées, l'élargissement des compétences. Le développement de la recherche ne doit pas non plus se faire sans les utilisateurs au risque de se couper progressivement des préoccupations de ceux-ci. Ainsi aux contraintes techniques et institutionnelles, s'ajoutent les contraintes de marketing et de développement qui visent à répondre au mieux aux attentes des usagers.

## 2.3 Contraintes de marketing et de développement

La stratégie de développement du CSE doit intégrer les attentes multiples des utilisateurs, couvrir les besoins immédiats, à moyen et à long terme. Une concertation avec les utilisateurs visant à analyser en profondeur les besoins des usagers s'avère donc indispensable. Les produits proposés doivent répondre aux besoins et demandes des usagers et non laisser la place à une surenchère technologique. Ils doivent viser le développement durable. Les utilisateurs ont des problèmes précis à résoudre auxquels le CSE est susceptible de répondre.

Cependant, la perception de la demande se restreint bien souvent aux usagers capables de payer, excluant les organisations de base, les services gouvernementaux. Et pourtant, l'information que ces derniers souhaitent obtenir a une valeur dans une perspective plus large. Il s'agit donc d'éviter de se limiter aux seuls clients payeurs, ce qui favoriserait les activités à rentabilité immédiate: cartographie de l'occupation du sol, SIG pour des projets de développement, tableaux de bord environnementaux. Ces contraintes découlent également du statut définitif qui sera accordé au CSE.

Si les utilisateurs des produits du CSE sont bien connus, il est difficile d'estimer leur degré de satisfaction et les produits qu'ils attendent du CSE. La mise en oeuvre d'une étude de marché n'a apporté que des résultats qualitatifs ou insuffisamment précis, notamment par manque de connaissance par les usagers des potentialités offertes par le domaine de la Géomatique. La mise en place d'un Comité de Partenariat, forum d'échange entre le CSE et les utilisateurs devrait permettre au CSE de mieux faire connaître ses produits et de les ajuster par rapport aux besoins de la clientèle.

622

## 2.4 Contraintes financières

Les principaux enjeux financiers se résument au défi suivant: comment évoluer et en combien de temps d'une structure financée à 100% par les bailleurs de fonds et le gouvernement à une structure autofinancée à 100%. A ce jour, les coûts des activités traditionnelles ne sont pas couverts par les utilisateurs. Les bénéfices tirés des activités de partenariat sont insuffisants; pour financer l'administration, les infrastructures et les coûts de développement (formation, recherche et développement). Des progrès restent à accomplir dans le respect des délais, de l'allocation des ressources humaines et matérielles. Quant à l'expertise étrangère, sa couverture par des activités de partenariat payée en monnaie locale est devenue inaccessible, surtout depuis la dévaluation.

A titre d'illustration, les comptes du Centre pour 1994 font apparaître que les prestations de service ont rapporté 87 millions de Francs CFA, toutes charge directes déduites. Ce qui représente 21% des coûts d'opération du CSE en 1994. Le montant des contrats en cours de réalisation pour la période 1993-1996 s'élève déjà à 295 millions. Des perspectives encourageantes s'offrent donc au CSE surtout au vu de la volonté de coopération et des intérêts suscités lors de la dernière réunion du Comité de Partenariat.

## 3 BILAN DES ACTIVITES ET PERSPECTIVES

Ces résultats financiers ont été accomplis dans l'exécution de différents projets au profit de clients assez diversifiés:

- Bailleurs de fonds intéressés à l'affinement de leur stratégie d'intervention dans le pays;
- Projets de développement et ONG disposant de financements extérieurs et soucieux de collecter le maximum de bonnes informations pour une meilleure intervention;
- Privés à la quête de données de base pouvant améliorer leurs choix d'investissement.

Ces projets sont présentés à la page suivante selon leur nature.

Dans le moyen terme, et au cours d'une phase de transition souhaitée, il s'agira de lever progressivement les contraintes évoquées plus haut et d'élargir la gamme des produits et services à offrir, moyennant l'identification de nouveaux clients, la formation élargie du personnel technique, une plus grande souplesse de gestion et enfin une meilleure intégration des activités traditionnelles dans les activités de partenariat. Il faudra également accroître l'utilisation des produits traditionnels auprès des services gouvernementaux par l'organisation de programmes de sensibilisation, par l'amélioration des méthodologies mises en oeuvre.

Les pistes à examiner pour augmenter les ressources du CSE pourraient prioritairement porter sur: la participation à des programmes internationaux majeurs (réchauffement climatique, suivi de la désertification, etc) pour lesquels le CSE constitue une source précieuse d'information et l'identification des potentiels financiers des activités traditionnelles.

D'autres pistes de diversification des produits tout à fait praticables pour le CSE existent:

- Vente d'images NOAA traitées (cartographie des feux de brousse par exemple) aux pays de la sous-région. De tels accords existent déjà avec un certain nombre de voisins;
- Implication dans le processus d'études d'impact qui devraient connaître dans le futur une importance grandissante;
- Exploitation du marché récent des spatio-cartes;
- Développement du SIG en milieu urbain et son exploitation dans les plans de gestion des terroirs;
- Mise en place d'une unité de formation pour répondre aux besoins des clients nationaux et ceux de la sous-région.

## CONCLUSIONS

S'il est encore trop tôt pour annoncer la solution idéale, l'expérience acquise et les solutions originales mises en oeuvre par le Centre de Suivi Écologique au cours des dernières années méritaient d'être examinées. Au cours de son évolution prochaine, le CSE devra surveiller le taux d'autofinancement, identifier clairement les besoins des utilisateurs, adapter son personnel et ses structures de travail à ces besoins.

Tous ces objectifs constituent un défi ambitieux même sans tenir compte des contraintes de financement, de disponibilité de ressources humaines ou autres. Ils constituent un ensemble de lignes directrices valables pour un développement futur. Le CSE semble disposer des bases nécessaires pour atteindre cet objectif à moyen terme et tenir dans le futur une place prépondérante en matière d'information géographique au Sénégal et dans la sous-région.

## BIBLIOGRAPHIE

- CSE, 1993, Statut de l'Association "Centre de Suivi Écologique pour la gestion des ressources naturelles", Note interne, Centre de Suivi Ecologique
- CSE, 1994, Plan de formation du personnel 1994-1996, Note Interne, Centre de Suivi Ecologique
- CSE, 1994, Rapport annuel 1994, version provisoire
- Dusart J., 1994, Outils de gestion des ressources naturelles, les Systèmes d'Information Géographique, Note Interne, Centre de Suivi Ecologique.
- George H., 1992, L'évolution des ressources naturelles et le suivi de l'environnement par satellite: une vue d'ensemble des activités du Centre de Suivi Ecologique de Dakar, Sénégal, Note Interne, Centre de Suivi Ecologique
- Kalensky Z.D., 1994, Land Use Monitoring by Space Remote Sensing and Food Issues in Developing Countries, Commemorative Symposium for the International Cooperation, Tokyo, Japon
- PNUD, CSE, Chevalier J.-J., 1995, Rapport de la mission d'évaluation du projet UNSO/SEN/90/XO1, Sainte-Foy (Québec)
- Rasmussen K., 1994, CSE products and services, Note Interne, Centre de Suivi Ecologique/DANIDA
- Rochon G., 1992, Rapport de mission, Appui au Centre de Suivi Écologique, Projet UNSO/SEN/90/XO1, Envirosat Inc.
- Touré A., 1994, Travaux de cartographie au CSE: occupation et utilisation des sols, Note Interne, Centre de Suivi Ecologique
- Touré B., 1994, Proposition d'un schéma de plan marketing pour le CSE, Chambre de commerce et d'industrie de Dakar

<b>Groupe de Travail 15:</b>	<b>APPUI POUR LES ACTIVITES DE FORMATION EN AFRIQUE</b>
<b>Working Group 15:</b>	<b>SUPPORT FOR SUSTAINABLE TRAINING ACTIVITIES IN AFRICA</b>

**TRAINING AND RESEARCH AT THE REMOTE SENSING APPLICATIONS UNIT, LEGON**

G.T. AGYEPONG .....655

**FORMATION CONTINUE AU MAROC: ETAT ACTUEL ET PERSPECTIVES**

H. ARID .....661

**FORMATION SUPERIEURE ET RECHERCHE EN GEOMATIQUE EN AFRIQUE**

G. B. BENIE .....662

**SPATIALISATION DES DONNEES STATISTIQUES DE L'EDUCATION**

A. KOUADIO, Y. GBO, K. AFELI .....663

**PROJET ECOSSEN ET PROBLEMATIQUE DE LA DESERTIFICATION DANS LE NORD SENEGAL**

L.-A. LAKE, P. S. DIOUF, A. T. DIAW, M. D. THIAM, E. S. N. TOURE, G. B. BENIE .....671

**TRAINING NEEDS & OPPORTUNITIES OF DESIGNING TRAINING STRATEGY IN TANZANIA**

A. T. MAEMBE .....680

**TOWARDS GIS AWARENESS IN ZIMBABWE**

P. MATAMBANADZO .....682

**STRATEGY FOR A SELF-SUSTAINING TRAINING AND EDUCATION PROGRAM FOR BUILDING CAPACITY IN USING GIS IN AFRICA**

N. MUSISI .....688

625

# TRAINING AND RESEARCH AT THE REMOTE SENSING APPLICATIONS UNIT, LEGON

**G.T. AGYEPONG**

Department of Geography, University of Ghana

## ABSTRACT

The paper traces the national context of the development of the Remote Sensing Applications Unit in the Department of Geography and Resource Development, at the University of Ghana, Legon.

The establishment mandate envisages the development of the capability and capacity to offer service to institutions and agencies that may require remote sensing and GIS solutions, and to support the teaching and research programmes of the academic departments of the University. Training in the applications of remote sensing and GIS is embedded in these functions, comprising short term courses for senior staff in external institutions, job training of all staff of the Unit, and teaching and research applications within the academic programmes of the environment and resource-based departments, particularly Geography and Resource Development, Geology, Botany, Soil Science and Animal Science.

For sustainable training there is need for medium term technical backstopping and twinning arrangements with institutions that have more experience in consulting and academic training. Costs may be reduced if training and research programme are related to projects that are locally implemented.

## GENERAL BACKGROUND

The aerial photographic form of remote sensing has been applied for environmental resource mapping since the late 1940's. The use has however not been systematic nor sustained. Wide coverage of the country occurred when the northern half and the southern half of the country were covered in 1960 and 1972-73 respectively.

It took sometime before the usefulness of the rapidly developing tool of satellite remote sensing dawned on us though the USAID and the ADB conducted a survey of land use and cover in the onchocerciasis free areas of northern Ghana for planning in 1979 using Landsat MSS data.

During the 1980s a number of people had undertaken studies abroad in various aspects of remote sensing which included aerial photographic interpretation. When the CRTO was established in Ouagadougou as a regional facility around 1980, a number of Ghanaians again got the opportunity to train. It is not known how many people were trained in this way. Most of them however have come from the resource related departments such as the Ministry of Agriculture, Soil Research Institute, Geological Survey, the Survey Department and the Universities. Beginning from the latter half of 1980s a good number of students received graduate training in remote sensing and GIS from abroad, many of them from the ITC.

Two basic problems have in the past militated against the effective utilization of the knowledge and expertise.

- (a) the thin scatter of the people among the departments and institutes. This means that the critical mass of expertise required to make a meaningful application is not attained in any one institution.



(b) Remote sensing requires expensive equipment in terms of acquisition and maintenance. In many developing countries therefore it takes considerable faith and foresight to invest in these.

Again a number of factors have tended in the last couple of decades to generate considerable interest in the potential of remote sensing and GIS.

(a) Concerns about the environment and resource degradation. In Ghana these concerns came to a head in 1982-3 when the height of increasing drought conditions was attained with considerable damage to crops, forests, savannas, animals and property.

(b) Improvements in remote sensing technology e.g. with respect to spatial and spectral resolution.

(c) The possibility of processing the vast amounts of data gathered through the use of relatively inexpensive but powerful computers.

## **RECENT DEVELOPMENTS IN GHANA**

### **National Seminar/Workshop**

In June, 1989, a National Seminar/Workshop on Remote Sensing and Geographic Information Systems was organised by the Department of Geography and Resource Development, University of Ghana, in collaboration with the Environmental Protection Council of Ghana and the National Remote Sensing Committee with funding from the United Nations Development Programme (UNDP). This was to assess the current state of interest and the need for remote sensing and GIS facilities in Ghana, and in particular the assistance that might be needed.

The aims and objectives of the workshop were:

1. To ascertain the status of remote sensing in Ghana.
2. To provide a basis for government and donor agency funding of remote sensing activities in the country.
3. To promote remote sensing applications in Ghana.
4. To demonstrate the potential of GIS in the storage, processing and dissemination of spatial data and information for resource and environmental planning and monitoring.

The seminar sought, over the three days, to achieve these aims through:

1. The opportunity it provided for the participating government departments, research institutes, corporations, university departments, private organisations and individuals who have use for remote sensing to present their experiences and programmes of proposed applications and development of remote sensing in Ghana;
2. The opportunity provided for discussion of the experiences and programmes presented;
3. The opportunity provided for practitioners of remote sensing to interact, and review the state of the art and applications through the papers presented and the exhibitions mounted;
4. The demonstration of the features and relevance of modern GIS in resource and environmental management in Ghana.

## **Observations**

The seminar/workshop revealed among other things,

- sufficient interest and moderate levels of familiarity with remote sensing
- Moderate range of initial applications.
- rather low levels of available facilities.
- relative lack of skills and awareness of GIS among resource managers and policy makers.

## **Recommendations**

The recommendations of the Seminar/Workshop included:

- the need for the establishment of a national remote sensing center
- the development of a remote sensing and GIS educational programme in educational institutions, among resource managers and policy makers.

## **Assistance**

An initial donation of a PC with peripherals and training funds to the Department of Geography and Resource Development, University of Ghana by the UNDP was followed almost immediately after the seminar by an elaborate assistance programme by the government of Denmark (DANIDA) through a Linkage arrangement between the Institute of Geography, University of Copenhagen and the University of Ghana, Legon, to establish a remote sensing laboratory in the Department of Geography and Resource Development. Three members of the academic staff of the department took an introductory course in remote sensing and GIS at the Institute of Geography, University of Copenhagen and the first consignment of equipment was installed in 1990.

## **Current Status**

The University of Ghana has established a Remote Sensing Applications Unit (RSAU) in the Department of Geography and Resource Development in August, 1983 to execute the following mandate:

“to provide remote sensing services, undertake and assist research into land and water resources appraisal and routine monitoring, including rural and urban land use patterns and trends. It will also support the teaching and research programmes of the environmental and resource-based departments, mainly geography, geology, botany and agriculture.”

There are other remote sensing and GIS facilities also being developed by other institutions e.g. the Forest Department and the Survey Department and the Lands Commission.

## **Current Activities**

The RSAU is established in the academic environment of the University of Ghana, Legon. It is engaged in the service applications of remote sensing and GIS. Applications currently include:

1. The development of a land use map of Ghana at the scale of 1:250,000 using satellite image data. The work is commissioned by the Ghana Environmental Protection Agency (EPA) and funded by the government of Ghana, the government of Denmark (DANIDA) and the World Bank. This will provide one of the data sets required for the development of a national scale Environmental Information System (EIS)

in Ghana as implementation of the Ghana Environmental Resources Management Project (GERMP) which is itself part implementation of the Ghana Environmental Action Plan (EAP) adopted in 1991.

The assignment has been designed to support capacity building through technical twinning, training and backstopping. A country cover of Landsat TM data (1990 - 1993) has been acquired.

A land use and cover classification and preliminary methodologies have been developed (Poster presentation).

2. The development of a GIS data base for a UNESCO Collaborative Integrated Project on the Savanna Ecosystems of Ghana UNESCO-CIPSEG). This is an interdisciplinary project collecting scientific data for the ecological, socio-economic and cultural interventions in the management of community areas which share common affinity to the traditional concepts and practices associated with a "sacred grove" an area of relatively undisturbed 'climax' vegetation preserved and controlled as to use and exploitation through taboos and traditional practices (Agyepong et al, 1990).

### **Teaching and research**

Our teaching and research programme is geared to the needs of the relevant departments of social studies and the science faculties of the University of Ghana. Graduate students are encouraged to apply remote sensing and GIS to enhance the spatial dimensions of their research.

Two introductory courses are at present being taught within the Department of Geography and Resource Development.

(i) A 3 Unit, one semester introductory course on remote sensing for year 3 students in a 4 year programme. A separate course is organised for year 1 geology students because of constraints in time tabling.

(ii) A Remote Sensing and GIS component of an M.Phil course on Research Methods and Techniques attended by students from the Departments of Geography and Resource Development, Geology, Soil Science, Botany and Animal Science.

Students working on thesis and who have proposed to use remote sensing to enhance aspects of their research are indicated below:

<u>No. of Candidates</u>	<u>Department</u>	<u>Degree</u>	<u>Year</u>	<u>Thesis area</u>
1	Botany	M Phil	2/2	Plant Ecology
1	Geology	Ph.D.	1/3	Hydrogeology
2	Geography & Res. Dev't.	Ph.D	2/3	Land use
1	" "	M.Phil	2/2	Medical Geography
1	Physics	Ph.D	2/3	Meteorology

Arrangements are proposed for joint supervision of Ph.D research with staff of the Institute of Geography, Copenhagen.

629

Staff have initiated research in various areas of the environment and resource management including forest management, (G.T. Agyepong and H. Olsen, 1992) and Urban Land Use (L.M. Jensen and P.W.K. Yankson, 1994).

### **Integrated Studies**

A fully equipped Ecological Laboratory has been established in the Department of Geography and Resource Development to share the same block with the Remote Sensing Laboratory. The Laboratory is also funded by the Danish government. The possibility therefore exists to undertake integrated and interdisciplinary studies involving the use of the two laboratories. Such studies have been proposed to focus on the Densu basin in Ghana, a basin considered important because of (i) the inclusion of two major ecological zones (ii) the change of land use and cover from semi-deciduous tropical forest and a predominant tree crop to forb growth and annual food cropping and (iii) the development of the river as a source of water supply for Accra. A major long term objective of the proposed study is to develop an environmental and resource database for the development of the basin.

### **Software**

We are at present using the Copenhagen Image Processing System (CHIPS) developed at the Institute of Geography, Copenhagen for research and teaching. We use also IDRISI for teaching and research. We are in the process of acquiring Arc/Info, the GIS software for the Ghana EIS while ERDAS IMAGINE is on order for operational image processing.

### **Collaborative Research**

The RSAU is currently undertaking the development of an information system for the UNESCO Collaborative Integrated Project on Savanna Ecosystems in Ghana (UNESCO-CIPSEG) based in Tamale in the Northern Region of Ghana (Gyamfi-Aidoo, 1994).

### **Constraints**

The major constraints in teaching and research in remote sensing and GIS in Ghana are not unexpected and are probably similar in other African countries. They include:

- I. problems of acquiring current image data due to the absence of ground receiving facilities in the West African region. The operational implementation of the station in the Republic of Gabon and the possibilities of a mobile station should ease this problem.
- II. the unavailability of foreign exchange for the purchase of images, a problem that is likely to be with us for sometime
- III. technical servicing of equipment is a difficult problem since local companies have not developed the required expertise. The solution seems to be the development of the expertise in our laboratory through external and on-the-job training.

## Observations

The following general observations are made:

There is need, in the medium term, to arrange for more experienced consultant and academic backstopping for local training as well as operational applications of remote sensing and GIS to reduce the costs of sending streams of students abroad.

Training in remote sensing and GIS in the institutions of higher learning needs to be developed to sustain the production of both the academic and professional cadre for development and applications. The academic environment provides opportunities to integrate the experiences of the several disciplines, which is part of the essence of GIS.

Governmental support for the development of remote sensing and GIS may need to be sustained in the medium term.

## REFERENCES

Agyepong, G.T. et al (1990) Remote Sensing in Ghana

Agyepong, G.T. et al (1993) Aspects of the Wider Spatial Context of the UNESCO - Collaborative Integrated Project on the Savanna Ecosystems of Ghana. UNESCO - CIPSEG, Tamale.

Agyepong, G.T. and Olsen, H. (1992)

The Tain Tributary Block II Forest Reserve: The application of remote sensing in forestry management in Ghana - Symposium on Spectral Sensing Research, Maui, Hawaii, 15 - 20 Nov., 1992.

Gyamfi-Aidoo, J. (1994) Data Management System for CIPSEG, Tamale.

Jensen, L.M. and Yankson, P.W. (1994)

Land use change in the Accra Urban area. The Danish Geographer, Copenhagen.

631

## FORMATION CONTINUE AU MAROC : ETAT ACTUEL ET PERSPECTIVES

### H. ARID

Centre Royal de Télédétection Spatiale, Rabat, Maroc

La formation (continue ou académique) joue un rôle fondamental en matière de transfert de technologie, d'assistance à la mise en place de structures et la création d'une communauté d'utilisateurs. Ceci est d'autant plus vrai pour les technologies nouvelles comme la télédétection, les systèmes d'information géographique (SIG),...

En matière de SIG, l'Afrique a été sensible à cet apport en faisant bénéficier ses chercheurs et ses cadres de certaines formations dans ce domaine, essentiellement dans des laboratoires européens. Cette communauté peut être actuellement valorisée en tant qu'outil de formation dans le continent.

En effet, considérant les aspects d'économie d'échelle, la similitude des thèmes étudiés, l'expérience acquise par certains laboratoires africains, il serait judicieux d'encourager et de soutenir la formation sud-sud à travers une assistance nord-sud.

En matière de formation continue, le Centre Royal de Télédétection Spatiale a développé une expertise nationale et régionale à travers les différents modules de formation en télédétection et SIG auxquels ont assisté des cadres nationaux et des africains. A l'échelle régionale, il organise avec le concours de la FAO un atelier régional de formation pour l'utilisation des systèmes d'information géographique en halieutique auquel participeront des utilisateurs de la Guinée, de la Mauritanie, du Sénégal et du Maroc.

Pour asseoir et maintenir cette formation, il fallait améliorer et diversifier son contenu scientifique, développer une politique de communication, réaliser des projets pilotes qui répondent aux besoins des utilisateurs et soutenir la création des structures au sein des départements concernés.

# FORMATION SUPERIEURE ET RECHERCHE EN GEOMATIQUE EN AFRIQUE

**G. B. BENIE**

Université de Sherbrooke, Canada

## 1. OBJECTIF DE LA SESSION

La géomatique est une technologie qui touche à de nombreux domaines scientifiques et techniques. C'est essentiellement la raison pour laquelle la formation universitaire dans la conception et le développement des techniques et méthodes de cette technologie se doit de démarrer au niveau des cycles supérieurs (2e et 3e cycles). Ainsi les étudiants peuvent profiter de leurs connaissances de base pour faire une spécialisation plus rapide et efficace et donc plus rentable.

Dans ces circonstances, quelles devraient être les préoccupations des universités africaines dans la mise sur pied de programmes de 2e et 3e cycles en géomatique? Cette session invite les conférenciers et l'auditoire à réfléchir sur les différents points qui devraient constituer ces préoccupations au double point de vue de l'enseignement et de la recherche :

- l'enseignement (les contenus théoriques et pratiques du programme, le type de formation (de base de l'étudiant chercheur),
- la recherche (l'importance de la recherche dans le programme, le rapport Professeur-Etudiant chercheur, la recherche fondamentale ou appliquée, l'administration pyramidale ou horizontale de la recherche),
- le financement de la recherche (la recherche du financement auprès des secteurs privés, publics ou internationaux),
- la collaboration des institutions de formation et de recherche (création de pôles d'excellence régionaux, projets de recherche concertés, recherche à incidence industrielle),
- la promotion de la géomatique au niveau des agences d'exécution privées ou publiques (recherche et création d'emplois, stage de formation en milieu de production, incitation à la création du secteur privé).

## 2. RESULTATS PREVUS ET RECOMMANDATIONS

Les conférences et les discussions subséquentes devraient conduire à des recommandations qui seront en quelque sorte les réponses aux questions relatives aux points soulignés précédemment. Les éléments d'interrogation sont : qui fait quoi? Avec quoi? Avec qui? Pourquoi? Pour qui? Quand? Les résultats devraient tenir compte de trois paramètres fondamentaux : le développement de l'excellence (enseignement, recherche, administration de la recherche), la collaboration nationale, régionale et internationale (entre les milieux universitaires, gouvernementaux et privés) et la capacité du chercheur de trouver du financement et celle des autres intervenants de financer.

633

# SPATIALISATION DES DONNEES STATISTIQUES DE L'EDUCATION

## **A. KOUADIO**

Directrice DPES, Ministère de l'Education Nationale de Côte d'Ivoire

## **Y. GBO**

Sous-Directeur des Etudes, de la Programmation et des Projets Scolaires, Ministère de l'Education Nationale de Côte d'Ivoire

## **K. AFELI**

Chef de Service, chargé de l'Infographie, Ministère de l'Education Nationale de Côte d'Ivoire

### **1-Introduction**

La lutte contre la pauvreté passe nécessairement par une éducation de base pour un plus grand nombre de la population. En Côte d'Ivoire le système éducatif en terme numérique, c'est 1 575 998 élèves dans le Primaire et dans le préscolaire encadrés par 39691 enseignants au cours de l'année scolaire 1993-1994. Ces élèves ont fréquenté 38 017 classes réparties dans 7 249 écoles dont 6541 (90%) dans le public et 708 (10%) dans le privé .

Dans le secondaire général ce sont 445 505 élèves fréquentant 395 établissements dont 165 (42,8%) dans le public et 230 (52,2%) dans le privé.

Au niveau administratif, on note 120 Inspections de l'enseignement primaire et dix Directions Régionales de l'Education Nationale (DREN) et dix Directions départementales de l'Education Nationale (DDEN).

Malgré l'effort consenti par le Gouvernement (part du secteur éducatif égale à 43% du budget général de fonctionnement en 1994), le taux brut de scolarisation se situe à 70 %, avec l'objectif d'atteindre 90% d'ici à l'an 2000. Dans cette optique, pour y parvenir il faudra augmenter chaque année les effectifs scolarisés de 9% selon les études de la DPES. Ce que certains qualifient d'exercices théoriques!, car l'effort exigé est considérable, et les réticences ne sont pas des moindres, il existe des inerties liées aux conditions de vie de certaines couches de la population, aux calendriers des travaux de production agricole, aux coûts de l'éducation (manuels scolaires, habillement etc.), qui font qu'il ne suffit donc pas de construire des écoles pour qu'elles soient remplies d'élèves!.

Le rôle de la planification éducative est justement de faire une évaluation de l'existant, de le confronter avec les données socio-économiques et environnementales en vue d'éclairer les décideurs sur les disparités qui pourraient exister au niveau de la scolarisation (zones de sous-scolarisation, zones de scolarisation normale, zones sur-équipées) et aussi sur le niveau de scolarisation des filles).

Ce travail impose:

- la mise en place d'un système d'information intégrant les données au niveau régional, préfectoral, sous-préfectoral, communal et local ;
- la disponibilité des données démographiques actualisées et désagrégées au niveau régional, préfectoral, sous-préfectoral, communal et local ;
- le renforcement des capacités d'analyse et de synthèse des gestionnaires du système éducatif;
- l'élaboration des normes de gestion qui permettent d'accroître la maîtrise des problèmes de financement et de l'utilisation des Ressources Humaines .



La Direction de la Planification, point focal des informations du Ministère de l'Education Nationale, constitue "un lieu stratégique" où s'opère la programmation du système éducatif s'appuyant sur deux types d'informations:

- les statistiques scolaires et les données démographiques ;
- les propositions des commissions de la Carte Scolaire.

## 2- Les statistiques

La DPES conçoit et confectionne les questionnaires relatifs aux effectifs élèves, aux personnels enseignants et aux infrastructures du système éducatif. Le système de collecte s'appuie principalement sur les Directeurs Régionaux de l'Education Nationale (DREN), Inspecteurs de l'enseignement primaire (IEP) et les chefs d'établissements au niveau du secondaire. L'unité d'observation est donc l'établissement.

Le Ministère de l'Education Nationale envisage de lancer dès cette année, le projet d'immatriculation des élèves en Côte d'Ivoire. Ceci permettra de suivre individuellement les élèves dans leur cursus scolaire et d'évaluer les performances.

Jusqu'ici le traitement est centralisé et automatisé au niveau de la DPES. Les productions sont les documents d'analyse, les annuaires statistiques, et des études sur les perspectives d'évolution des effectifs, des infrastructures, des besoins en enseignants etc. Avec le projet "Immatriculation", on assistera à une saisie décentralisée des élèves au niveau de chaque région (dix en tout).

En ce qui concerne les données démographiques, la DPES dépend de l'Institut National de la Statistique. La difficulté à ce niveau, c'est la non disponibilité des données à un niveau très désagrégé (quartier, village, sous-préfecture). Ce qui amène à faire beaucoup d'approximation.

## 3- La Carte Scolaire

Dès l'accession de la Côte d'Ivoire à l'indépendance, les responsables politiques ivoiriens se sont fixés pour objectif majeur, la généralisation de l'enseignement du premier et du second degré faisant de l'Education, la priorité des priorités. Ceci a été encore affirmé cette année, on peut noter trois axes de priorité:

1- Scolariser le maximum d'enfants avec une priorité à l'enseignement de base; cela passe par l'obtention de matériels pédagogiques ou didactiques et une amélioration de l'offre éducative.

2- Assurer la formation générale et technique des adolescents. L'objectif est de préparer l'enfant à l'insertion sociale en lui donnant des outils intellectuels et techniques pour qu'il puisse sortir soit salarié ou créateur d'entreprise, d'où la réhabilitation de la formation professionnelle et continue. Il ne s'agit pas d'une réhabilitation physique mais de tous les facteurs qui nous permettent de résoudre de manière structurelle la crise actuelle. Aussi convient-il de privilégier la formation permanente, même non diplômante, de tenir compte des réalités du marché de travail; d'engager les structures de formations professionnelles dans les activités à but lucratif leur permettant de s'autofinancer.<sup>16</sup>

---

<sup>16</sup> Extrait du Discours prononcé par Monsieur le Ministre de l'Education Nationale en présence d'une mission de la Banque Mondiale, le 2 mars 1995 à son Cabinet).

Les efforts en faveur de l'enseignement général doivent se poursuivre et il est question de mettre l'accent sur les intrants pédagogiques.

3- La formation des formateurs: le maître est un producteur de connaissance . Aussi doit-il pouvoir augmenter son stock de savoir et se recycler, et avoir un profil de carrière.

La concrétisation de ces objectifs implique entre autres, de résoudre tous les délicats problèmes que pose l'implantation des écoles primaires et secondaires.

Pour mener à bien cette politique , il a été décidé la mise en place de la Commission Nationale de la carte scolaire.

Bien avant l'introduction de la carte scolaire en Côte d'Ivoire, les populations de certaines régions (les régions forestières surtout) à économie relativement monétaristes, sensibilisées par les bienfaits de l'éducation, construisirent elles mêmes des écoles en ne demandant au pouvoir public que des maîtres et des équipements.

On assista en maints endroits à des ouvertures d'écoles, quelquefois peu justifiées par la faiblesse des effectifs ou par la qualité des bâtiments. Cette pratique "anarchique" ne pouvait que déboucher sur de graves disparités entraînant un déséquilibre de la scolarisation. Devant cette situation inquiétante pour le développement du système éducatif, les responsables de l'éducation prirent la décision de créer un service de carte scolaire dont les éléments de base sont les commissions de carte scolaire.

### **3.1 Les Commissions de la Carte Scolaire**

Elles sont chargées d'étudier, en fonction des objectifs et des données démographiques , économiques et budgétaires, le programme de développement des établissements d'enseignement du 1er degré et de présenter au Ministre de tutelle des propositions annuelles.

Il est bon de faire remarquer que ces commissions ont un rôle consultatif. Le MEN demeure en dernier ressort, responsable de la réalisation de ce programme de développement. Il est donc chargé de le faire approuver en Conseil des Ministres.

Chaque commission départementale siège au chef-lieu de la préfecture sous la présidence du Préfet du département intéressé, le Directeur Régional de l'Education Nationale (DREN) assure les tâches de secrétariat général.

Les commissions S/préfecturales et communales siègent au chef-lieu de la S/préfecture ou de la commune présidées par le S/préfet ou le Maire, le secrétariat est tenu par l'Inspecteur de l'Enseignement Primaire (IEP) de la localité.

Quant à la commission spéciale pour la ville d'Abidjan, elle siège à Abidjan sous la présidence du Maire de la ville. Pourquoi une commission spéciale pour Abidjan ?

Cette commission a été créée en raison des problèmes scolaires particulièrement aigus que pose la ville d'Abidjan, (problèmes relatifs à la rentrée des classes, insuffisance de l'offre éducative par rapport à une demande sociale d'éducation grandissante).

La Commission Nationale est l'organe "suprême", elle est présidée par le Ministre de l'Education Nationale (MEN).

### 3-2 Fonctionnement et attributions des commissions

Au début de chaque année scolaire, chaque commission départementale, Sous-préfectorale, communale et la commission spéciale pour la ville d'Abidjan se réunissent pour établir, sur instruction du MEN, le programme de développement annuel de l'enseignement du 1er degré.

La DPES, dans son rôle d'élaboration de la Carte Scolaire est chargée de communiquer aux différentes commissions les critères de création et d'ouverture des écoles et établissements de l'Education Nationale. Les créations se réalisent sur les bases suivantes:

- les localités qui formulent les demandes de créations d'écoles doivent avoir au moins 600 habitants;
- la zone d'influence de l'école se situe sur un rayon de (3) Km par rapport aux villages géographiquement voisins.

Pour le Secondaire, les conditions d'implantation d'un établissement dans une localité sont les suivantes:

- être une Sous-Préfecture ou une commune
- avoir le maximum d'infrastructures socio-économiques (marché centre de santé, pharmacie, électricité, eau, banque etc.)

Les Commissions sous-préfectorales et communales soumettent les résultats de leurs travaux à la Commission départementale qui arrête les premières propositions selon un ordre de priorité. Toutes les propositions départementales et celles d'Abidjan sont ensuite transmises à la Direction de la Planification (Service Carte Scolaire) qui les étudie. Elle en fait une synthèse, les confronte avec les disponibilités en maîtres et émet un avis. Les propositions des départements étudiées, sont ensuite soumises à l'approbation de la Commission Nationale de la Carte Scolaire (CNCS) qui arrête les propositions pour la prochaine rentrée scolaire. La décision finale (du nombre d'ouverture d'écoles) doit prendre en compte le nombre d'enseignants qui sortiront des Centres d'Animation et de Formation Pédagogique (CAFOP).

La DPES pour être efficace dans la planification et la programmation du système éducatif a besoin de moyens adéquats. Ainsi, l'Infographie qui est la science du traitement graphique de données numériques par ordinateur, peut contribuer à l'atteinte de ses objectifs en ce sens qu'elle permet aujourd'hui d'avoir sur fond de carte de la Côte d'Ivoire des représentations cartographiques des données statistiques de l'éducation par région, par département et par sous-préfecture. Elle se présente sous deux formes:

- La première concerne l'analyse statistique du système éducatif traitant le taux de scolarisation, le taux des filles par rapport à l'effectif scolaire, des effectifs élèves, du personnel et enfin des infrastructures. Cette représentation cartographique de l'analyse statistique constitue un métronome qui aide à réguler la composante Education-formation d'une part et à illustrer le tableau de bord de ce système d'autre part.

- La seconde présente la structure du système au niveau local ou communal. Elle fait ressortir les zones d'influence d'une école ou d'un établissement secondaire de type général ou technique. Les populations des localités, les effectifs élèves et le nombre des établissements ou écoles y sont représentés. Ces cartes permettent donc d'être géographiquement situé au moment où l'on prend la décision de créer ou de fermer une école ou un établissement ( la

1634

tendance en Afrique en général et en particulier en Côte d'Ivoire est de créer compte tenu de la croissance démographique que connaît nos pays africains).

La création ou la fermeture d'une école ou d'un établissement dans un avenir proche entre dans le cadre d'une décision prévisionnelle des études et de la programmation du système éducatif ; à ce niveau l'Infographie permet de manière concrète de présenter sur le fond de la carte de la Côte d'Ivoire à une échelle de 1/200 000 pour chaque ville ou sous-préfecture,

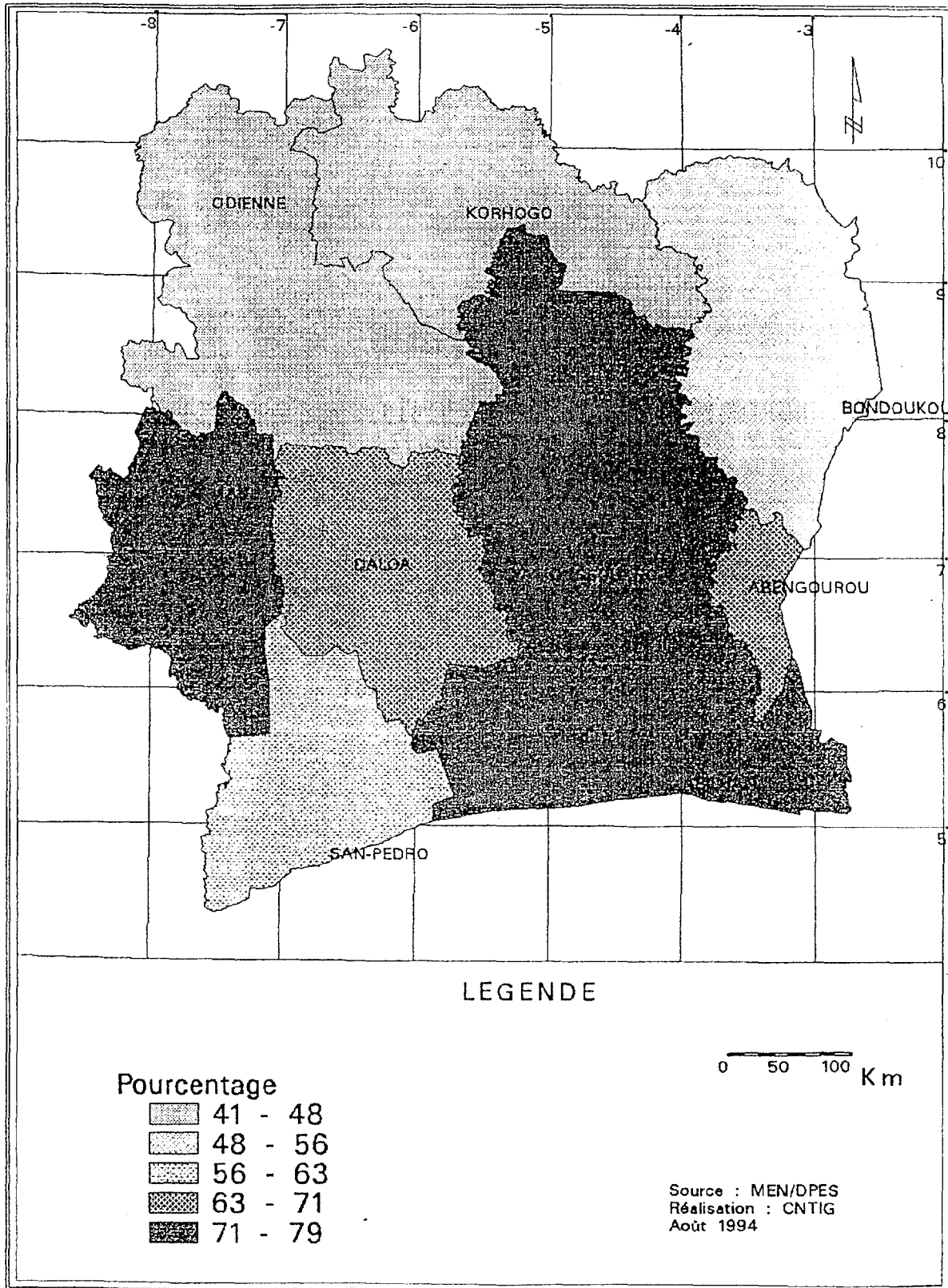
- les limites administratives ;
- les voies de communication ;
- le réseau hydrographique ;
- les localités avec pour chacune la population et la liste des écoles avec leur statut et leur nombre de classes ;
- un cercle de 3 Km de rayon (aire de recrutement ou zone d'influence) autour de toute localité dotée d'une ou plusieurs écoles.

Compte tenu de l'aspect graphique de ces traitements de données et du fait que l'image est un instrument efficace de communication, la DPES envisage de développer un système informatique permettant, à partir de diverses sources, de rassembler, d'organiser, de gérer, d'analyser, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement, contribuant notamment à la gestion du système éducatif. C'est ainsi que se justifie la création au sein de son service informatique d'une cellule d'Infographie qui se chargera du développement d'un système d'information géographique (SIG) pour l'Education.

Jusqu'ici les travaux préliminaires dans l'application du système d'information géographique de l'Education nationale ont été réalisés avec la collaboration du CNTIG et de la DCGTX.

Les cartes ci-jointes illustrent nos propos.

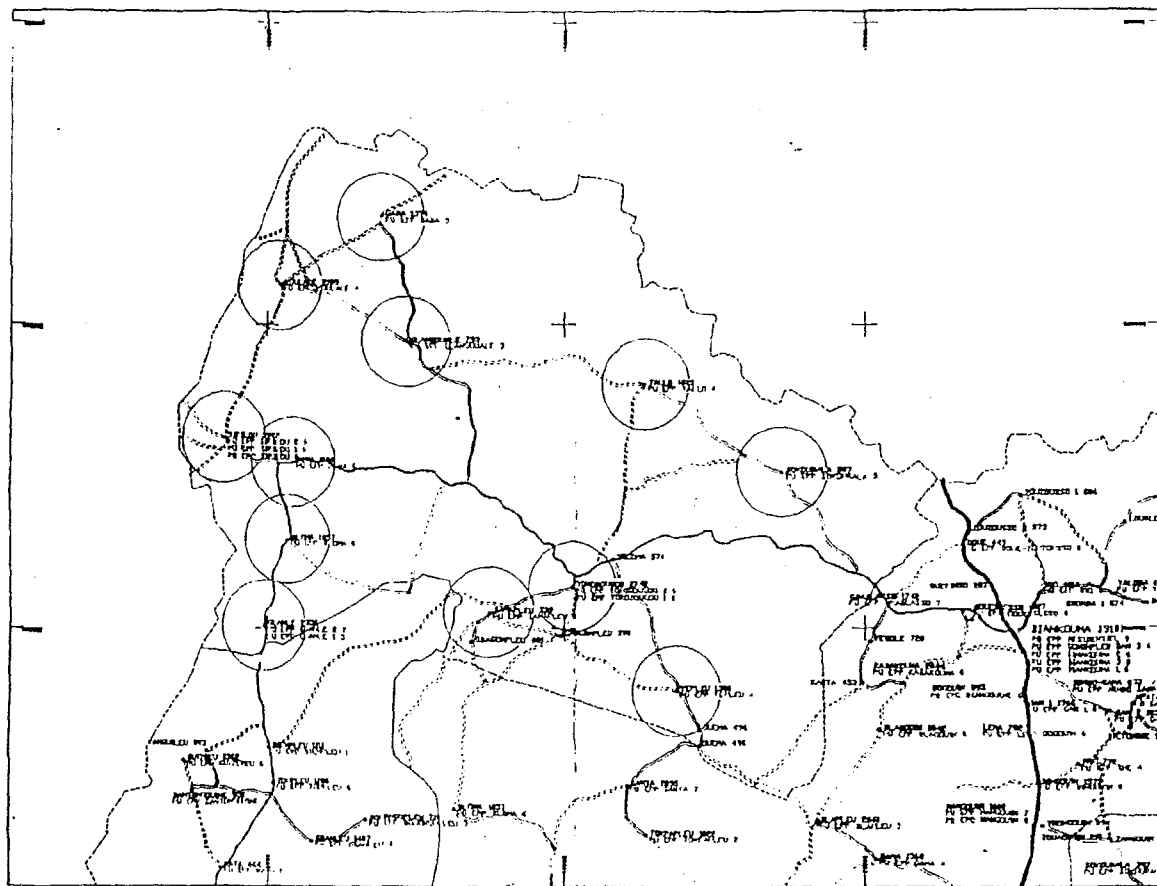
### Enseignement Primaire : Répartition spatiale du taux de scolarisation par Région ( Année scolaire 1992-1993 )



638

# LEGENDE

- FLEUVE
- CHERIE DE FER
- AUTOROUTE
- ROUTE C
- ROUTE A NON BITUMEE
- ROUTE A BITUMEE
- ROUTE A NON BITUMEE
- ROUTE A BITUMEE
- ROUTE B
- LAC / LAGUNE
- LIMITE DE SUB-PREFECTURE



REPUBLIQUE DE COTE D'IVOIRE			
DEPARTEMENT BIANKOUMA S/P SIPILOU			0903
Echelle 1 / 30000		CARTE D'INVENTAIRE DES ECOLES PRIMAIRES	
Chargé d'étude P. GONZALEZ	Date	Indice	Designation des modifications
Technicien(s) M. S. / M. M. M. S. / M. M.			
DATE 17 Nov 1982	DIRECTION ET CONTROLE DES GRANDS TRAVAUX 04 BP 843 ABIDJAN 04 Tel 44 18 80 - 44 38 05		DEPU SERVICE DE CARTOGRAPHIE URBAIN
PLAN DIGITALISE GERE EN BAST DE DONNEES ET MODU SUR TRACEUR			

Service de planification  
 Développement et planification  
 des infrastructures et des équipements  
 Ministère de l'Éducation nationale

BEST AVAILABLE COPY

139

**RECOMMANDATIONS COMMUNES (COTE D'IVOIRE, MALI) AU SEMINAIRE AFRICAGIS'95:**

- Vu le niveau de scolarisation des deux pays (32% pour le Mali et 70% pour la Côte d'Ivoire) ;
- Vu que les préoccupations de nos pays sont semblables en ce qui concerne la gestion du système éducatif et que l'objectif de 90% de scolarisation d'ici à l'an 2 000 nécessitera davantage d'efforts de la part de nos pays ;
- Vu que l'un des aspects fondamentaux demeure la mise à disposition des décideurs d'informations fiables et de façon instantanée par les planificateurs ;
- Vu que la décentralisation de la collecte et de la saisie des informations de base et l'harmonisation des méthodologies sur toutes les zones d'investigation demeurent indispensables ;
- Vu que l'infographie peut contribuer à une meilleure information du décideur qui doit prendre des décisions utiles et immédiates sur le choix des lieux d'implantation des écoles.

Les Représentants des deux pays pour l'Education Nationale, recommandent:

- qu'il soit accordé une attention particulière à l'élaboration des données, aux méthodologies et aux cadres conceptuelles. Il convient avant tout d'assurer la qualité des données avant toute représentation graphique;
- que la mise en oeuvre de la politique de décentralisation ou la régionalisation de la collecte et du traitement des données de base au niveau observation " élèves" soit appuyée par les organisations internationales ;
- que l'utilisation de l'infographie et des outils informatiques soit vulgarisée au niveau de chaque pays ;
- que les organismes internationaux d'aide appuient et encouragent les échanges d'expériences, l'organisation de séminaires entre les pays de la même sous-régionaux.
- le développement de programmes dans lesquels plusieurs pays de la sous-région pourraient être impliqués.

On pourrait déjà envisager l'organisation d'un séminaire sur la planification de l'éducation nationale en Côte d'Ivoire d'ici le début de l'année prochaine.

680

# PROJET ECOSSEN ET PROBLEMATIQUE DE LA DESERTIFICATION DANS LE NORD SENEGAL

**L.-A. LAKE, P. S. DIOUF, A. T. DIAW**

Laboratoire de Géographie, IFAN, Université de Dakar, Sénégal

**M. D. THIAM**

Département de Géographie, Faculté des Lettres et Sciences humaines, Univ. de Dakar, Sénégal

**E. S. N. TOURE**

Laboratoire d'Histoire, IFAN, Université de Dakar, Sénégal

**G. B. BENIE**

CARTEL, Université de Sherbrooke, Canada

## Résumé

Le Projet ECOSSEN<sup>17</sup> ambitionne de mettre à la disposition des acteurs du développement -avant la probable période de sécheresse des années 2005 à 2015 - un Tableau de Bord pour le diagnostic et la prévision des inter-actions environnement/développement dans les espaces ruraux du Nord Sénégal. Pour cela on exploite des données rétrospectives à l'aide d'un SIG, on en tire un modèle de simulation de l'évolution des espaces et on propose une stratégie territoriale de prévention contre le risque de saharisation du Nord Sénégal à l'horizon 2010.

L'exposé montre comment ce projet aborde indirectement le thème de la désertification en intégrant ce concept dans le faisceau des facteurs physiques, biologiques et socio-économiques qui déterminent la reproduction des espaces ruraux. Il montre aussi le rôle déterminant de l'analyse dans l'efficacité attendue de cette démarche, notamment par l'exploitation d'un SIG multitemporel.

## Introduction.

Ecossen (contraction d'«Ecographie du Sénégal Subsaharien») désigne un projet de recherche - développement élaboré par le Laboratoire de Géographie de l'IFAN. Il s'y met progressivement en place, en collaboration avec le CARTEL, depuis la fin de l'année 1994 et pour une durée de cinq ans. Son intitulé complet est "Ecographie du Sénégal Subsaharien: Environnement et Développement Rural, 1954-2015".

L'objet du Projet est d'étudier l'évolution passée comme le devenir possible des espaces ruraux et des systèmes agro-pastoraux du Nord-Sénégal eu égard aux conditions environnementales et aux dynamiques socio-économiques en jeu (fig. 1a). Pour ce travail il est prévu d'accorder une attention particulière au rôle des périodes de sécheresse enregistrées depuis les années 60 mais aussi à celle qui pourrait probablement s'installer dans la zone sahélo-soudanienne entre 2005 et 2015 (fig. 1b).

Ainsi le projet ECOSSEN ne cible pas le phénomène de désertification mais en propose une approche "distanciée". Il s'agit en fin de compte de voir comment l'agent fondamental de la désertification (la sécheresse) contribue à l'évolution des espaces ruraux par rapport aux autres facteurs d'évolution.

Ce texte explicite donc une approche indirecte fondée sur l'analyse spatiale, multicritère et temporelle qu'autorise l'exploitation d'un SIG. Afin de déterminer l'originalité de cette approche on la situe d'abord dans la diversité des problématiques de la désertification, après avoir présenté le Projet ECOSSEN plus en détail et précisé le sens du concept de désertification.

---

<sup>17</sup> ECOSSEN est un projet subventionné par le CRDI (Ottawa, Canada).



Fig. 1a. Situation de la zone d'étude

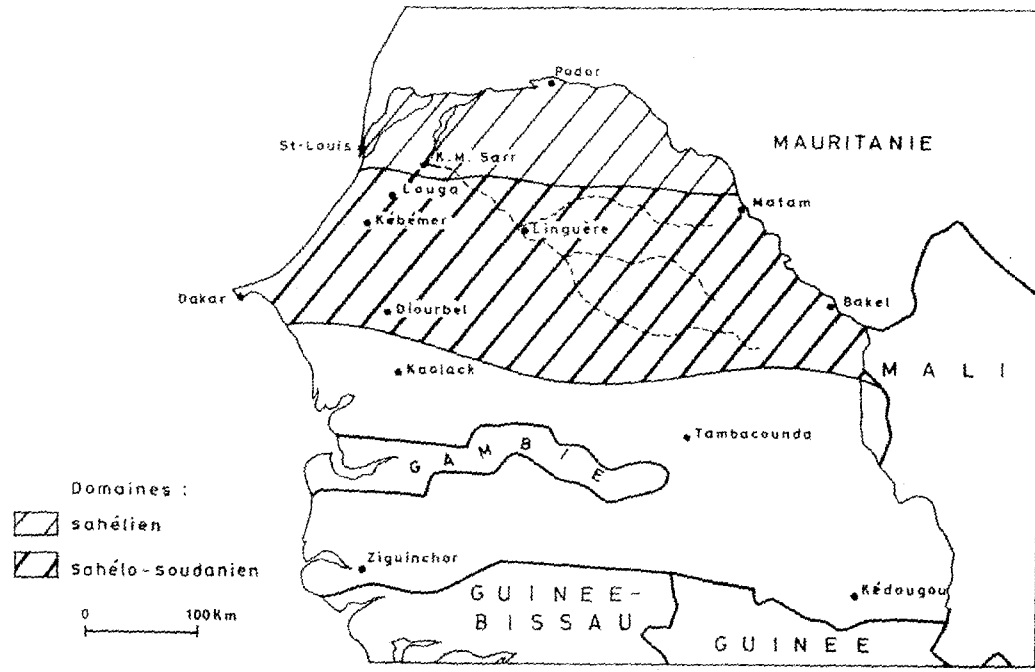
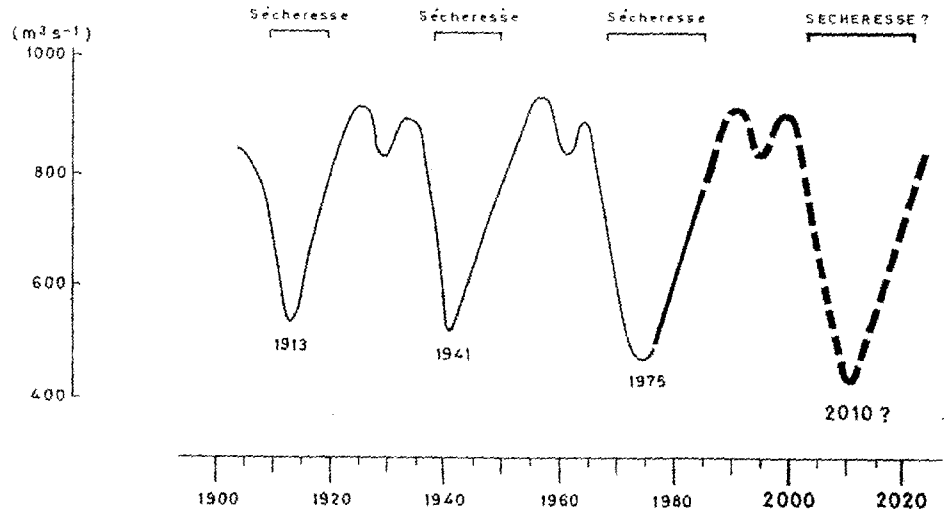


Fig. 1b. Le cycle de la sécheresse

Débits moyens annuels du Sénégal à Bakel :

- d'après Faure et Gac 1981 (1903-1980 : moyenne glissante sur 7 ans)
- prédiction (Faure et Gac) réalisée
- - - prévision par extrapolation graphique (Lake)



642

Fig. 2a - Schéma méthodologique du Projet Ecosen

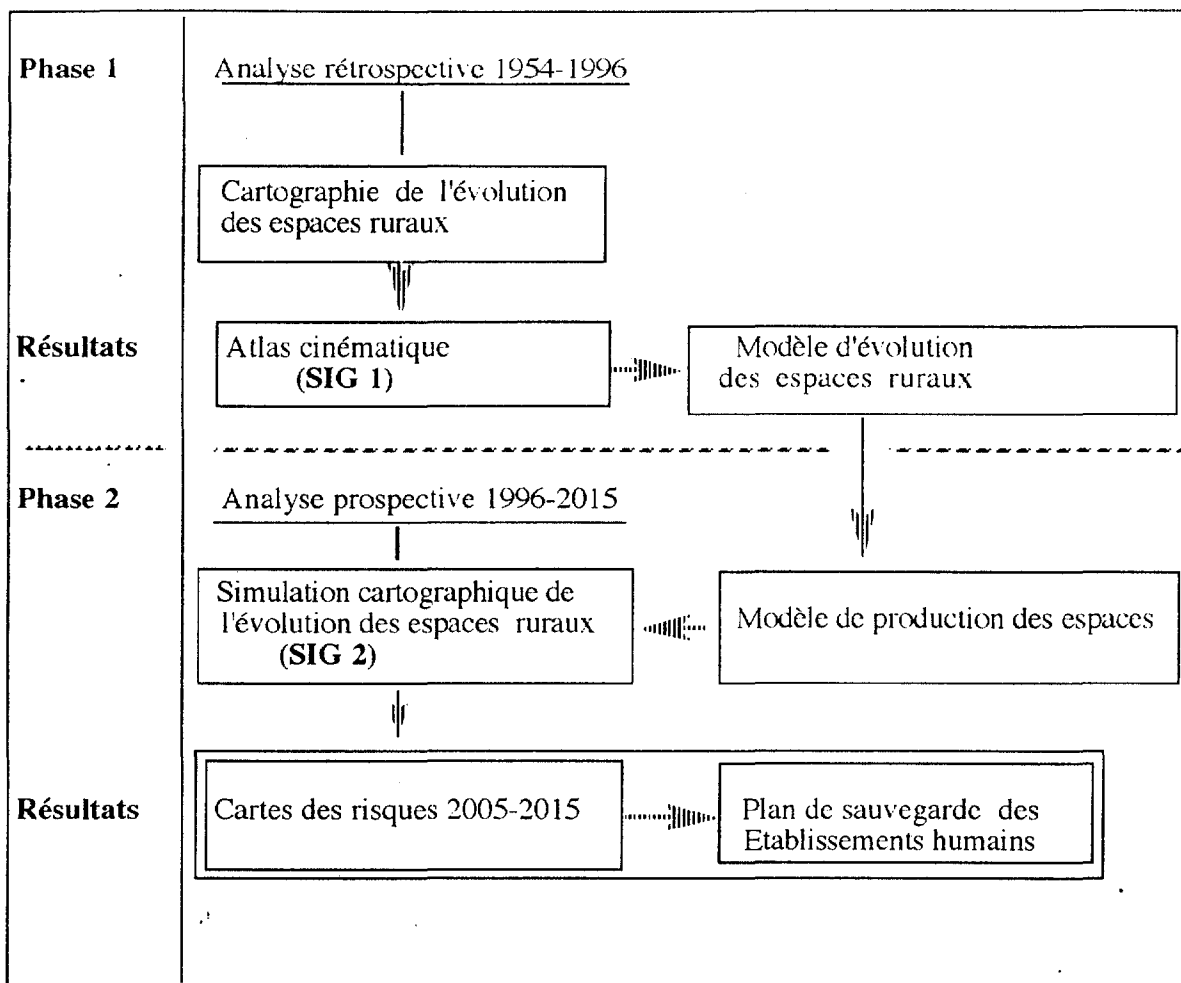


Fig. 2b - Le Tableau de Bord

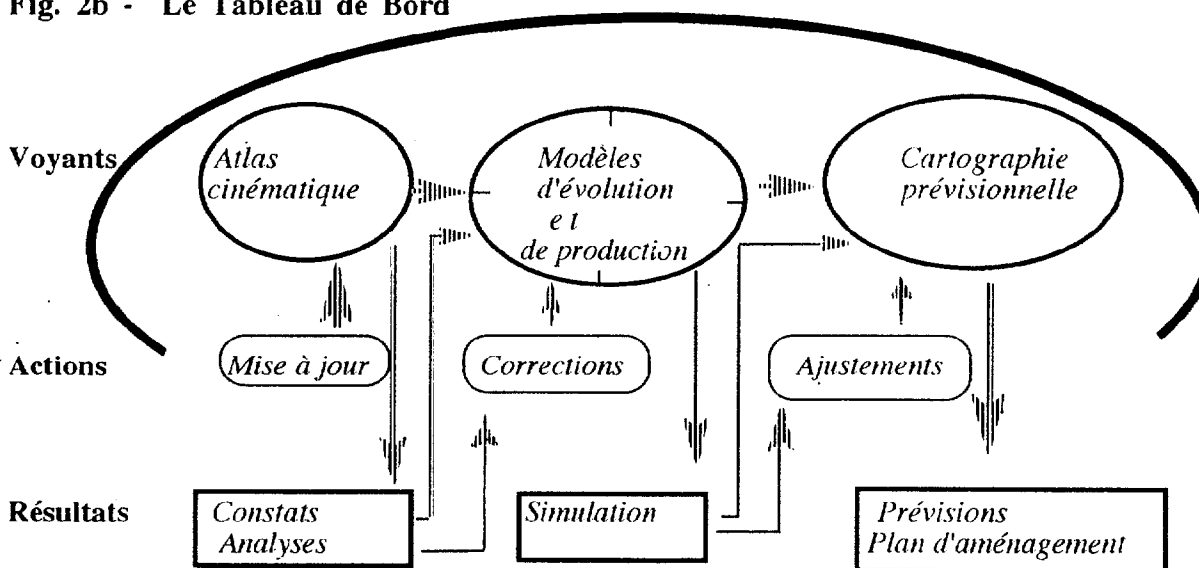


Fig.3a - Approche multicritère et production des indicateurs

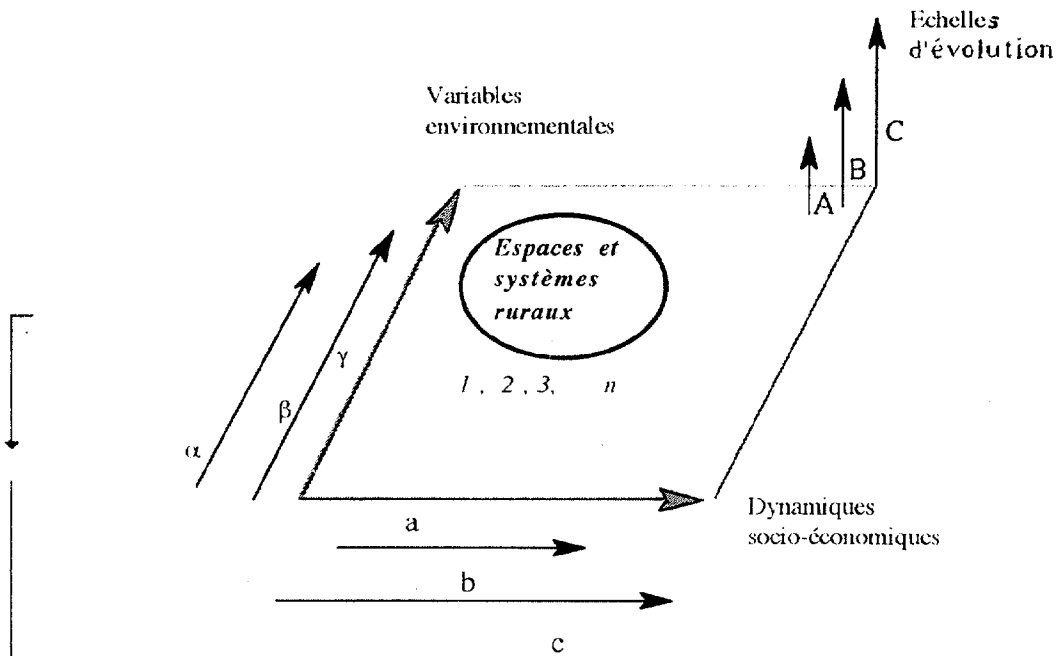
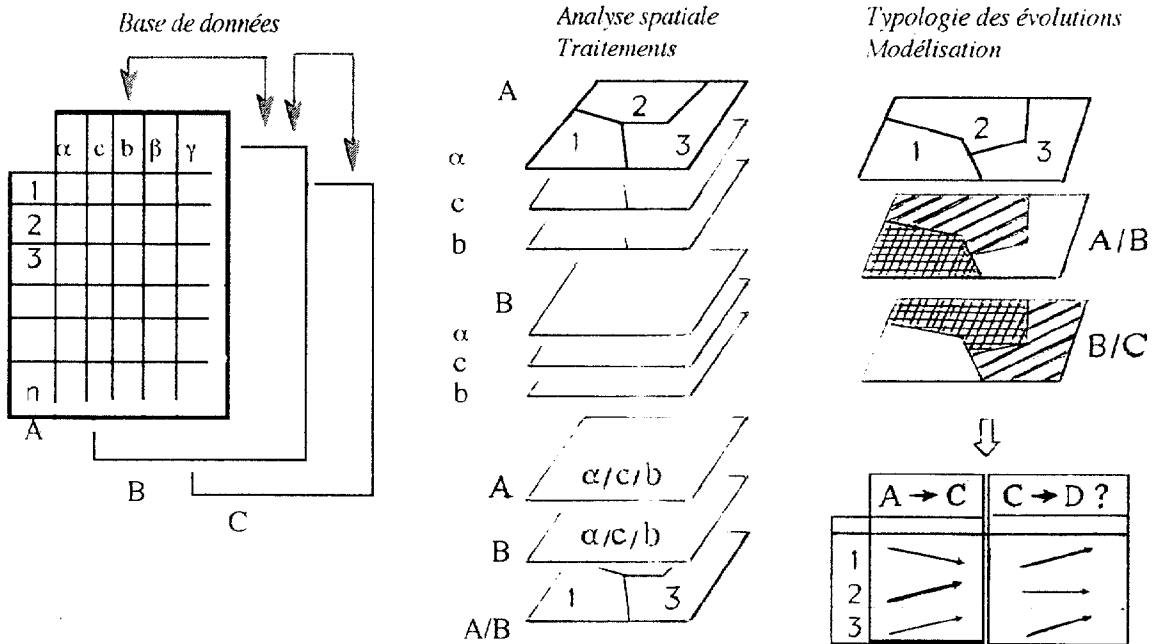

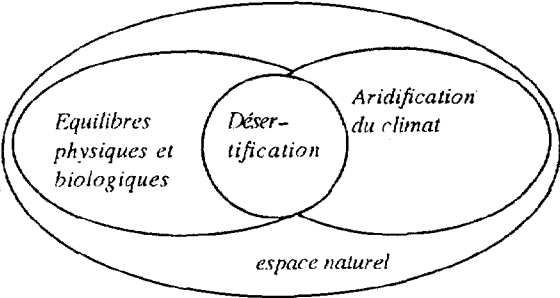
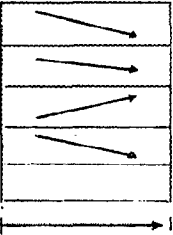
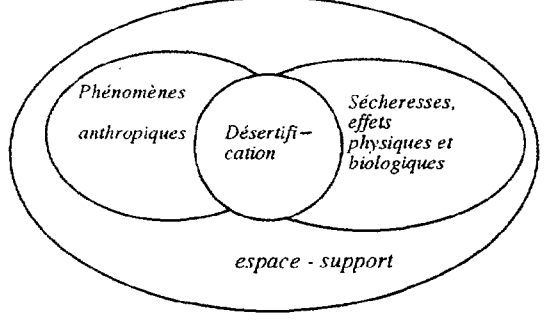
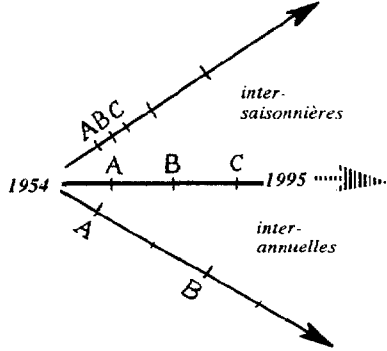
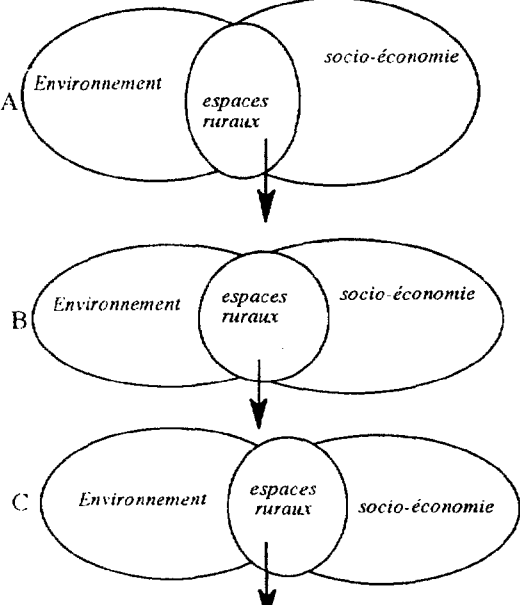


Fig. 3b - Traitement des indicateurs



*644*

**Fig.4 - Problématiques de la désertification**

	Approches temporelle et phénoménologique	Approches thématique et méthodologique
a	<p><b>naturaliste</b></p> <p>Périodes climatiques</p> <p>Humides</p> <p>sèches</p>  <p>30000 ans</p> <p>Actuel</p>	
b	<p><b>globaliste</b></p> <p>Variables:</p> <p>pluviométrie</p> <p>écologie</p> <p>démographie</p> <p>production</p> <p>etc...</p>  <p>1900</p> <p>aujourd'hui</p>	
c	<p><b>indirecte</b></p> <p>Evolutions :</p>  <p>1954</p> <p>1995</p> <p>inter-saisonnières</p> <p>inter-annuelles</p>	 <p>Types d'évolution des espaces et systèmes ruraux. <u>Désertification</u> ?</p>

## 1. Le concept de désertification.

De nombreux travaux sont consacrés au thème de la désertification, notamment en ce qui concerne l'espace ouest-africain et la question de l'aridification du climat (Le Borgne, 1990). Les africanistes qui étudiaient, dans les années 40, le "dessèchement historique" de l'Afrique de l'Ouest ont joué un rôle non négligeable dans la production de ces travaux dont Becker (1993) donne une remarquable synthèse.

Ces recherches se multiplient et se renouvellent de nos jours grâce à l'efficacité des méthodes modernes d'analyse spatiale (télédétection, SIG, cartographie). C'est ainsi que l'IFAN contribue, par exemple, à la cartographie cinématique des remaniements sableux actuels (Diaw et Thomas, 1989), à l'approche cartographique et multicritère du concept de désertification (Lake, 1982), à l'analyse des facteurs physiques et socio-économiques du déboisement (Touré et Lake, 1986), ou encore à la mesure du poids des pesanteurs socio-économiques dans la crise des écosystèmes (Touré, 1990).

Le concept de désertification correspond donc à un champ de significations variables selon les disciplines et méthodes en jeu, selon les objectifs poursuivis, selon les auteurs, leurs hypothèses et postulats. Il ne s'agit ici que d'en préciser le sens général et l'utilisation dans le contexte limité du Projet.

Rappelons d'abord que le Projet ECOSSSEN n'analyse pas directement le phénomène de la désertification. Cette démarche lui permet de poser la question de la définition de désertification comme l'un des résultats de la recherche et non comme une hypothèse de travail. Ensuite l'objet de l'étude - l'espace rural - et les méthodes utilisées lui imposent d'abord des limitations d'échelle temporelle ainsi qu'une relative précision du discours taxonomique. Ils lui interdisent ensuite le recours à un déterminisme trop facile, que celui-ci soit exclusivement physique, ce qui renverrait au mythe du "milieu naturel", ou qu'il s'engage dans une vision résolument anthropocentrique du Monde, perpétuant ainsi la naïveté d'un positivisme simplet.

Si donc, pour le Projet ECOSSSEN, il n'est pas indispensable de réduire la dangereuse polysémie du concept de désertification, on doit néanmoins en proposer une définition provisoire, ouverte et prudente.

Désertification désigne ici le processus, difficilement réversible à l'échelle humaine, de mutation de milieux sahélo-soudanais et sahéliens en milieux de type désertique. Ceux-ci se caractérisent par une faiblesse extrême et durable des ressources en eau. Les causes de ce déficit hydrique généralisé sont d'ordre climatique, physique, biologique, sociologique ou/et économique.

## 2. Le Projet ECOSSSEN.

Le domaine d'étude du Projet concerne les zones biologiques sahéliennes et, en partie, sahélo-soudanienne du Sénégal (fig. 1a). Il s'agit du tiers du territoire de ce pays qui pourrait subir des contraintes de vie comparables à celles des zones arides s'il y survenait une période de sécheresse comparable à celle des années 1970 (fig. 1b). C'est ce risque qui motive la problématique aménagiste du Projet.

La méthodologie s'appuie en effet sur une analyse retrospective des espaces ruraux du territoire en question (1954 à nos jours) et sur une analyse prospective (jusqu'en 2015), celles-ci étant articulées autour d'un modèle d'évolution des espaces (fig. 2a).

L'analyse retrospective se fait grâce à une cartographie systématique de l'évolution des espaces ruraux (SIG 1) dont le résultat essentiel est un atlas cinématique. L'exploitation de celui-ci donne un modèle d'évolution qui permet d'argumenter l'analyse prospective par simulation cartographique de l'évolution des espaces (SIG 2). Le

résultat essentiel de ce travail est une cartographie des risques dans la période 2005-2015 et, en conséquence, une argumentation territoriale pour une stratégie de sauvegarde des établissements humains concernés.

Somme toute, l'atlas, le modèle et la cartographie prévisionnelle constituent le Tableau de Bord pour le suivi des problèmes environnementaux et socio-économiques des espaces ruraux du Nord Sénégal (fig. 2b).

La figure 3 (a et b)) schématise l'approche multicritère qui précède le montage des SIG et évoque la nature des procédures qui seront mises en oeuvre pour exploiter les SIG dans la perspective d'une typologie de l'évolution des espaces ruraux. Ce travail est décrit dans le document de projet (Lake, Diaw, Bénié, 1994).

### 3. Problématiques de la désertification.

#### 3.1. Diversité des approches.

On a vu que la notion de désertification cache des sens et des pratiques de recherche fort divers qu'il serait fastidieux de passer en revue ici. On considère toutefois que la plupart des problématiques se ramènent à deux approches types que l'on peut qualifier de "naturaliste" et de "globaliste". L'une met l'accent sur le déterminisme climatique de la désertification alors que l'autre respecte un certain équilibre entre facteurs physiques et facteurs anthropiques de la désertification (fig. 4).

Le trait commun à ces deux types de problématique est d'alléger l'espace d'une partie de sa substance: dans le premier cas il n'en reste qu'un espace "naturel" et dans le second on trouve le "cadre ou le support spatial" des approches technocratiques (fig. 4, a et b).

S'appuyant résolument sur l'efficacité qu'autorisent de mieux en mieux les techniques modernes d'analyse spatiale, le Projet ECOSSEN revient à une approche quasi expérimentale.

Il restitue en effet une épaisseur concrète à l'objet de sa démarche, l'espace rural en tant que produit des systèmes de production ruraux et lieu de reproduction des genres de vie ruraux. De ce fait le Projet induit une approche "indirecte" du concept de désertification, celle-ci n'étant déterminée qu'en aval d'une démarche multicritère et multitemporelle au terme de laquelle la désertification apparaît comme un problème et un facteur différentiels (parmi d'autres) de l'évolution des espaces ruraux (fig. 4, c).

Il convient de mieux décrire cette démarche en identifiant son outillage.

#### 3.2. Les outils de détermination de la désertification dans le Projet ECOSSEN.

On a vu que le Projet ECOSSEN compte atteindre ses objectifs de diagnostic et de prospective en s'appuyant sur la constitution d'un Tableau de Bord (TABOR) des zones sahéliennes et sahélo-soudaniennes du Sénégal (fig. 2 b).

Deux des instruments du TABOR devraient permettre de déterminer la nature, les formes et le rôle de la désertification dans l'évolution des espaces ruraux: l'Atlas cinématique et le Modèle d'évolution.

- L'Atlas cinématique (ATC).

L'ATC est un outil cartographique de description de l'évolution des espaces ruraux. Résultat de l'exploitation d'un SIG multitemporel (SIG 1), il s'appuie sur une base de données mettant en relation les espaces ruraux et des indicateurs multitemporels tirés de deux types de variables relatives aux questions environnementales et des dynamiques socio-économiques (fig. 3). Le traitement des données aboutit à la description des espaces en

fonction de l'évolution des interférences entre conditions environnementales et actions socio-économiques. Ce résultat correspond à une double typologie: celle des facteurs d'évolution différentielle des espaces (FED) et celle des changements tant chronologiques que taxonomiques qui affectent l'espace (CCT). Les CCT représentent l'outil strictement graphique qui permet de visualiser la répartition des paysages et des systèmes ruraux caractérisés par la prégnance d'indicateurs spécifiques de la désertification. Les FED constituent un outil plus explicatif qui positionne de manière relative le concept de désertification dans la sphère des phénomènes inérant à la genèse des espaces ruraux dans le Nord du Sénégal contemporain.

**- Le Modèle d'évolution.**

L'originalité du Projet ECOSSEN se trouve en grande partie dans le projet d'établissement d'un SIG de simulation prévisionnelle capable de fournir des éléments significatifs pour une analyse prospective des espaces ruraux (SIG 2). La mise au point des fonctions de cet instrument doit se fonder sur l'utilisation d'un modèle d'évolution des espaces ruraux. Celui-ci dépend de la pertinence de l'algorithme ou de la relation graphique qu'on appliquera pour simuler l'évolution future des CCT en fonction du poids variable que l'on affecte aux FED. Ce travail devrait permettre, avant l'an 2000, d'esquisser les configurations possibles de l'espace rural durant et au terme de la probable grande période de sécheresse des années 2005 à 2015. Ce résultat permettrait de fonder scientifiquement et de visualiser le risque de désertification. Une fois visualisé, ce risque permettrait d'ajuster en conséquence les plans d'aménagement du Nord Sénégal.

**Conclusion.**

Le Projet ECOSSEN propose implicitement une approche indirecte de la notion de désertification applicable aux espaces ruraux du Nord du Sénégal.

L'établissement des SIG prévus pour étudier l'évolution de ces espaces suppose la prise en compte d'indicateurs souvent admis comme critères de la désertification, par exemple: moyennes de déficits hydriques anormalement élevées, force anémométrique plus grande, remaniements sableux plus rapides, appauvrissement floristique des écosystèmes considérés, charges animales au-dessus de seuils critiques, sur-pression foncière, émigration, etc.).

Les SIG pourraient aussi traduire la compétence d'indicateurs nouveaux ou plutôt rénovés dans leur formulation. Par exemple ceux exprimant les effets physiques et socio-économiques de l'après- barrages dans les espaces adjacents des zones endiguées de la vallée du fleuve Sénégal ou ceux liés à l'effet d'oasisation et de désertisation périphérique des zones d'implantation de projets de développement à influence centripète tels que les forages pastoraux surfréquentés ou la remise en eau d'une vallée morte.

L'approche du Projet est donc indirecte, premièrement du fait que les indicateurs utilisés couvrent une gamme étendue de variables, celle-ci resituant la désertification dans le contexte général des facteurs d'évolution de l'espace rural. Deuxièmement l'objet d'analyse du Projet n'est pas le phénomène de la désertification mais l'espace lui-même tel qu'il évolue depuis les années 50. Ainsi c'est l'analyse de l'évolution des espaces qui offrira le moyen de discriminer, de décrire puis de prévoir le rôle de la désertification dans la genèse de ces espaces. En élargissant ainsi le champ de vision des mécanismes de la désertification, le Projet ECOSSEN se donne les moyens de mieux la définir et donc de mieux l'affronter.

## Références bibliographiques

BECKER C. 'Réflexions sur l'histoire de l'Afrique et la question de l'environnement'. *Actes du Colloque, Dakar*, Fac. Lettres et Sc. Hum., Fd. Ford, Mai 1993, p. 65-96.

DIAW A.T., THOMAS Y-F. "Application cartographique des données MOMS-01 à la côte Nord du Sénégal". *Dakar, Notes de Biogéographie*, 4 Nov. 1989, p. 133-141.

LAKE. Analyses cartographiques de la "désertification" dans le Nord du Sénégal. *Dakar, Fac. des Lettres et Sc. Hum., Th. de 3e cycle*, 1982, 236 p.

LAKE L-A., DIAW A.T., BENIE G.B. Projet ECOSSEN. Ecographie du Sénégal Subsaharien. Environnement et Développement Rural, 1954-2015. Doc. de Projet n° 1. *Dakar, IFAN/CRDI*, Sept. 1994, 37 p.

LE BORGNE J. "La dégradation actuelle du climat en Afrique, entre Sahara et Equateur". *La Dégradation des Paysages en Afrique de l'Ouest...* (Ed. par J.F. Richard), *Dakar*, 1990, p. 17-36.

TOURE E.S.N. Migration et développement agricole dans le Nord du Sénégal (Fuuta Tooro): 1954-1979. Th. de doct. n.r., *Univ. de Paris VIII*, 1990, 208 p. + ann.

TOURE E.S.N. et LAKE L-A. Evolution de l'espace rural au Sénégal septentrional. Observations in situ et éléments de photo-interprétation. Rap. de mission, *Dakar; Fond. Ford/IFAN*, Août 1986, 83 p.



# TRAINING NEEDS & OPPORTUNITIES OF DESIGNING TRAINING STRATEGY IN TANZANIA

**A. T. MAEMBE**

NEMC, Dar es Salaam, Tanzania

## 1.0 INTRODUCTION:

In Tanzania GIS seems to be a field which is attracting many institutions and government departments which handle and process spatial or georeferenced information like land matters, wildlife, forestry etc.

But one common thing to all these is the unclear notion of how to select the equipment and how much should be invested in GIS activities. For example a firm changed with carrying an inventory of wildlife, their movements and ecological parameters related to wildlife in that area.

In most cases we find donors funding various projects deciding on our behalf the type of equipment and software to be bought in a project package. This is not a good sign since anything which is either good or bad is purchased.

Also even when equipment is brought we have inadequate (sometimes none) personnel trained to use and maintain such equipment. Likewise our country have very people trained in specialised mapping software like Arc/info, Idrisi. Thus when a natural resources scientist gets a problem related software use, the chances of getting a solution by consulting other users is slim.

Even when there are firms around to carry out equipment and software services and maintenance, their charges for such activity are too high, thus prohibitive.

There are reasonable number of institutions tool to organize, process and archive their data, but due to uncoordinated GIS activity very few know what other institutions are doing, thus sometimes duplication of activities by these institutions.

Likewise new institutions coming in the GIS field ending up buying equipment without direction as to what those other institutions are using thus compatibility problems and difficulties in data exchange.

Another issue of concern is that of standardized data collection formats for various parameters like forestry, wildlife, soil, etc. in order to ease data exchange mechanisms.

## 2.0 TRAINING NEEDS IN THE FIELD OF GIS IN TANZANIA

In order to output quality information from GIS work there is need to have competent and qualified data collectors who are well who are well versed with what to collect when in the field to gather data on any of the above said issues (forestry, soils etc.) Thus there is need have standards formats for various data collection. The institute of Resource Assessment have developed data collection standards to start with. The remaining portion to train data collectors on collecting quality data.

After data collectors, then we need to train data entry technicians and cartographers. we have very few data entry technicians and in most cases we find the data analysts doing also data entry thus the tasks. The data entry technicians should be well versed with various standards like symbols with various standards objects.

Another important issue is training on basic system maintenance and administration like system operations, elementary programming, troubleshooting, dealing with error messages and virus control techniques, use of passwords for data security etc.

Training scientists and natural resources managers on how to handle and analyze digital data also ought to be considered. Since these are the ones who are expected to produce outputs which are used by non-scientists to

make decisions so these are technical personnel to analyze integrate, output and interpret data for other scientists, non-scientists like politicians and other decision makers.

Likewise these should also be trained on data standardization, to facilitate data exchange.

Training on different software packages which facilitate data integration with GIS packages like Dbase, spreadsheet is important. For example integration of data between Dbase 4 and Arc/Info software. Or editing of data in Dbase 4 using XTGold.

The training ought to be done as they (software) come up as updates or new inventions.

Another very important issue is that after even doing all the above training sometimes the trainees or the institutions would like to use data which they can't afford e.g. satellite data (TM, Spot, etc.) due financial constraints. Thus donors or trainers could provide such institutions with such dataset.

Training sessions in form of seminars, workshop, short courses are expected to use already established Institutions. This has two advantages one is to build capacities in our local institutions to conduct such training and two is to save the resource to sponsor few trainees to study outside our country.

Likewise training should use the available datasets as examples so as to produce outputs which can be absorbed and put into practical use.

### ***2.1 Long-term Training Strategies***

These must involve academic, research institutions which will incorporate training in the field of GIS and Remote Sensing.

Despite conducting short courses, seminars and workshops, the same institutions should be impressed upon initiating various award courses, like certificates, diploma, undergraduate etc., so as to have enough GIS experts to manage the system in the country.

Such courses have started at Ardhi (Lands) Institute in Dar es Salaam, Tanzania. But we still have to expand to other institutions like the University of Dar es Salaam etc.

Training needs have been expressed through various information workshops and the formation of the GIS user group (initiated last January by ideas from Ardhi Institute) is one of the prior stages of forming a group which will address all these problems.

We already know the institutions which have GIS units or intending to have one what we are doing is to put these together so that they can exchange ideas and try to find solutions for the problems facing them.

### **3.0 OPPORTUNITIES AVAILABLE FOR DESIGNING SUCH TRAINING STRATEGIES**

At the moment, there are a lot of donor funded projects which deal with environmental issues. We can succeed in putting of these projects to agree on terms of information management especially GIS then we can liaise with training institutions to design a training package to meet such needs. Funds will be solicited from the same projects as well as from other interested donors. After the course then a follow up mechanisms to see how be designed. Meetings and seminars will be conducted at intervals to give the trainees fora to exchange experiences.

If the above programme and that of higher learning institutions to start GIS courses, we would have taken one step forward.

# TOWARDS GIS AWARENESS IN ZIMBABWE

**P. MATAMBANADZO**

Department of Surveying, University of Zimbabwe

## **Abstract**

*Geographic Information Systems (GIS) are gaining more and more importance in the geosciences. These developments have not gone unnoticed by the Department of Surveying at the University of Zimbabwe (UZ). This has led to the introduction of land information systems (LIS) modules in the undergraduate degree programme, as well as the introduction of postgraduate studies at diploma and masters level.*

*This paper looks at the rationale behind the development of GIS programs and the structuring of these programs to cater for all levels of a GIS organisation. The paper also looks at the postgraduate curricula as well as the equipment which has been acquired to fill the huge gap introduced by the drive towards the information revolution in Zimbabwe.*

## **Introduction**

Education and training, referred to as the human resources, have a crucial role to play in the development of a geographic information system (GIS). The establishment of a GIS requires a large number of specialists with broad experience and knowledge to advise and supervise the formulation of nationally compatible systems. This is why the development of curricula at universities and other institutes of higher learning, is an important consideration. The development of curricula in the geosciences is world-wide driven by the digital information revolution and the profession's need for higher education. The digital information revolution is making most academics rethink about the balance between traditional methods like cartography on the one hand, and geographic and land information systems on the other.

Academics in Zimbabwe are no exception in adopting the information revolution. They have moved rapidly into geographic information technology. Three separate layers of education and training give rise to concern: the training of technicians in the field of appropriate technology, the training and education of managers in production techniques so that they may operate an efficient flow line, and the education of the public in what is going on (Dale and McLaughlin, 1988). This paper covers all these three aspects of education and training at the Department of Surveying of the University of Zimbabwe (UZ).

## **Land Information Systems**

The concept of a land information system (LIS) differs from GIS only on the emphasis of an LIS on various aspects associated with land - land ownership, land registration, land valuation, land use, etc. Given the large number of organizations which are concerned with this field - e.g. cadastral and land registration offices, estate survey offices, property agencies, etc. - this is an area which is large enough to have encouraged the development of specialized LISs which are optimized for use in these areas. Zimbabwe is one of those countries where national cadastral or land registration systems are being considered (Matambanadzo, 1994). It is a major area where the Department of Surveying at the UZ need to produce highly qualified surveyors who have an LIS bias.

652

The surveying program at the University of Zimbabwe was founded in 1985. As the program developed during the last nine years, it remained the only course awarding undergraduate degrees in surveying and maintained a foundation for the practice of land surveying. Graduates of the program have a sound foundation in land surveying to prepare them for careers throughout the surveying and engineering professions. The curriculum has been developed continuously to remain current with surveying and mapping technology and areas of practice. The main modules which cover the requirements of a good student in the field of land information management are; environmental systems, computer application, cadastral systems, urban planning, land economics and management, urban surveying and mapping, digital terrain modelling, all courses dealing with spatial data acquisition such as global positioning systems (GPS) and digital photogrammetry, and the fourth year course in Land and Geographic Information Systems.

The importance of the undergraduate course to cadastral and land information management has been indicated by the number of final year project dealing with these issues. Quite a number of projects have looked at practical aspects of implementing a land information systems in Zimbabwe. Several pilot projects have also been undertaken by final year students which came up with local LISs. Even the problems of our parcel numbering system, when it comes to computerisation, have been investigated.

### **Why Postgraduate Education in GIS?**

In the light of questionnaires sent out regionally (in the SADC region) by the Department of Surveying at the University of Zimbabwe, and contact with many aid organisations, government and non-government organisations and the private sector, a great deficiency became apparent in education in the area of land and geographic information systems (Davies, 1993). Particular attention is drawn to a request by the Vice Chancellor from Sir Stanford Fleming College in Canada to the establishment of a GIS course of some sort at the University of Zimbabwe after it became apparent that several Zimbabwean students were pursuing their further education in GIS in developed countries.

The Department of the Surveyor General (DSG) has been a driving force in the formation of higher qualifications in GIS in Zimbabwe. It is already in the initial stages of computerising some of its operations by introducing an LIS, as are several other public organisations. There are very few experts in this field in Zimbabwe and any systems set-up will have to be run by expatriates (e.g the DSG employs an Australian expatriate). Indeed the Surveyor General will be sending four people every year, two diploma and two graduate students, to the postgraduate courses.

Several other organisations in Zimbabwe intend to utilise the power of GIS for the better management and decision making in such issues as natural resources, environmental monitoring, utility management and other applications. A GIS market analysis of the SADC region conducted by the United Nations have shown the awareness of Zimbabwean in the use of the GIS tool.

### **Structuring of Postgraduate Education**

In the formation of the syllabus, consultations were carried out with University College London (UCL), University of Glasgow and University of East London in Britain, Aalborg University and University of Copenhagen in Denmark, and the University of Cape Town in South Africa, all of whom have established courses in this or related areas. It was agreed on establishing a programme which could cater for all levels of expertise in GIS organisations so as to accomplish the organisations' objectives and goals in the most efficient manner possible. Such a program could only be realised if candidates without any form of university education could be invited to undertake further education so as to be competent enough to work at the operational level of an organisation. Such a level would be responsible for such issues as programming, data capture etc. Candidates with university degrees could enhance their education so as to cover the tactical and strategic level of any organisation.

A handwritten signature or set of initials, possibly 'LSB', written in black ink at the bottom center of the page.

To address this need the Department of Surveying of the University of Zimbabwe looked into the possibility of setting up a one year Postgraduate Diploma which could be regarded as a qualification in its own right whilst also acting as an entry qualification for a new year MSc course in LIS/GIS. Students without a university degree would only be allowed to study for the postgraduate diploma since their qualifications do not warrant them to proceed to an MSc in Zimbabwe. Students with a first degree, who can come from Computer Science, Geography, Soil Sciences, Biological Sciences, Rural and Urban Planning and other related fields, can proceed to an MSc if their Postgraduate Diploma result goes above a certain threshold. If they do not proceed to an MSc, their duty would be more or less at a tactical level in a GIS organisation, dealing with such issues as deciding on which GIS software package, deciding on the programming language to be used and designing the database. Those who successfully complete their MSc are expected to be the future strategic planners with duties mostly at managerial level.

The relationship between the structure of the postgraduate programs in GIS in Zimbabwe and the general organisational structure, is shown in Fig. 1.

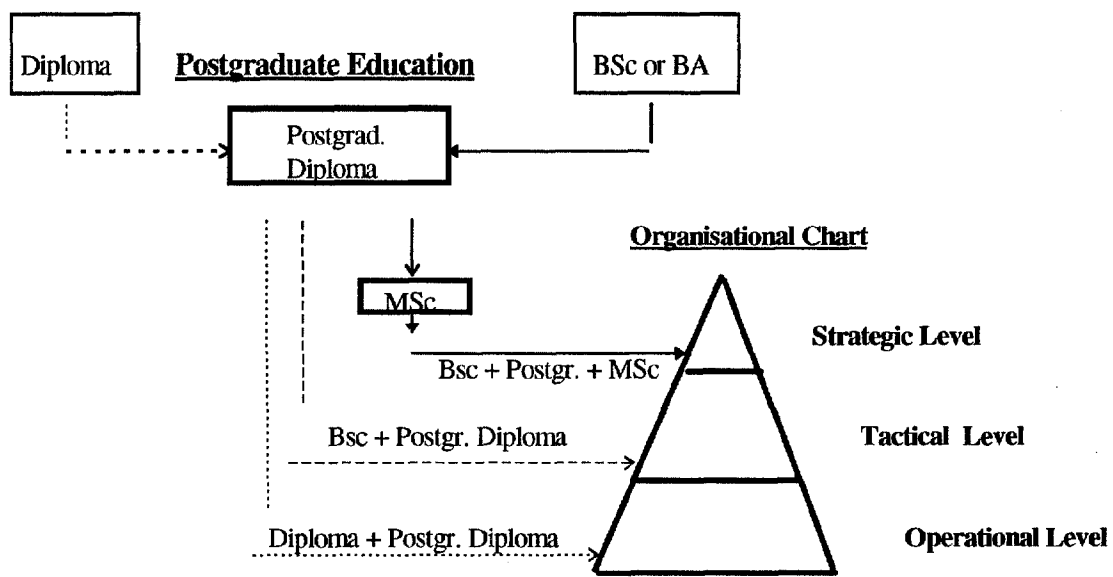


Fig. 1: Relationship between GIS postgraduate education and the organisational chart

*659*

## **The Postgraduate Curriculum**

For years GIS professionals have debated the proper role and methods for teaching GIS in higher education. A basic concern is the extent universities should go to provide students with GIS education, GIS training or a combination of the two. At the centre of the debate is the enduring trade-off faced by GIS instructors about whether to focus on GIS theory or to facilitate practical experiences with industry software and hardware that might help students find jobs quickly. The Department of Surveying decided to give both a conceptual approach and the learning of industrial software so as to be able to fill all three levels in organisations.

The postgraduate programs address technical, theoretical, legal, socio-economic, political, and institutional issues that surround applications of LIS/GIS technology at many scales, from local land records to global geosciences. The programme to be pursued by each candidate in the postgraduate course, which will be composed of about 500 contact hours, will be as follows:

Mathematics, Basic Information Technology, Data Acquisition and Analysis, Cartographic Systems, Environmental Systems, GIS Tools, Land and Geographic Information Management, Digital Cartography and a Project.

The MSc programme to be pursued by each candidate shall cover the following subjects in the first semester:

Professional and Organisational Behaviour, Software Engineering, Advanced Land and Geographic Information Management, Graphics Algorithms and Software.

The second semester comprises of a six-month dissertation.

Since GIS is a multi-disciplinary subject, projects and dissertations are supposed to be invigilated by people from diverse disciplines. Arrangements have been made with invigilators from other departments at the UZ and GIS applications experts in industry to provide different expertise for the students so that they can do projects of their own choice. A student can choose a topic in soil sciences, a discipline which the Department of Surveying has no expertise, but still be able to have top class supervision.

## **Facilities and Staff at the Department of Surveying**

The Chorley Report refers to GIS as:

*'normally used to describe computer facilities, which are used to handle data referenced to a spatial domain, with the capability of inter-relate data sets, to carry out functions to assist in their analysis and presentation of the results.'*

This shows the importance of computing facilities for GIS education and training. With the help of two donor agencies, the German Technical Cooperation (GTZ) and Overseas Development Administration (ODA), the Department of Surveying has been able to acquire diverse GIS software packages, digital data capture devices and powerful computers.

Three laboratories, desktop publishing laboratory, photogrammetric analysis laboratory and computer laboratory, are available at the Department of Surveying of the University of Zimbabwe for education and research in GIS. The desktop publishing laboratory has Macintosh computers running such programs as Pagemaker, Adobe Illustrator and Macdraw. The Macintosh Desktop Publishing System (DTP) runs on an Appletalk network and is connected to the following peripheral devices; an A4 scanner and a laser printer.

The photogrammetric analysis laboratory is used for photogrammetry and remote sensing projects, and it has a number of photogrammetric equipment. The Planicart E3 analogue photogrammetric stereoplottter has been encoded with software and equipment from Ross Instruments, a British base manufacturer. Arrangements have also been

finalised to obtain the Swedish encoding system SOS-MAP from Swedesurvey. In analytical photogrammetry, the VAX based Planicomp P3 running the PHOCUS software package is the pride of the department. Other software packages available on the VAX microcomputer for photogrammetric applications include the two aerial triangulation packages, BLUH and BINGO. A GPS community base station will be installed in this laboratory in March 1995.

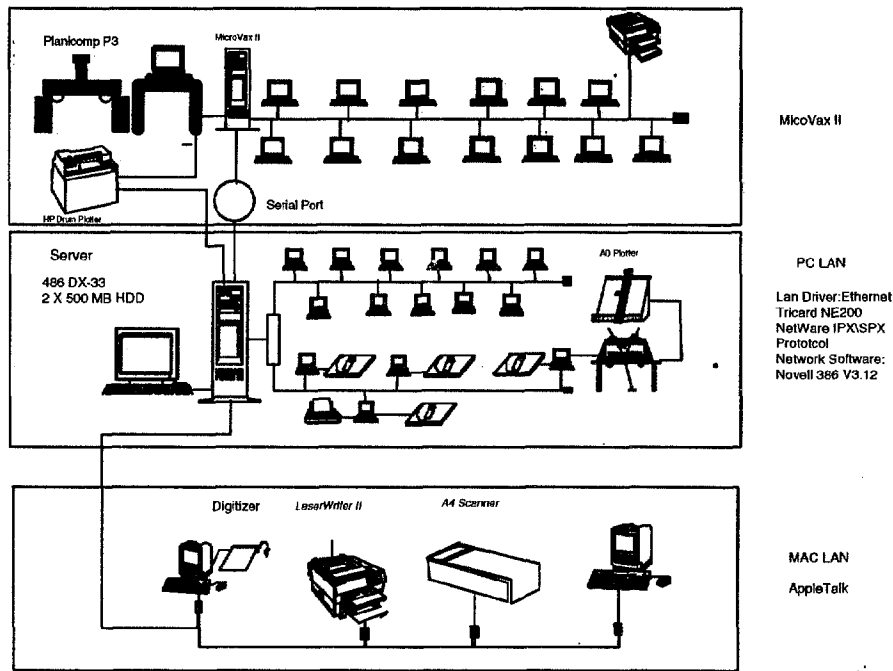


Fig 2: The facilities for GIS education

The computer laboratory is well equipped. Here is the departmental network based on a 486DX Server. The network is made up of over 15 PCs comprising of 386s, 486s and two Pentiums. Peripheral instrumentation include such devices as tablet digitisers, an A0 vector drum plotter, an HP colour inkjet plotter, to name only a few. Several GIS packages are available on the network and on the hard disks for those packages where no network versions are available. The main vector-based GIS package is Intergraph's MGE-PC. This is a combination of Intergraph MicroStation-PC, Oracle relational database and Mapinfo. Besides IDRISI, the main raster-based GIS package will be PC GRASS. There is also one PC version of ARC/INFO and ILWIS. It is also hoped that the department will get a donation of AUTOKA-PC from Swedesurvey.

As far as staffing is concerned, eight lectureship posts were available before the launch of postgraduate education. Besides these posts, there is a post reserved for a teaching assistant, five posts of technical staff and three posts for support staff. The new postgraduate studies have introduced two extra lectureship posts and a teaching assistant post. With a total of ten lectureship posts and two teaching assistants, the department is in a position to provide good education at both undergraduate and postgraduate level.

*b56*

## Future Considerations

Since the operational level in Fig. 1 is supposed to have a large group of workers, education and training has to be organised in such a way as to fill this huge gap in industry. With the number of candidates to be enrolled at the university, not enough people could be trained to fill this level. The department hopes to fill this level with the introduction of short courses and part-time studies. The short courses will be organised as requested by the user community. They should run from one week up to three months. The part-time studies should be arranged in such a way that students can have a few weeks crash programs at the university, and do most of their work at home. This program should be organised in the same way as practiced at the University of Cape Town.

## References

Dale and McLaughlin, 1988: *Land Information Management*, Clarendon Press, 266 pages.

Davies, J., 1993: Training and Education Needs for Zimbabwe and the SADC region, *Proceedings of the Fourth Seminar on Land and Geographical Information Systems in Zimbabwe*.

Matambanadzo, P., 1994: Towards a Land Information System (LIS) in Zimbabwe, *FIG Commission 3&7 Newsletter 13*, 22-24.



# STRATEGY FOR A SELF-SUSTAINING TRAINING AND EDUCATION PROGRAM FOR BUILDING CAPACITY IN USING GIS IN AFRICA

**N. MUSISI**

Department of Environmental Sciences, University of Botswana

Education and training have provided the main bases for achieving widespread use of Geographical Information System (GIS) technology in many countries. In Africa, several efforts have been made to build the capacity for using GIS using similar methods as elsewhere, but limited success has so far been achieved. The original effort focused on international training centre. Characteristically, groups of countries and a donor or donors committed themselves to financial contributions for supporting a training and/or educational centre for GIS, drew up a program for GIS and remote sensing and recruited trainees from the contributing countries. The success of these centres in carrying out the mandate they were originally given has been debatable for several reasons, and it did not seem possible that the centres were likely to become independent within a foreseeable future. Consequently, many have lost the moral and financial support from the contributing countries and the donors. Currently, training and education in GIS in Africa are going through a strategy formulation stage. The UN's Office of Outer Space Affairs (OSSA) has suggested a re-organization of the international centres approach. The experience in recent years, however, has shown that "centralized" training by itself is not sufficient to make significant impact at the national level to plan for using GIS widely on a daily basis in the foreseeable future. This paper provides a model within which the ultimate goal is to make national institutes of higher learning and research the key educational and training centres as the only institutions that may provide a self-sustaining growth of skills for GIS in Africa. In the model, the international centre(s) concentrate on organizing and coordinating training and education after a preliminary period in which they will assist in setting up sub-regional centres. At the national level, institutions of higher learning build a national network of trainers who may be used in a continuous train the trainers program to increase skills for using GIS at the district and sub-district level. Several advantages may be expected from such a model. The speed at which capacity to use GIS will be built will be greatly increased. More importantly, it is easier with this model to look at GIS as a technology acquired for solving specific problems. Too often in Africa training in the technology is too general to be effective with trainees who are themselves not flexible enough to adjust general training instruction to specific problems. Trained trainers of a network in individual ministries or NGO's at the national and sub-national level will be in a better position to customise their instruction to specific types of problems than would be the case with a centralized international training facility.

688

**TRAVAUX DIVERS**

**VARIOUS PAPERS**

**THE ROLE OF SATELLITE IMAGE PROCESSING AND GIS IN THE IDENTIFICATION  
OF THE HIGBURY METEORITE IMPACT STRUCTURE IN ZIMBABWE**

S. MASTER, M.F.F. FERRAZ, T. WOLDAI, P. ZEIL .....691

659

# THE ROLE OF SATELLITE IMAGE PROCESSING AND GIS IN THE IDENTIFICATION OF THE HIGHBURY METEORITE IMPACT STRUCTURE IN ZIMBABWE

S. MASTER <sup>[1,2]</sup>, M.F.F. FERRAZ <sup>[1,3]</sup>, T. WOLDAI <sup>[4]</sup>, P. ZEIL <sup>[1,3]</sup>

[1] Environment and Remote Sensing Institute (ERSI), Harare, Zimbabwe.

[2] Economic Geology Research Unit, Dept. of Geology, Univ. Witwatersrand, Johannesburg, South Africa.

[3] German Technical Co-operation Agency, GTZ, Harare, Zimbabwe.

[4] International Institute for Aerospace Surveys & Earth Sciences, ITC, Enschede, The Netherlands.

## ABSTRACT

In 1985, a 15 km diameter circular feature, centred on 17° 05' S, 30° 09' E, was identified on Landsat TM imagery of northern Zimbabwe by geologists from the German Geological Survey [1]. Although this feature was suspected to be a meteorite impact structure because a 70 kg Ni-Fe meteorite was found some 30 km NE from its centre, no ground follow-up was made. The feature, named the Highbury Structure, was first examined in the field in 1993 during an international impact crater and meteorite expedition to Zimbabwe [2-4]. Initial field investigations revealed that the rocks in the structure have been subjected to intense brecciation and a higher grade of metamorphism than the rocks N and S of it. The Highbury Structure was proven to be of impact origin after the identification of characteristic shock-metamorphic effects in the form of one or more sets of planar deformation features (PDFs) in quartz grains, and the presence of glass [3]. The crystallographic orientations of many of the PDFs are parallel to {1013} and {1012}, characteristic orientations of PDFs formed at moderate to high shock pressures [5]. The Ni-Fe meteorite is a recent fall and is unrelated to the projectile that formed the Highbury impact structure, which is now thought to be more than 1 Ga old [3,5].

A project was initiated at ERSI, in November 1994, to integrate all available geological, geophysical and topographic data of the Highbury Structure with satellite imagery using GIS. The first processing of the Landsat TM data was a linear contrast stretch over the full scene, WRS 170-72, allocating bands 742 to red, green, blue (rgb) filters. This was followed by subsetting of the area around the Highbury Structure, and the application of geometric corrections and georeferencing of the image to a UTM projection. Further image processing transformed Landsat TM bands 742, 741 and 541 to rgb images or 3 band colour composites and single bands 7 and 5 to gray-scale images. The processing algorithms applied included linear, normal and histogram equalisation contrast stretches, low- and high-pass filters, edge enhancement and principle component analysis. A subset over the Highbury Structure of the Zimbabwe national aeromagnetic data set, collected at 300m elevation and 1 km line spacing, was processed. The data for the total magnetic field and its first derivative was gridded, contoured and shaded.

The integration of the Landsat TM 541 and the aeromagnetic total field data (gray-scale), was performed using rgb to intensity-hue-saturation (ihs) transformations. The processed total field aeromagnetic data was substituted for the intensity band and this was returned from ihs to the rgb colour-space.

Published geological [6] and topographic maps of the area around the Highbury Structure, at scales of 1:100 000 and 1:50 000 respectively, were digitised. Separate GIS levels were created for lithologies, faults, drainage, dams, spot heights, topographic contours, roads, farm boundaries and towns. A digital terrain model has been produced from the digitised topographic contours.

The processed Landsat TM imagery clearly shows that the Highbury Structure is about 20 km in diameter and is centred at 17° 03' 53" S, 33° 06' 55" E, about 1.1 km WNW of the homestead on Highbury Estate farm. The structure is conspicuous on the imagery as a circular trace largely within the flat Umboe Valley, an area of agricultural and pastoral farming. The structure is bounded by thickly vegetated ridges of quartzites and striped slates of the Palaeoproterozoic Lomagundi Group, which are deflected to follow the eastern and western boundaries of the circular structure. The northern perimeter of the structure is defined by the arcuate Mungamwa River, while the south-western edge is marked by the abrupt termination of NE-trending quartzite ridges, and by a watershed between SW-flowing and N-flowing streams. The 20 km diameter circular feature is clearly observed in the merged topographic and drainage GIS layers. Although initial examination of the aeromagnetic maps only showed magnetic anomalies corresponding to the NE regional strike and structural grain [3], GIS-integrated data sets show a superposed circular magnetic anomaly pattern which broadly coincides with the structure defined from the Landsat imagery, and with the digital terrain model [5]. Shocked quartz with PDFs has been found in quartzites from the NW perimeter of the 20 km diameter feature confirming the revised size of the Highbury Structure.

Further work being carried out includes the processing of existing geochemical and geophysical data. The elements for which soil geochemical analyses have been collected on a 500m grid with GPS control, are: Cu, Pb, Zn, Ni, Co and Fe. The geophysical data comprises high-resolution airborne magnetic, radiometric and electromagnetic surveys. In addition, a detailed ground gravity survey [7] which is in progress over the Highbury Structure will be integrated with the other data sets. The structuring of the database, representing the full integration of all the existing data into a query-based GIS is envisaged.

## **REFERENCES**

- [1] Broderick, T.J. (1987). Letter to Chairman of Umboe Rural Council. 2 Oct. 1987, Ref. 411/Technical Files, M24a, Zimbabwe Geological Survey, Harare.
- [2] Master, S. (1993). Excursion Guidebook: International Meteorite Crater Expedition - Zimbabwe, 25 Sept. - 1 Oct. 1993, 24pp.
- [3] Master, S., Reimold, W.U., Brandt, D., Koeberl, C., Robertson, D. & Antoine, L.A.G. (1994). The Highbury Structure, a new impact crater in N.W. Zimbabwe. *Lunar & Planetary Science*, XXV, 847-848.
- [4] Reimold, W.U., Master, S., Koeberl, C., & Robertson, D. (1994). The 1993 Zimbabwe Impact Crater and Meteorite Expedition. *Meteoritics*, 29(4), 521-522.
- [5] Master, S., Armstrong, R.A., Brandt, D., Ferraz, M.F.F., Gumede, T., Reimold, W.U., Robertson, D.J., Woldai, T. & Zeil, P. (1995). New Geological, Geophysical and Remote Sensing Data from the Highbury Impact Structure, Zimbabwe. *Lunar & Planetary Science*, XXVI.
- [6] Stagman, J.G. (1961). The geology of the country around Sinoia and Banket, Lomagundi District. *Bull. geol. Surv. S. Rhod.*, 49, 107pp.
- [7] Gumede, T. (1995, in prep.). M.Sc. thesis, Dept. of Physics, University of Zimbabwe, Harare.

# LISTE DES PARTICIPANTS



**AFRICAGIS'95**

**LIST OF PARTICIPANTS**

662

Mr. Saïd BENZINEH	Centre National des Techniques Spatiales	rue de la Palestine	BP 13 31200	ARZEW	ALGERIE	Tél: 213- 6-37 22 17	Fax: 213-6-37 84 54	e-mail:
Mr. Raoul PENNEMAN	Da Vinci Consulting SA	Chaussée de Huy, 230	1325	CHAUMONT- Gistoux	BELGIQUE	Tel 32.10.68 94 63	Fax 32.10.68 96 75	e-mail: rp@da vinci.b e
Mr. Olivier COGELS	Da Vinci Consulting SA	Chaussée de Huy, 230	1325	CHAUMONT- Gistoux	BELGIQUE	Tel 32- 10 689 463	Fax 32- 10 689 675	e-mail:
Mr. Didier VASSAUX	Commission Européenne, bureau SDME 3/3	200, rue de la Loi	1049	BRUXELLES	BELGIQUE	Tél: 32- 2-29 5 61 70 / +32-2- 235 1111	Fax: 32- 2-2 96 05 88	e-mail:
Mr. André TOUPE		Direction hydrauliqu e	BP 385	COTONOU	BENIN	Tél: 229- 31 32 98	Fax: 229-31 08 90	e-mail:
Mr. Gregoire ALE	Direction de l'Hydrauliqu e		BP 385	COTONOU	BENIN	Tél: 229- 413 298/313 487	Fax: 229-310 890/313 546	e-mail:
Mr. Vincent Joseph MAMA	Centre National de Télé détec tion et	de Surveillan ce du Couvert Forestier (CENATE L)	BP 06- 711	COTONOU	BENIN	Tél: 229- 330 380/331 956	Fax: 229-330 380/330 662	e-mail:
Mr. Abel FANNOU	Traitement de l'Informa tion à l'Institut Géographiqu e National,		BP 360	COTONOU	BENIN	Tél: 229 31.32.66/ 31.29.78/ 31.24.41	Fax c/o Daniel HORRE L, 229.30.0 7.57	e-mail:
Mr. Emmanuel TONI	Centre National de Télé détec tion et	de Surveillan ce du Couvert Forestier (CENATE L)	BP 06- 711	COTONOU	BENIN	Tél: 229- 330 380/331 956	Fax: 229-330 380/330 662	e-mail:
Mr. Daniel KOUDORO	Projet de Gestion des Ressources Naturelles		06-884	COTONOU	BENIN	Tél: 229- 33 30 53	Fax: 229-33 04 21	e-mail:
Mr. Timothée BIAOU	Direction de l'Hydrauliqu e		BP 385	COTONOU	BENIN	Tél: 229- 413 298/313 487	Fax: 229-310 890/313 546	e-mail:

Mr. Mulalu MULALU	Ministry of Agriculture		Private Bag 0022	GABORONE	BOTSWAN A	Tél:	Fax:	e-mail:
Mr. Richard SEGODI	Department of Town and Regional Planning	Ministry of Local Governme nt and Lands	Private Bag 0042	GABORONE	BOTSWAN A	Tel. 267- 354 294, 30 34 30	Fax 267-356 015	e-mail:
Mr. Nkambwe MUSISI	Department of Environment al Sciences	University of Botswana	Private Bag 0022	GABORONE	BOTSWAN A	Tel. 267- 35 11 51	Fax 267-35 60 26/35 65 91	e-mail: musions @mots wedi.u b.bw
Mr. Victor RANTSHABENG	Department of Lands	Ministry of Local Governme nt and Planning	Private Bag B066	BONTLENGO (GABORONE )	BOTSWAN A	Tel. 267- 30 13 84	Fax 267-30 05 21	e-mail:
Mr. Setshwano MOKGWEETSIN YANA	Ministry of Health		Private Bag 00269	FRANCISTO WN	BOTSWAN A	267-21 38 08	Fax: 267-37 34 354	e-mail:
Mr. Godfrey Biki HABANA	Department of Surveys and Mapping		Private Bag 0037	GABORONE	BOTSWAN A	Tél: 267- 353 251	Fax: 267-352 704	e-mail:
Mr. Vlado VELDIC	MLGLJ - Dept. of Town & Regional Planning		Private Bag 0042	GABORONE	BOTSWAN A	267-30 13 84	267-35 60 15	e-mail:
Mr. Ousmane DEMBELE	Institut Géographiqu e du Burkina		03 BP 7054	OUAGADOU GOU	BURKINA FASO	Tél: 226- 31 58 85	Fax: 226-31 58 85	e-mail:
Mr. Mamadou Siné CAMARA	Centre Régional de Télé détec tion		BP 1762	OUAGADOU GOU	BURKINA FASO	Tél: 226- 30.06.35 / 301 516 (dom)		e-mail:
Mr. Abdoulaye ILBOUDOU	Statistiques agro- pastorales		03 BP 7010	OUAGADOU GOU	BURKINA FASO	Tél: 226- 30 79 03		e-mail:
Mr. Harouna BARY	CT / CCI		MA RA	OUAGADOU GOU	BURKINA FASO	Tél:	Fax:	e-mail:
Mr. Azzedine BEN GELOUNE	E.I.E.R.		03 BP 7023	OUAGADOU GOU	BURKINA FASO	Tél:	Fax:	e-mail:
Mr. Soumaila DIALLO	Institut Géographiqu e du Burkina		BP 7054	OUAGADOU GOU 03	BURKINA FASO	Tél: 226- 31 58 85	Fax: 226-31 58 85	e-mail:
Mr. Bakary DJABY	INERA / CNRST		BP 476	OUAGADOU GOU	BURKINA FASO	Tél:	Fax:	e-mail:
Mr. François LAVENU	ORSTOM		BP 182	OUAGADOU GOU	BURKINA FASO	Tél:	Fax:	e-mail:

664

Mr. Souleymane OUEDRAOGO	IERA		BP 476	OUAGADOUGOU	BURKINA FASO	Tél:	Fax:	e-mail:
Mr. Louis TRAORE	Ministère de l'Environnement & du Tourisme		01 BP 6486	OUAGADOUGOU	BURKINA FASO	Tél:	Fax:	e-mail:
Mr. Djoda MABI	Centre de Photocartographie		BP 1341	YAOUNDE - ONADEF	CAMEROUN	Tél: 237-23 74 94 / 20 42 58	Fax: 237-21 53 50	e-mail:
Mr. Djilali BENMOUFFOK	CRDI	250, rue Albert	PO Box 8500, KIG 3H9	OTTAWA (Ontario)	CANADA	Tel 1.613.23 6.61 63	Fax 1.613.56 3.38 58	e-mail: dbenmouffok@idrc.ca
Mr. Goze Bertin BENIE	CARTEL	2500 Boulevard de l'Université de Sherbrooke		QUEBEC	CANADA	Tél: 1-819.821.72.86	Fax: 1-819.821.79.44	e-mail:
Mr. Michael Alastair CHAPMAN	The University of Calgary	2500 University Drive NW		CALGARY (Alberta)	CANADA	Tél: 1-403-220 75 34	Fax: 1-403-284 19 80	e-mail:
Mr. Yves André PREVOST		405, rue Saint Dizier	H2Y 2Y1	MONTREAL	CANADA	Tél: 1-514-849 23 71	Fax: 1-514-849 90 18	e-mail:
Mr. Claude CENSIER	ORSTOM		BP 893	BANGUI	REPUBLIQUE CENTRAFRICAINE	Tél:	Fax:	e-mail:
Mr. Abel POUBANGUI	Ministère des Eaux et Forêts		BP 830	BANGUI	REPUBLIQUE CENTRAFRICAINE	Tél: 236-61 24 31	Fax:	e-mail:
Mr. D. NADAUD	DCGTX/CC T		01 BP 3862	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél: 225-44 53 56	Fax: 225-44 56 66	e-mail:
Mr. Idrissa SAMBA	USAID		01 BP 1712	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél: 225-414 528	Fax: 225-413 544	e-mail: isamba@usaid.gov
Mr. Madio-dio NIASSE	USAID		01 BP 1712	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél: 225-414 528	Fax: 225-413 544	e-mail: madio-dio@usaid.gov
Mr. Glenn ROGERS	USAID		01 BP 1712	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél: 225-414 528	Fax: 225-413 544	e-mail: grogers@usaid.gov



Mr. Vassiafia DIOMANDE	Responsable adjoint de la Cellule Système d'Informatio n Environnent ale (SIE)	Comité National de Télédelecti on et d'Informati on Géographi que (CNTIG)	BP V 324	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél: 225 -223.530	Fax: 225 - 223.529	e-mail:
Mr. Mamadou FOFANA	CNTIG		BP V 324	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél: 225.22.3 5.30	Fax: 225.22.3 5.29	e-mail:
Ms. Yatassaye AMIMATA	CNTIG		BP V 324	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél: 225.22.3 5.30	Fax: 225.22.3 5.29	e-mail:
Mr. Abdoulaye CONDE	DCGTX/CC T		01 BP 3862	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél: 225- 44 22 04/44 23 34	Fax: 225-44 56 66	e-mail:
Mr. Kouadio KONAN	DCGTX/CC T		01 BP 3862	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél: 225- 44 22 04/44 23 34	Fax: 225-44 56 66	e-mail:
Mr. Dimy AKA	CNTIG		BP V 324	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél: 225 -223.530	Fax: 225- 223.529	e-mail:
Mr. Jacques ABE	Centre de Recherches Océanograp hiques	29, rue des Pêcheurs	BP V 18		COTE D'IVOIRE	Tél: 225- 35 50 14/35 58 80	Fax: 225-35 11 55	e-mail: abe@c ro.orst om.ci
Mr. Abdoulaye ADAM	ADRAO		01 BP 2551	BOUAKE	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	
Mr. Nick VAN DE GRESEN	ADRAO		01 BP 2551	BOUAKE	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	
Mr. Jean-Pierre HERVOUËT	OCCGE / IPR		BP 1500	BOUAKE	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	
Mr. Peter WINDMEIJER	ADRAO		01 BP 2551	BOUAKE	COTE D'IVOIRE	Tél: 225 - 63 45 14	Fax: 225 - 63 47 14	
Mr. Doffangui KONE	IDESSA		01 BP 633	BOUAKE	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	
Mr. Sylvain KACOU	ENSTP		BP 1083	YAMOUSO UKRO	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	
Mr. Jean Gnrangbe Kouadio KOUACOU	INSET		BP 1093	YAMOUSO UKRO	COTE D'IVOIRE	Tél: 225- 64 11 36	Fax: 225-64 04 06	
Mr. Kouadio Séverin M'BRA	ENSTP		BP 1083	YAMOUSO UKRO	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	
Mr. Kone ANZOUMANA	CNTIG		BP V 324	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	

*bob*

Mr. Charles Hervé Boath BEDIA	CNTIG		BP V 324	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	
Mme. Laurence BONI	CNTIG		BP V 324	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	
Mr. Roger Augustin DAGO	CNTIG		BP V 324	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	
Mr. Marcel DJAMAT - DUBOIS	CNTIG		BP V 324	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	
Mr. Touré DRAMANE	CNTIG		BP V 324	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	
Mme. Ibrahima FOFANA	CNTIG		BP V 324	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	
Mme. Honorée Ghislaine KONAN	CNTIG		BP V 324	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	
Mr. Aloko Thomas KOUASSI	CNTIG		BP V 324	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	
Mr. Niaba Charles KOUASSI- BLANC	CNTIG		BP V 324	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	
Mr. Kouadio Stéphane MIAN	CNTIG		BP V 324	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	
Mme. Alice Odounfa KOUADIO	DPES		04 BP 514	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	
Mr. Touré Sidiki ABOUBACAR	DCGTx		04 BP 945	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	
Mr. Kouakou AFELI	Education Nationale		20 BP 949	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	
Mr. Etienne AHONZO	INS		BP V 55	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	
Mr. Assawa Francis AKPETCHE	PNAE-CI		08 BP 9	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	
Mr. Kouadio ATSAIN	INSET		BP V 79	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	
Mr. Abou BAMBA	Banque Mondiale		BP 95 Guichet annexe BAD	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	
Mr. Jean BIEMI	Université Nationale de Côte d'Ivoire		22 BP 582	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	
Mr. Adon BONI	DCGTx/CC T		01 BP 3862	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	
Mr. Mian BROU	ORSTOM		15 BP 917	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	
Mr. Jean CAMIL	SODEMI		01 BP 2816	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	

667

Mr. Yacouba DEMBELE	Ministère de l'Agriculture		08 BP 1352	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	
Mr. Niagne Martin DIBI	CIAPOL		BP V 184	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	
Mr. Kouame DJE	P. A. A.		BP V 85	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	
Mr. Henri DOSSO	IET		08 BP 109	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	
Mr. Yao Bernard GBO	Direction de la Planification		04 BP 514	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	
Mr. Thie Albert GOULIABI	UNCI		02 BP 801	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	
Mr. Germain GOURENE	FAST - Université		22 BP 582	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	
Mr. Goroza GUEHI	ANAM	Aéroport d'Abidjan	15 BP 990	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	
Mr. Alain-Michel HUSSARD	DCGTx / CCT		01 BP 3862	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	
Mr. Mossoun Alcide KACOU	Direction de l'Eau		BP V 83	ABIDJAN	CÔTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	
Mr. Firmin KOFFI	P. A. A.		BP V 85	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	
Mr. Kouassi Antoine KOFFI	DCGTx		04 BP 945	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	
Mr. Yao N'GUESSAN	SODEMI		01 BP 2816	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	
Mr. Christophe Ottey NADO	DCGTx		04 BP 945	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	
Mr. Aimé Serge NANGA	SODEFOR		01 BP 3770	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	
Mr. Pierre N'GUESSAN	Direction des Mines et Géologie		BP V 91	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	
Mr. Joseph Pascal RATOMALALA	DCGTx		04 BP 945	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	
Mr. Savané ISSIAKA	IET		08 BP 109	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél: 225 - 25 73 36	Fax:	
Mr. Gérard SERY	MINAGRA			ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	
Mr. Léopold Vincent TOURE	DCGTx		04 BP 945	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	
Mr. Mamadou TRAORE	SODECI		01 BP 1843	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	
Mr. Jean VILASCO	UNISYS		01 BP 4038	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE			
Mr. Guillaume F. ZABI	Direction de l'Environnement		BP V 183	ABIDJAN	COTE D'IVOIRE	Tél:	Fax:	

*666*

Ms. Anita FOLLY	I. G. University of Copenhagen	Øster Voldgade 10	1350	KØBENHAVN	DENMARK	Tél: 45-35 32 25 00	Fax: 45-35 32 25 01	
Mr. Lasse MØLLER-JENSEN	DANIDA - I. G. University of Copenhagen	Øster Voldgade 10	1390	KØBENHAVN	DENMARK	Tél:	Fax:	
Mr. Barih Tedla DELBAKEW	IGADD		PO. Box 2653	DJIBOUTI	DJIBOUTI	Tél: 253.35.4 0.50	Fax: 253.35.3 1.95	
Ms. Boshra B. SALEM	Botany and Microbiology Department	Faculty of Science, University of Alexandria	Moharram Bey	ALEXANDRIA	EGYPT	Tél: 203-597 2352/597 2628	Fax: 203-545 7611	e-mail: boshra@alex.eun.eg
Mr. Fawzi H. ABDEL-KADER	Dept. of Soil & Water Sciences	Faculty of Agriculture, University of Alexandria	El Chatby	ALEXANDRIA	EGYPT	Tél: 203-596 11 72	Fax: 203-596 11 72	
Mr. Gilles CLICHE	CRDI	ORMAN	PO Box 14	GIZA	EGYPT	Tél: ++738 760, 735 419, 738 926	Fax: ++623 720	
Mr. Deribe GURMU	Ministry of Natural Resources Development and Environmental Protection		PO Box 1034	ADDIS ABABA	ETHIOPIA	Tél: 251-1 51 04 55/ext 1184	Fax: 251-1 51 89 77	
Mr. Orlando NINO FLUCK	U. N. Economic Commission for Africa		PO Box 3001	ADDIS ABABA	ETHIOPIA	Tel: +251-1-51 72 00 x338	Fax: +251-1-51 44 16	
Mr. Jean-Claude CAZAUX	SCOT Conseil	1, rue Hermès, Parc du canal	31526	RAMONVILLE St AGNE Cedex	FRANCE	Tél: 33-61 39 46 00/01	Fax: 33-61 39 46 10	e-mail: jlb@scotc.nes.fr
Mr. Emilio BARISANO	Geosat Technology	14, avenue Bel-Air	06600	ANTIBES	FRANCE	Tél: 33-93 95 27 37	Fax: 33-93 74 44 20	

669

Mr. Taoufiq BENNOUNA	CNES- ENSAT- CISI	13, rue Villet, ZI du Palays	BP 4042 31029	TOULOUSE Cedex	FRANCE	Tél. +33- 61 28 14 86(CNE S)/61 17 66 66(CISI) /61 42 83 98(ENS AT)	Fax +33-61 34 84 15/61 27 31 67	e-mail: bennou na@cn es.qtis. fr ou bennou na@flo ra.ensa t.fr
Mr. Pierre BILLOTEY	IGN France international	39, rue Gay- Lussac	75005	PARIS	FRANCE	Tél:	Fax:	
Mme. Françoise DE BLOHAC	ESRI France	21, rue des Capucins	92190	MEUDON	FRANCE	Tél: 33- 1-45 07 88 11	Fax: 33- 1-45 07 05 60	
Mr. Christan CREPEAU	SCOT Conseil	1, rue Hermès, Parc du Canal	31526	RAMONVILL E St AGNE Cedex	FRANCE	Tél: 33- 61 39 46 00/32	Fax: 33- 61 39 46 10	e-mail: cc@sc ot.cnes .fr
Mr. Patrick DEROUE	IGN France international	39ter, rue Gay- Lussac	75005	PARIS	FRANCE	Tél. +227-72 33 23	Fax +227-72 24 67	
Mr. Gilles DEVEAU	Aérospatiale /Espace et Défense	66, route de Verneuil	BP 2 78133	LES MUREAUX cedex	FRANCE	Tél: 33- 134 92 36 92	Fax: 33- 134 92 24 45	
Mr. Lamine DIALLO	BINTA	5, rue des Glénans	78180	MONTIGNY LE BRETONNEU X	FRANCE	Tél:	Fax:	
Mr. Jean-Louis DOMERGUE	OSS	1, rue Miollis	75015	PARIS	FRANCE	Tél: +33- 1-45 68 28 79	Fax: +33-1-45 67 26 86	e-mail: dome rque@o ss.paris .rio.org
Mr. Chedly FEZZANI	OSS	1, rue Miollis	75015	PARIS	FRANCE	Tél: +33- 1-45 68 28 79	Fax: +33-1-45 67 26 86	
Mr. Bertrand GALTIER	Ministère de la Coopération	20, rue Monsieur	75700	PARIS	FRANCE		Fax: 33- 1 45 51 21 55	
Mme. Hélène GAUBERT	IARE	Domaine de Lavalette 1037, rue J. F. Breton	34397	MONTPELLI ER	FRANCE	Tél:	Fax:	
Mr. Michel GOSCIANSKI	MATRA CAP Systèmes	6, rue Dewoitine	BP 14 78142	VELIZY VILLA COUBLAY	FRANCE	Tél: 33-1 34 63 72 77	Fax: 33- 1 34 63 73 20	
Mr. Claude TORRES	MATRA CAP Systèmes	31, rue des Cosmonau tes	31077	TOULOUSE	FRANCE	Tél:	Fax:	

Mme. Jacqueline GUERNIER-PUËCH	CNES	2, place Maurice-Quentin	75001	PARIS	FRANCE	Tél: +33-1 44 76 77 25	Fax: +33-1 44 76 78 49	
Mr. Hedi HAMDI	BINTA	5, rue des Glénans	78180	MONTIGNY LE BRETONNEUX	FRANCE	Tél:	Fax:	
Mr. Michel HOEPFFNER	GIP MEDIAS-France	MEDIAS-FRANCE, CNES 18, av. E. Belin	BP 2102 31055	TOULOUSE	FRANCE	Tél: 33-61 28 26 67	Fax: 33-61 28 29 05	e-mail: hoepffner@medias.lcst.cnes.fr ou hoepffner@orstom.fr
Mr. Jean-Claude RIVEREAU	SPOT Image	5, rue des Satellites	BP 4359 31030	TOULOUSE	FRANCE	Tél: 33-62 19 41 29	Fax: 33-62 19 40 51	
Mr. Bruno BERTOLINI	SPOT Image	5, rue des Satellites	BP 4359 31030	TOULOUSE	FRANCE	Tél.+33-62 19 40 48	Fax +33-62 19 40 51	
Mr. Yves BOURSILLON	SPOT Image	5, rue des Satellites	BP 4359 31030	TOULOUSE	FRANCE	Tél: 33-62 19 40 61	Fax: 33-62 19 40 11	
Mr. Frédéric LEBLANC	UNISYS	7, boulevard des Bouvets	92027	NANTERRE	FRANCE	Tél:	Fax:	
Mr. André MEILHAC	ANTEA - Groupe BRGM		BP 6119 45061	ORLEANS cedex 2	FRANCE	Tél:	Fax:	
Mr. Stéphane RASSE	UNISYS	7, boulevard des Bouvets	92027	NANTERRE	FRANCE	Tél:	Fax:	
Mr. Pascal RENAUD	ORSTOM-MTI	213, rue Lafayette	75010	PARIS	FRANCE	Tel.+33-1-48 03 76 09	Fax +331-48 03 08 29	e-mail: renaud@orstom.fr
Mr. Pierre-Yves REVILLION	GDTA	18, avenue E. Belin	31055	TOULOUSE cedex	FRANCE	Tél: +33-61 27 47 69	Fax: +33-61 28 14 98	

Mme. Véronique RUDOWSKI	IGN Espace	24, rue Hermès Parc technologique du Canal	31527	RAMONVILLE	FRANCE	Tél:	Fax:	
Mr. Serge Jean SNRECH	OECD Club du Sahel	2, rue André-Pascal	75775	PARIS	FRANCE	Tél:	Fax:	
Mme. Anneke TRUX	OSS, Projet GTZ	1, rue Miollis	75015	PARIS	FRANCE	Tél: +33-1-42 73 32 68	Fax: +33-1-42 73 38 27	
Mr. Luc VEILLON	ORSTOM-MTI	213, rue Lafayette	75010	PARIS	FRANCE	Tél:	Fax:	e-mail: veillon@orstom.fr
Mr. Lionel LAURORE	GEOIMAG E	Les Espaces de Sophia, Bat M9, 80, route des Lucioles	06560	VALBONNE	FRANCE	Tél:	Fax:	
Mr. Patrick DOLEMIEUX	INTERGRAPH	95-101, rue des Solets	SILIC 578, 94653	RUNGIS cedex	FRANCE	Tél: 33.1.45.60.30.00	Fax: 33.1.45.60.48.85	
Mr. GAUDRY	SARL BSPLine	69, rue Gabriel Péri	93200	SAINT DENIS	FRANCE	Tél: 33-1-48 13 10 20	Fax: 33-1-48 13 10 29	
Mr. Albert MOUITY	Institut National de Cartographie		BP 13600	LIBREVILLE	GABON	Tél: 241-730 956/731 250	Fax: 241-738 610	
Mr. Gilbert Guy Roger AVARO	Ministère de l'Environnement		BP 3903	LIBREVILLE	GABON	Tél: 241-72 27 00	Fax: 241-77 29 94	
Mr. Jean François BIDONE OWANGA	Ministère des Finances DGI		2156	LIBREVILLE	GABON	Tél: 241-76 02 72	Fax: 241-76 16 75	
Mr. Michel MBOMOH UPIANGU	Ministère des Finances DGI		2156	LIBREVILLE	GABON	Tél: 241-76 02 72	Fax: 241-76 16 75	
Mr. Michel NGUEMA MENGOME	CST		BP 2896	LIBREVILLE	GABON	Tél:	Fax:	
Ms. Ndey-Isatou NJIE	National Environmental Agency	5 Fitzgerald Street	P.O. Box 48,	BANJUL	THE GAMBIA		Fax: +220 22.97.01	

602

Mr. Stanley Sebja ADAMS	Soil & Water Management Unit	Ministry of Agricultur e & Natural Resources		YUNDUM / BANJUL	THE GAMBIA	Tél: 220- 22 44 65	Fax: 220-22 44 89	
Mr. Komma TOMBONG	Department of Water Resources	Kombo Central W/P Division		BRIKAMA TOWN	THE GAMBIA	Tél:	Fax:	
Mr. Dieter BOHNET	GTZ	Talmühle 3	71546	ASPACH	GERMANY	Tél: 49- 71-91 63 768	Fax: 49- 71-91 23 172	
Mr. Klaus-Ülrich KOMP	EFTAS	Steinfürter str. 107	48149	MÜNSTER	GERMANY	Tél: 49- 251 2 07 16	Fax: 49- 251 29 40 76	
Mr. Gottfried KONECNY	University of Hannover	Nienburge rstr. 1	30167	HANNOVER	GERMANY	Tél: +49- 511-762 2481	Fax: +49-511- 762 2483	
Mr. Wolfgang STEINBORN	DARA	Königswin tererstr. 522	53227	BONN	GERMANY	Tél: 49- 228 447 599	Fax: 49- 227 447 599	
Mr. Alan WALSCH	german Foundation for International Developmen t (DSE)	Rauchstr. 22	10787	BERLIN	GERMANY	Tél: 49- 30 26 06 458	Fax: 49- 30 26 06 380	
Mr. Willi Ernst ZIMMERMANN	GTZ	Tausensteinstr. 18	65510	HUNSTETTE N	GERMANY	Tél: +49- 612 652 855	Fax: +49-612 652 855	
Mr. Alexander Albert HOOYER	FAO	C/O FAO Regional Office	PO Box 1628	ACCRA	GHANA			
Mr. Emmanuel ODOI-YEMO	Lands Commission Secretariat		PMB Ministri es Post Office	ACCRA	GHANA	Tél: 233- 777 322		
Mr. Louis DARKO	Lands Commission Secretariat		PMB Ministri es Post Office	ACCRA	GHANA	Tél: 233- 777 322		
Mr. Daniel OSEI- SEKYRE	Lands Commission Secretariat		PMB Ministri es Post Office	ACCRA	GHANA	Tél: 233- 777 322		
Mr. Gottfried Tenkorang AGYEPONG	Department of Geography	University of Ghana	PO Box 59	LEGON	GHANA	Tél: 233- 21 77 53 01	Fax: 233- 21 77 53 02	



Mr. Sosthenes Kwadzo KUFOGBE	Department of Geography and Resource Development	University of Ghana	PO Box 59	LEGON	GHANA	Tel: 233-21 77 53 02	Fax: 233-21 77 53 06	
Mr. Jacob GYAMFI-AIDOO	Remote sensing Applications Unit	University of Ghana	PO Box 59	LEGON	GHANA	Tél: 233-21 77 53 02	Fax: 233-21 77 53 02	
Mr. Francis BALFOUR-AGURGO	Forestry Department, Planning Branch		PO Box 1457	KUMASI	GHANA	Tél: 233-51 21 23 76/77	Fax: 233-51 26 87	
Mr. Samuel Kenneth ABOAH	Sambus Company Ltd.		PO Box 16701	ACCRA	GHANA		Fax: 233-21 23 00 97	
Mr. Jonathan A. ALLOTEY	Environmental Protection Agency		PO Box M326	ACCRA	GHANA			
Mr. Fred BINKA	Ministry of Health		PO Box 114	NAVRONGO	GHANA			
Mr. Enock BOAKENG	S. R. I.		PO Box 70	ACCRA	GHANA			
Mr. Ernst BOERWINKEL	EISD Consultants		Private Mail Bag Kia	ACCRA	GHANA			
Mr. Sung-Bamaala DONYUO	Remote sensing Applications Unit	University of Ghana	PO Box 59	LEGON	GHANA	Tél: 233-21-77 53 01	Fax: 233-21-77 53 02	
Mr. Sam BUGRI	Ministry of Health		PO Box 2848	ACCRA	GHANA			
Mr. Foster Kwame MENSAH	Remote sensing Applications Unit	University of Ghana	PO Box 59	LEGON	GHANA	Tél: 233-21-77 53 01	Fax: 233-21-77 53 02	
Mr. Kwabena OSEI-BONSU	NDPC		PO Box C 633	ACCRA	GHANA			
Mr. Larbi Darko SAMUEL	Sambus Company Ltd.		PO Box 16701	ACCRA	GHANA			
Mr. Benjamin LAMPTEY	M. S. D.			ACCRA	GHANA			
Mr. Sulemana MAHAMA	Lands Commission			ACCRA	GHANA			

679

Mr. Bademba BARRY	Direction Nationale des Forêts et de la Faune		BP 624	CONAKRY	GUINEE CONAKRY	Tél: 224-46 55 28	Fax: 224-44 32 49	
Mr. Roug BECICER	MAPS geosystems	Villa MAPS-DONKA	BP 1123	CONAKRY	GUINEE CONAKRY	Tél: 224-41 49 02		
Mr. Etienne BARTHOLOME	I. A. Télédétection		TP 440 21020	ISPRA (VARESE)	ITALIA	Tél: 39-332 78 99 08	Fax: 39-332 78 90 73	
Mr. Marc BIED-CHARRETON	FAO	Via delle Terme di Caracalla	00100	ROMA	ITALIA	Tél: 39-6 52 25 55 83	Fax: 39-6 52 25 57 31	
Mr. Carlo DI CHIARA	Centro di Studio per l'applicazione dell'informatica in agricoltura	Via Caproni 10		FIRENZE	ITALIA	Tél: 39-55 30 14 22		
Mr. Andrea DI VECCHIA	Centro di Studio per l'applicazione dell'informatica in agricoltura	Via Caproni 10		FIRENZE	ITALIA	Tél: 39-55 30 14 22		
Mr. Dominique LANTIERI	FAO	Via delle Terme di Caracalla	00100	ROMA	ITALIA	Tél: 39-6 52 25 32 95	Fax: 39-6 52 25 57 31	
Mr. John Stephenson LATHAM	FAO	Via delle Terme di Caracalla	00100	ROMA	ITALIA	Tél: 39-6 42 25 40 26	Fax: 39-6 52 25 57 31	
Mr. John Alusa BARAZA	RCSSMRS		PO Box 18118 Kasarani Road	NAIROBI	KENYA	Tél: 254-2.80.33.20	Fax: 254-2.80.27.67	
Mr. Luigi GUARINO	International Plan Genetic Resources Institute		c/o ICRAF PO Box 30677	NAIROBI	KENYA	Tel: 254-02 52 14 50	Fax: 254-02 52 10 01	e-mail: ipgri.nairobi@cgnet.com
Mr. Asfaw FANTA	Regional Center for Services in Surveying,	Mapping and Remote Sensing (RCSSMRS)	PO Box 18118	NAIROBI	KENYA	Tél: 254-2-803 641/803 320/29	Fax: 254-2-802 767	

675

Mr. Luka Atonya ISAVWA	Regional Centre for Services in Surveying Mapping and Remote Sensing (RCSSMRS)		PO Box 18118	NAIROBI	KENYA	Tél: 254- 2 80 33 20	Fax: 254-2- 802 767	
Ms. L. Maida AWORI	UNEP		PO Box 30552	NAIROBI	KENYA			
Ms. Sandra BALDWIN	IDRC / CRDI		PO Box 62084	NAIROBI	KENYA			
Mr. Till DARNHOFER	DC-PAC (UNEP)		PO Box 47074	NAIROBI	KENYA	Tel: +254-2- 520 600(ext 4316)/23 0 800(ext 4283)/52 0 353(res)	Fax: +254-2- 215 615	
Mr. Bob Kagumaho KAKUYO	UNEP		PO Box 47074	NAIROBI	KENYA	Tel. +254-2- 621 254	Fax +254-2- 226 890	E-mail: kakuyo @un.or g
Mr. Russ KRUSKA	ILRI		PO Box 30709	NAIROBI	KENYA			
Mr. Kare KYRKJEEIDE	UNEP		PO Box 47074	NAIROBI	KENYA			
Mr. Harrison Ochienli ONLI ANDA	INST			81651 MOMBASA	KENYA	Tél: 254- 011 47 51 51	Fax: 254-011 47 22 15	
Mr. Tolu OREKOYA	FAO		PO Box 30552	NAIROBI	KENYA			
Mr. Mohammed Yahya SAÏD	African Elephant Database Project (DRSRS)		UNEP/ GRID PO Box 30552	NAIROBI	KENYA	Tel: 254- 2 62 41 90	Fax: 254-2 62 42 74	
Mr. Dirk VAN SPEYBROECK	UNEP - OCA/PAL		PO Box 30552	NAIROBI	KENYA			
Mr. Kew FERGMAN	TELEOS / RCSSMRS		PO Box 18118	NAIROBI	KENYA	Tél: 254- 28 61 673		
Mr. Amadou K. THIAM	Environment Assessment Programme - UNEP		PO Box 30552	NAIROBI	KENYA	Tel: 254- 2-230 800	Fax: 254-2- 226 491	
Mr. Lenka N. THAMAE	SADC- ELMS		PO Box 24	MASERU	LESOTHO			

Mr. Muftah UNIS	OACT		PO Box 2043	TRIPOLI	LIBYA	Tél: 266 31 21 58	Fax: 266 31 04 65	
Mr. Jean-Michel DUFILS	USAID		BP 1424	ANTANANA RIVO	MADAGASCAR			
Mr. Alain MADHOW	Office National de l'Environnement	Ambalavao Isotry	Lot IG 161 A 101	ANTANANA RIVO	MADAGASCAR	Tel: 261-2-2 59 99	Fax: 261-2-3 06 93	
Mr. Aimé NAINA ANDRIMAPARNY	Institut Géographique et Hydrographique	Rue RJB Ambanidia	BP 323	ANTANANA RIVO	MADAGASCAR			
Mr. Samuel CHIMWAZA	Famine Early Warning System		P.O. Box 30455	LILONGWE 3	MALAWI	Tél: 265-722 218	Fax: 265-722 218	e-mail: leslie@rmt@lilongwe
Mr. Samuel KAINJA	Forestry Department		PO Box 30048	LILONGWE 3	MALAWI	Tél: 265-784 265	Fax: 265-784 268	
Mr. Duncan WELLS	District Health Services Machinga (GTZ)		PO Box 131	LIWONDE	MALAWI	Tél: 265-532 213	Fax: 265-532 214/523 282	e-mail: dwells@unima.wn.a.pc.org
Mr. Oumar DOUMBIA	LABOSEP / IER		BP 438	BAMAKO	MALI	Tél: 223.22.64.28		
Mr. Souleymane BAMBA ZANGA	QHVN		BP 178	BAMAKO	MALI			
Mr. Denis BILODEAU	USAID		BP 34	BAMAKO	MALI			
Mr. Mamadou-Yorodian DIAKITE	Ministère de l'Education de Base		BP 171	BAMAKO	MALI			
Mr. Modibo DIALLO	IER / LABO-SOLS SOTUBA		BP 438	BAMAKO	MALI			
Mr. Moussa DOLO	CERPOD		BP 1530	BAMAKO	MALI			
Mme. Christine KOLARS	CERPOD		BP 1530	BAMAKO	MALI			
Mr. Christophe BEAUCOURT	Office du Niger		BP 106	SEGOU	MALI	Tél:		
Mr. Oumarou BERETE	Office du Niger		BP 106	SEGOU	MALI			
Mr. Seydou DEMBELE	Office du Niger		BP 106	SEGOU	MALI			

Mr. Kaliba KONARE	Météo Nationale		BP 237	BAMAKO	MALI	Tel. +223-22 29 25/22 25 96/22 21 01		
Mr. Felix LEE	FEWS Project, USAID	USAID Mali	BP 34	BAMAKO	MALI	Tél: 223-22 94 60	Fax: 223-22 39 33	e-mail: fleec@usa.gov
Mr. Théodore NSEKA VITA	Ministère de l'Education de Base		BP 171	BAMAKO	MALI			
Ms. Ibrahima SISSOKO	USAID	Quartier du Fleuve	BP 34	BAMAKO	MALI			
Mr. Lamine Mamadou SYLLA	OHVN		BP 178	BAMAKO	MALI			
Mr. Alamir Sinna TOURE	SIE-CPS / MDRE	Ministère du Développement Rural		BAMAKO	MALI			
Mr. Djiriba TRAORE	Cellule de Planification et de Statistique		BP 275	BAMAKO	MALI			
Mr. Hamdou Raby WANE	CERPOD		BP 1530	BAMAKO	MALI			
Mr. Jan VENNEGOOR	ARPON, Office du Niger		BP 236	SEGOU	MALI			
Mr. Mohamed Nabil ALOUSSI	Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II	Dpt. Sciences du sol	BP 6202-Institut	RABAT	MAROC	Tél: 212-777 12 85	Fax: 212-777 12 85	
Mr. Hassan ARID	Centre Royal de Télédetection Spatiale	16 bis, av. de France Agdal		RABAT	MAROC	Tél: 212-777 63 05	Fax: 212-777 63 00	
Mr. Mohamed Ait BELAÏD	Centre Royal de Télédetection Spatiale	16 bis, av. de France Agdal		RABAT	MAROC	Tél: 212-777 63 05	Fax: 212-777 63 00	
Mr. Robert J. DE BOER	GEOSAT International	Markt 17	PO Box 34 6700 AA	WAGENINGEN	THE NETHERLANDS	Tel. +31-8370-22860/1881 2581(Res)	Fax +31-8370-26029	
Mr. Mohamed Mostafa RADWAN	ITC		PO Box 67500 AA	ENSCHDEDE	THE NETHERLANDS	Tel: 31-53 87 43 51	Fax: 31-53 87 43 35	e-mail: radwan@itc.nl

679

Mr. Ian SCHERINGA	ITC		PO Box 6 7500 AA	ENSCHEDÉ	THE NETHERL ANDS	Tel: 31- 53 87 43 37	Fax: 31- 53 87 44 84	e-mail: ilwis@ itc.nl
Mr. Tsehaie WOLDAI	ITC		PO Box 6 7500 AA	ENSCHEDÉ	THE NETHERL ANDS			
Mr. Atahirou KARBO	Chef Service Hydro- Géologie Ministère de l'Hydrauliqu e et de l'Environne ment	Direction des Ressources en Eau	BP 257	NIAMEY	NIGER	Tél: 227- 73 38 89	Fax: 227-72 20 17	
Mr. Bruno GERARD	ICRISAT		BP 12404	NIAMEY	NIGER	Tél: 227.72.2 5.29/72.2 7.25	Fax: 227.73.4 3.29	
Mr. Hama KONTONGOMD E	AGRHYME T / CILSS		BP 11011	NIAMEY	NIGER	Tél: 227.73.3 1.16	Fax: 227.73.2 4.35	
Mr. V. K. SIVAKUMAR	ICRISAT		BP 12404	NIAMEY	NIGER	Tél: 227.72.2 5.29/72.2 7.25	Fax: 227.73.4 3.29	
Mme. Augustine Tanifum AMBE	AGRHYME T		BP 11011	NIAMEY	NIGER			
Mr. Andrew Adrian STANCIOFF	AGRHYME T		BP 11011	NIAMEY	NIGER	Tel: 227.73.3 1.16	Fax: 227.73.2 4.35	
Mr. David LONG	AGRHYME T		BP 11011	NIAMEY	NIGER	Tel: 227- 73 24 36	Fax: 227-73 57 42	e-mail: agrhy met@h is.com
Mr. Massimo MARTINI	AGRHYME T		BP 11011	NIAMEY	NIGER			
Mr. Oumarou MOULAYE	AGRHYME T		BP 11011	NIAMEY	NIGER			
Mr. Jorge Santos OLIVEIRA	AGRHYME T		BP 11011	NIAMEY	NIGER	Tel. +227-73 31 16/73 24 36	Fax +227-73 24 35	
Mme. Ndeye Fatou TALL COUNDOUL	AGRHYME T		BP 11011	NIAMEY	NIGER			
Mme. Ila SALIFOU	ICRISAT (IPGRI)		BP 12404	NIAMEY	NIGER			
Mr. Alassane KIMSO	ICRISAT		BP 12404	NIAMEY	NIGER			

Mr. Hassimi ADAMOU	Institut Géographiqu e National		BP 250	NIAMEY	NIGER	Tel: 227.73.3 1.16	Fax: 227.73.2 4.35	
Mr. Idrissa ALSO	Direction Météo		BP 218	NIAMEY	NIGER			
Mr. Seydou AMADOU	UTA / Direction de l'Environne ment		BP 578	NIAMEY	NIGER	Tel: 227- 73 33 29	Fax: 227-73 27 84	
Mr. Mamadou ARI ARIMI	UTA / Direction de l'Environne ment		BP 578	NIAMEY	NIGER	Tel: 227 - 73 33 29	Fax: 227-73 27 84	e-mail:
Mr. Pierre HIERNAUX	ILRI	ICRISAT Sahelian Centre	BP 12404	NIAMEY	NIGER			
Mr. Mark L. McGUIRE	USAID / FEWS		BP 13300	NIAMEY	NIGER	Tel. 227- 72 25 55	Fax: 227-72 39 18	
Mr. Jo SCHEUER	UNDP		BP 11207	NIAMEY	NIGER	Tel: 227- 73 47 00	Fax: 227-73 58 54	
Mr. Mama WAZIRI	Institut Géographiqu e National		BP 250	NIAMEY	NIGER			
Mr. Bob WINTERBOTTO M	International Resources Group	C/O USAID	BP 13300	NIAMEY	NIGER			
Mr. Emmanuel GEMADE	UNICEF	30 A, Oyinkan Abayomi Drive, Ikoyi		LAGOS	NIGERIA			
Mr. Shrikant JACTAP	International Institute of tropical Agriculture	Oyo Road	PMB 5320	IBADAN	NIGERIA			
Mr. Jonathan Louis Oron EKPENYONG	University of Lagos (UNICEF)	University of Lagos, Yaba		LAGOS	NIGERIA			
Mr. Amadou Moctar DIEYE	Centre de Suivi Ecologique	Rue Léon Gontran Damas, Fann Residence	BP 154	DAKAR	SENEGAL	Tél: 221- 25 80 66/7	Fax: 221-25 81 68	e-mail: dieye @cse.c se.sn
Mr. Amadou Moctar NIANG	Centre de Suivi Ecologique	Rue Léon Gontran Damas, Fann Residence	BP 154	DAKAR	SENEGAL	Tél: +221 25.80.66/ 67	Fax: +221 25.81.68	

680

Mr. Racine KANE	Centre de Suivi Ecologique	Rue Léon Gontran Damas, Fann Résidence	BP 154 PNUD	DAKAR	SENEGAL	Tél: 221-25 80 66/7	Fax: 221-25 81 68	e-mail: kane@cse.cse.sn
Mr. Assize TOURÉ	Centre de Suivi Ecologique	Rue Léon Gontran Damas, Fann Résidence	BP 154 PNUD	DAKAR	SENEGAL	Tél: 221-25 80 66/7	Fax: 221-25 81 68	e-mail: assize@cse.cse.sn
Mr. Louis-Albert LAKE	Institut Fondamental d'Afrique Noire - Lab. de Géographie		BP 206	DAKAR	SENEGAL	Tél: 221 25 00 90/25 19 90	Fax: 221 - 24 49 18	
Mr. Aboubacar CAMARA	Centre de Suivi Ecologique	Rue Léon Gontran Damas, Fann Résidence	BP 154	DAKAR	SENEGAL	Tél: 221-25 80 66	Fax: 221- 25 81 68	e-mail: camara@cse.cse.sn
Mme. Anne ANDERSEN	Centre de Suivi Ecologique	Rue Léon Gontran Damas, Fann Residence	BP 154	DAKAR	SENEGAL	Tel: 221-25 80 66	Fax: 221-25 81 68	
Mr. Souleymane DIOP	Centre de Suivi Ecologique	Rue Léon Gontran Damas, Fann Residence	BP 154 PNUD	DAKAR	SENEGAL	Tel: 221-25 80 66/7	Fax: 221-25 81 68	e-mail: niany@cse.cse.sn
Mr. Aliou DIOUF	Centre de Suivi Ecologique	Rue Léon Gontran Damas, Fann Residence	BP 154	DAKAR	SENEGAL	Tel: 221-25 80 66/7	Fax: 221-25 81 68	e-mail: holm@cse.cse.sn
Mr. Jean DUSART	Centre de Suivi Ecologique	Rue Léon Gontran Damas, Fann Residence	BP 154	DAKAR	SENEGAL	Tel: 221-25 80 66/7	Fax: 221-25 81 68	e-mail: jean@cse.cse.sn
Mr. Djibril NDIAYE	Centre de Suivi Ecologique	Rue Léon Gontran Damas, Fann Residence	BP 154	DAKAR	SENEGAL	Tel: 221-25 80 66/7	Fax: 221-25 81 68	e-mail: djibril@cse.cse.sn
Mr. Samba Laobe NDAO	PDFR	Hann	BP 1831	DAKAR	SENEGAL			



Mr. Amadou NDIAYE	Ministère de l'Environnement		BP 1831	DAKAR	SENEGAL			
Mr. Papa Dethie NDIONE	DEFCCS / PDFR	Hann	BP 1831	DAKAR	SENEGAL			
Mr. Jacques SIPKES	Rand Afrikaans University Department of Geography	Roodepoort, 1725	PO Box 31	GAUTENG PROVINCE	SOUTH AFRICA	Tél: 27-114-892 430	Fax: 27-114-892 411	
Mr. David Robert McDEVETTE	CSIR		P.O. Box 395 0001	PRETORIA	SOUTH AFRICA	Tel. 27-12-841 45 11	Fax 27-12-841 39 90	
Mr. Marius CLAASSEN	CSIR Water Technology		PO Box 395 0001	PRETORIA	SOUTH AFRICA	Tel: 27-12 841 23 85	Fax: 27-12 841 47 85	e-mail: mclaassen@watertek.csir.co.za
Mr. Anore PRETORIUS	Department of Agriculture	110 Alcade Road	0081	LYNNWOOD GLEN	SOUTH AFRICA			
Mr. Stephen HINE	GIMS		PO Box 651	HALFWAY HOUSE	SOUTH AFRICA			
Mr. Zach Pierre LE ROUY	INTERGRAPH		PO Box 101308 0044	MORELETA PARK	SOUTH AFRICA			
Mr. David LE SUEUR	Medical Research Council	271, Umbilo Road	4013	DURBAN	SOUTH AFRICA	Tel: 27-31 25 14 81	Fax: 27-31 25 88 40	e-mail: le.sueur@med.und.ac.za
Ms. Carrin MARTIN	Medical Research Council	271, Umbilo Road	4013	DURBAN	SOUTH AFRICA	Tel: 27-31 25 14 81	Fax: 27-31 25 88 40	e-mail: martin@med.und.ac.za
Ms. Joyce TSOKA	Medical Research Council	271, Umbilo Road	4013	DURBAN	SOUTH AFRICA	Tel: 27-31 25 14 81	Fax: 27-31 25 88 40	e-mail: tsoka@med.und.ac.za
Mr. Jean-Yves BOUCHARDY	UNHCR	154, rue de Lausanne	1202	GENEVE	SUISSE			
Mr. Stephen GOLD	UNITAR	Palais des Nations	1211	GENEVE 10	SUISSE			
Mme. Amel MAKHLOUF	UNITAR	Palais des Nations	1211	GENEVE 10	SUISSE			

682

Mr. Christophe NUTTALL	UNITAR	Palais des Nations	1211	GENEVE 10	SUISSE			
Mme. Isabelle NUTTALL	OMS	20, avenue Appia	1211	GENEVE 27	SUISSE	Tel. +++791 38 61		nuttall@who.ch
Ms. Anna T. MAEMBE	UNEP / NEMC	National Environment Management Council	PO Box 63154	DAR-ES-SALAAM	TANZANIA	Tél: 255 51 32 531	Fax: 255-51 34 603/44 495	
Mr. Edwin MUGEREZI	ARDHI Institute		P.O. Box 35176	DAR-ES-SALAAM	TANZANIA	Tel: 255-51 71 264	Fax: 255-51 71 853	e-mail:
Mr. Ali ABBA KAKA	Projet minier c/o PNUD		BP 906	N'DJAMENA	TCHAD	Tél: 235-51 29 32/6	Fax: 235-51 63 30	
Mr. Lomaye MBAIRANADJI	Laboratoire de Recherche Vétérinaires et Zootechnique de Farcha		BP 433	N'DJAMENA	TCHAD	Tel: 235-51 33 02	Fax: 235-51 33 02	
Mr. Africa OLOJOBA	Lake Chad Basin Commission		BP 727	N'DJAMENA	TCHAD	Tel: 235-51 41 45	Fax: 235-51 41 37	e-mail
Mr. Nourreddine BEN AHMED	CRDA de Bizerte	Ave. Hassen Nouri	7000	BIZERTE	TUNISIE	Tél: 216.2.23.30.15	Fax: 216.2.31.17.45	
Mr. Hedi CHATTOUNA	ODESYPA NO	Route de Tunis	9000	BEJA	TUNISIE	Tél: 08.50.50 0		
Mme. Karima BOUNEMRA	Institut Régional des Sciences Informatiques et des Télécommunications	Kartajene	BP 2012 1082	TUNIS	TUNISIE	Tél: 216.1.78 7.757	Fax: 216.1.78 7.827	Earn/B itnet: Boune mra@Tnearn Interne t: Boune mra@ Alyssa. rsinet. TN
Mr. Chokri TURKI	Centre National de Télédetectio n		BP 200, 1080	TUNIS cédex	TUNISIE	Tél: 216.1.76 13 33	Fax: 216.1.76 0.890	

Mr. Mohamed GHARIANI	Centre Régional de Télédétection	5, rue Ibn Bassam el Menzah		TUNIS	TUNISIE	Tel: +216-1-238 430/767 359	Fax: +216-1-766 672	
Mr. Mohamed TALBI	Laboratoire de Télédétection et d'Information Géographique	IRA (Institut des Régions Arides)	4119	MEDENINE	TUNISIE	Tél: 216-564 0661	Fax: 216-564 0435	
Mr. Mohamed Rached BOUSSEMA	Centre de Calcul Ecole Nationale des Ingénieurs de Tunis	Belvédère	BP 37, 1002	TUNIS	TUNISIE	Tél: 216.1.514.700	Fax: 216.1.510.729	
Mr. M.C. DEROUICHE	Responsable de l'unité informatique	Direction des sols, Ministère de l'Agriculture	17, rue Hedi Karray, 2080	ARIANA	TUNISIE	Tél: 216.1.718 456	Fax: 216.1.718 208	
Mr. Rached BOUKHARI	CRDA Bizerte	Ave. Hassen Nouri	7000	BIZERTE	TUNISIE			
Mr. Rachid STA	CRDA Bizerte	Ave. Hassen Nouri	7000	BIZERTE	TUNISIE			
Mr. Frank Richard TURATUNGA	NEIC, Ministry of Environment		P.O. Box 9629	KAMPALA	UGANDA	Tél: 256.41.243.613	Fax: 256.41.236.819	
Mr. Charles SEBUKEERA	NEIC, Ministry of Environment		P.O. Box 9629	KAMPALA	UGANDA	Tél: 256.41.23 68 17	Fax: 256.41.2326 80	e-mail: neic@mukla.gn.apc.org
Mr. Firipo MPABULUNGI	NEIC, Ministry of Environment		P.O. Box 9629	KAMPALA	UGANDA	Tél: 256.41.236 817	Fax: 256.41.232 680	e-mail: neic@nukla.gn.apc.org
Mr. Paul DRICHI	Forest Department, National Biomass study		PO Box 1613	KAMPALA	UGANDA			
Mr. Amadra ORI-OKIDO	National Biomass study		PO Box 1613	KAMPALA	UGANDA			

644

Mr. Stephen John CONNOR	Liverpool School of Tropical Medicine		L3 5QA	LIVERPOOL	UNITED KINGDOM	Tel: 44-51 708 93 93	Fax: 44-51 708 87 33	e-mail: sjconnor@liverpool.ac.uk
Mr. Ian DOWNEY	Natural Resources Institute	Central Avenue, Chatham Maritime	ME4 4TB	CHATHAM (KENT)	UNITED KINGDOM	Tel: 44-16 34 88 00 88	Fax: 44-16 34 88 00 66 / 77	e-mail: ian.downey@nri.org
Mr. Alan MILLS	Natural Resources Institute	Central Avenue, Chatham Maritime	ME4 5NX	CHATHAM (KENT)	UNITED KINGDOM	Tel: 44-16 34 88 33 66	Fax: 44-16 34 88 00 66 / 77	e-mail: alan.mills@nri.org
Ms. Nina CHEE	The World Bank	1818 High Street		WASHINGTON DC	USA			
Ms. Carmelle J. CÔTE	NCGIA, State University of New York at Buffalo	105 Wilkeson Quadrangle	14261-0023	BUFFALO, NY	USA	Tel: 1-716 645 25 45	Fax: 1-716 645 59 57	e-mail: cote@geog.buffalo.edu
Ms. Veronica COMSTOCK	IDRISI, Clark University	Clark University, 950 Main Street	01610	WORCESTER, MA	USA	Tel: 1-508 793 75 26	Fax: 1-508 793 88 42	e-mail: idrisi@vax.clarku.edu
Mr. Gilles André PREVOST	The World Bank	1818 High Street NW	20433	WASHINGTON DC	USA			
Mr. Peter Amos KWAKU KYEM	IDRISI Project, Graduate School of Geography	Clark University, 950 Main Street	01610	WORCESTER, MA	USA	Tel. +1-508-793 7348	Fax +1-508-793 88 42	e-mail: pkyem@vax.clarku.edu
Mr. James HENDERSON	International Technical Marketing ESRI	380 New York St.	92373	REDLANDS, CA	USA	Tel. +1-909-793 28 53	Fax +1-909-793 59 53	e-mail: jhenderson@esri.com
Mr. Malcolm MARKS	ANR Project / IRG	1400 I Street NW, Suite 700	20005	WASHINGTON DC	USA	Tél: 1-202 289 01 00	Fax: 1-202 289 76 01	e-mail: resource%irg@mci mail.com
Mr. James AMSPAUGH	Defense Mapping Agency	8613 Lee Highway	22031-2137	FAIRFAX, VA	USA	Tél: 1-703 285 92 81	Fax: 1-703 285 91 94	
Mr. Assaf ANYAMBA	IDRISI Project	Clark University, 950 Main Street	01610	WORCESTER, MA	USA	Tél: 1-508 793 75 26	Fax: 1-508 793 88 42	e-mail: idrisi@vax.clarku.edu

685

Mr. David BIGMAN	The World Bank	1818 High Street NW	20433	WASHINGTON DC	USA	Tél:	Fax:	
Mr. François FALLOUX	The World Bank	1818 High Street NW	20433	WASHINGTON DC	USA	Tel. +1-202-473-5562/477-5404	Fax +1-202-473-7916	
Mr. Koffi Magloire KOUAKOU	The World Bank	1818 High Street NW	20433	WASHINGTON DC	USA	Tel.+1-202-473-4332	Fax +1-202-473-7916	e-mail: kkouakou@worldbank.org
Mr. Jake BRUNNER	WRI	1709 New York Avenue NW	20006	WASHINGTON DC	USA	Tel. +1-202-662-2571	Fax +1-202-638-0036	e-mail: jbrunner@wri.org
Mr. Norbert HENNINGER	WRI	1709 New York Avenue	20006	WASHINGTON DC	USA		Fax: 1-202-638-0036	e-mail: nhenninger@wri.org
Mr. Daniel TUNSTALL	WRI	1709 New York Avenue	20006	WASHINGTON DC	USA	Tel. 1-202-662-2583	Fax: 1-202-638-0036	e-mail: dtunSTALL@wri.org
Mr. James TOLEDANO	Clark University	Clark University, 950 Main Street	01610	WORCESTER, MA	USA			
Mr. Mark BUCCOWICH	USDA Forest service, Department of Agriculture	International Forestry	PO Box 96538, 20090	WASHINGTON DC	USA			
Ms. Laurretta BURKE	PADCO	1025 Thomas Jefferson Street	Suite 413 West 20007	WASHINGTON DC	USA	Tel: 1-202-333-2168	Fax: 1-202-337-5425	e-mail: padcogis@access.interramp.com
Mr. Charles V. NAZARE	INTERGRAPH	2051 Mercator Drive	22091	RESTON, VA	USA	Tél: 1-703-264-5735	Fax: 1-703-264-7150	
Mr. H. Gyde LUND	USDA Forest service		PO Box 96090 20090	WASHINGTON DC	USA	Tel: +1-202-205-1147	Fax: +1-202-205-1087	
Mr. Jack DANGERMOND	ESRI	380 New York St.	92373	REDLANDS, CA	USA	Tél:	Fax:	
Mr. David M. DANKO	US Defense Mapping Agency	8613 Lee Highway	22031-2137	FAIRFAX, VA	USA	Tél: 1-703-285-9238	Fax: 1-703-285-9397	

666

Mr. Uwe DEICHMANN	NCGIA	University of California	93106	SANTA BARBARA	USA	Tél: 1- 805 893 86 52	Fax: 1- 805 793 86 17	e-mail: uwe@ ncgia.u csb.ed u
Mr. Jack André DUTKE	US Department of State	Foreign Map Procurement Program	20520	WASHINGTON DC	USA	Tél: 1- 703 834 11 06	Fax:	
Mr. Khosrow EBTEHADJ		200 E 72 CT	10021	NEW YORK, NY	USA	Tél:	Fax:	
Mr. Patrick GERLAND	UNSTAT	2 UN Plaza DC2 1566	10017	NEW YORK, NY	USA	Tél: 1- 212 963 49 36	Fax: 1- 212 963 41 16/19 40	e-mail: gerland @un.or g
Mr. Peter T. GILRUTH	UNDP / UNSO	1 UN Plaza	10017	NEW YORK, NY	USA	Tel +1- 212-906 6622	Fax +1- 212-906 6345	e-mail: peter.gi lruth@ undp.o rg
Ms. Maxine OLSON	UNDP / UNSO	1 UN Plaza	10017	NEW YORK, NY	USA	Tel: 1.212.90 6.66.22	Fax: 1.212.90 6.63.45	
Mr. Bekele JERUSALEM	DC ERA (Work)	654 Franklin Street NE		WASHINGTON DC	USA	Tél: 1- 202-832 07 27	Fax:	
Ms. Nadine LAPORTE	NASA / GSFC		Code 923, 20771	GREENBELT, MD	USA	Tél:	Fax:	
Mr. Dennis MOTSKO	Defense Mapping Agency	8613 Lee Highway	22031- 2131	FAIRFAX, VA	USA	Tél: 1- 703 285 92 50	Fax: 1- 703 285 92 01	
Mr. Stephen PRUCHA	INTERGRA PH	IW 1785	35894	HUNTSVILL E, Alabama	USA	Tél: 1- 205-730 70 06	Fax: 1- 205-730 67 50	
Mr. John Matthieu REED	International Programs Centre US	US Department of Commercial	20233	WASHINGTON DC	USA	Tél:	Fax:	
Ms. Danièle SPIRANDELLI	IDRISI	Clark University, 950 Main Street	01610	WORCESTER , MA	USA	Tél: 1- 508 - 793 75 28 / 6 /799 65 62	Fax: 1- 508 793 88 42	e-mail: idrissi@ vax.cla rku.ed u
Mr. Derrick J. THOM	Utah State University		84322- 5200	LOGAN, UT	USA	Tel. +1- 801-750 1292(offi ce)/753 8230(res )	Fax +1- 801-750 4048	

Mr. Richard TURNAGE	US Bureau of the Census	Int. Progr. Centre	20233	WASHINGTON DC	USA	Tél:	Fax:	
Mr. Duy Man VU	UNSTAT	2 UN Plaza DC2 I570	10017	NEW YORK, NY	USA	Tél: 1-212 963 20 54	Fax: 1-212 963 19 40	e-mail: vu@un.org
Mr. Bolambee BWANGOY-BANKANZA	SPIAF Zaïre c/o Mark Heinicke Geography Department 1113 Lefrak Hall	35, rue Pumbu	BP 10120/3 1642	KINSHASA / GOMBE	ZAÏRE	Tél: 243-88 41 2 49	Fax: 243-871 15 06 555	
Mr. Francis A. BANDA	Department of Meteorology		PO Box 30200	LUSAKA	ZAMBIA	Tél: 260-1 253 686/251 889	Fax: 260-1 252 728	e-mail: zmdzambia@p94.fl.n761.z5.fidonet.org
Mr. Brian CHIRWA	Environmental Council of Zambia		PO Box 35131	LUSAKA	ZAMBIA	Tel. 260-1-22 40 09	Fax 260-1-22 31 23	
Mr. Douglas KUNDA	Environmental Council of Zambia		PO Box 35131	LUSAKA	ZAMBIA	Tél: 260-1-22 40 09	Fax: 260-1-223 123	e-mail: dkunda@unzagn.9pc.org
Mr. Daniel SEMWAYO	Environment and Remote Sensing Institute	CAUSEWAY	P. Bag 7726	HARARE	ZIMBABWE	Tel. 263-4-73 10 47/9	Fax 263-4-73 10 49, 73 37 97, 45 62 8	
Ms. Camille van der HARTEN	FAO		PO Box 3730	HARARE	ZIMBABWE	Tél: 263-4-704 955	Fax: 263-4-758 055/73 91 69	e-mail: barten@manngo.zw
Ms. Fatima FERRAZ	GTZ / ERSI		PO Box 2406	HARARE	ZIMBABWE			
Mr. Peter C. GONDO	Forestry Commission	HG 139 Highlands		HARARE	ZIMBABWE			
Mr. Patrick MATAMBANADZO	Department of Surveying, University of Zimbabwe		PO Box MP-167	HARARE	ZIMBABWE			

688