PN-ABE-154 64474

TRAINING REPORT
RAPPORT DE STAGE

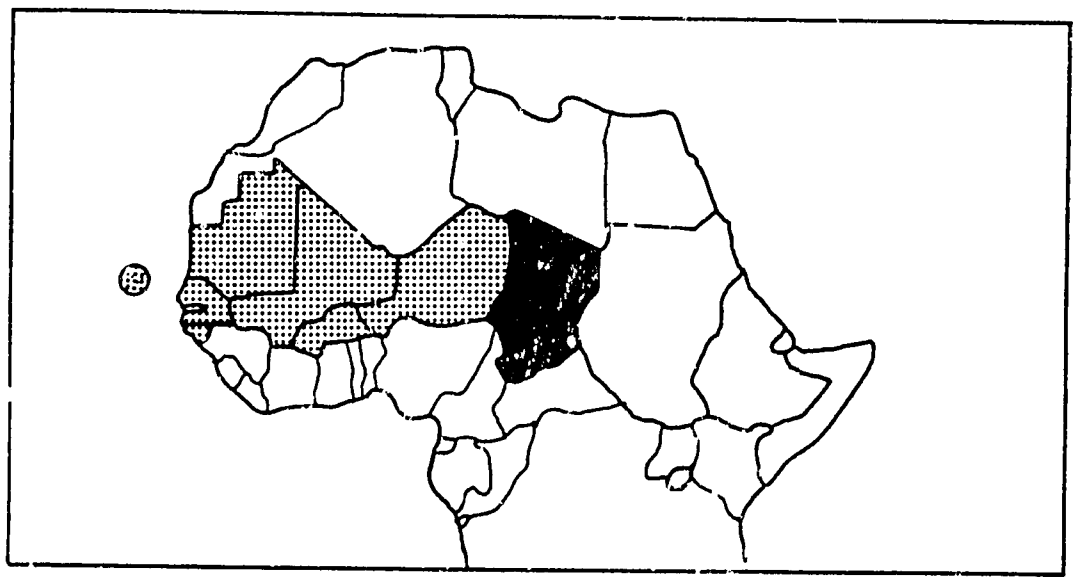
SPECIAL CLIMATIC IMPACT ASSESSMENT FOR CROPS AND RANGELANDS

EVALUATION SPECIALE DE L'IMPACT CLIMATIQUE SUR LES CULTURES ET LES PATURAGES

AGROCLIMATE AND REMOTE SENSING TECHNIQUES USED BY NOAA/NESDIS/AISC

LES TECHNIQUES AGROCLIMATIQUES ET
LES TECHNIQUES DE TELEDETECTION UTILISEES PAR LA NOAA/NESDIS/AISC

EXAMPLES FOR CHAD
EXEMPLES POUR LE TCHAD



MARCH 11 - APRIL 18, 1986
11 MARS - 18 AVRIL 1986

COLUMBIA, MISSOURI
WASHINGTON, D.C.
U.S.A.

NEASMIANGODO BETOLOUM

LOTARD MOUGABE

LES TECHNIQUES AGROCLIMATIQUES ET LES TECHNIQUES DE TELEDETECTION UTILISEES PAR LA NOAA/NESDIS/AISC

EVALUATION SPECIALE DE L'IMPACT CLIMATIQUE SUR LES CULTURES ET LES PATURAGES AU TCHAD: RAPPORT DE STAGE[1]

à

National Oceanic and Atmospheric Administration
National Environmental Satellite, Data and Information Service
Assessment and Information Services Center
Climatic Impact Assessment Division-Models Branch
Columbia, Missouri

et

Cooperative Institute for Applied Meteorology
Atmospheric Science Department
University of Missouri-Columbia; Columbia, Missouri

préparé par
Neasmiangodo Betoloum et Lotard Mougabe[2]

fonds financiers fournis par
NOAA/AID PASA No. BOF-0000-P-CC-5099-00
USDOC/NOAA NA86AA-H-A1029
University of Missouri Account Code C-5-30617

avril, 1986

---

[1] La permission de réproduire ce rapport devrait être obtenue à travers le Directeur, AISC. Ce rapport devrait être considéré d'une condition de brouillon en attendant les résultats de la revue formelle.

[2] Respectivement, Ingénieur Agrométéorologiste, Directeur Ressources et Ingénieur Statisticien Agricole, Chef Division Statistique, Direction Agriculture Agricole, N'Djamena, Tchad.

AVANT-PROPOS

Le climat est pour toute nation, un élément vital dans le système complexe de production de denrées alimentaires. C'est particulièrement le cas dans les pays du Sahel où la sécheresse a infligé des conséquences sévères sur les conditions économiques et la vie des populations. L'information sur le temps et sur son impact potentiel peut être utilisée dans un système d'alerte précoce pour modérer quelques-unes de ses conséquences. De nouvelles technologies, comme la télédétection satellitaire, peuvent aussi compléter opportunément un tel système. L'utilisation des méthodes agrométéorologiques et satellitaires dans le programme AGRHYMET, particulièrement celles qui ont été développées par la NOAA, constitura un objectif majeur pour les prochaines années. C'est pour cette raison que le Centre AGRHYMET et le Centre des Services de l'Information et de l'Evaluation (AISC) de la NOAA sont tombés d'accord pour organiser conjointement un cours professionnel afin que les participants puissent apprendre les procédures utilisées par la NOAA pour évaluer l'impact du temps. Ce cours professionnel pour le Sahel sur les évaluations spéciales de l'impact du climat sur les cultures et les pâturages: techniques agroclimatiques et techniques de télédétection utilisées par la NOAA/NESDIS/AISC, a été dispensé aux Etats-Unis à Colombia, Missouri et Washington, D.C. entre les 11 mars et 19 avril 1986. Ce cours a été financé par l'Agence pour le Développement International (AID), la NOAA/NESDIS/AISC, l'Institut Coopératif pour la Météorologie Appliquée de l'Université du Missouri (CIAM/UMC) et le Centre régional AGRHYMET du CILSS à Niamey au Niger. Y ont participé seize techniciens de huit pays du Sahel (Burkina Faso, Cap-Vert, Gambie, Mali, Mauritanie, Niger, Sénégal et Tchad) et d'Haiti. Le cours a été dispensé simultanément en anglais et en français.

Le rapport de stage présente l'essentiel des techniques apprises et des résultats obtenus en suivant le programme du cours. Une contribution majeure des répresentants de chaque pays a été l'amélioration du recueil des documents de base. Il est prévu que ce recueil soit utilisé dans chaque pays comme source de références lors de la préparation des rapports d'évaluation de l'impact du temps sur les activités agricoles en cours de saison des pluies.

Ce cours aura été l'occasion par un agrométéorologiste et un agro-économiste du même pays de travailler ensemble sur les mêmes problèmes: ceux liés au processus unique mais multidisplinaire devant conduire à l'évaluation de l'impact du temps sur l'agriculture et les pâturages.

Le temps de ce cours a aussi été l'occasion pour le personnel de la NOAA/AISC d'en apprendre plus sur les pratiques agricoles originales et typiques de ch cun des pays du CILSS et d'Haiti.

Cet échange d'idées et d'informations sera une aide très utile dans la conduite des activités futures du système d'alerte précoce Sahélien.

Le personnel de la NOAA/AISC, celui du CIAM de l'Université du Missouri et celui du Centre AGRHYMET expriment aux participants leur satisfaction pour leur collaboration dans la conduite de ce cours. Les stagiaires ont suivi un programme intense auquel il ont répondu avec intérêt. Ils ont fait l'effort nécessaire pour satisfaire à toutes les exigences du programme de ce cours.

Clarence M. Sakamoto
AISC/NOAA Coordinator

Jean-Louis Domergue
Coordinateur pour AGRHYMET

REMERCIEMENTS

Le Tchad est l'un des Pays Saheliens dont plus de 80% de le population est rural. L'agriculture et l'élevage consituent pour l'heure et depuis toujours les secteurs du développement économique de ce pays. Depuis ces dernières années et en dépit de la sécheresse sévère que le pays a connue avec ses conséquences néfastes (destruction de la faune et de la flore, exode rurale accrue), ce grand pays à vocation agropastorale s'est vu à la merci des aléas climatiques.

Dans ce pays où l'agriculture irriguée est loin d'être atteinte, et que la production agricole est pluviale (pluviométrie mal répartie aussi bien temporelle que spatiale) les méthodes de prévision agricole tenant compte de la précipitation (pluie) ne sont pas de moindre importance pour des alertes au niveau des décideurs nationaux. Ce cours séminaire de formation, organisé du 11 mars au 18 avril 1986 à Columbia dans l'Etat de Missouri au USA par NOAA/NESDIS/AISC en collaboration avec le centre AGRHYMET de Niamey (Niger), financé par l'USAID, auquel ont pris part différents délégués du pays du CILSS et le Haïti, est une occasion pour tirer meilleur profit et partant contribuer au développement économique de notre pays.

Nos remerciements vont en direction de tous ceux qui de près ou de loin ont eu l'initiative d'organiser ce cours, en direction de certains pays dont la maîtrise de la production agropastorale est restée encore aléatoire et plus particulièrement à toute l'équipe dirigeante de la CIAM à Missouri qui n'ont ménagé aucun effort pour la réussite de ce cours. Dans cette page que les décideurs nationaux Tchadiens trouvent nos profondes gratitudes.

TABLE DES MATIERES

Page

AVANT-PROPOS..... i

REMERCIEMENTS..... iii

TABLE DES MATIERES..... iv

LISTE DES TABLEAUX..... vii

LISTE DES FIGURES.....viii

I. INTRODUCTION..... 1

II. LES TECHNIQUES D'EVALUATION..... 4

A. Les méthodes d'évaluations agroclimatiques..... 4

1. Les données sur une longue période..... 5

2. La qualité des données..... 6

3. Evaluation à partir des données des précipitations..... 12

a. Pourcentage de la normale..... 12

b. Produits climatologiques dérivés des données de pluviométrie..... 13

B. Les techniques de prévisions des rendements..... 20

1. Cas du Tchad..... 20

2. Cas des USA..... 23

a. Stratification simple..... 24

b. Modèle de prévision de production objective..... 29

c. Stratification tenant compte de l'environnement et des techniques culturales..... 30

C. Les méthodes de la télédétection..... 31

1. Généralités..... 31

2. Les satellites..... 32

3. Les caractéristiques de la NOAA9..... 32

4. Les images ACCS..... 33

Page

5. Relation entre le canal 1, canal 2 et le NVI..... 35

6. Calcul de l'indice de végétation..... 35

7. L'utilisation de l'indice de végétation normalisé..... 38

a. Définition..... 38

b. Utilisation de NVI..... 38

c. Le NVI et le rendement des cultures..... 43

D. Indice du bilan hydrique (FAO)..... 43

1. Historique et support..... 43

2. Introduction..... 44

3. Critères de sélection d'un indice..... 45

4. Indice du bilan hydrique..... 45

5. Procédé de calcul de l'indice I..... 46

6. Exemple de calcul d'indice du bilan hydrique..... 47

E. Analyse de la relation statistique entre la pluviométrie et le rendement..... 47

1. Introduction..... 47

2. Le diagramme dispersé..... 48

3. Le triangle de corrélation..... 48

4. La régression suivant la méthode de jackknife et bootstrap..... 52

F. Approches de la description et de l'analyse de l'état des cultures et des pâturages à l'aide du Système d'Information Géographique (GIS)..... 53

III. EVALUATION DE LA CAMPAGNE AGRICOLE DE 1985..... 59

A. Vue générale..... 59

B. Végétation et biomasse..... 59

C. Conditions des cultures..... 62

D. Situation pluviométrique..... 62

Page

IV. ANNEXES..... 66

A. Le Groupe de Travail Pluridisplinaire (GTP)..... 67

1. Introduction..... 67

2. Les besoins de la Direction des Ressources en Eau et de la Météorologie (DREM)..... 68

3. Les besoins de la Division de la Statistique Agricole..... 68

4. Recommandations..... 69

B. Données agricoles de Tchad..... 75

C. Questionnaire H: Enquête de rendement maïs aux USA..... 80

D. Références..... 84

LISTE DES TABLEAUX

Page

Tableau 1: Série pluviométrique de la station de Moundou de 1951 à 1984..... 8

Tableau 2: Répartition mensuelle du % de la normale de la pluviométrie et celui du cumul pendant la saison agricole (1985)..... 14

Tableau 3: Répartition décadaire du % de la normale de la pluviométrie durant la saison agricole écoulée (1985).. 14

Tableau 4: Estimations des rendements avec l'emploi des NVI..... 63

LISTE DES FIGURES

Page

Figure 1: Pluviométrie cumulée (mm) station de référence ou ayant le même régime pluviométrique que X..... 10

Figure 2: Tchad: Isohyètes 1985 (mai - sept)..... 15

Figure 3: Pluviométrie cumulée, juillet 1985, station Moundou (Aëroport)..... 17

Figure 4: Série chronologique des pourcentiles de la pluviométrie de la station de Moundou (1951-1984)..... 19

Figure 5: Indice d'humidité pour le rendement du maïs en 1982 dans une région de Népal..... 21

Figure 6: Photo satellitaire d'Afrique Ouest, août 1985..... 34

Figure 7: Système de coordonées de couleurs Ambroziak: couleurs et légende..... 36

Figure 8: Schéma de développement de la végétation dans le canal 1 et 2..... 37

Figure 9: Carte de répartition d'indice normalisé de végétation/ biomasse de NOAA avec AVHRR..... 39

Figure 10: Comparaison indice normale végétation/biomasse avec données AVHRR..... 40

Figure 11: Séries temporelles sur l'indice de végétation..... 41

Figure 12: Tchad: Précipitation mai - août..... 42

Figure 13: Graphique du rendement de sorgho en fonction de la pluviométrie cumulée de mai - sept pour quatre régions de Tchad sans obs. 2..... 49

Figure 14: Graphique du rendement de sorgho en fonction de la pluviométrie cumulée de mai - sept pour quatre régions de Tchad 1981-1984..... 50

Figure 15: Structure conceptuelle d'un Système d'Information Géographique (GIS)..... 54

Figure 16: Compilation des composantes du manuel GIS..... 56

Figure 17: Version simplifiée de la procédure GIS..... 58

Page

Figure 18: Tchad: carte de répartition d'indice normalisé de végétation/biomasse de NOAA avec AVHRR (deuxième semaine d'août)..... 60

Figure 19: Tchad: comparaison indice normale végétation/ biomasse avec données AVHRR (deuxième semaine d'août)..... 61

Figure 20: Tchad: L'indice FAO 1985..... 64

Figure 21: Tchad: Isohyètes 1985 (mai - sept)..... 65

Figure 22: L'organigramme de G.T.P. au Tchad..... 71

Figure 23: Organigramme de l'Agriculture et le Développement Rural..... 74

LES TECHNIQUES AGROCLIMATIQUES ET LES TECHNIQUES DE TELEDETECTION UTILISEES PAR LA NOAA/NESDIS/AISC

EVALUATION SPECIALE DE L'IMPACT CLIMATIQUE SUR LES CULTURES ET LES PATURAGES AU TCHAD: RAPPORT DE STAGE

I. INTRODUCTION

L'objectif du cours a été de se familiariser avec quelques outils sélectionnés parmi ceux de l'agro-météorologie et la télédétection satellitaire utilisant notamment des indices agroclimatiques sur les conditions des cultures, des modèles statistiques de rendement et des indices de végétation utilisant l'imagerie satellitaire NOAA/AVHRR.

Ces outils ont été utilisés par le Centre des Services de l'Evaluation et de l'Information (AISC) de la NOAA durant la saison des pluies Sahélienne en 1985.

Le cours a essentiellement porté sur les questions suivantes:

- Comment les outils ci-dessus sont-ils intégrés dans le processus de la préparation des évaluations agricoles?
- Quels sont les avantages et les limites de ces outils?
- Quels sont opérationnellement les renseignements nécessaires pour faire une évaluation?
- Comment les ordinateurs peuvent-ils faciliter le processus d'évaluation?

L'utilisation des outils ci-dessus dépend, bien entendu, des possibilités de chaque pays. Il se peut, par exemple, que la possibilité de traiter, d'analyser et d'interpréter les données de précipitation ne soit acquise que récemment. On ne s'attend pas à ce que chaque pays puisse utiliser tous les outils dès maintenant. Il est cependant suggéré, pour améliorer le contenu de l'information sur l'estimation des conditions agricoles dans chaque pays, que les techniques et les résultats exposés dans ce cours soient utilisés progressivement dès que le personnel adéquat sera disponible.

Des exercices, en plus des méthodes d'estimation exposées pendant les cours, ont permis l'intégration d'informations de différentes sources et notamment celles du système d'information géographique (GIS).

Des exercices pratiques conduisant à augmenter la capacité de prise en compte de telles informations ont permis d'aborder les points suivants:

- Le contrôle de la qualité des données.
- Le développement du recueil des documents de base. Celui-ci servira utilement de référence dans le programme d'évaluation. Il figure en annexe du rapport.
- La compréhension des statistiques de base (distribution, probabilité, rang, corrélation et régression).
- La construction d'un modèle de régression statistique pour certaines cultures.
- La compréhension des données et de l'imagerie satellitaires.
- La familiarisation avec l'indice de végétation normalisé (NVI) pour l'évaluation de l'état des cultures.
- L'utilisation des micro-ordinateurs et des ordinateurs pour l'analyse des données.
- La rédaction de rapports d'évaluation.

Un aspect important abordé dans le cours est celui de la stratégie pour implanter un système d'alerte précoce dans le Sahel. Ce processus peut être compliqué et difficile puisque qu'il dépend de plusieurs facteurs tels que l'infrastructure du pays, des ressources disponibles, de l'intérêt et de l'appui des décideurs. L'appréhension technique du problème n'a pas atteint un niveau suffisant mais le démarrage effectué est important. Les contraintes dans chaque pays peuvent être spécifiques mais elles ne doivent pas bloquer dans le futur l'avancement du programme. Pour cette raison, l'objectif majeur de ce cours a été, pour les participants (de différentes disciplines), d'intégrer toute sorte d'informations sur le climat et l'agriculture et de les interpréter pour les utilisateurs et les décideurs.

Ce cours a aussi permis le regroupement en équipe de professionnels issus de disciplines de l'agriculture différentes: un agro-économiste ou un agro-statisticien ou un agronome avec un météorologiste ou un agro-météorologiste. Un résultat majeur du cours a été la réalisation effective d'une approche multi-disciplinaire du problème de la relation entre la production de nourriture et le climat. En particulier, on se rend compte que les interventions d'un agro-météorologiste sont utiles pour la réussite de projects agricoles, particulièrement dans les zones Sahéliennes au climat si particulier.

Comme il l'a été maintes fois mentionné dans ce cours, les méthodes exposées doivent être considérées comme complémentaires les unes des autres. D'autres méthodes pour l'évaluation des conditions agricoles comme la théorie des échantillonnages ont été présentées par les techniciens du Service des Enquêtes Statistiques du Ministère de l'Agriculture des Etats-Unis. Les indices des cultures, les modèles statistiques de rendement et l'imagerie satellitaire doivent être considérés comme des techniques complémentaires à l'acquisition d'une meilleure information eu égard au coût du système.

La deuxième partie de ce rapport expose les techniques d'évaluation, suivies d'exemples de chaque méthode. Trois sous-divisions abordent les techniques agroclimatiques, celles des satellites, celles de l'évaluation des conditions des cultures et des pâturages ainsi que les techniques de prévision.

La troisième partie est le résultat des évaluations par pays pour 1985. La quatrième partie contient les statistiques sur la météorologie et l'agriculture utilisées dans les exercices de modèlisation.

Le recueil des documents de base complète le rapport.

II. LES TECHNIQUES D'EVALUATION

Les évaluations en agriculture utilisent à la fois des données climatologiques, des données agronomiques et des données fournies grâce au développement des sciences spatiales (les données satellitaires). On utilise des modèles appropriés qui conduisent à la connaissance de la situation à un moment donné pouvant servir de "clignotant" pour les décideurs nationaux. De la qualité des informations obtenues et du modèle choisi dépendront l'exactitude ou la non signification des résultats. Les évaluations prennent en compte également les informations gèographiques pour décrire les conditions et l'analyse des cultures et des pâturages.

Les évaluations sont de deux ordres: l'évaluation qualitative et l'évaluation quantitative contribuant à circonscrire le problème de manière objective.

A. Les méthodes d'évaluations agroclimatiques

Dans les pays sahéliens, la pluviométrie à elle seule est déterminante pour apprécier la situation agricole du pays. Toute analyse de la situation agricole doit en tenir compte dans les modèles.

Un contre exemple serait le total de précipitation dans une région pour 90 jours (mai, juin, juillet). En effet ces données n'appartiennent pas à une même population. Ce concept est important. Le chercheur doit vérifier les données des stations à utiliser avant toute manipulation. Les données utilisées sans traitement conduisent à des inférences erronnées et à des conclusions mal fondées. L'exemple de la mauvaise répartition temporelle et spatiale de la pluviométrie dans les pays sahéliens ne permet pas de faire une évaluation objective de la production. Ces considérations s'ajoutent aux difficultés de couverture suffisante en stations dues au manque de matériels et des ressources

humaines nécessaires ainsi qu'aux moyens de communication réduits. Quand bien même que les données existent, elles ne constituent pas toujours des données climatologiques. D'où avant de traiter ces données, il est nécessaire parfois d'opérer des tests de cohérence.

Les analyses pluviométriques (les tests)

Très souvent les séries chronologiques des précipitations ne sont pas homogènes eu égard aux interférences pouvant intervenir. Le changement d'observateur, le déplacement de la station sont les causes de la non fiabilité des données. Lorsque les données ne sont pas homogènes, les séries météorologiques peuvent mener à un changement de la moyenne, de la tendance, des persistances. La connaissance de la répartition temporelle et spatiale permet avec des approches mathématiques et statistiques de prévoir les récoltes. Leur application nécessite qu'on dispose des données. Avant toute étude, il convient de s'assurer de la double condition suivante:

-les données disponibles sur une longue période,

-la qualité des données.

1. Les données sur une longue période

Pour les besoins de la prévision, il faut disposer des données sur une très longue période. D'habitude on considère un échantillon de données sur trente années pour faire de prévisions dans un avenir proche. Il faut que les séries chronologiques soient stationnaires. Très souvent ces séries sont sujettes à des variations temporelles, spatiales et des mesures. De plus, plus la série est ancienne, le changement dans la base a lieu. C'est pourquoi l'OMM a adopté la durée courte de trente années pour préparer les normales de données climatologiques. Il est nécessaire de mettre à jour ces moyennes à la fin de chaque décennie: exemple 1931 à 1960, 1951 à 1980, 1960 à 1990.

2. La qualité des données

Avant toute utilisation, il faut s'assurer que les données à utiliser appartiennent à la même population. Un échantillon appartenant à une même population est par exemple la température moyenne au 30 janvier pendant trente années d'une même station. Aussi dans les pays sahéliens voire même les pays développés, les séries ne sont pas souvent complètes et qu'il est nécessaire de les compléter. Différentes méthodes permettent d'apporter solution à ce problème.

Test d'homogénéité

Deux méthodes sont retenues, le test non paramétrique et le test paramétrique ou courbe de masse.

Test non paramétrique

Le test non paramétrique décrit par Thom en 1966 utilise la propriété de la médiane. Il consiste à:

- Déterminer pour chaque valeur si elle est au-dessus ou en-dessous de la médiane.
- Trouver le nombre d'observations (alternance). C'est-à-dire le nombre de fois que les valeurs fluctuent au-delà ou en deça de la médiane.
- A partir d'un tableau de répartition des alternances (fréquences), tableau de Thom 1966, vérifier si le nombre total de fréquences est situé dans la limite de signification prescrite. On suppose que les nombres d'alternances situées au-dessus de la médiane sont égaux aux nombres en-dessous.
- Il y a de la non-homogénéité des échantillons lorsque le nombre des fréquences au-delà ou en deça de la médiane est supérieur à la limite maximum ou inférieur à la limite minimum de signification préétablie.

Un exemple de test d'homogénéité concernant la série pluviométrique de la station de Moundou de 1951 à 1984 illustrera ce propos (Tableau 1). Le nombre d'alternance A et B est égal à vingt (20) d'où, conformément au tableau de Thom, la série est homogène donc climatologique.

Détermination de la médiane théorique par la formule gamma

Le nombre de valeurs égale 32; si $N_A = N_B$ nous aurons $N_A = N_B = 16$. En consultant la table 1 de Thom au seuil de P = 0,10 et P = 0,90, le nombre d'alternance égal à 20 est dans la limite attendue faisant de la série une série climatologique.

Si on désigne par X la précipitation, γ et β les paramétres de distribution où γ est le paramètre de forme qui donne la forme à la courbe et β le paramétre de la distribution, on peut ajuster à la distribution une courbe théorique telle que

$$f(x) = \frac{X^{\gamma-1} \exp(-x/\beta)}{\Gamma(\gamma)\,\beta^{\gamma}}$$

appelée fonction gamma. La fonction gamma est bien pour les ajustements car sur deux périodes elles sont additives. Si les estimations de γ et β à partir des observations empiriques sont:

$\hat{\gamma}1$, $\hat{\beta}1$ pour la période 1

$\hat{\gamma}2$, $\hat{\beta}2$ pour la période 2

alors on a $\hat{\gamma}(1 + 2) = \hat{\gamma}1 + \hat{\gamma}2$

et $\beta(1 + 2) = \dfrac{\overline{X}_1 + \overline{X}_2}{\gamma_1 + \gamma_2}$.

Les paramétres γ et β estimés sont:

$$\hat{\gamma} = \frac{1 + \sqrt{1 + 4A/3}}{4A} \quad \text{et} \quad \hat{\beta} = \frac{\overline{X}}{\hat{\gamma}}$$

où $A = \text{Log}\,\overline{X} - \dfrac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \text{Log}\, X_i$.

Tableau 1

Série pluviométrique de la station de Moundou de 1951 à 1984

Année	Pluviométrie	Cycle	M/n+1 Freq. Cumulée	Valeurs Classées
1951	283	A	3,030	84
52	212	B	0,060	127
53	122	B	0,090	128
54	248	A	0,121	147
55	251	A	0,151	154
56	200	B	0,181	159
57	147	B	0,212	164
58	176	A	0,242	170
59	210	B	0,272	170
1960	290	A	0,303	183
61	303	A	0,333	200
62	154	B	0,363	204
63	348	A	0,393	210
64	404	A	0,424	212
65	127	B	0,454	227
66	84	B	0,484	236
			ME =	242
67	315	A	0,515	248
68	164	B	0,545	258
69	411	A	0,525	266
1970	373	A	0,606	276
71	183	B	0,636	281
72	159	B	0,666	288
73	266	A	0,696	283
74	288	A	0,727	290
75	227	B	0,757	291
76	204	B	0,787	303
77	281	A	0,818	315
78	236	B	0,848	329
79	-	-	-	-
1980	258	A	0,878	348
81	-	-	-	-
82	329	A	0,909	373
83	170	B	0,939	404
84	170	B	0,969	411
85	247			

nombre d'alternances = 20

L'exemple de la donnée de la station choisie ici donne

$A = 0,05906$

$\hat{\beta} = 34,77$

$\overline{X} = 242,03.$

D'où probabilité $P(x \leq X) = 0,50 = t\hat{\beta}$ conduit à $P(x \leq X) = 6,7$ (lu dans la table 0) x 34,77 = 233 mm.

On constate donc que:

- la médiane des observations = 242 mm
- La moyenne = 242,03 mm
- la médiane théorique = 233 mm.

Ces trois caractéristiques sont voisines, la fonction gamma ajustée à la distribution permettrait bien de faire la prédiction

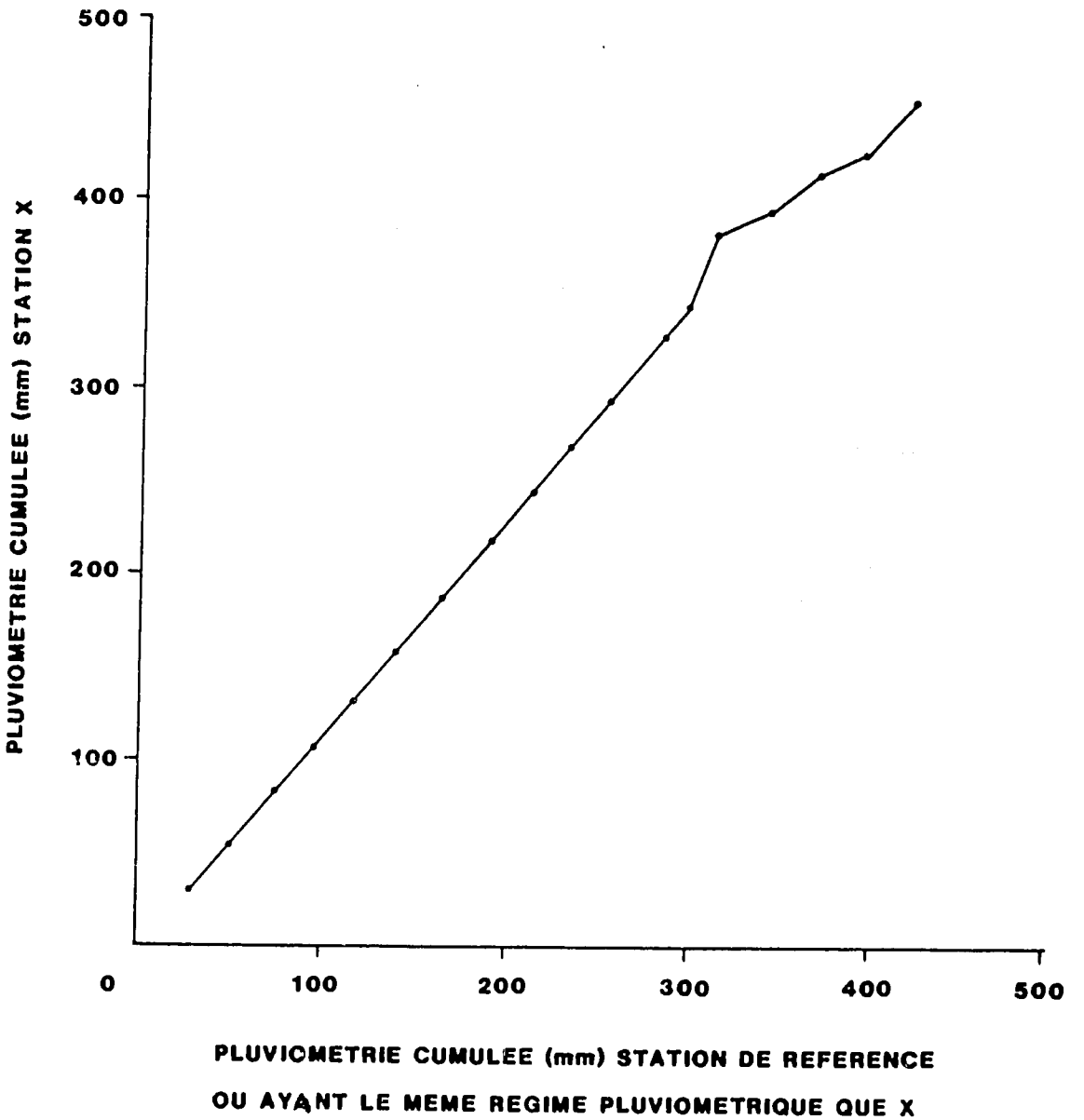
$$f(x) = \frac{X^{6,96-1} (\exp)^{-x/34,77}}{\Gamma(6,96) \quad (34,77)^{6,96}} .$$

Test paramètrique (courbe de double masse)

Il consiste en la comparaison des données manquantes d'une station à une ou plusieurs stations proches. Ce concept est très important en dépit de la variabilité spatiale des données météorologiques dans le Sahel. Ce test consiste à rapporter sur un graphique les valeurs cumulées de la pluviométrie de deux stations dont les valeurs de la station A sont en ordonnée et celles de la station B en abscisse (Figure 1).

Le graphique doit se présenter comme une droite de la forme Y = ax où a est la pente, x: les données de la station A, et Y: les données de la station B (station de référence). Toute modification à la pente (tendance) est signe d'hétérogénéité. Il convient alors de consulter les documents de base ou aller sur le terrain vérifier le bien fondé de la situation.

Figure 1


500
400
300
200
100
0
100
200
300
400
500
PLUVIOMETRIE CUMULEE (mm) STATION X
PLUVIOMETRIE CUMULEE (mm) STATION DE REFERENCE
OU AYANT LE MEME REGIME PLUVIOMETRIQUE QUE X

Les données manquantes

Deux méthodes permettent d'approcher le problème, la méthode subjective et la méthode objective.

La méthode subjective

On peut procéder par substitution de données d'une station voisine ayant le même régime pluviométrique et/ou l'affecter à la station défaillante.

On peut également, si on dispose de la normale pluviométrique et le pourcentage de la normale, affecter le 80% pourcentage de cette normale à la donnée manquante.

exemple: Si la normale est de 150 mm et que le pourcentage est de 80%, la pluviométrie estimée pour la station sera de:

$$P_{estimée} = \frac{150 \times 80}{100} = 120\text{mm}.$$

La méthode objective

Cette méthode consiste à confectionner des grilles pluviométriques pour les stations avoisinantes.

X		X		
	X		X	X
X	X	X	X	X
X	X	X		

On procède par régression en utilisant la matrice du tableau ainsi confectionné. L'équation de base est de la forme:

$$Y = bx + e$$

où Y est le prédictant et X la matrice des observations. Sous la forme linéaire, la valeur manquante est:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \ldots$$

L'estimation est $\hat{Y} = \hat{X}b$ avec $\hat{b} = (X^tX)^{-1}(X^tY)$ avec le coefficient de détermination $R^2 = (Y^t\hat{Y})^2/(y^t\hat{y})(\hat{y}^t\hat{y})$, d'où $R^2 = \hat{y}^t\hat{y}/y^ty$.

3. Evaluation à partir des données des précipitations

Dans les pays où l'agriculture irriguée est loin d'être atteinte, la pluviométrie est le seul facteur de production et fixe les calendriers culturaux.

En effet dans la plupart des pays saheliens, tel que le Tchad, où l'agriculture est pluviale, il est évident que la pluviométrie est le seul paramètre climatique permettant d'apprécier l'état des cultures et partant promouvoir des alertes. Des méthodes ont vu le jour et applicables déjà chez les grands négociants. Dans ce travail il est indispensable de souligner quelques méthodes faisant l'objet de ce seminaire.

a. Pourcentage de la normale

En climatologie, la pluviométrie normale s'obtient en faisant le rapport entre la quantité totale des pluies tombées d'une période considérée (par exemple: de juillet sur 20 ans d'une station) par le nombre d'années. En clair, c'est la moyenne. Elle se présente comme suit:

$$\text{Moyenne} = \sum_{i=1}^{n} X_i/n$$

où X_i: pluies de juillet durant 20 ans.

n: l'année de 1 à 20.

Le pourcentage de la pluviométrie normale (Noté P_N) se définit comme suit:

$$P_N = \left[\frac{X_i}{X_i/n} \right] \times 100$$

Le pourcentage peut être calculé décadairement et annuellement à partir des données recueillies sur le terrain. Il est bien connu que la pluviométrie normale peut évoquer un défcit ou un excédent d'eau pour les cultures. Par conséquent l'usage de pourcentage normal doit être fait avec beaucoup de précaution du point de vu de quantité de pluies et des besoins en eau des plantes. L'avantage de cet indice réside d'une part dans la simplicité et la facilité avec lesquelle

l'utilisateur peut comprendre et d'autre part d'approcher une donnée manquante dans une série chronologique. Pour la campagne agricole de 1985 quelques pourcentages de certaines stations représentatives des zones agricoles du pays ont été calculés. Ils figurent dans les tableaux ci-après (Tableaux 2 et 3). Il ressort de ces tableaux la variabilité temporelle et spatiale de cet indice. La période considérée ici part de mai à septembre, période correspondant au semis et la récolte.

b. Produits climatologique dérivés des données de pluviométrie

Carte de distribution spatiale

Une carte de cette distribution de la pluviométrie de l'année 1985 (mai à fin septembre) est en Figure 2. Dans ce graphique il a été pointé douze stations pendant la période condidérée. La variabilité spatiale étant très nette. Cependant it est à noter que cette carte ne représente pas la carte d'isohyète 1985. Elle est représentative de la période sus-mentionnée (mai-septembre). Les données d'avant mai et après septembre peuvent apporter de modification à l'allure générale de ces isohyètes.

Probabilité de la pluviométrie cumulée

Très souvent le climatologue ou le statisticien veut savoir quelle est la probabilité qu'une variable soit atteintée ou dépassée. Aussi il peut être intéressé de savoir quelle est la probabilité d'avoir de classes ou intervales. Aussi s'il n'y a aucune information qui lui permet de connaître le type de distribution auquel il peut associer les valeurs dont il dispose, alors il peut empiriquement construire une distribution de fréquence cumulative.

En effet cela se fait en ordonnant les données cumulées de la plus petite valeur à la plus grande. Ensuite en divisant le rang (m) correspondant à chaque valeur (x) par le nombre totale des observations (n) plus 1. L'expression est la suivante:

Tableau 2

Répartition mensuelle du % de la normale de la pluviométrie et celui du cumul durant la campagne agricole (1985).

Stations	MAI		JUIN		JUILLET		AOUT		SEPTEMBRE	
	M	C	M	C	M	C	M	C	M	C
AMTIMAN	18			53	69	61	100	78	60	75
ATI	29		93	68	115	116	79	96	121	100
ABECHE	26		83	64	159	129	88	106	78	102
BOKORO	87		107	101	105	103	68	86	88	87
BOUSSO	13		59	43	98	73	46	62	38	57
MAO	0		38	28	89	74	57	64	59	64
MONGO	49		96	96	74	71	83	80	97	83
MOUNDOU	94		105	101	142	121	63	99	64	92
MOUSSORO	25		81	66	114	99	76	86	194	101
NDJANEMA	28		31	27	59	109	74	280	70	350
PALA	125		86	101	108	104	91	100	67	93
JARH	120		84	98	90	94	61	81	84	82

Note: On suppose ici la campagne agricole a demarré en mai et a pris fin en septembre, période des récoltes.

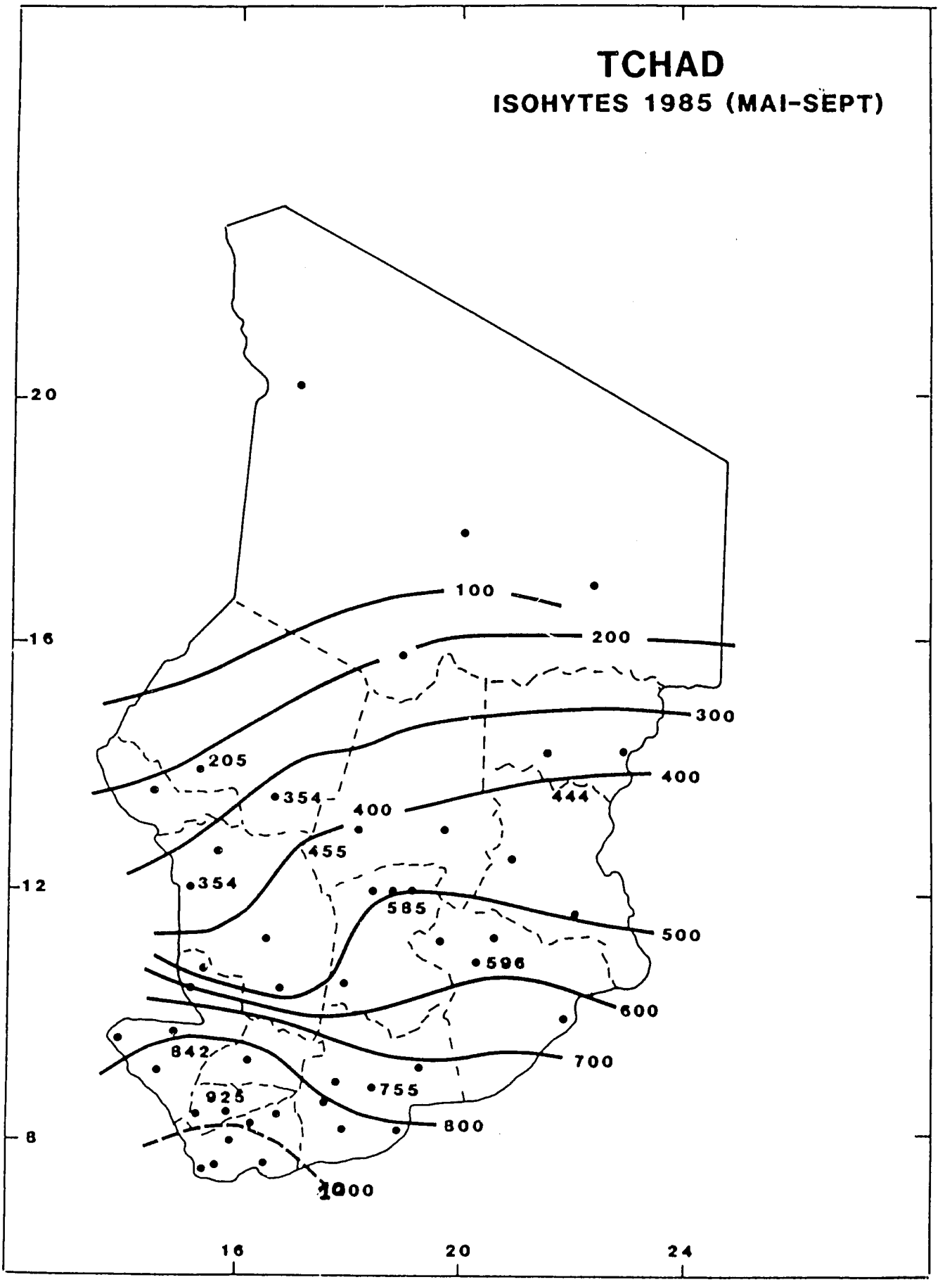
-M: mensuelle
-C: cumulé

Tableau 3

Répartition décadaire du % de la normale de la pluviométrie durant la campagne agricole écoulée (1985).

Mois	MAI			JUIN			JUILLET			AOUT			SEPTEMBRE		
Décades	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Stations															
AMTIMAN	31	33	0	12	112	81	137	80	16	143	61	99	49	73	60
ATI							135	162	113	97	73	68	141	139	0
ABECHE							192	149	148	129	88	45	114	0	113
BOKORO							117	138	73	75	46	85	98	100	31
BOUSSO	20	5	15	7	66	86	86	121	87	86	24	25	67	7	26
MAO	0	0	0	0	0	67	200	123	18	7	105	58	38	118	0
MONGO							122	112	20	74	103	73	121	118	0
MOUNDOU	104	40	128	23	250	39	130	197	104	131	36	24	24	103	75
MOUSSORO							100	155	93	65	45	120	71	233	667
NDJADEMA	0	89	0	38	53	14	115	56	28	76	60	85	65	103	32
PALA	52	145	151	45	180	36	130	147	58	142	67	66	125	25	37
JARH	100	146	111	84	151	26	93	120	63	76	81	31	76	83	98

Figure 2


TCHAD
ISOHYTES 1985 (MAI-SEPT)
20
16
12
8
16
20
24
100
200
300
400
500
600
700
800
1000
205
354
400
444
455
354
585
596
842
925
755

$$F(x) = \frac{m}{n + 1}$$

Cette expression offre la meilleure et simple estimation des probabilités d'avoir la valeur x. Le fait qu'une connaissance parfaite de la distribution est impossible a conduit à supposer que quelle que soit la valeur obtenue au cours des observations de l'échantillon, il est toujours possible d'obtenir une valeur plus élevée dans le futur. Ainsi la somme des probabilités des valeurs observées est toujours inférieure à 1. Un exemple de distribution des fréquences cumulées de la pluviométrie interannuelle de juillet est représentée dans la Figure 3. Il s'agit de la station de Moundou dans la zone soudanienne (les données de 1979 et 1981 manquent).

Si on considère que la série climatologique représentée dans la Figure 3 traduise la réalité, elle peut être appliquée dans le futur. Ainsi la probabilité que l'événement décrit ait une valeur y supérieure à une valeur x connue peut être directement estimée à partir de la courbe de distribution. Cette probabilité est donnée par l'expression:

$1 - F(x)$ où $F(x)$: courbe de fréquence.

Exemple: la probabilité pour que la précipitation totale de mois de juillet soit supérieure à 200 mm:

$$1 - F(200) = 1 - 0,33 = 0,67 = 67\%$$

la précipitation totale pour cette station peut éxéder 200 mm.

Hormis les valeurs précises comme l'exemple ci-dessus, on peut utiliser la distribution des fréquences cumulatives pour prédire des écarts ou rang de valeurs avec des degrés de certitude ou probabilité répétitive.

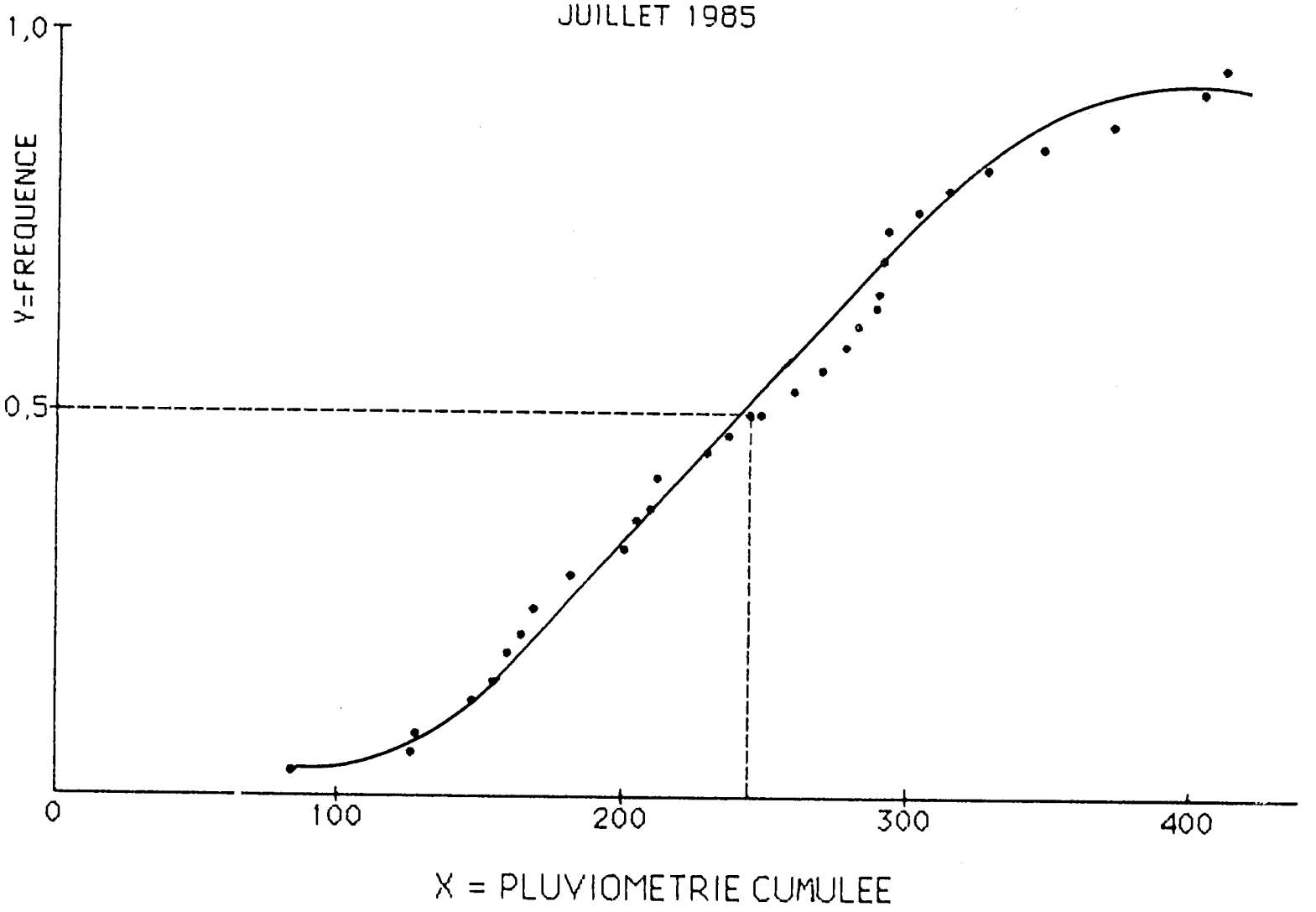
Exemple: probabilité pour que la précipitation totale de juillet à Moundou soit comprise entre 200 et 290 mm.

$$F(290) - F(200) = 0,72 - 0,33 = 0,39 = 39\%$$

FIGURE 3

STATION MOUNDOU (AEROPORT)

PLUVIOMETRIE CUMULEE
JUILLET 1985



la courbe de distribution de fréquence permet d'estimer également la médiane. Selon la définition de la médiane et dans le cas précis de Moundou, la médiane estimée est:

$$F(0,5) = 243 \text{ mm.}$$

La valeur calculée est de 242 mm (un écart de 1 mm).

Rang pourcentile

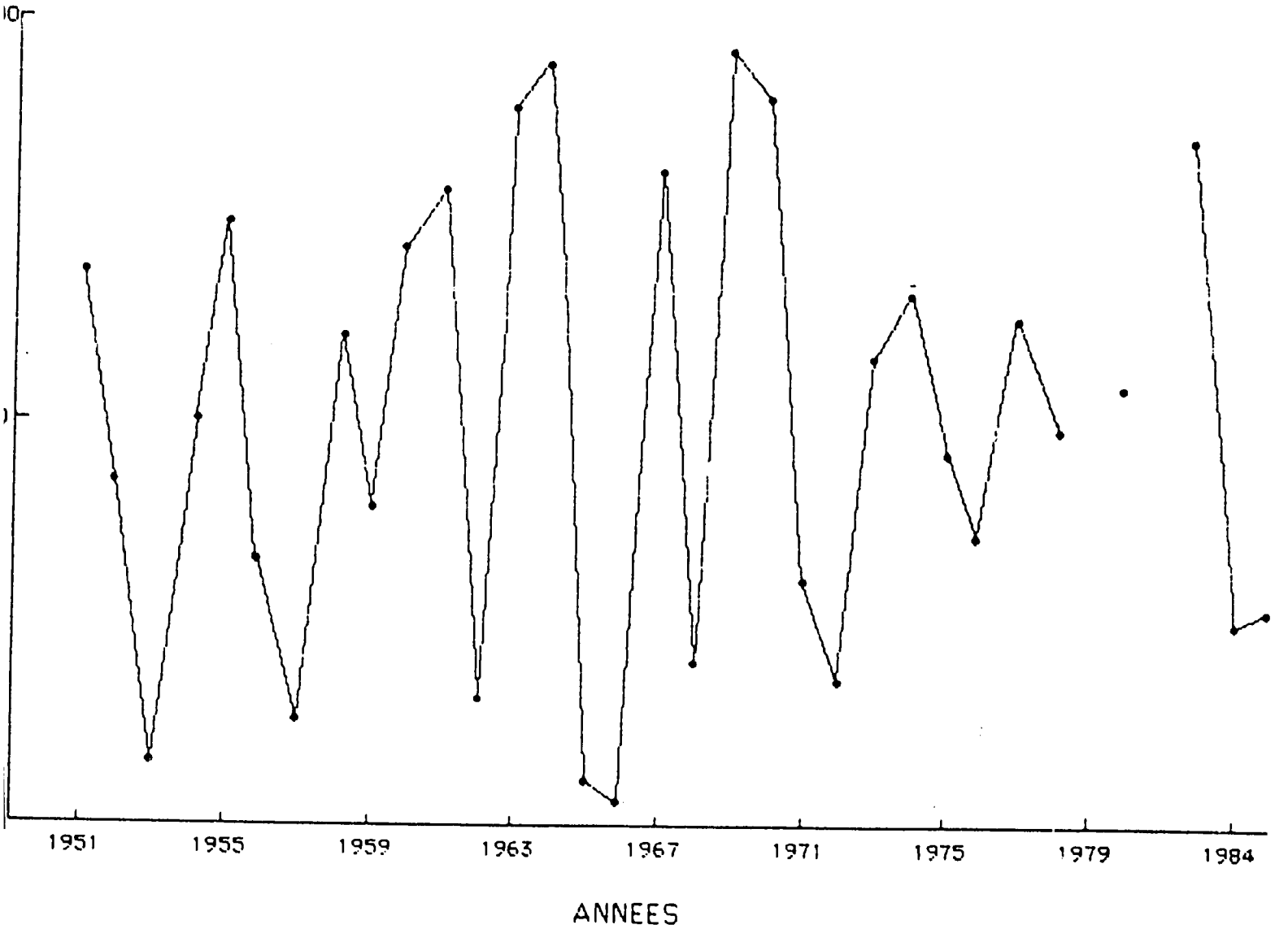
Déduit du calcul de la fréquence empirique, le rang pourcentile est un indiquateur des comparaisons des données climatologiques.

En effet les pourcentiles de la pluviométrie de Moundou (1951-1984) rapportés dans une série chronologique et présentés en graphique (Figure 4) rend compte de la nature des conséquences possibles des précipitations du mois de juillet. On remarque d'emblée que 1953, 1957, 1962, 1966, 1968 et 1972 ont été des années de faibles humidités.

Il est évident que les conséquences d'un seul mois pourraient ne pas avoir des incidences significatives sur la végétation voire même production. En fait, dans la zone de Moundou, le mois de juillet correspond à la période de croissance intense des cultures. En supposant que le mois de juin étant moins arrosé, cette sitution se traduit par une sécheresse et surtout que durant ces dernières années la pluviométrie de juillet étant beaucoup plus élevée que celle d'août, mois le plus souvent indiqué.

Par mesure de précaution, il faut être prudent dans l'utilisation ou l'interprétation des pourcentages dans les régions où la pluviométrie est très faible et caractérisée par des variations faibles. Une légère variation de ce paramètre dans les zones sémi-arides, tel que le sahel Tchadien, peut correspondre à un important écart de pourcentile. Le calibrage des valeurs de pourcentile pour chaque zone climatique ou région est nécessaire. Ce procédé

FIGURE 4



Série chronologique des pourcentiles de la pluviométrie de la station de Moundou (1951-1984)

(calibrage) est très important car il permet de saisir rapidement durant l'année ou plus des périodes sèches, la tendance de la production. Un exemple est celui utilisé dans une région du Népal pour la culture du maïs en Figure 5.

Un grand avantage que comporte le recours aux échelles de pourcentiles dans l'évaluation est de permettre une comparaison temporelle et spatiale des données pluviométriques. Par conséquent l'interprétation des isolignes de pourcentiles est plus facile que celle de la pluviométrie totale. De même, comme il apparait sur le graphique Figure 4, une série chronologique de pourcentile permet de comparer rapidement les événements d'années differentes.

B. Les techniques de prévisions des rendements

1. Cas du Tchad

Les calculs de rendement ne se font qu'à la récolte. Ceci est lié aux difficultés de communication pendant la saison de pluie et aux renseignements qui peuvent parvenir avec retard au bureau central de la statistique agricole. Il est donc dificile d'élaborer des statistiques de rendement en suivant les différents stades de développement des plantes.

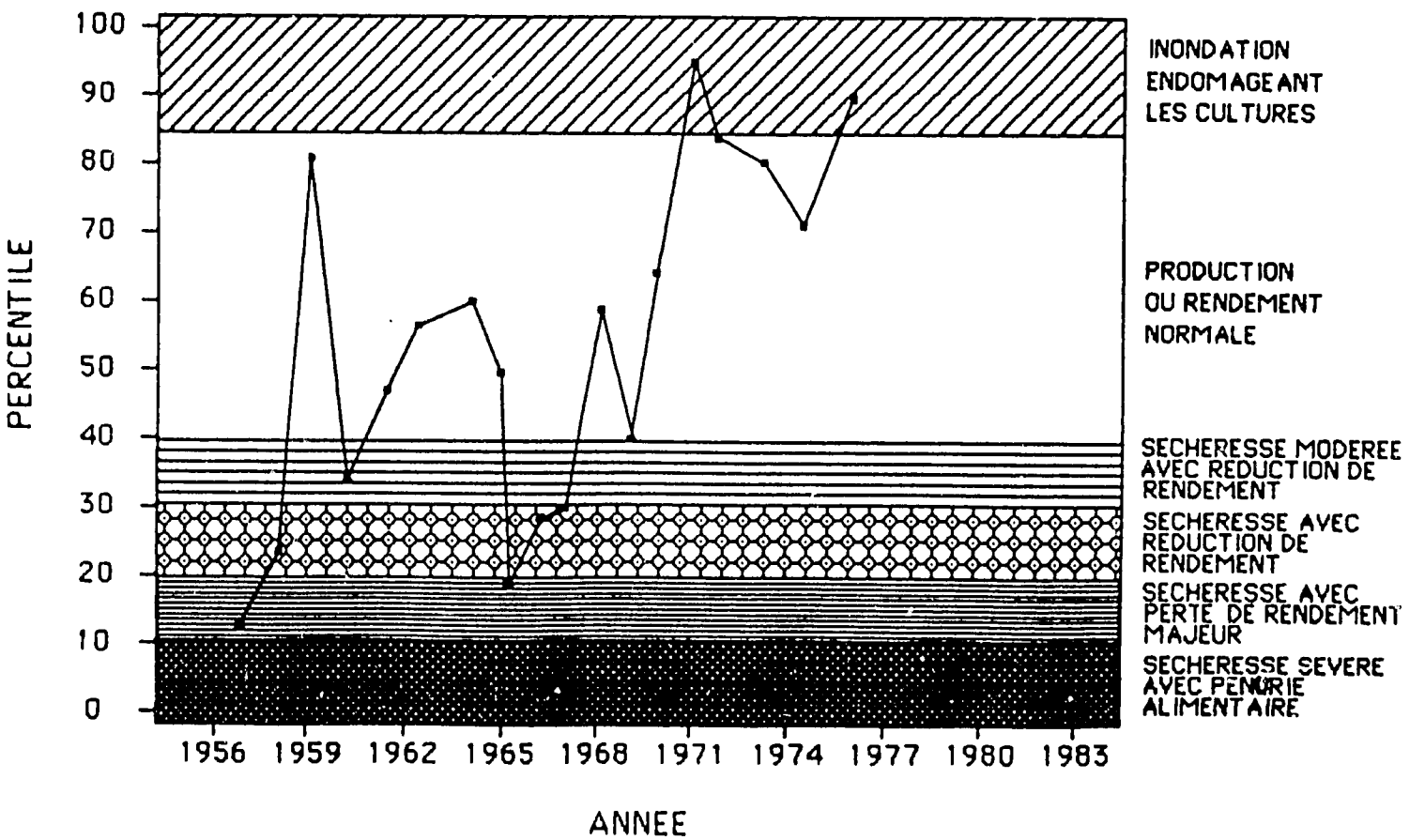
Les processus d'échantillonnage

Dans les pays sahéliens, les exploitations sont de type "petites exploitations" et les cultures pratiquées sont souvent des cultures associées. La stratification des régions se fait donc en fonction des cultures dominantes.

Chaque année l'organisme gouvernemental ONDR (Office National de Développement Rural) recense toutes les superficies en différentes cultures, ce qui permet d'évaluer la production en fin de campagne une fois le rendement est déterminé par région.

Figure 5

INDICE D'HUMIDITE POUR LE RENDEMENT DU MAIS EN 1982 DANS UNE REGION DE NEPAL



Pour déterminer la production au milieu de la saison, on applique aux superficies emblavées en différentes cultures les rendements historiques corresponant au niveau de production attendue tenant compte de l'environnement et de la pluvioplmétrie. Le pays est divisé en préfectures, sous-préfectures, cantons et villages.

La base de sondage est constituée de la liste des villages.

Pour évaluer le rendement, on tire quelques villages-échantillons proportionnellement soit aux nombres d'exploitations soit à la taille démographique des villages. Dans chaque village tiré, on choisit au hasard quatre exploitations échantillons dans lesquelles on pose des carrés. L'enquêteur suit ces carrés jusqu'à la fin de saison, récolte les carrés, les pèse pour évaluer le rendement des cultures intéressées. Les dimensions des carrés sont:

-pour le riz: 1m x 1m

-pour l'arachide: 2m x 2m

-pour le mil, sorgho: 5m x 5m

-pour le manioc: 10m x 10m.

Les limitations

Les facteurs limitants sont l'insuffisance du personnel, l'insuffisance du matériels due à la grandeur du territoire national. L'évaluation de la production combine deux méthodes. Là où le rendement est objectivement calculé, il permet l'évaluation de la production; là où il n'est pas calculé, on fait recours à des séries historiques pour estimer la production. Il faut dire que ces productions estimées sont entachées d'erreurs car les superficies recensées sont sujettes à beaucoup de variations, leur qualité n'est donc pas parfaite. Néanmoins dans les zones où la culture de coton est pratiquée, les superficies sont assez bien connues parce que les cultures vivrières pratiquées sont à 60 à 70 pour cent des cultures dites de "l'après coton," il s'agit ici des zones encadrées.

Un gros effort est en train d'être fait au niveau de l'ONDR pour l'encadrement de la zone sahélienne; il sera possible alors de couvrir toutes les zones cultivables, ce qui permettrait d'évaluer d'une manière réaliste les productions céréalières.

Avec les événements qu'a connu le pays, le service de la statistique agricole a perdu tout son matériel de travail et n'a depuis organisé aucune enquête de rendement. Il est indispensable qu'il soit soutenu par des aides extérieures pour reconstituer son matériel et réorganiser le Service pour répondre à cette préoccupation.

En définitive, l'évaluation de la production se base jusqu'à maintenant sur les séries historiques.

Il y avait eu un essai de décentralisation du Service de 1976 jusqu'en 1979 par la création des antennes dans les préfectures. Avec la guerre, les structures sont désorganisées; il est plus qu'indispensable de réhabiliter ces antennes de la zone soudanienne et d'en créer de nouvelles dans la zone sahélienne pour répondre au voeu attendu.

2. Cas des U.S.A.

En general l'estimation des productions agricoles intéresse des domaines variés:

- les superficies
- les producteurs
- le bétail
- les prix agricoles
- les pâturages et le stockage
- les intrants et le prix au producteur
- les prix des terrains et les locations.

Organisation de L'Agence Statistique

Environ 1000 personnes travaillent dans l'agence. Ceux-ci sont repartis comme suit:

-40% font partie de l'état major à Washington.

-60% sont des officiers répartis dans les quarante-quatre (44) Etats et participent aux opérations de terrain.

Dans l'état de Missouri il y a:

-Dix-huit (18) fonctionnaires fédéraux et deux (2) fonctionnaires de l'état.

-Cinquante-cinq (55) enquêteurs sur le terrain travaillent à temps partiel pour la collecte des informations.

-Quinze (15) enquêteurs sur place au bureau central à Columbia procèdent également à la collecte des renseignements par téléphone chaque soir en appelant les paysans.

-Cent quinze mille (115000) fermiers. Les renseignements fournis sont gratuits et quelques fois de refus (environ 10%).

Un recensement général se fait tous les 5 ans par le ministère du commerce à fin permettre la révision des estimations. A ce propos tous les fermiers sont interrogés. La précision des estimations est de l'ordre de 96 à 97%.

Le facteur important dans le développement de l'agriculture américaine résulte de la bonne qualité des informations. Celles-ci sont obtenues par la sur veillance continue d'un échantillon aléatoire représentatif et extrapolable au niveau de la population. Ceci suppose une stratification au préalable.

a. Stratification simple

Elle se fait en considérant les critères suivants:

-les terres de cultures (extensives, intensives)

-les pâturages

-les villes et villages

-les zones non agricoles

-les cours d'eau.

Exemple du Colorado:

-Superficie totale:	105000 km^2
-Superficie cultivée:	25000 km^2
-Pâturages:	75000 km^2
-Villes et villages:	5000 km^2
-Terres non agricoles:	2000 km^2.

Avantages de la méthode:

-coût de l'opération réduit par rapport au coût d'un recensement exhaustif.

-le résultat peut être étendu à la population.

La stratification ainsi faite aboutit à l'estimation des superficies à cultiver; ce qui permet d'estimer la production.

Supports de stratification

La stratification s'appuie sur les élements existants (cartes routières, géologiques, sols, etc.) completés par des études relatives aux enquêtes antérieures et eventuellement des photos aériennes.

Techniques d'échantillonnage

La region étant divisée en unités primaires de taille allant de 500 à 2500 km^2 dont les limites sont les repères permanents tels que les routes.

Ces unités primaires sont subdivisées en segments (unités secondaires) dont la taille est d'environ 2,59 km^2 identifiables sur les photos aériennes.

Choix des échantillons et pose des carrés

Le choix des segments (unités secondaires) se fait à partir des unités primaires préalablement retenues où les carrés de rendement de taille 4 x 5 mètres sont posés dans chaque champ que l'enquêteur suivra jusqu'à la fin des opérations sur le terrain.

Estimation des superficies emblavées par culture

L'estimation des superficies se situe à trois niveaux:

-Inventaire de tous les segments ou unités secondaires de chaque type de culture.

-Identification des parcelles relatives au parcours du bétail.

-L'ensemble des unités secondaires inventoriées est extrapolé pour fournir une estimation totale tant au niveau national (USA) que de l'état. Ces résultats peuvent être entachés d'erreurs qui sont de l'ordre de 2% (au niveau national) et 6% (au niveau de l'état).

Estimation des rendements (rendements dits objectifs)

Construction de l'échantillon

L'échantillon est construit à partir des champs de segments ayant servi à l'estimation des superficies. Ces champs sont choisis proportionnellement à la taille (superficie) estimée. Les paramètres (fréquences, moyennes) issus de cet échantillon fournissent les estimations au niveau de l'état.

Construction des modèles d'évaluation

Les modèles utilisés pour l'estimation des rendements concernent chaque étape de la croissance des plantes. Les données utilisées sont celles recueillies dans les carrés de rendement. Il s'agit de:

-stade de maturation,

-nombre des tiges,

-nombre de tiges avec épis,

-nombre d'épis,

-longueur des spathes,

-le poids des épis à la recolte, et

-la teneur en eau des graines.

Chaque modèle utilisé à un stade donné diffère des autres.

Estimation finale

rendement = (nombre d'épis) x (poids moyen des graines par épi).

Prévision

rendement = (estimation de nombre d'épis) x (estimation du poids des graines par épi).

Exemple de maïs:

-Pour le maïs à maturité mais non récolté:

rendement = (nombre d'épis) x (poids moyen des graines par épi)

L'estimation des poids moyen des épis se fait avec des modèles statistiques suivants:

Première estimation:

$M_1 = A + B$ x (longeur d'une rangée de graines sur le noyau)

Deuxième estimation:

$M_2 = A + B$ x (longueur des spathes)

Les longueurs sont mesurées par l'enquêteur dans un carré de rendement.

A et B sont des coefficients déterminés avec les données historiques.

Poids moyen des graines par épi (estimation finale) = $W_1 \times M_1 + W_2 \times M_2$

où W_1 et W_2 sont des coefficients de pondération spécifiques à une zone agricole et au stade végétatif auquel se rapporte le modèle.

$W_1 + W_2 = 2$.

-Pour le maïs au stade laiteux on juste avant:

rendemant = (nombre d'épis) x (poids moyen des grains par épi)

L'estimation de nombre d'épis utilise ce modèle statistique:

Première estimation:

M_1 = A + B x (nombre de tiges mesuré)

$$M_2 = \frac{(\text{nombre d'épis}) + (\text{nombre de bourgeons})}{A + B \times \frac{\text{nombre de tiges avec épis}}{\text{nombre de tiges}}}$$

Deuxième estimation: $W_1(M_1) + W_2(M_2)$.

-Pour le maïs à un stade végétatif au début de la croissance:

rendement = (nombre d'épis) x (moyenne historique du poids des épis)

L'estimation de nombre d'épis emploie le modèle statistique comme suit:

M_1 = A + B x (nombre de tiges mesuré par l'enquêteur)

Estimation des poids des graines des épis:

estimation = moyenne des données historiques disponibles.

<u>Exemples des coefficients utilisés dans les modèles de regression à une région aux USA.</u>

-Estimation de nombre d'épis à partir de la mesure des tiges (comptages).

Nombre d'épis estimé = A + B x (nombre de tiges compté)

STADE DE MATURATION:	A	+	B	x(nombre de tige)
1	8,6	+	0,86	x(" ")
2	8,5	+	0,80	x(" ")
3	7,2	+	0,86	x(" ")
4	6,1	+	0,89	x(" ")
5	récent		récent	x(" ")
6	récent		récent	x(" ")

-Estimation du poids moyen des graines sur les épis en fonction de la longueur mesurée des rangées de graines sur le noyau.

Estimation du Poids = A + B' x(longueur mesurée)

1	moyenne historique			= 0,29
2	moyenne historique			= 0,29
3	0,23	+	0,02	x(longueur mesurée)
4	0,19	+	0,03	x(" ")
5	0,10	+	0,04	x(" ")
6	0,15	+	0,03	x(" ")
7	Poids actuel +		chiffre récent	

D'une manière générale l'estimation de rendement donnée lieu à des erreurs qui sont liées à la prévision et de fin de saison (erreurs d'échantillonnage, de prévision et de mesure).

b. Modèle de prévision de production objective

La prévision de production se fait avec un calendrier arrêté à l'avance durant l'année:

-la première prévision, 75 jours environs après le semis.

-la seconde prévision, juste avant la maturité pleine.

Ces prévisions utilisent en fin de compte les modèles statistiques mentionné ci-dessus dans l'exemple de maïs.

Dans ce modèle on ne tient pas compte de l'état de culture. Cependant on présume que la longueur des épis, celle des tiges, etc. donnent l'état de culture. On estime que ce modèle de prévision dépend largement du degré de maturité de la plante.

En effet, au stade d'épiaison, il n'y a pas d'épis mesurables et que le poids des épis a trait aux données antérieres. Par contre au stade de maturité laiteuse, les épis sont effectivement mesurables.

En resumé, la réussite de ce modèle repose sur le travail consciencieux de l'enquêteur qui a pour mission d'aller sur le terrain, contacter le paysan, poser les carrés de rendement et les suivre de bout en bout jusqu'à la

récolte. Aussi il lui incombe la tâche de collecter les informations supplémentaires (date semis, mesure de superficie, peser les récoltes, prise en compte des pertes, etc.) pour l'évaluation définitive de la production.

c. Stratification tenant compte de l'environnement et des techniques culturales

La méthode de stratification explicitée avant est simple. Elle repose sur l'irrigation des champs et sur la maturité des plants.

D'autre critères peuvent intervenir compte tenu de l'environnement et de la technologie employée à savoir:

-culture mixte,

-des entrants,

-préparation de terrain,

-méthode de labour, et

-les photos aériennes.

En effet la télédetection est un outil faisant intervenir également des variables météorologiques et par conséquent améliore en information (précipitation, température, biomasse, etc) le modèle permettant d'estimer avec précision la production. La tendance de celle-ci peut être fonction de la technologie employée.

En dehors des informations issues de la télédetection, le travail de l'enquêteur est plus qu'indispensable sur le terrain. Pour ce, il est tenu de disposer de questionnaires confectionniés au préalable pour la collecte des données dont un exemple sur la production du maïs au USA tenant compte de la technologie agricole (copie en annexe). Le travail de l'enquêteur n'est pas une tâche facile; il y a quelquefois de risque avec le paysan.

C. Les méthodes de la télédétection

1. Généralités

La télédétection étant définie comme la détection, la reconnaissance et l'évaluation des objets à distance par des moyens mécaniques d'enregistrement. Elle est très différente de la photographie. Les composantes physiques de la télédétection sont les suivantes:

-la source du rayonnement (exemple le soleil),

-l'objet (exemple: forêt, champs, eau),

-le capteur (exemple: caméra de balayage), et

-la voie de transmission (exemple: l'atmosphère).

Au niveau du sol, le support étant les plates-formes de réception des données pour le traitement.

La base physique de la télédetection se rapporte alors aux propriétés du rayonnement et leur interaction avec les objets que le capteur enregistre. Le rayonnement électromagnétique est généralement considéré comme un spectre ayant des longueurs d'onde et donc les fréquences.

Ce spectre s'étend des rayons cosmiques aux rayons gammas en passant par les rayons x, rayons ultraviolets, rayonnements visibles, infrarouge y compris les micro-ondes et les ondes radio. Vue l'infinité du spectre, une infime partie est applicable à la télédetection de nos jours. Il s'agit de:

-le visible,

-le proche infrarouge, et

-l'infrarouge thermique.

En dehors des avions, le support principal de la télédetection est les satellites.

2. Les satellites

Il y a deux catégories de satellites:

-Les satellites à orbites polaires dits à défilement (altitude 500 à 1500 km). Exemples: LANDSAT, TIROS N, SPOT.

-Les satellites géostationnaires à orbite équatoriale et tournant à la même vitesse que la terre (altitude 35000 km). Exemples: METEOSAT, GMS, GOES.

Dans ce cours-séminaire, les études ont porté sur le satéllite NOAA9, génération des TIROS N, utilisé à des fins agrométéorologiques.

3. Les caractéristiques de la NOAA 9.

C'est un satellite à orbite polaire synchronisé avec le soleil (rapport constant d'angle entre le soleil et le satéllite). L'altitude de l'orbite est de 833 km.

Le Radiomètre Avancé à Très Haute Résolution (AVHRR) de ce satellite réalise des images dans cinq canaux différents: visible, proche et moyen infrarouge et deux dans l'infrarouge.

La résolution spatiale est de 1,1 km^2 au nadir (sous point = pixel à la verticale). Entre autres le AVHRR est un radiomètre à 5 canaux de balayage qui fournit des imageries et des données de radiation à la fois à 1 km et 4 km de résolution.

-le canal 1: 0,58 - 0,68 µm détecte les nuages, la neige et les formes des glaciers.

-le canal 2: 0,725 - 1,1 µm localise les eaux, la végétation, l'agriculture (combinaison de canal 1 et canal 2).

-le canal 3: 3,55 - 3,93 µm détecte les formes de nuages de nuit, mesure la température des eaux de surface, distingue les eaux et les sols, détecte les points chauds (incendies de forêts, activités vulcanologiques).

-le canal 4: détecte des formes de nuages de nuit, la température de la terre et des eaux de surface, l'humidité des sols, les éruptions volcaniques.

-le canal 5: 11,5 - 12,5 µm saisit la température des mers, l'humidité des sols.

Enfin la NOAA 9 fournit des images toutes les 12 heures. Ces images sont faites dans le canal 1 et 2 à bord du satellite. Le canal 1 est sensible à la partie visible et le canal 2 à la partie proche infrarouge. Ce sont ces deux canaux qui permettent la détermination de l'indice de végétation, car celui-ci est à peu près le même au niveau des deux canaux sus-mentionnés.

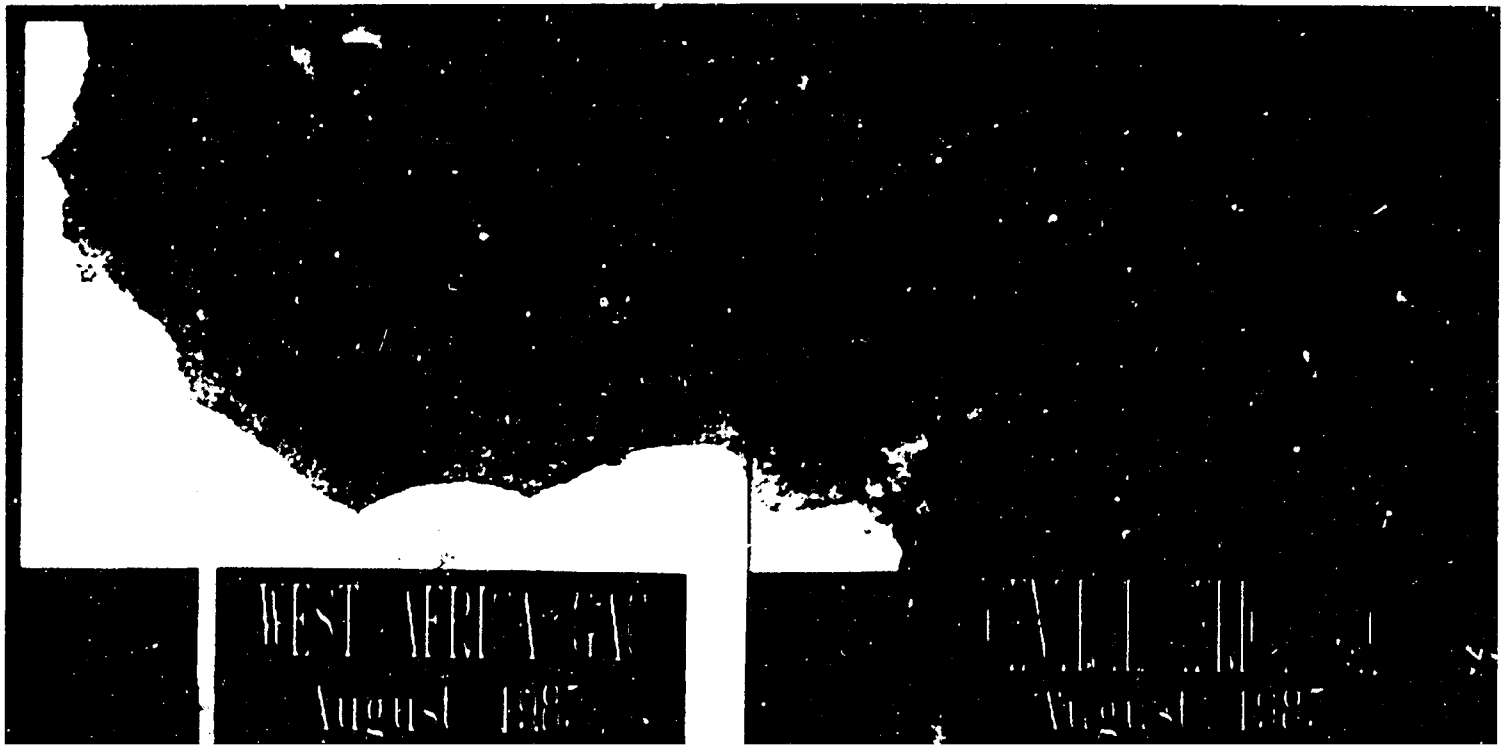
4. Les images ACCS

Le système de couleur coordonné d'Ambroziak (ACCS) permet l'interprétation des images et détermine l'indice de végétation normalisé (NVI). L'usage de trois couleurs de bases: le rouge, le vert et le bleu comme filtre dans les deux canaux aboutit aux couleurs composites et permet l'évaluation de la biomasse (voir Figure 6 photo satellitaire d'Afrique Ouest août 1985).

Interprétation des images ACCS

Le système de couleurs coordonné d'Ambroziak (ACCS) utilisé pour produire les images indique l'état de la végétation. Ce système de couleur est conçu de manière à maximiser le contenu de l'information et à minimiser le temps de l'analyse. Différentes teintes de couleurs (rouge, orange, jaune, vert, bleu, cyan, bleu) permettent de distinguer la végétation et l'eau au niveau de sol, des nuages dans les portions visibles et infrarouges des rayonnements solaires réflectés par les surfaces. La saturation (rouge, rose, blanc) est utilisée pour intensifier les nuages à partir des rayonnements thermiques infrarouges émis. Les nuages sont habituellement plus froids que la surface; ils deviennent blancs lorsque la saturation des couleurs est réduite pour des pixels à basse température. Les couleurs de l'ACCS comportent un continuum de teinte et d'intensité qui correspond à la fois aux données et au système de perception humaine.

Figure 6



Les délimitations nettes de l'image, indiquées par les variations importantes de teinte, représentent de fortes variations de l'état de la végétation en surface. Les couleurs peuvent être interprétées selon les principes expliqués à la Figure 7.

5. Relation entre le canal 1, le canal 2 et le NVI

-Sur un sol nu, la différence entre les deux canaux est nulle.

-Pour la végétation: s'il y a un stress hydrique, les feuilles se dessèchent (diminution de chlorophylle et de quantité d'eau). L'indice de végétation diminue. S'il y a une bonne couverture végétale, la sensibilité au niveau de canal 2 est très élevée, celle du canal 1 étant basse, la différence est grande et positive.

D'une manière générale, au début de la saison des pluies, le sol étant nu, la différence entre les deux canaux est nulle. Par contre durant la période de croissance, il y a augmentation de la réflectance dans le canal 2 et diminution dans le canal 1, la différence est positive. L'indice de végétation est positif. Le schéma ci-après (Figure 8) montre l'effet de développement de la végétation dans le canal 1 et 2.

6. Calcul de l'indice de végétation (VI)

Le calcul de l'indice de végétation normalisé (NVI) se fait de la manière suivante:

$$NVI = \frac{Ch2 - Ch1}{Ch2 + Ch1}$$

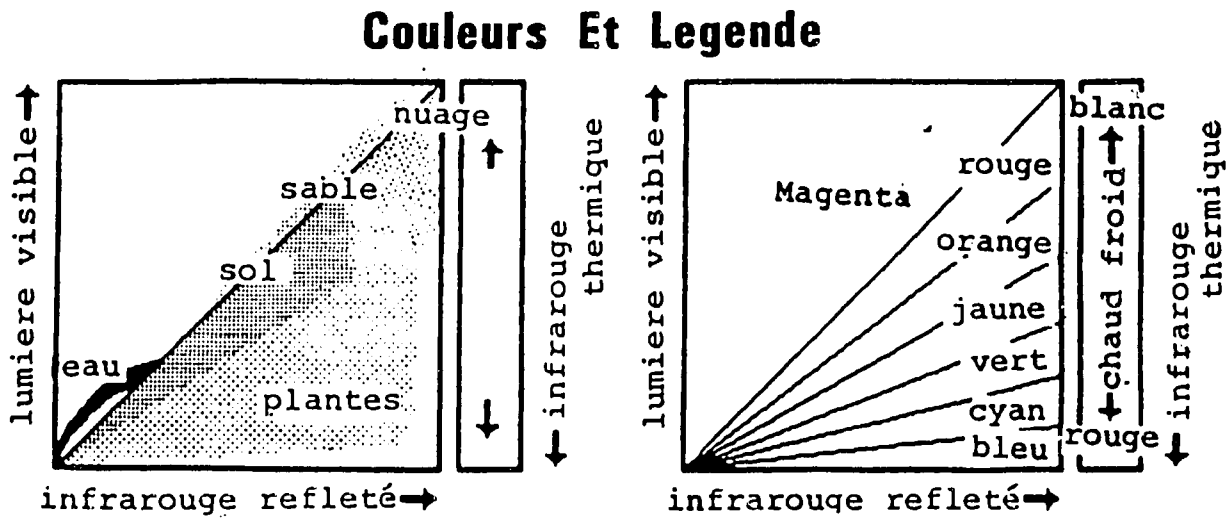
D'autres indices de végétation peuvent être calculés:

$$RVI = \frac{Ch2}{Ch1} = \text{rapport d'indice de végétation}$$

$$DVI = Ch2 - Ch1 = \text{différence d'indice de végétation.}$$

Figure 7

Système de coordonnées de couleurs d'Ambroziak



Un exemple se trouve en bas et à gauche de la photo satellitaire d'Afrique Ouest.

Les couleurs peuvent généralement être interprétées de la manière suivante:

TEINTE	Foncé	INTENSITE Brillant
Rouge	sol humide ou foncé *	sable ou nuages bas
Jaune	jeunes pousses ou couverture végétale sur sol humide ou foncé *	jeunes pousses ou couverture végétale sur sol humide ou foncé
Vert	plantes en bonne santé ou forêt	récoltes en bonne santé
Cyan	forêt dense	forêt dense, maïs ou riz
Magenta	eau claire ou peu profonde	eau très troublée, peu profonde ou nuages couvrant partiellement un plan d'eau

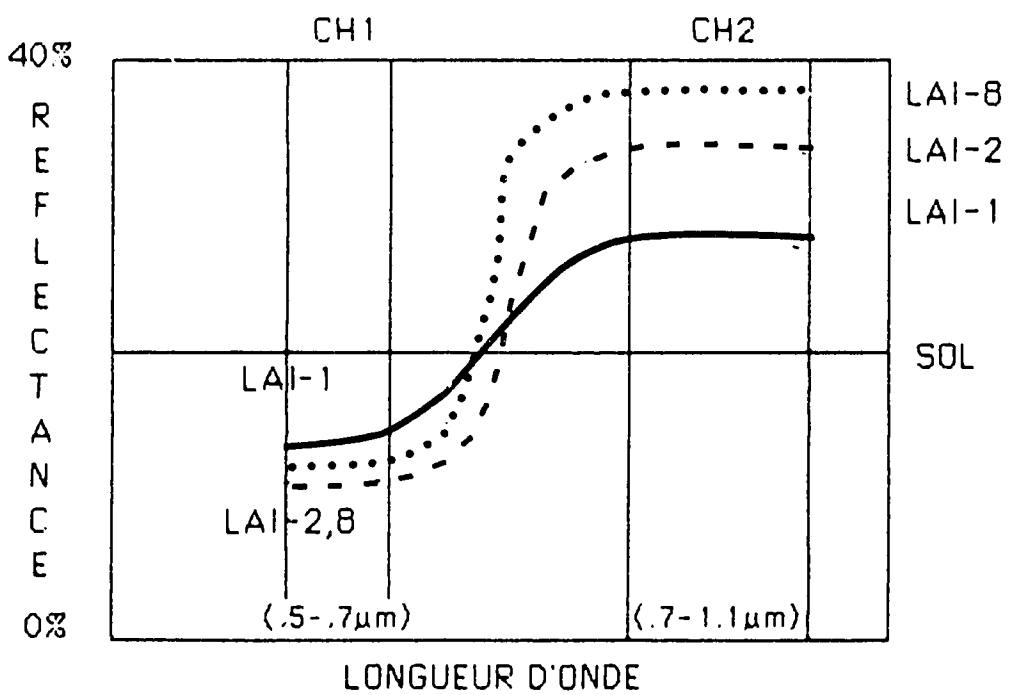
COULEURS SANS TEINTE

Noir	eau claire profonde ou ombre foncée
Blanc	nuages, neige ou autres terrains élevés froids

* Les rouges foncés, l'orange et les jaunes sont différentes teintes de brun.

Figure 8

SCHEMA DE DEVELOPPEMENT DE LA VEGETATION DANS LA CANAL 1 ET 2



7. L'utilisation de l'indice de végétation normalisé

a. Définition

L'indice de végétation normalisé (NVI) est défini comme le rapport entre la différence et la somme de réflectance d'un objectif (sensibilité) au niveau des deux canaux.

$$NVI = \frac{Ch_2 - Ch_1}{Ch_2 + Ch_1}$$

Cet indice est une mesure de la quantité de la végétation ou de la biomasse au sol. Il varie de 0 (pas de végétation) à 1 (végétation intense).

b. Utilisation de NVI

Les indices de végétation peuvent être calculés par semaine ou par décade. On applique quelques corrections pour éliminer les pixels affectés des nuages et on obtient un indice moyen dérivé par simple calcul de la moyenne arithmétique pour la période considérée et ainsi de suite durant toute l'année. Ces indices permettent d'indiquer l'évolution de la végétation et de la biomasse au cours de la saison. Des comparaisons peuvent se faire avec les années précédentes. Ce suivi de la végétation s'applique aussi bien pour les superficies emblavées (cultures) que pour les pâturages et la biomasse en général. Dans les pays sahéliens tels que le nôtre, en dépit de la variabilité de la pluviométrie, ces indices peuvent être calculés à la fin de chaque mois durant la campagne agricole.

Aussi ces indices peuvent faire l'objet d'une représentation graphique sur une carte sous forme de série temporelle. Quelques exemples concernant le Tchad figurent dans les pages suivantes (Figures 9, 10, 11, 12) pour les années 1983 - 1984 et 1985 (en partie). Les graphiques (des séries temporelles) ont été lissés pour éliminer les bruits dus aux nuages ou à la mauvaise vue de satellite au passage.

Figure 9

TCHAD

CARTE DE REPARTITION D'INDICE NORMALISE DE VEGETION/BIOMASSE DE NOAA AVEC AVHRR

DEUXIEME SEMAINE D'AOÛT

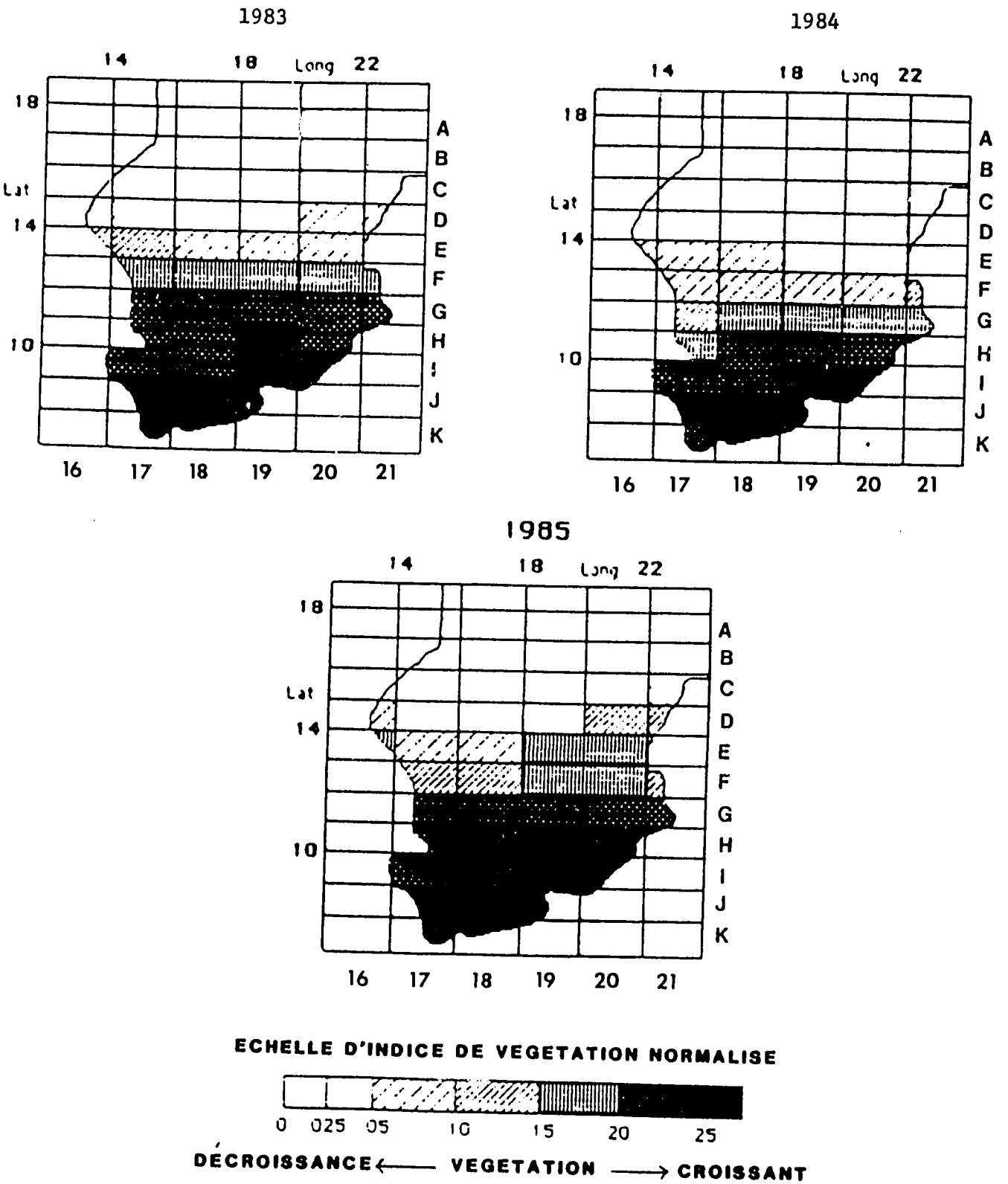
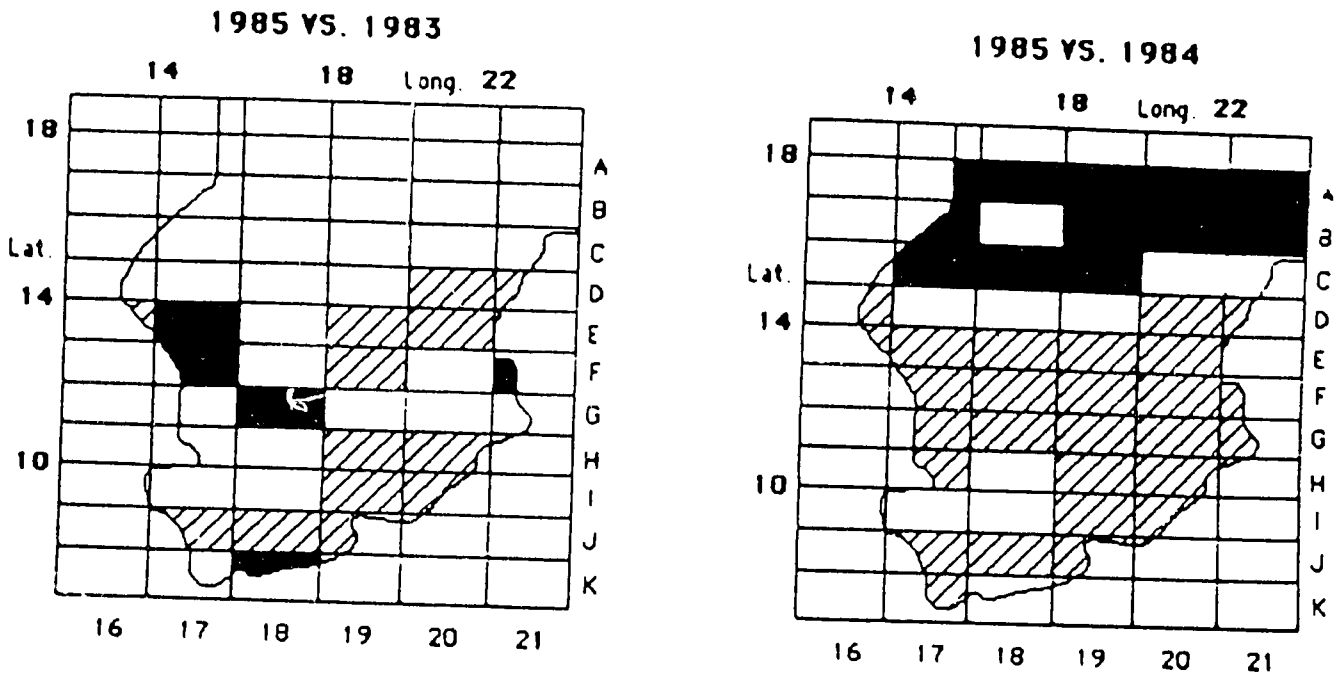


Figure 10

TCHAD

COMPARAISON INDICE NORMALE VEGETATION BIOMASS AVEC DONNEES AVHRR

DEUXIEME SEMAINE AOÛT



1985 MOINS VERT QUE L'ANNÉE PRECEDANTE

PAS DE DIFFERENCE SIGNIFICATIVE

1985 PLUS VERT QUE L'ANNÉE PRÉCÉDANTE

Figure 11

SERIES TEMPORELLES SUR L'INDICE DE VEGETATION

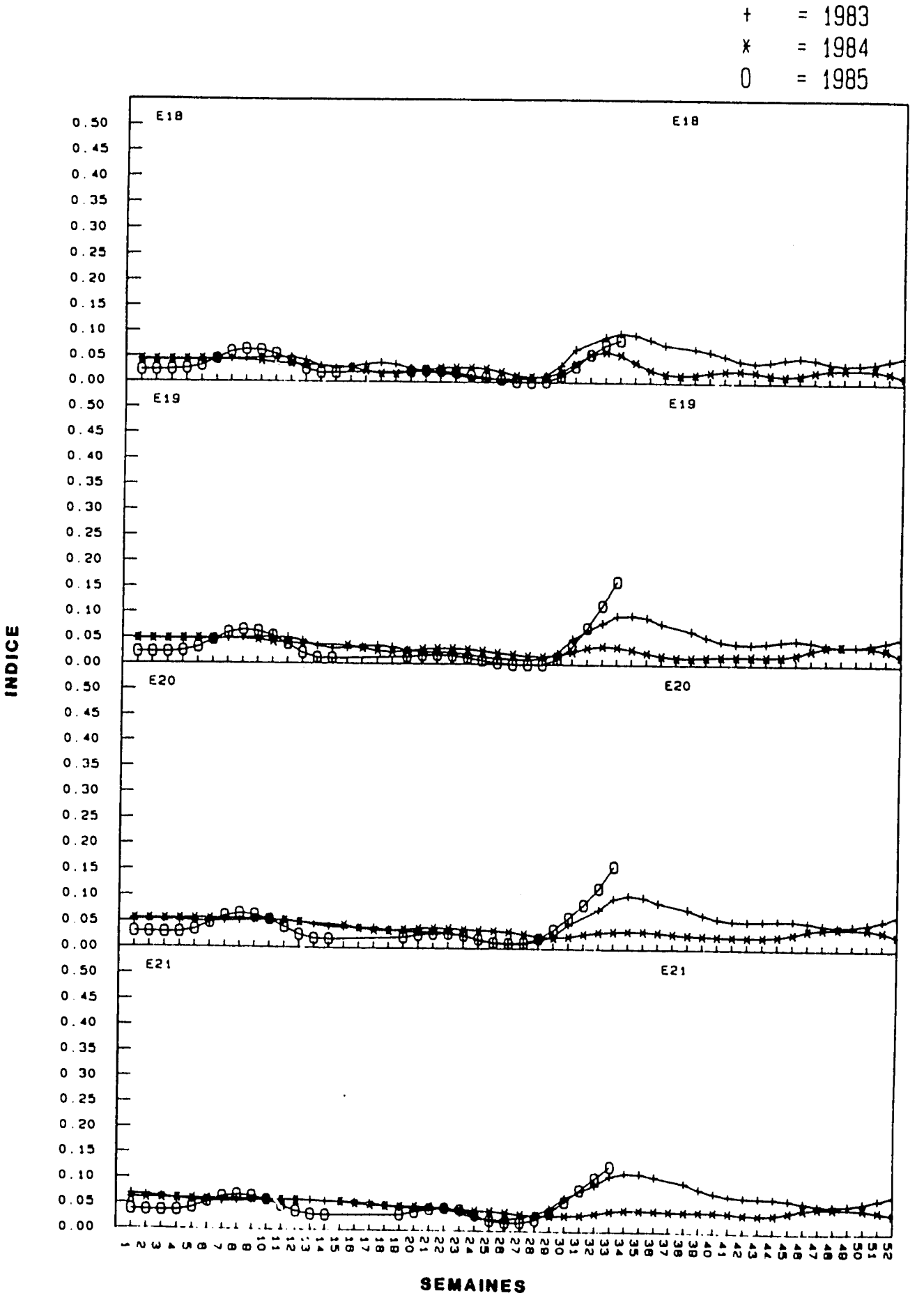
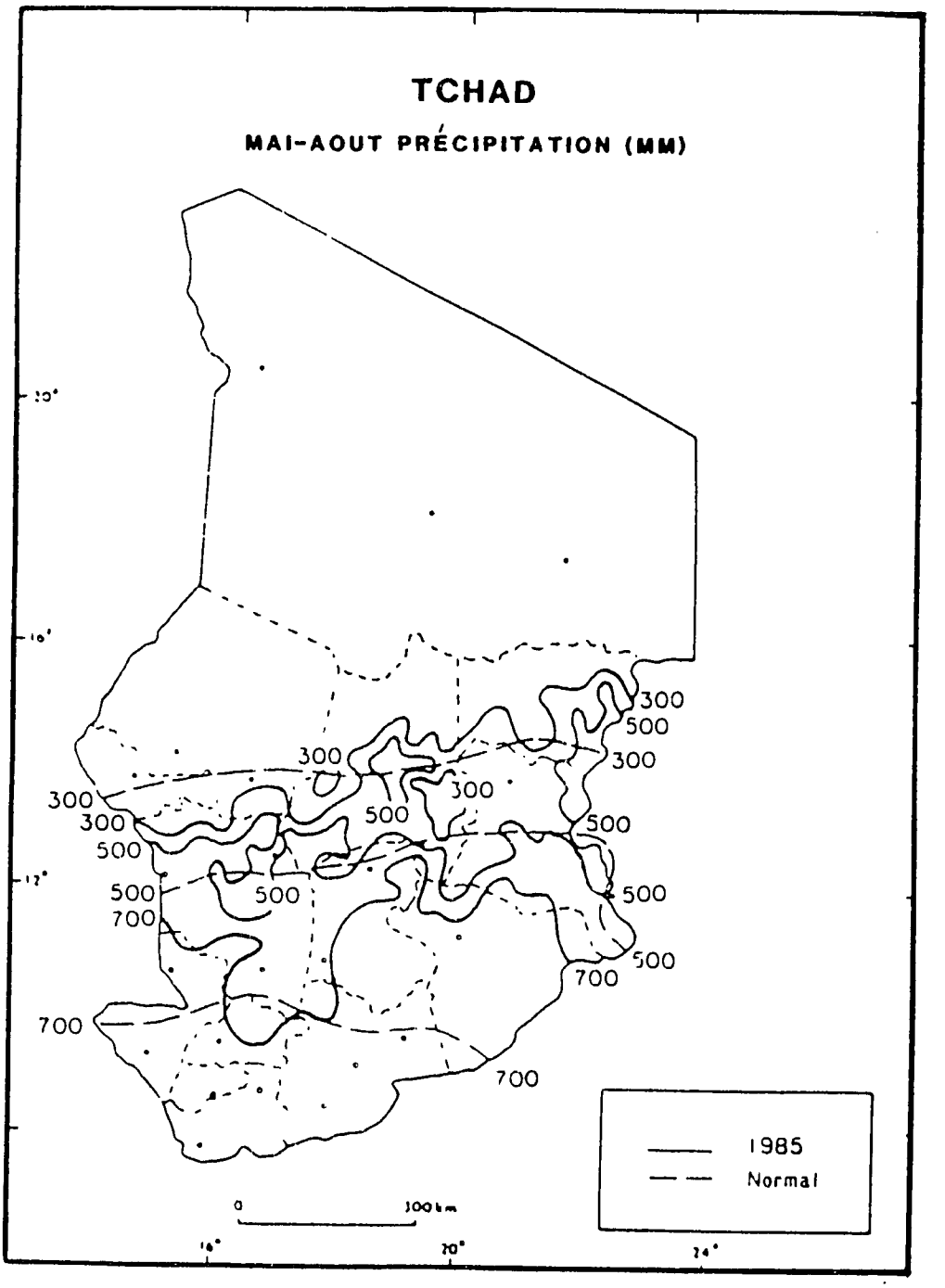


Figure 12



NOTE: Pour cette analyse, les données des satellites météorologiques ACCS (font apparaître clairemement la répartition de la biomasse) ont été utilisées pour interpoler les résultats fournis par les rapports des stations pluviometriques au sol. En effet, dans certains cas, les données des stations au sol ont été jugées non représentatives des régions avoisinantes et ont donc été modifieés.

c. Le NVI et le rendement des cultures

Les données satellitaires sont importantes pour les évaluations. Elles sont d'une manipulation assez facile et permettent d'avoir des renseignements assez précis pour les décideurs. Le rapport entre le NVI et le rendement est étroit car un indice de végétation élevé traduit le bon développement des plantes et par conséauent, le rendement attendu serait meilleur.

Le diagramme de dispersion des NVI et des rendements de cultures supposent une liaison linéaire suivant les "nuages de points" observés. Quelques graphiques illustrent ce propos.

Cette approche est un élément d'appréciation du phénomène bien que le rendement des cultures pourraient être aussi biologique et agronomique (apport de fertilisants, traitements phytosanitaires, ensoleillement, etc.).

D. Indice du bilan hydrique (FAO)

1. Historique et support

Après la sécheresse qui a sévi dans le Sahel dans les années 1970 à 1973, la conférence mondiale des nations unies sur l'alimentation a recommandé à la FAO de créer un système d'information globale et d'alerte rapide sur l'agriculture et l'alimentation. Ce système a pour but, entre autres, la surveillance des cultures et la prévision des récoltes à l'échelle mondiale, tout en mettant l'accent sur les pays en développement. Ce système fait appel à des informations agricoles, statistiques, économiques et météorologiques.

Depuis 1976 la FAO a commencé la surveillance dans le Sahel en utilisant une méthode basée sur le bilan hydrique des cultures. L'expérience a demontré l'utilité de cette méthode, qui a permis une évaluation précoce de la situation des récoltes. Elle a permis également la détection anticipée des crises et la prise des mesures adéquates en temps voulu.

En effet, elle a été mise au point par un groupe d'agrométéorologistes de la division de la production végétale et protection des plantes. Son originalité repose sur l'utilisation simultanée des données pluviométriques actuelles et des données climatologiques pour le calcul des besoins en eau des cultures. Ces deux types de données sont combinés en vue d'établir le bilan hydrique des cultures.

Tout en fournissant une meilleure information qu'une estimation de la différence entre la précipitation actuelle et la pluviométrie moyenne, la méthode reste assez simple pour permettre sa mise en oeuvre sans recourir à un équipement sophistiqué. Elle fait également appel à des données climatologiques pouvant être rassemblées avant la phase opérationnelle et en dehors de la campagne agricole.

2. Introduction

D'une manière générale les indices agroclimatiques des conditions culturales sont les outils non-valables pour évaluer l'impact du climat sur les cultures surtout quand les données sur les rendements ne sont pas disponibles pour développer les méthodes.

En effect ceux-ci sont fondés sur la transformation des variables météorologiques. La pluviométrie cumulée, l'humidité du sol, l'évapotranspiration potentielle, etc. en sont quelques exemples. Ces variables interviennent aux différents stades critiques d'accroissement avant d'aboutir à l'indice. Bien que ces indices ne fournissent que des informations qualitatives sur l'impact du climat sur les cultures, ils réduisent le problème de la multicolinéairité quand on utilise les variables météorologiques individuellement.

Le Centre des Services d'Evaluation et d'Information (AISC) de NOAA trouve que ces indices agroclimatiques sont très bien pour les évaluations de l'impact

de la sécheresse dans les conditions culturales et peuvent saisir les décideurs à temps en cas d'alerte.

3. Critères de sélection d'un indice

L'indice doit être:

-en rapport avec la variabilité météorologique,

-utilisable facilement,

-données disponibles, et

-facilement compris par l'usager et que l'utilisateur doit savoir les limites.

4. Indice du bilan hydrique

L'indice décadaire du bilan hydrique (noté I), développé par Frère et Popov (1979), est basé sur les concepts de surplus et du déficit tout en intégrant les besoins hydriaues des cultures individuellement pendant la saison culturale. Il a une valeur maximale de 100 au semis (voir exemple ci-dessous).

Les produits ou éléments entrant en jeu dans le modèle sont les suivants:

Pn: pluviométrie décadaire normale (mm)

Pa: pluviométrie décadaire actuelle (mm)

ETP: évapotranspiration potentielle (mm) (Elle est définie comme la quantité maximum d'eau pouvant être évaporée sur un sol couvert de gazon court et maintenu uniforme.)

ETC: évapotranspiration culturale

$Kc = \frac{ETC}{ETP}$: coefficient cultural (Il est variable pendant les différents stades végétatifs de la plante.)

BE = ETP x Kc: besoin en eau des cultures.

Aussi bien que:

-la capacité de rétention de sol,

-le réserve d'eau utile du sol (RS), et

-le surplus (S) et le déficit (D).

5. Procédé de calcul de l'indice (I)

1° Calcul de total du besoin en eau des cultures (BE):

$$BE = (ETP \times K_c)$$

2° L'indice commence quand Pa > ½ ETP ou bien Pa > 30 mm pour une décade donnée.

3° Calcul: P_a - WR pour chaque décade.

4° Calcul de la réserve en eau (RS) du sol:

-pour la première décade:

$$RS = P_a - WR \text{ avec } RS \geq 0$$

-pour les autres décades i:

$$RS_i = RS_{i-1} + (P_a - WR) \text{ avec } 0 < RS \leq SRC$$

-Si $RS_i > SRC$, alors $RS_i = SRC$.

5° Calcul du surplus (S) comme suit:

-si $RS_i < SRC$, alors S = 0

-si $RS_i = SRC$, alors $S = RS_{i-1} + (P_a - WR) - SRC$.

6° Calcul du déficit (D):

Il se fait seulement lorsque RS = 0

$$D = RS_{i-1} + (P_a - WR).$$

7° Calcul de l'indice (I)

-Cet indice commence avec une valeur de 100.

-Réduire l'indice de trois unités quand le surplus (S) excède 100 mm pour une décade donnée (applicable pour le moment à la station de Bambey au Sénégal).

-Si un déficit (D) existe, réduire l'indice de:

$$I = \frac{D}{\sum_{i=1}^{N} WR_i} \times 100$$

où N = nombre de décades.

6. Exemple de calcul d'indice de bilan hydrique

	mai			juin			juillet			août			sept			octobre		
Décade	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
P_N	7	9	10	14	20	25	49	50	52	63	65	61	40	32	24	10	4	1
P_A	4	11	14	23	18	58	51	48	134	9	29	28	15	32	6	0	3	
ETP	75	78	80	68	63	59	59	57	59	48	47	50	47	50	52	55	59	59
KC						.3	.4	.5	.8	1	1	1	.6	.5				
WR						18	24	23	47	48	47	50	28	25		WR = 316		
P_A-WR						40	27	19	87	39	-18	-22	13	7				
RS						40	60	60	60	21	3	0	0	7				
S/D						0	7	19	87	0	0	-19	13	0				
I						100	100	100	100	100	100	94	90	90				

P_N = Pluviométrie décadaire normale

P_A = Pluviométrie décadaire actuelle

PET = Evapotranspiration potentielle

KC = Coefficient cultural

WR = PET x KC (Besoins en eau des cultures)

P_A - WR = Différence entre la précipitation actuelle et les besoins en eau

RS = Réserve d'eau utile dans le sol

S/D = Surplus/Déficit

I = L'indice.

E. Analyse de la relation statistique entre la pluviométrie et le rendement

1. Introduction

Le rendement des productions agricoles est largement lié à la pluviométrie. Quand les précipitations sont bien réparties toute l'année, il en résulte un accroissement de la production.

Pour étudier la relation existant entre la pluviométrie et le rendement, on emploie deux méthodes:

-la méthode graphique (diagramme dispersé).

-la méthode de triangle de corrélation.

2. Le diagramme dispersé

Dans un repère on représente le rendement en fonction de la pluviométrie. La répartition des points dans le plan suggère la relation existant entre les deux variables (Figure 13 et 14). La quantité de pluie tombée pendant l'année conditionne la croissance de la plante.

Supposons qu'on est dans une région où il y a deux stations. Cette région étant divisée en deux par une limite administrative. La station 1 se trouve dans la région produisant le sorgho avec une pluviométrie de P_1 mm et une superficie égale à S_1. La station 2 est en dehors de la région 2 de superficie en sorgho égale à S_2. Par contre on connaît la pluviométrie enregistrée à la station 2. On peut alors estimer la quantité de pluie dans la région 2 nécessaire à la croissance du sorgho par la formule

$$P_{sorgho} = \frac{S_1}{S_1 + S_2} \times P_1 + \frac{S_2}{S_1 + S_2} \times P_2$$

Pour cette estimation de la pluviométrie, il nous faut connaître les superficies S_1 et S_2 qui peuvent changer d'année en année. Cette méthode d'estimation aide à avoir de données supplémentaires et permet de déceler certains problèmes qui peuvent exister.

3. Le triangle de corrélation

Le triangle de corrélation est l'un des outils utilisés souvent pour développer les modèles de régression. Il se présente comme suit:

x	x	x	x
	x	x	x
		x	x
			x

Figure 13

GCHASORJCKNB

04-APR-86 19:25 Page 1

GRAPHIQUE DU RENDEMENT DE SORGHO EN FONCTION
DE LA PLUVIOMETRIE CUMULEE DE MAI-SEPT
POUR QUATRE REGIONS DU TCHAD
SANS OBS 2

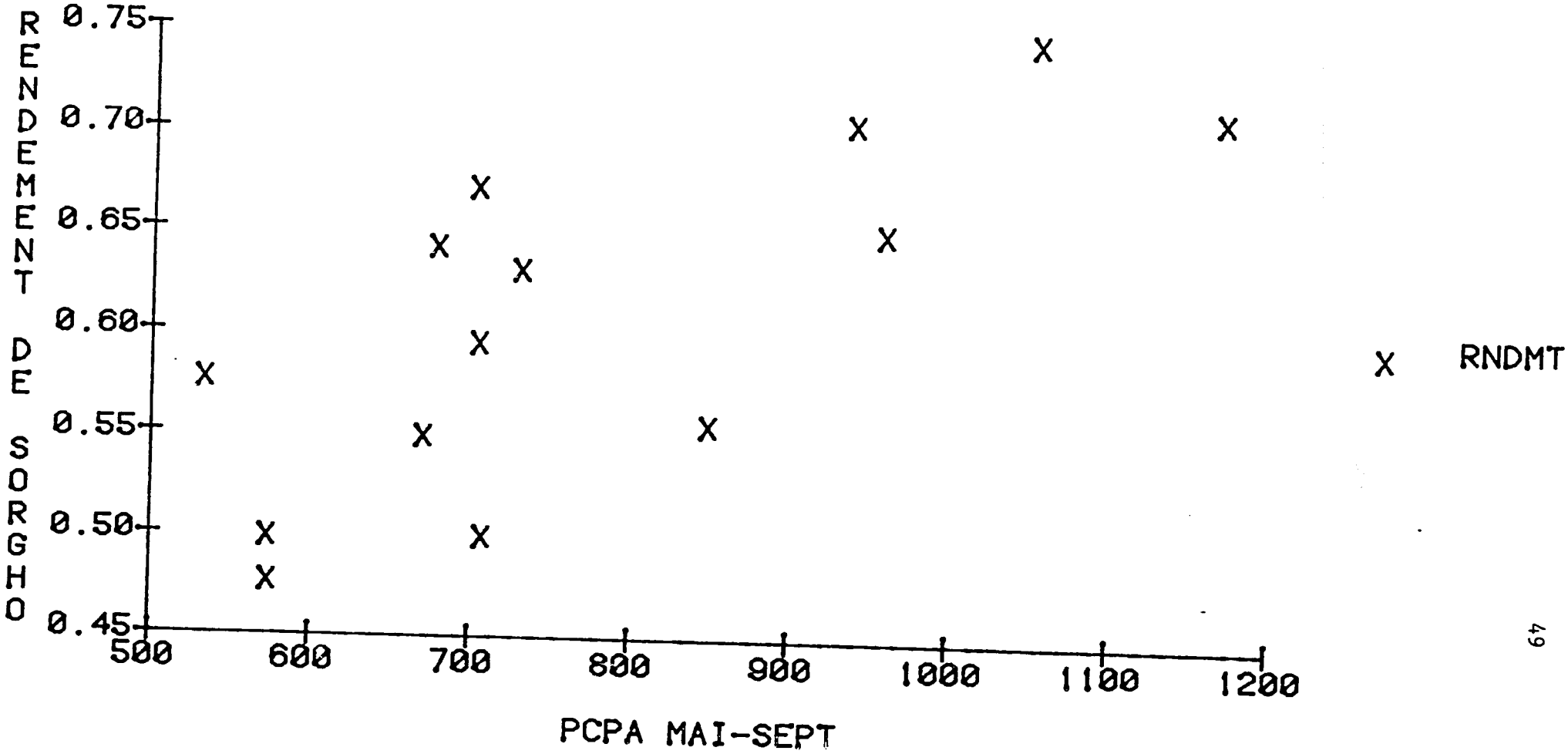
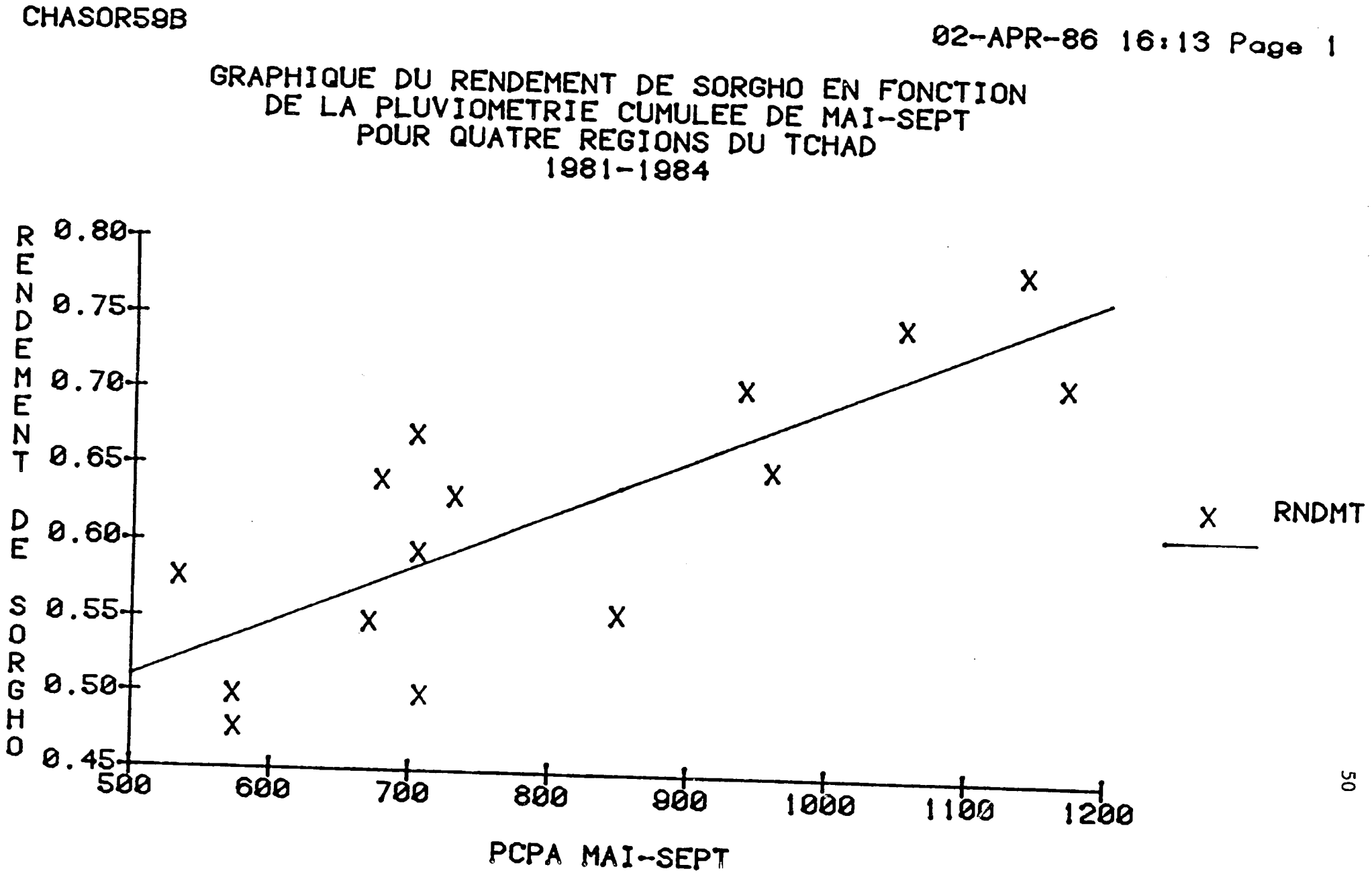


Figure 14


CHASOR59B
02-APR-86 16:13 Page 1
GRAPHIQUE DU RENDEMENT DE SORGHO EN FONCTION
DE LA PLUVIOMETRIE CUMULEE DE MAI-SEPT
POUR QUATRE REGIONS DU TCHAD
1981-1984
RENDEMENT DE SORGHO
0.80
0.75
0.70
0.65
0.60
0.55
0.50
0.45
500
600
700
800
900
1000
1100
1200
PCPA MAI-SEPT
RNDMT

Chaque élément x est un coefficient de corrélation simple. Le coefficient de corrélation mesure la relation linéaire existant entre deux variables X et Y (X = précipitation et Y = rendement) d'un échantillon de taille n, (X_1,Y_1), (X_2,Y_2),....,(X_n,Y_n).

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n} (X_i - \overline{X})(Y_i - \overline{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} (X_1 - \overline{X})^2 \sum_{i=1}^{n} (Y_1 - \overline{Y})^2}}$$

$$-1 \leq r \leq 1$$

R doit être positif si X est la précipitation et Y le rendement. Sinon on doit réexaminer les données, le diagramme de dispersion et les séries temporelles, et même retourner à la source d'information si c'est nécessaire.

		mois terminal			
		mai	juin	juillet	août
mois débutant	mai	a	b	c	d
	juin		e	f	g
	juillet			h	i
	août				j

a = précipitation mai

b = précipitation mai + précipitation juin

i = précipitation juillet + précipitation août

La variable prédicatrice des rendements est la pluviométrie. Le mouvement de tendance indique le comportement de la courbe. Les causes influençant la tendance sont:

-l'amélioration des technologies,

-l'emploi de fumures et des variétés améliorées, et

-l'augmentation de la population, les insectes, les ravageurs, la maladie.

Si la tendance est négative, il faut chercher les causes.

4. La régression suivant la méthode de jackknife et bootstrap

Méthode de jackknife

Supposons qu'on ait une série temporelle sur 10 ans: 1970, 1971,...., 1980. On omet une année et on calcule le coefficient de régression $\hat{a}$ et $\hat{b}$. Utilisant $\hat{a}$, $\hat{b}$ et X_i pour l'année qui a été omise, on a une estimation de y par la formule

$$\hat{Y}_i = \hat{a} + \hat{b}X_i.$$

Cette valeur est comparée à la valeur observée et ensuite on calcule la différence $Y_i - \hat{Y}_i$. Le même processus continue en omettant la deuxième année, la troisième année etc. On pourra alors construire un tableau avec les variables suivantes:

$$\hat{a},\ \hat{b},\ \hat{Y},\ Y,\ Y - \hat{Y},\ (Y - \hat{Y})^2$$

L'intérêt est que si la régression est adaptée, les coefficients $\hat{a}$ et $\hat{b}$ doivent être proches les uns des autres, et $(Y - \hat{Y})^2$ ne doit pas être très grand.

Test de bootstrap

Cette méthode demande qu'on ait des données assez nombreuses, 15 à 20 ans d'observations. Elle est similaire à celle de jackknife dans les omissions des années pour l'estimation des coefficients. Considerons la série s'étalant de 1970 à 1985. Tester le modèle consiste à omettre les cinq dernières années, 1981 à 1985. On procède à la régression des données allant de 1970 à 1980. On estime les coefficients $\hat{a}$ et $\hat{b}$ permettant d'estimer les valeurs de 1981. Ensuite on inclut 1981, on refait la régression pour estimer les coefficients et estimer $\hat{Y}_{1982}$. On continue ce procédé jusqu'en 1985.

L'intervalle de confiance pour la nouvelle observation (Y_{1986}, X_{1986}) est:

$$X_{1986} \times \hat{b} \pm \hat{\sigma}_{n-p} \times \sqrt{X'_{1986}\,(X'X)^{-1}\,X_{1986}}$$

Pour la régression simple linéaire, on a:

$$\bar{Y} + \hat{b}\,(X_{1986} - \bar{x}) \pm \hat{\sigma} t_{n-2} \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(\bar{x} - X_{1986})^2}{\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - n\bar{x}^2}}$$

où $X_{1986} = \begin{pmatrix} 1 \\ X_{1986} \end{pmatrix}$ et $\hat{b} = \begin{pmatrix} \hat{a} \\ \hat{b} \end{pmatrix}$.

$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n-p} \sum_{i=1}^{n} (Yi - \hat{Y}i)^2}$, n - p étant le degré de liberté où

n = le nombre de lignes

p = le nombre de colonnes, et

t_{n-2} se trouvant dans la table de Student.

Il faut noter qu'on ne peut donner un exemple chiffré pour le cas du Tchad parce que les données sur les cultures ne concernent que quatre années; ceci est insuffisant pour pouvoir faire de prévision.

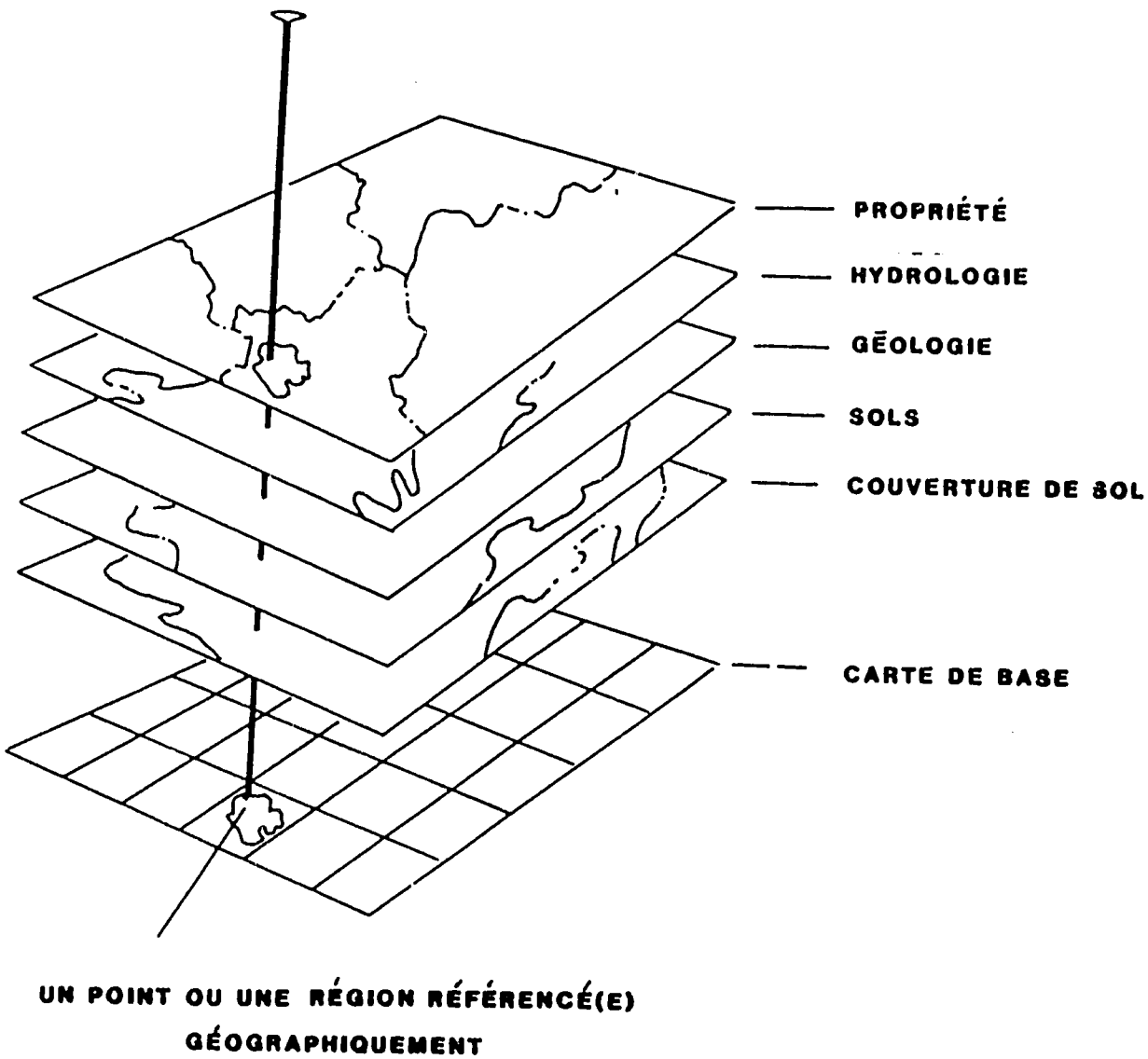
F. Approches de la description et de l'analyse de l'état des cultures et des pâturages à l'aide du Système d'Information Géographique (GIS)

Un Système d'Information Géographique peut être conçu comme un système uniquement manuel ou bien être informatisé. Il doit permettre d'acquérir, d'organiser, d'analyser statistiquement et de montrer plusieurs types d'informations spatiales qui sont cartographiées à la même échelle et selon la même projection. La Figure 15 illustre la structure conceptuelle d'un tel système.

La superposition manuelle préconisée par le CIAD appelée aussi "technique de la table lumineuse" du Système d'Information Géographique (GIS) consiste d'abord dans la préparation de l'information sur des fonds de carte et ensuite dans la superposiiton manuelle des "couches" élémentaires qui sont les composantes relatives à chaque type de données GIS. Une liste des informations à inclure dans

Figure 15

Structure conceptuelle d'un Système d'Information Geographique (GIS)



Un GIS peut être visualisé comme une carte de base accompagnée par plusieurs recouvertes enregistrées. Pour n'importe quel point ou n'importe quelle région, les données de ressource peuvent être analysées.

un tel système pour une évaluation agroclimatique est suggérée dans la Figure 16 qui servira égalament à un printage de vérification. Ces informations comprennent les images satellitaires AVHRR, les estimations pluviométriques basées sur l'analyse des données de précipitation et sur celle des images satellitaires, la répartition spatiale et temporelle des indices de végétation évalués à partir des données des satellites, des données pluviométriques décadaires et mensuelles enregistrées dans les postes pluviométriques, les résultats de divers modèles d'indice agroclimatique et de l'information événementielle.

Une version simplifiée de la procédure GIS est montrée à la Figure 17 qui illustre les résultats d'une évaluation spéciale d'une situation au Mali en 1984. Les principales informations utilisées sont aussi montrées. Des évaluations similaires ont été faites pour le Soudan où on a considéré la densité de la population comme une information additionnelle complémentaire dans la procédure GIS. Ainsi dans le cas du Soudan, les problèmes liés à la sécheresse ont été analysés en terme d'impact sur la population des régions affectées.

Le technique GIS de "la table lumineuse" peut être utilisée pour vérifier des problèmes identifiés au cours de la procédure d'évaluation ou encore pour identifier des problèmes potentiels qui pourront être vérifiés avec d'autres données disponibles par ailleurs. L'avantage principal de la technique GIS est d'intégrer les données dans un contexte spatial. Cette approche, cependant, ne peut pas être faite seule; elle complète l'analyse classique des données de l'environnement disponibles.

FIGURE 16

COMPILATION DES COMPOSANTES DU MANUEL GIS

Liste de Vérification

Manuel des Ressources

_____ Carte des Régions Administratives

_____ Calendrier Cultural

_____ Réseau de Station

_____ Pluviométrie Mensuelle Normale

_____ Histogrammes de la Pluviométrie

_____ Cartes de Surfaces Utilisables

_____ Régions de Production Agricole

_____ Statistiques Historiques des Cultures

_____ Autre (_____)

Données Pluviométriques

_____ Pluviométrie Décadaire Actuelle

_____ Pluviométrie Mensuelle Actuelle

_____ Pluviométrie Mensuelle Cumulative

Indices des Conditions Culturales

_____ Indice Décadaire du Bilan Hydrique

_____ Autre (_____)

Figure 16 (cont.)

Modèles Régionaux des Récoltes

_____ Mil

_____ Sorgho

_____ Mais

_____ Arachides

_____ Niébés

_____ Coton

_____ Autre (_____)

_____ Autre (_____)

_____ Autre (_____)

Imagerie Satellitaire de NOAA

_____ Image Composite Actuelle

_____ Images Composites Précédantes

Données de l'Indice Normalisé de Végétation (NVI)

_____ Séries Statistiques Hebdomadaires Lissées (Série Chronologique)

_____ Carte Hebdomadaire Régionale de NVI

_____ Carte Hebdomadaire Nationale de NVI

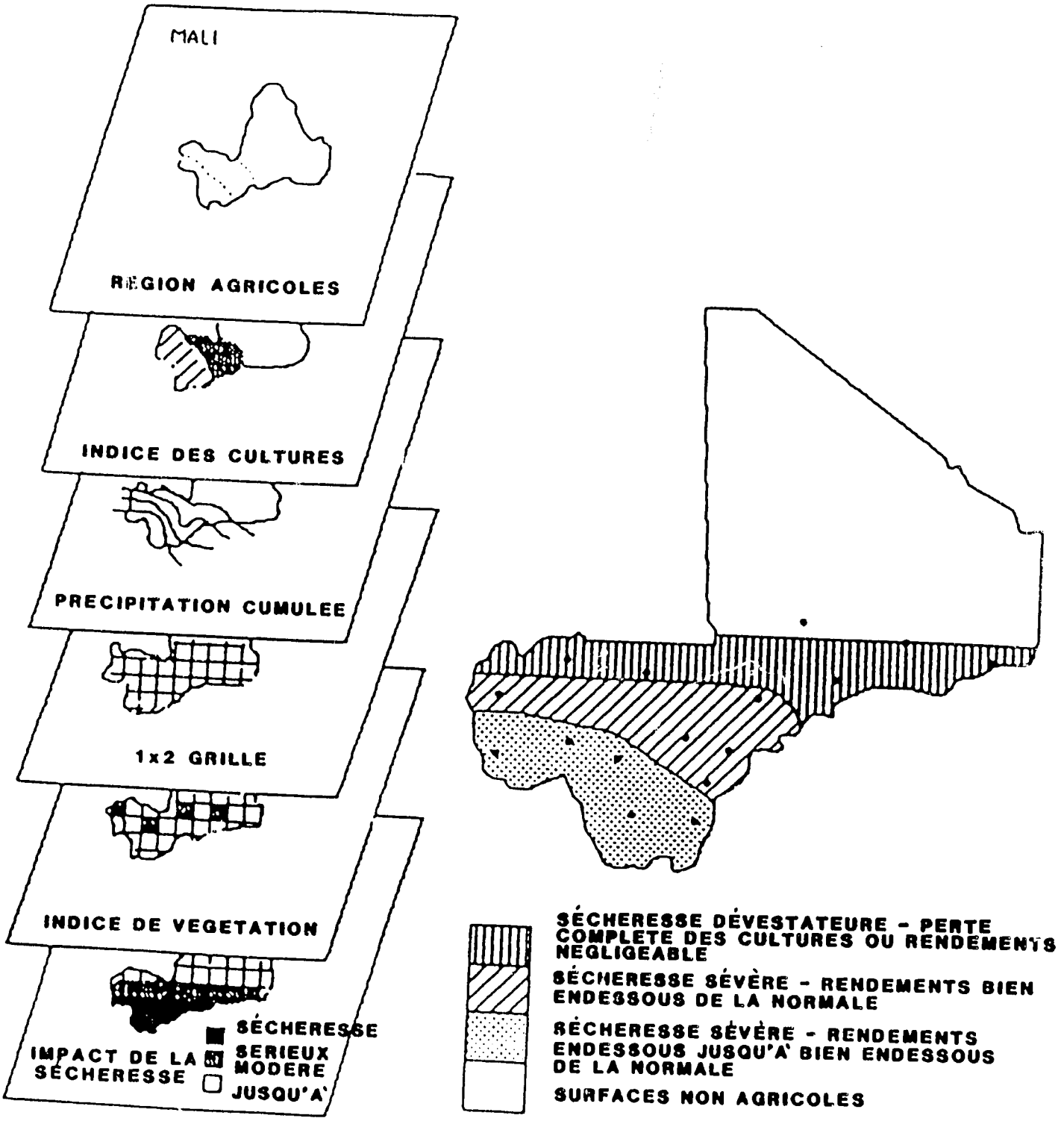
Autres Données

_____ Données des Evénements Episodiques

_____ Autres Données Ancillaires

Figure 17

GIS: MALI (SAHEL)



III. EVALUATION DE LA CAMPAGNE AGRICOLE DE 1985

A. Vue générale

La campagne agricole 1985-1986 a commencé au sud du pays (extrême sud) en début de mai englobant les préfectures du Mayo Kebbi, de Moyen Chari, la Tandjile et les deux Logones. Dans les autres régions elle n'a démarré qu'en juin. Les pluies de juillet et d'août ont contribué d'une manière assez efficace à l'amélioration des conditions de cultures et de pâturages dans l'ensemble des zones de production. Les perspectives de bonne production sont optimistes. Cependant les variations temporelles et spatiales de la pluviométrie, typiquement sahéliennes, ont occasionné un constat de quelques poches dans la région du Kanem (région autour de Mao et Moussoro) dans l'est du Lac, une partie du Chari Baguirmi (le centre sud et est) et la région nord d'Abéché (sud Biltine). A l'exception des secteurs cités enregistrant une faible pluviométrie (moins de 65% de la normale), jusqu'en fin septembre la situation pluviométrique est assez bonne sur le reste du pays (cumul pluviométrique supérieur à 75% de la normale). Les conditions de parcours dans le sud de Biltine, le centre sud de la Batha et le sud d'Abéché sont bien meilleurs que celles de 1983 et 1984 (Figures 18 et 19).

B. Végétation et biomasse

La situation de la végétation de la campagne agricole au sud du 15ème parallèle est meilleure à égale en 1985 qu'en 1983, année considerée comme moyennement assez bonne à l'exception de quelques poches dans le centre sud est, l'est du Lac, le nord du Kanem, de Batha et le nord de Biltine. L'analyse détaillée des images satellaires (NOAA-AISC) et les indices de végétation/biomasse de maille en maille montre que les aires de parcours ont une biomasse assez satisfaisante pour les troupeaux. Les régions du sud de Biltine, du centre sud de Batha (mailles E19, E20, F19 et F20) en Figure 18 ont bénéficié des conditions favorables en matière de végétation. D'une manière générale, par

Figure 18

TCHAD

CARTE DE REPARTITION D'INDICE NORMALISE DE VEGETION/BIOMASSE DE NOAA AVEC AVHRR

DEUXIEME SEMAINE D'AOUT

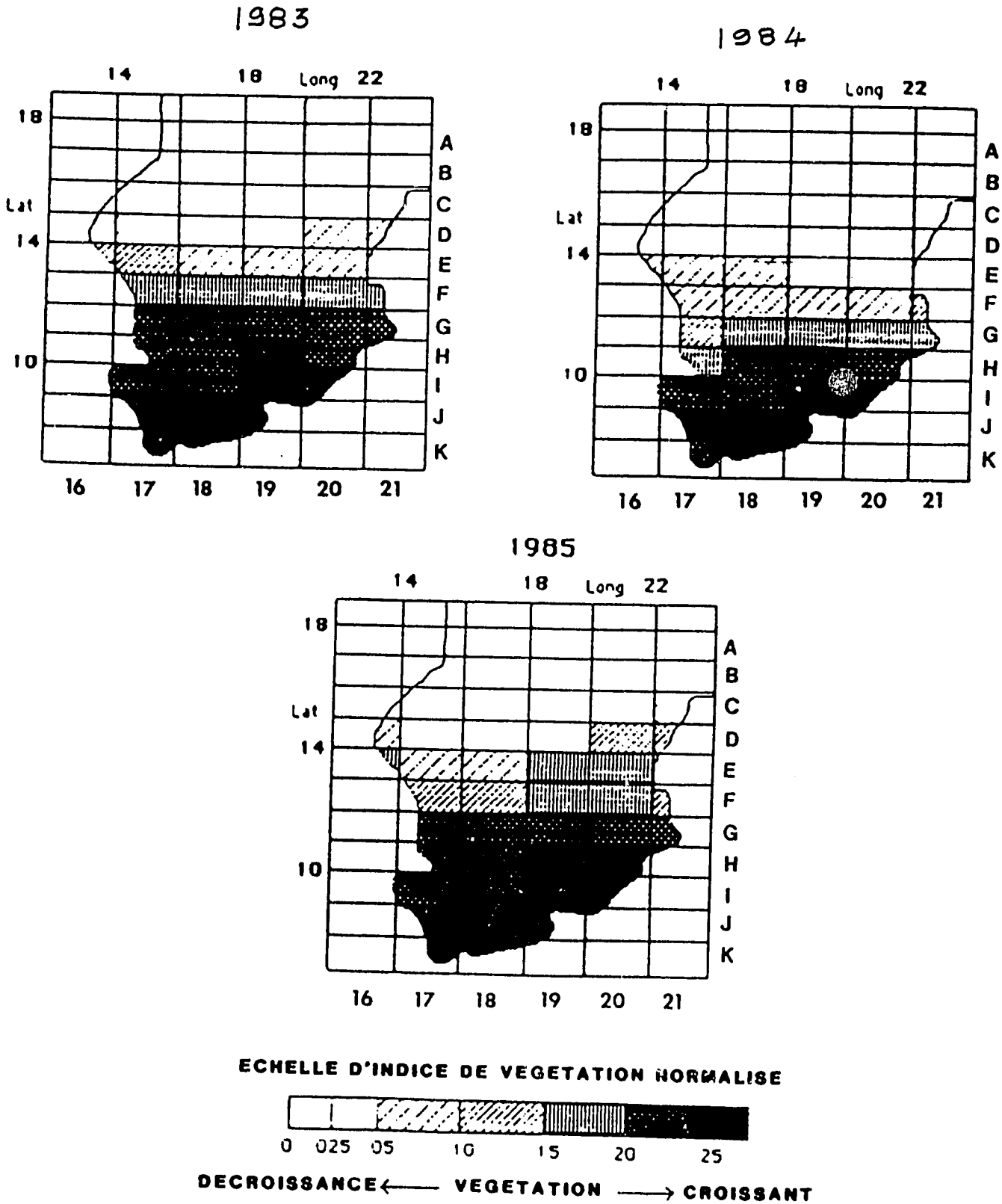
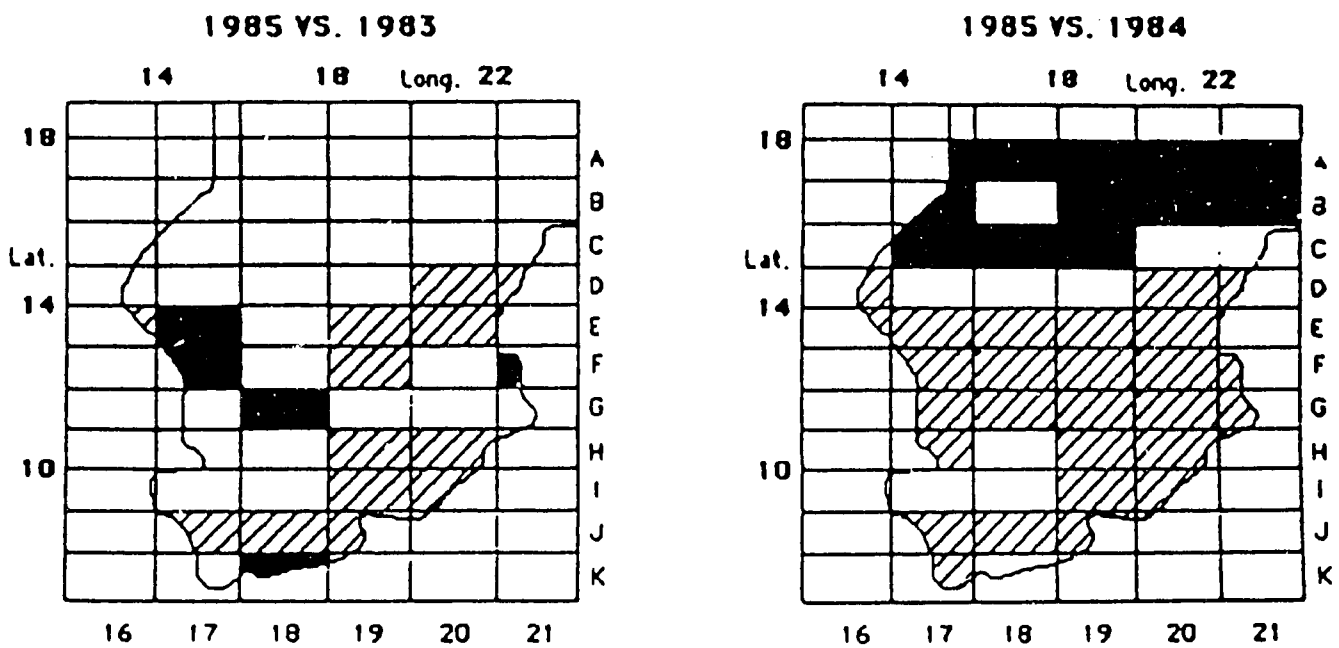


Figure 19

TCHAD

COMPARAISON INDICE NORMALE VEGETATION BIOMASS AVEC DONNEES AVHRR

DEUXIEME SEMAINE AOÛT



1985 MOINS VERT QUE L'ANNÉE PRECEDANTE

PAS DE DIFFERENCE SIGNIFICATIVE

1985 PLUS VERT QUE L'ANNÉE PRÉCÉDANTE

rapport à 1984 la végétation de 1985 est meilleure en dessous du 14ème parallèle et plus particulièrement dans la préfecture de Mongo, le sud de Ati et d'Abéché. Entre le 14ème et le 16ème parallèle la situation est intermédiaire (Figure 19).

C. Conditions des cultures

Les précipitations enregistrées durant la campagne indiquent que les conditions sont favorables. Selon la répartition spatiale de l'indice de la FAO en Figure 20, les rendements pour 1985 sont bons dans l'ensemble des secteurs de production en dessous du 13ème parallèle. Les récoltes d'arachide, de maïs, de mil et de sorgho semés en mai dans la zone soudanienne ont bénéficié des pluies assez suffisantes pendant les périodes critiques de leur croissance de juillet - août et par conséquent devraient être en bon état végétatif.

Au nord où les cultures ont démarré un peu tard (en juin) les plantes devraient arriver avec des conditions non favorables. Néamoins les résultats semblent prometteurs. L'analyse des graphiques de NVI en Figures 18 et 19 nous conduit aux estimations quant aux rendements du sorgho, mil et arachide dans le Tableau 4.

D. Situation pluviométrique

La saison des pluies de 1985 est caractérisée par un début assez tardif et une répartition pluviométrique temporelle et spatiale non homogène. C'est ce qui ressort de la carte d'indice de végétation normalisé de mois d'août (Figure 18) et de la carte des isohyètes en Figure 21. Les régions situées à l'est (Salamat) et au sud (Moyen Chari et les deux Logones) du pays ont été mieux arrosées. Malgré cette variabilité temporo-spatiale, typiquement sahélienne, l'année 1985 peut être considerée comme une année bonne.

Tableau 4

Estimations des rendement avec l'emploi des NVI

Préfectures	Millet(kg/h)	Sorgho(kg/h)	Arachide(kg/h)
MAYO KEBBI	580 - 810	595 - 850	835 - 1060
MOYEN CHARI	700 - 810	750 - 850	835 - 1060
LOGONE ORIENTALE	Idem	Idem	Idem
LOGONE OCCID.	Idem	Idem	Idem
TANDJILE	Idem	Idem	Idem
SALAMAT	500 - 700	595 - 750	Idem
OUADDAI	460 - 580	440 - 595	610 - 835
BATHA	Idem	Idem	Idem
GUERA	Idem	Idem	Idem
LAC	260 - 460	180 - 440	400 - 610
KANEM	Idem	Idem	Idem
MOYEN CHARI	580 - 700	595 - 750	835 - 1060

kg/h: kilogramme par hectare

Figure 20

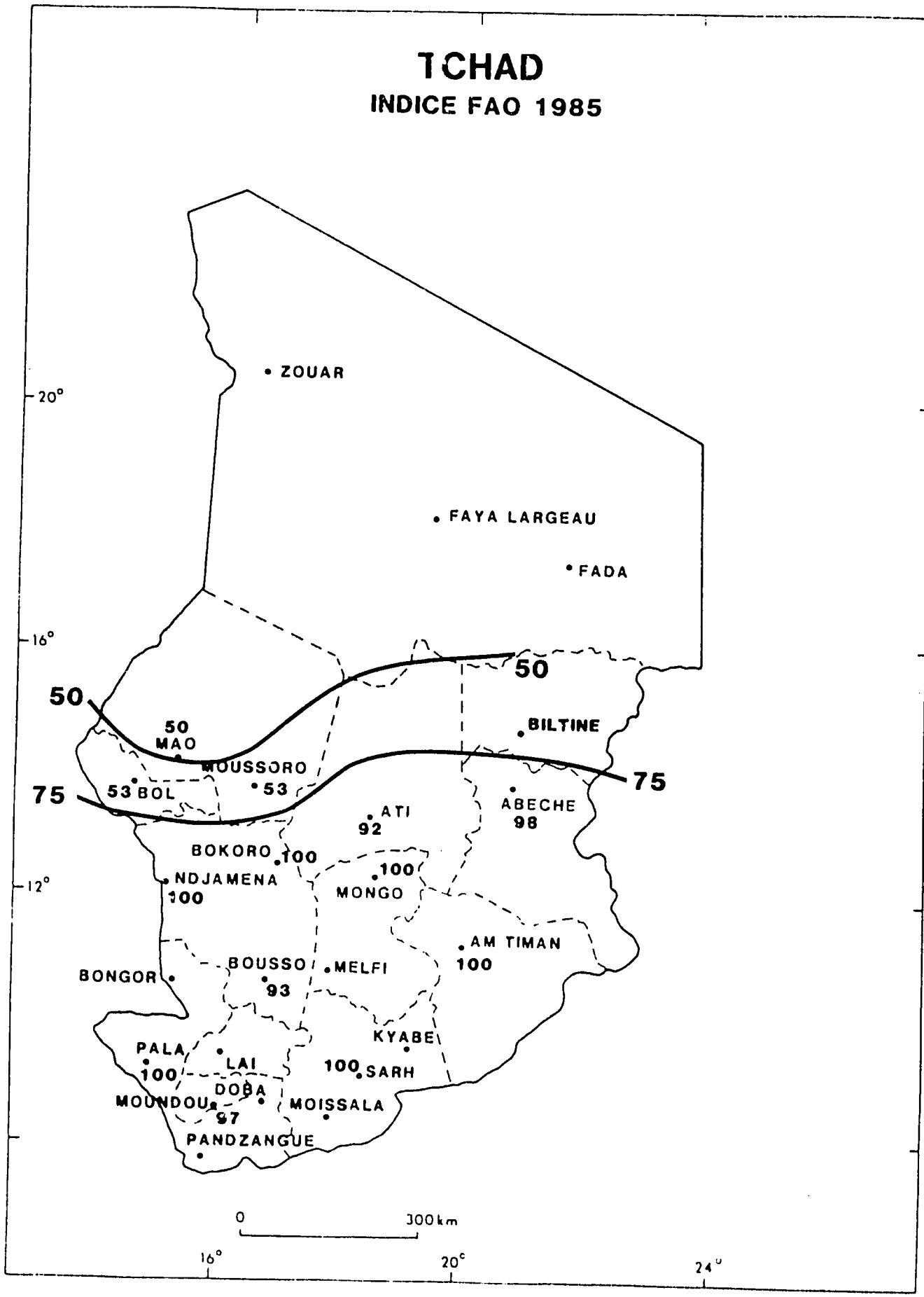
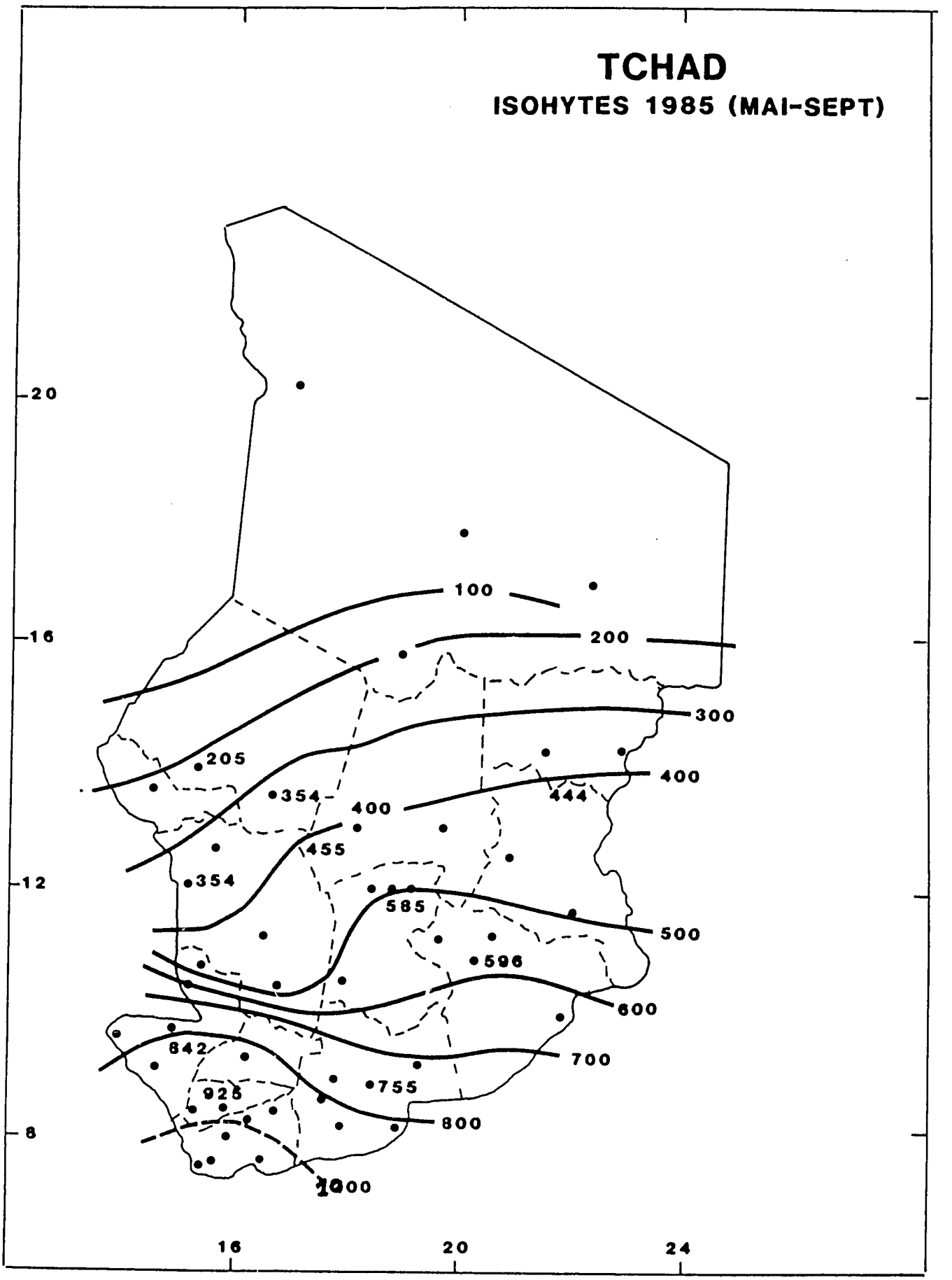

TCHAD
INDICE FAO 1985
ZOUAR
FAYA LARGEAU
FADA
BILTINE
50
50
75
75
50
MAO
MOUSSORO
53
53 BOL
ATI
92
ABECHE
98
BOKORO
100
NDJAMENA
100
100
MONGO
AM TIMAN
100
BOUSSO
93
MELFI
BONGOR
KYABE
PALA
100
LAI
100
SARH
DOBA
MOUNDOU
97
MOISSALA
PANDZANGUE
20°
16°
12°
0
300 km
16°
20°
24°

Figure 21


TCHAD
ISOHYTES 1985 (MAI-SEPT)
20
16
12
8
16
20
24
100
200
300
400
500
600
700
800
1000
205
354
400
455
354
585
596
444
842
928
755

IV. ANNEXES

ANNEXE A

Le Groupe de Travail Pluridisciplinaire (G.T.P.)

1. Introduction

Le Groupe de Travail Pluridisciplinaire (G.T.P.) au Tchad est crée par arrêté ministériel conformément au voeu des pays du CILSS suite à la sécheresse de ces dernières années qui a affecté les pays du Sahel. Dans le souci d'avoir des informations et des indicateurs d'alerte pour les décideurs nationaux et internationaux, un certain nombre de tâches est exigé au groupe dans le temps et l'espace a fin d'apprécier la situation météorologique et agricole du pays.

Le G.T.P. est composé de 21 membres qui se réunissent tous les 3, 13 et 23 des mois. Un groupe restreint se réunit immédiatement et rédige le bulletin décadaire qui est publié, dans les 24 heures qui suivent, pour les différents consommateurs (environ 150). Le group restreint de rédaction du bulletin comprend:

-l'Agriculture

-la Statistique Agricole

-l'ASECNA

-l'AGRO-METEOROLOGIE

-le projet AGRHYMET.

Le président du G.T.P., Directeur de la Météorologie Nationale, fait partie de la cellule.

Depuis la création de ce groupe de travail, il marche tant bien que mal eu égard aux problèmes matériels et humains. Certains membres de G.T.P. tels que la Statistique Agricole, dont la contribution n'est pas la moindre pour le suivi des cultures et la prévision des rendements, sont complètement démunis avec les événements qu'a connus le pays.

Les problèmes auxquels cet outil de travail est confronté au Tchad concernent presque tous les membres du G.T.P. dus à la situation de l'après guerre,

mais nous insisterons ici plus particulièrement sur les besoins de la Direction des Ressources en Eau et de la Météorologie, et la Division de la Statistique Agricole.

2. Les besoins de la Direction des Ressources en Eau et de la Météorologie (DREM)

-Moyens de télécommunication: La DREM ne dispose d'aucun moyen sur le terrain. La réception de quatre (4) BLU plus des groupes électrogènes pour les stations de Bol, Bokoro, Am-Timan et Guelendeng débloquerait pour quelque peu la situation mais cela n'est pas toujours suffisant en regard de l'étendue du territoire.

-Moyens de déplacement: Les moyens de déplacement sont très limités. Des quatre (4) véhicules tout terrain du projet AGRHYMET, deux (2) véhicules sont maintenant amortis et ne peuvent plus faire le terrain.

-Les matériels de travail et le local: Les matériels de travail sont dérisoires et les travaux se font à la main avec quelques rares calculatrices de poches. Le local, restreint, n'arrive plus à contenir les agents. Le micro-ordinateur déjà acquis et réceptionné par le Centre AGRHYMET à Niamey n'est pas arrivé à Ndjamena bien que le local est disponible.

-Pose des carrés de rendement: La pose des carrés de rendement, prévue pour la deuxième phase de projet n'a pas vu le jour pour cause de manque des moyens de déplacement et la prise en charge des enquêteurs.

3. Les besoins de la Division de la Statistique Agricole

Comme signalé précédemment, la contribution de la statistique agricole à l'amélioration du système d'information est indiscutable. Pour apprécier son impact, un recul dans le temps s'avère nécessaire.

Avant 1979: Avant cette date la statistique agricole était un Service centralisé jusqu'en 1974, mais la nécessité de le décentraliser s'était fait sentir. C'est ainsi que neuf antennes étaient créées à partir de 1976 dans la

zone soudanienne à la tête desquelles étaient placés des responsables d'antennes provinciales aidés par des enquêteurs pour la collecte des informations qui sont envoyées au Bureau Central pour le traitement. Les traitements aboutissent à une publication trimestrielle de bulletins de la statistique agricole. Pour ce, le Service disposait d'une unité de traitement automatique qui accroissait la vitesse de ce traitement. Le Bureau Central disposait des moyens de déplacement suffisants (une quinzaine de véhicules) et des matériels de travail de terrain.

Après les événements: Avec les événements qu'a connus le pays, tous les outils de travail acquis au prix d'effort financier considérable tant du côté du gouvernement tchadien que du côté des organismes (FAO, PNUD, USAID) sont totalement détruits. D'où, pour réhabiliter ce service pour lui faire jouer son rôle d'antan, des besoins pressants envisagés se résument en ce qui suit:

-Réouverture des anciennes antennes régionales de la zone sud: Il faut réhabiliter les antennes de la zone sud et y affecter des agents avec des moyens nécessaires (moyens de déplacement et matériel de travail).

-Création des nouvelles antennes dans la zone sahélienne: Six (6) antennes étaient prévues dans la zone sahélienne en plus des neufs (9) existants déjà dans la zone soudanienne. Un effort doit être fait pour créer donc ces antennes.

-Besoin en local: Le manque cruel de local au Bureau Central entrave le bon déroulement de travail. Remédier à cette situation reviendrait à "retaper" les anciens bureaux détruits pour cause de guerre.

4. Recommandations

Si tout ce préalable de problèmes est résolu, tant au niveau de la Direction des Ressources en Eau et de la Météorologie qu'au niveau de la Statistique Agricole, le Groupe de Travail Pluridisciplinaire atteindrait le but qui lui est assigné.

Nous pensons qu'à l'issue de ce séminaire-formation, combien important pour les pays sahéliens et en particulier le Tchad, les modèles et méthodes de travail proposés par la NOAA ont acquis notre entier agrément.

Nous recommandons en conséquence pour la campagne agricole 1986-87 qui commence:

-Que les imageries satellitaires de la NOAA (AVHRR) et les NVI (avec tous les supports) parviennent régulièrement au G.T.P. pour l'évaluation continue des cultures et des parcours.

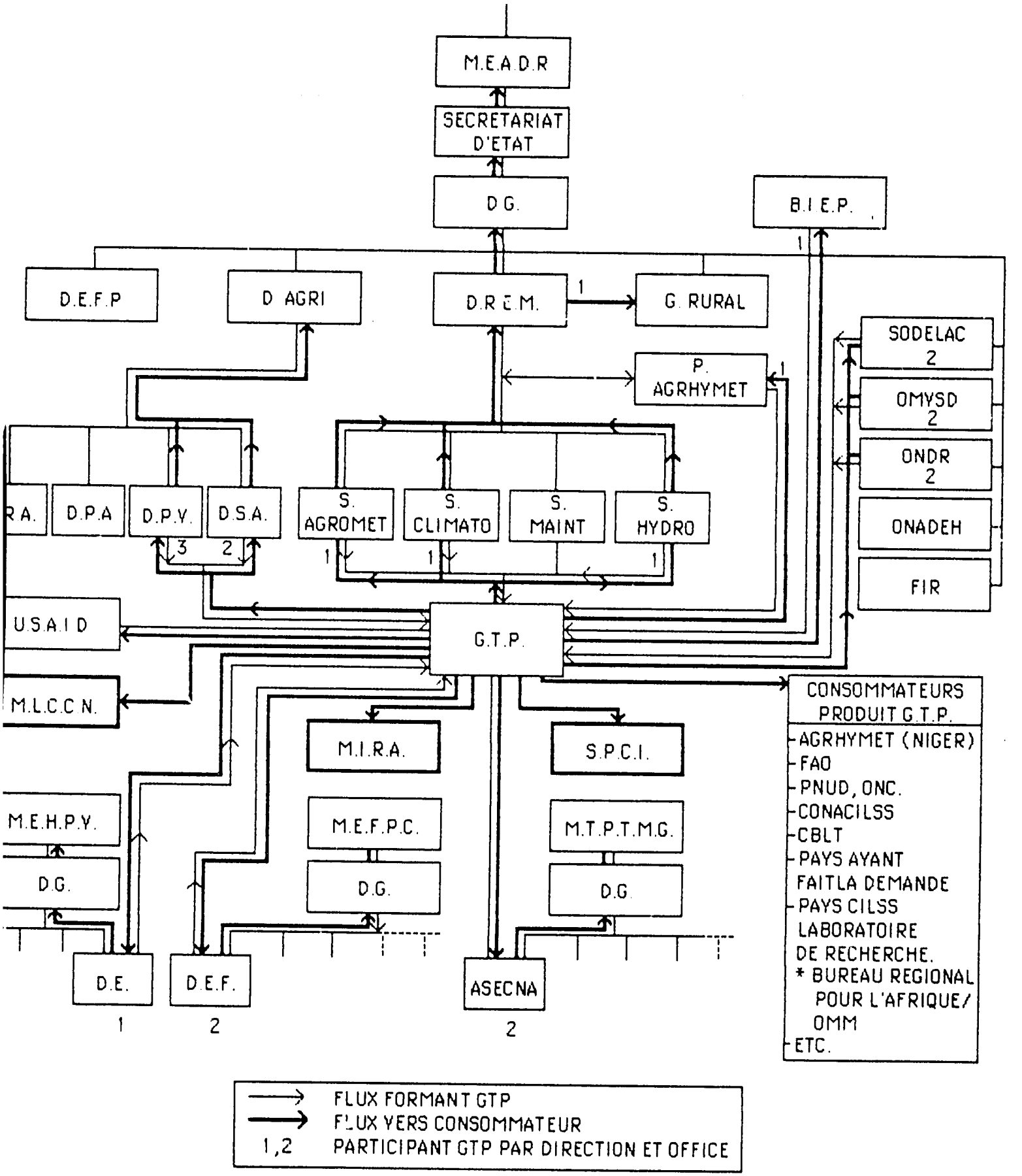
-Que la NOAA se penche sérieusement sur le cas particulier du Tchad dans un avenir très proche pour une bonne prestation dans le développement agro-pastoral, secteur clé de l'économie nationale.

-Qu'un protocole de formation soit conclu avec le Gouvernement pour vulgariser la méthode NOAA aux agents des services intéressés par le développement agro-pastoral.

L'organigramme schématisant la formation du Groupe de Travail Pluridisciplinaire (G.T.P.) et les consommateurs de ses produits est ci-joint (Figure 22) aussi bien qu'un organigramme indiquant les positions des deux professionnels qui ont assisté à ce séminaire-formation (Figure 23).

Figure 22

L'organigramme du G.T.P. au Tchad



Signification des abréviations dans l'organigramme

M.E.A.D.R.: MINISTERE D'ETAT A L'AGRICULTURE ET AU DEVELOPPEMENT RURAL

D.G.: DIRECTION GENERALE

B.I.E.P.: BUREAU INTERMINISTERIEL D'ETUDE ET DE PROGRAMMATION

D.E.F.P.: DIRECTION DE L'ENSEIGNEMENT ET LA FORMATION PROFESSIONNELLE

D. AGRI: DIRECTION DE L'AGRICULTURE

D.R.E.M.: DIRECTION DES RESSOURCES EN EAU ET DE LA METEOROLOGIE

G. RURAL: DIRECTION DU GENIE RURAL

SODELAC: SOCIETE DU DEVELOPPEMENT DU LAC

O.M.V.S.D.: OFFICE DE MISE EN VALEUR DE SATEGUIDERESSIA

O.N.D.R.: OFFICE NATIONAL DE DEVELOPPEMENT RURAL

O.N.A.D.E.H.: OFFICE NATIONAL DE DEVELOPPEMENT DE L'HORTICULTURE

F.I.R.: FONDS D'INTERVENTION RURAL

P. AGRHYMET: PROJET AGRHYMET

D.R.A.: DIVISION DE RECHERCHE AGRONOMIQUE

D.P.A.: DIVISION DE LA PRODUCTION AGRICOLE

D.P.V.: DIVISION DE LA PROTECTION DES VEGETAUX

D.S.A.: DIVISION DE LA STATISTIQUE AGRICOLE

S. AGROMET: SERVICE AGROMETEOROLOGIQUE

S. CLIMATO: SERVICE CLIMATOLOGIQUE

S. MAINT: SERVICE MAINTENANCE

S. HYDRO: SERVICE HYDROLOGIQUE

U.S.A.I.D.: AGENCE AMERICAINE POUR LE DEVELOPPEMENT INTERNATIONAL (UNITED STATES AGENCY INTERNATIONAL DEVELOPPMENT)

G.T.P.: GROUPE DE TRAVAIL PLURIDISCIPLINAIRE

M.L.C.C.N.: MINISTERE DE LA LUTTE CONTRE LES CALAMITES NATURELLES

M.I.R.A.: MINISTERE DE L'INTERIEUR ET DE LA REFORME ADMINISTRATIVE

S.P.C.I.: SECRETARIAT A LA PRESIDENCE CHARGE DE L'INFORMATION

M.E.H.P.V.: MINISTERE DE L'ELEVAGE DE L'HYDROLIQUE PASTORALE ET VILLA GECISE

M.E.F.T.A.: MINISTERE DES EAUX ET FORETS DU TOURISME ET DE L'ARTISANAT

M.T.P.T.M.G.: MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS, DES TRANSPORTS, MINE ET GEOLOGIE

D.E.: DIRECTION DE L'ELEVAGE

D.E.F.: DIRECTION DES EAUX ET FORETS

ASECNA: AGENCE POUR LA SECURITE DE LA NAVIGATION EN AFRIQUE ET AU MADAGASCAR

ONG: ORGANISME NON GOUVERNEMENTAL

BUREAU REGIONAL POUR L'AFRIQUE/OMM

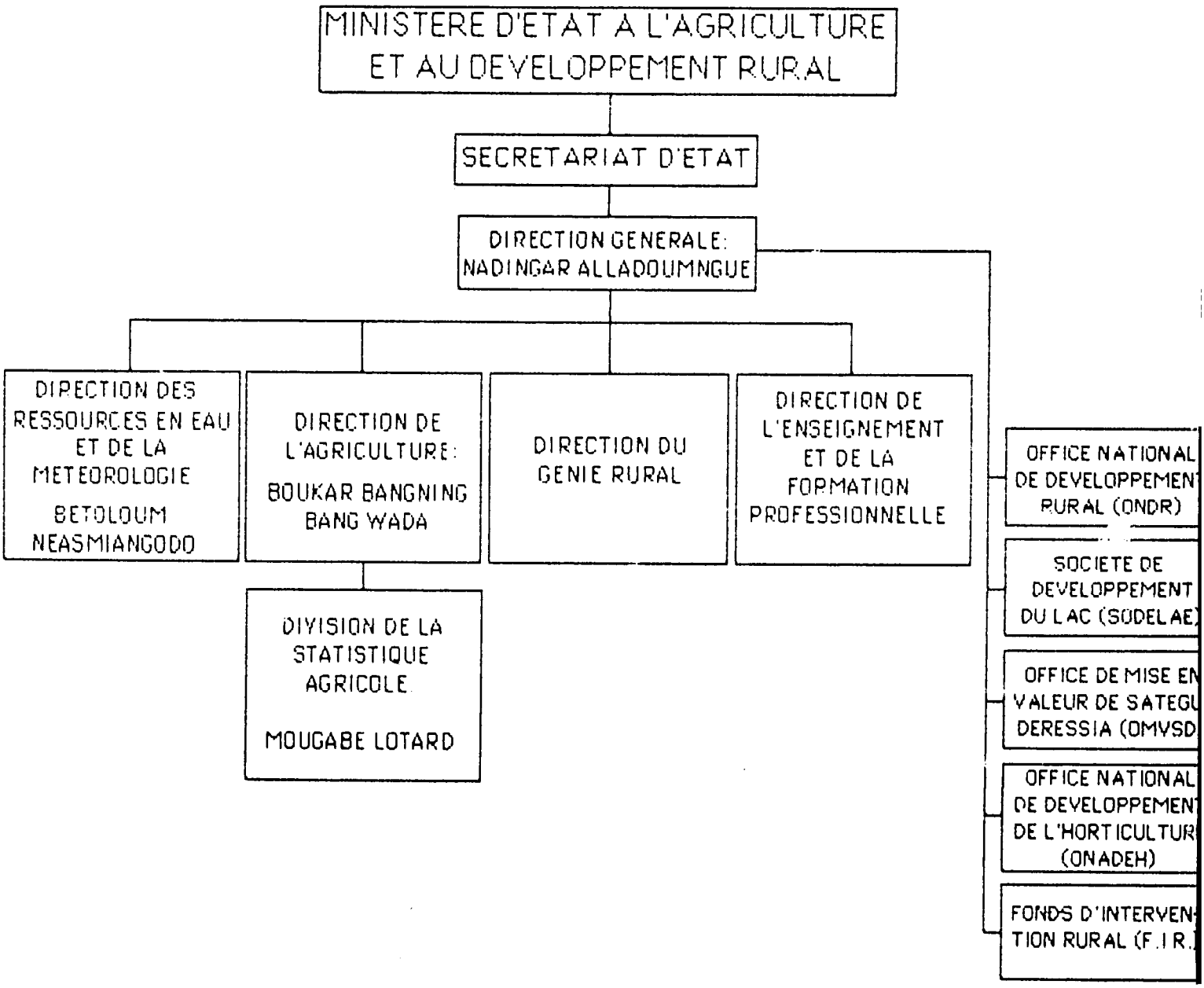
C.C.C.: CAISSE CENTRALE DE COOPERATION

CONACILSS: COMITE NATIONAL DU CILSS

CILSS: COMITE INTERETAT DE LUTTE CONTRE LA SECHERESSE DANS LE SAHEL

Figure 23

Organigramme de l'Agriculture et le Développement Rural



ANNEXE B

Données agricoles de Tchad

Country: Chad Region: National Source: Government/NORD Crop: Millet

Year	Area (Hectares)	Production (Tonnes)	Yield (Ton/Hec)
1974	———	77800	———
1975	———	89400	———
1976	———	79700	———
1977	———	68700	———
1978	———	66500	———
1979	———	67300	———
1980	———	77500	———
1981	———	65800	———
1982	———	76500	———
1983	129682	73493	0.5670
1984	164302	87776	0.5340

Country: Chad Region: Logone Occident Source: Government/NORD Crop: Millet

1976	17952	8106	0.4520
1977	———	———	———
1978	———	———	———
1979	———	12400	———
1980	———	12000	———
1981	14460	8553	0.5920
1982	17458	10861	0.6220
1983	16765	8445	0.5040
1984	21756	10660	0.4900

Country: Chad Region: Logone Oriental Source: Government/NORD Crop: Millet

1976	29631	18588	0.6270
1977	———	———	———
1978	———	———	———
1979	———	16200	———
1980	———	14044	———
1981	20307	12044	0.5930
1982	23052	15322	0.6650
1983	19470	12449	0.6390
1984	24037	16544	0.6880

CHAD CROP DATA

Country: Chad Region: Mayo Kebbi Source: Government/NORD Crop: Millet

Year	Area (Hectares)	Production (Tonnes)	Yield (Ton/Hec)
1976	41190	17537	0.4260
1977	———	———	——.——
1978	———	———	——.——
1979	———	5700	——.——
1980	———	16200	——.——
1981	18241	10308	0.5650
1982	17586	8636	0.4910
1983	29913	16827	0.5630
1984	37436	18406	0.4920

Country: Chad Region: Moyen Chari Source: Government/NORD Crop: Millet

Year	Area (Hectares)	Production (Tonnes)	Yield (Ton/Hec)
1976	49330	24421	0.4950
1977	———	———	——.——
1978	———	———	——.——
1979	———	24100	——.——
1980	———	24000	——.——
1981	39544	23668	0.5990
1982	48695	31415	0.6450
1983	41269	25817	0.6260
1984	51712	28868	0.5580

Country: Chad Region: Tandjile Source: Government/NORD Crop: Millet

Year	Area (Hectares)	Production (Tonnes)	Yield (Ton/Hec)
1976	24216	10394	0.4290
1977	———	———	——.——
1978	———	———	——.——
1979	———	8900	——.——
1980	———	11300	——.——
1981	17899	11176	0.6240
1982	22642	10237	0.4520
1983	22267	9955	0.4470
1984	29361	13298	0.4530

CHAD CROP DATA

Country: Chad Region: National Source: Government/NORD Crop: Sorghum

Year	Area (Hectares)	Production (Tonnes)	Yield (Ton/Hec)
1974	_____	216000	____.____
1975	_____	253900	____.____
1976	_____	247100	____.____
1977	_____	217500	____.____
1978	_____	206600	____.____
1979	_____	192100	____.____
1980	_____	209100	____.____
1981	_____	190900	____.____
1982	_____	203100	____.____
1983	307297	178712	0.5820
1984	332802	194229	0.5840

Country: Chad Region: Logone Occident Source: Government/NORD Crop: Sorghum

1976	81219	33713	0.4150
1977	_____	_____	____.____
1978	_____	_____	____.____
1979	_____	34300	____.____
1980	_____	33140	____.____
1981	35116	21196	0.6040
1982	40888	25366	0.6200
1983	37644	20468	0.5440
1984	44187	20602	0.4660

Country: Chad Region: Logone Oriental Source: Government/NORD Crop: Sorghum

1979	_____	57300	____.____
1980	_____	58540	____.____
1981	56567	40149	0.7100
1982	59287	46432	0.7830
1983	60698	45264	0.7460
1984	69171	57780	0.8350

CHAD CROP DATA

Country: Chad Region: Mayo Kebbi Source: Government/NORD Crop: Sorghum

Year	Area (Hectares)	Production (Tonnes)	Yield (Ton/Hec)
1979	_____	40200	____.____
1980	_____	50000	____.____
1981	96666	60992	0.6310
1982	86265	55375	0.6420
1983	101334	55579	0.5490
1984	97753	56367	0.5770

Country: Chad Region: Moyen Chari Source: Government/NORD Crop: Sorghum

Year	Area (Hectares)	Production (Tonnes)	Yield (Ton/Hec)
1979	_____	39200	____.____
1980	_____	42420	____.____
1981	71535	46530	0.6510
1982	72664	51235	0.7050
1983	64665	35940	0.5560
1984	65678	32776	0.4990

Country: Chad Region: Tandjile Source: Government/NORD Crop: Sorghum

Year	Area (Hectares)	Production (Tonnes)	Yield (Ton/Hec)
1976	69511	32458	0.4670
1977	_____	_____	____.____
1978	_____	_____	____.____
1979	_____	21100	____.____

ANNEXE C

FORM H: Enquête sur les Récoltes de Maïs et Application des Technologies agricoles et des fertilizants

année, culture, form, mois

Partie °1 Fumure

1. Copiez la suporficie de maïs cultivé dans le champ d'échantillonagë No ____ de Form A, Tableau A, Col. 3..... 801

Si No. 1 est ——— à zéro-L'entretien est terminé Notez l'heure de la fin

plus grand que zéro, continuez

2. Copiez le code de l'irrigation de la Form A, No. 5. 800

3. Avez vous ou auriez vous appliquez de fumure aux champ de No. 1?

Oui ☐ = 1, Non ☐ = 2.....Entrez le Code 805

Si vous avez répondu oui, continue z

non, allez à Partie II, No. 6

4. Combien de fumure est-ce que vous appliquerez? (Y compris toutes les quantités designées pour ce maïs puisque la préparation de champ a commencé en autome ou printemp.)

TABLE A: Indiquez les applications de fumure y compris les carrier materials.

TYPE	Analyse			quantité appliqué par acre	Forms	mois d'application	Application de (d')
	Nitrogen	Phosphate	Potash		1. solide 2. liquide 3. gaz		1. automne dernière 2. avant le semis (de printemps) 3. semis 4. après le semis
	Percent	Percent	Percent		Enter Code	Enter Code	Enter Code
	806	807	808	809	810	811	812
	813	814	815	816	817	818	819
	820	821	822	823	824	825	826

TABLE B: Indiquez les applications de fumure rapporté en livre de nutrients. Ignorez les matériaux de carrier materials.

	Applications de Nutrients			Forms		Application de (d')
	Nitrogen	Phosphate	Potash	1. solide 2. liquide 3. gaz	mois d'application	1. automne dernière 2. avant le semis (de printemps) 3. semis 4. après le semis
	lbs./acre	lbs./acre	lbs./acre	Enter Code	Enter Code	Enter Code
A.	848	849	850	851	852	853
B.	854	855	856	857	858	859
C.	880	861	862	863	864	865

5. Est-ce que les produits d'herbicide étaient combinés physicalment aves quelques un des fumures ci-desscis?

Oui [ ] = 1 Non [ ] = 2 Enter Code [884]

Partie II Les Techniques de la Culture de Maïs

Maintenant je vous pose quelques questions en regardant les techiques de la culture de maïs en le champ d'échntillonage.

6. La récolte de ce champ est destiné pour
   1 = Grain 2 = Ensilage 3 = Autre _____

7. Auel hybrid de maïs était semé à ce champ? _____
   hybrid et numéro

   _____
   hybrid et numéro

8. Quel est lle longuer de la maturité de hybrid?

   ☐ 1. Maturité hatif

   ☐ 2. Maturité moyenne

   ☐ 3. Maturité de Saison

9. Est-ce qu'il y a un systémé de labour ou de drainage artificiel?

   Oui ☐ = 1 Non ☐ = 2

10. Quelle sorte de systéme de labour était utilisé?

    1 = labour conventionel (un versoir ou les discs multiple avec les autres opérations de labour pour préparer le lit de semences avec l'incorpération de tout résidu de culture).

    2 = Pas de labour avant ou à semis (le sol n'est pas dérangé depuis la récolte de la derniére culture. On semis directement dans le sol en ouvrant un poquet de 3 à 9 cm).

    3 = Cultivation en bande (on fait les billons de 10 à 15 cm avec un cultivateur pendant la derniére saison. Le billon est coupé en haut avant ou à semis. Les semis sont planté au centre du billon. Le champ est cultivé aprés la leveé de culture pou reconstruire les billons et/ou contrôler les mauvaises herbes.

    4 =

    5 = Autre labour (éduit: (Les méthodes de billons réduits [ciseau, dise, etc.] qui laissent plus qu'un de champ couvert avec le résidu de culture).

11. Pour le systéme de labour dans No. 10, quels outils de labour e'tait utilisé depuis la dernière récolte?

Remplissez la table di-dissous avec l'outil et le numèro de passes au champs.

Primaire	# de passes	Secondaire	# de passes	Aprés semance	# de passes
- Charruce versoir - en automne		Herse de dise		Cultivateur de Range	
- Charue de versoir - en printemps		Herse de printemps		Cultivateur de Roulement	
- Charue de ciseau		Cultivateur de champ		Charue Rotative	
- Charue de balayeur étendu		Herse de pointe		Cultivateur de billon	
- disc		Herse de tine de dents		Autre	
- disc lourde		Sarclageur			
- Autre		Autre			

12. Pour les outils, quelle taille de tracteur était employé le plus souvent?

Entrez le cheval-vapeur

Labour primaire [ ]

Labour secondaire [ ]

Après la semence [ ]

ANNEXE D

Références

Doorenbos, G.H. and W.O. Pruitt, 1977: "Guidelines for Predicting Crop and Water Requirements." FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24. Food and Agricultural Organization, Rome.

Frère, M. and G.F. Popov, 1979: Agrometeorological Crop Monitoring and Forecasting: plant production and protection paper 17. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Gray, T.I., Jr. and D.G. McCrary, 1981: The Environmental Vegetation Index, a Tool Potentially Useful for Arid Land Management. AgRISTARS Report EZ-N1-04076, JSC-17132.

Sahel Course Lesson Plans, 1986: NOAA, AISC, CIAD, Models Branch, Columbia, Missouri.

Van Dyk, Albert, C. Sakamoto and S. Callis, 1986: Crop Condition Assessment with NOAA Satellite Data. NOAA, Columbia, Missouri.