

PN-ABE-152
64468

TRAINING REPORT RAPPORT DE STAGE

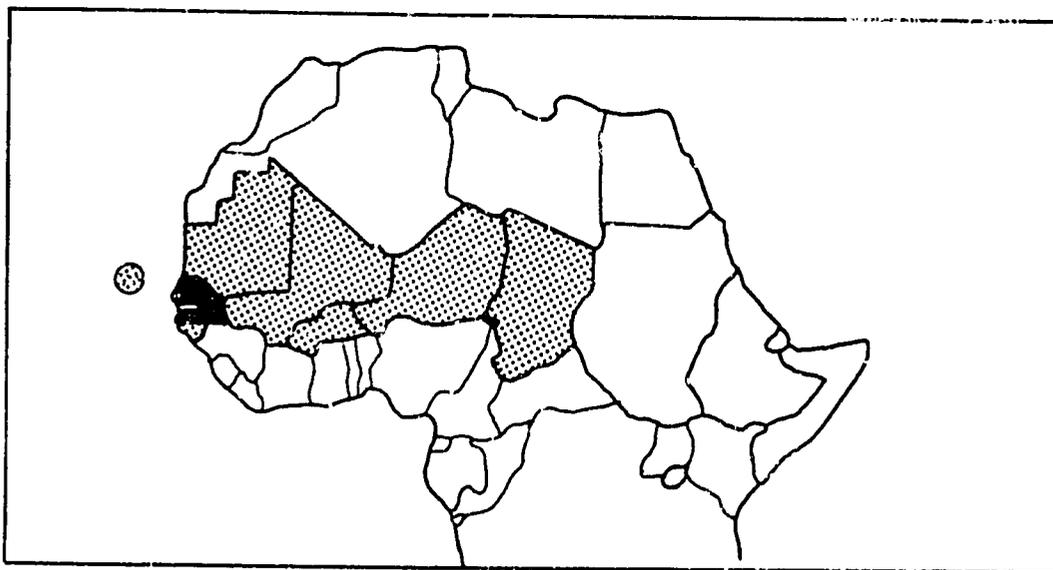
**SPECIAL CLIMATIC IMPACT ASSESSMENT FOR CROPS
AND RANGELANDS**

**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 SENEGAL
EXEMPLES POUR LE SENEGAL**



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

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

NDENE N'DIAYE

SAMRA ABDALLAH



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 SENEGAL: RAPPORT DE STAGE¹

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
Ndene N'Diaye et Samba Abdallah

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 reproduire 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, Chef Division Agrométéorologie, Direction Météorologie Nationale et Ingénieur Agronome, Coordinateur Direction de l'Agriculture, Dakar, Sénégal.

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, constituera 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 Columbia, Missouri et Washington, D.C. entre le 11 mars et le 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'Haïti. Le cours a été dispensé simultanément en anglais et en français.

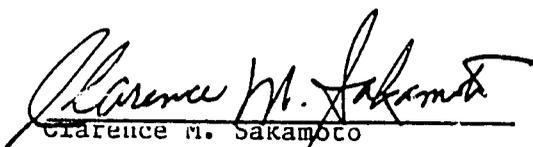
Le rapport de stage présente l'essentiel des techniques apprises et des résultats obtenus en suivant le programme du cours. Une contribution majeure des représentants de chaque pays a été l'amélioration du recueil des documents de base. Il est prévu que ce recueil soit utilisé dans chaque pays comme 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.

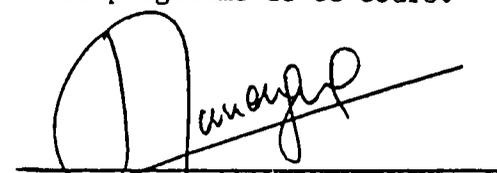
Ce cours aura été l'occasion pour un agrométéorologiste et un agro-économiste du même pays de travailler ensemble sur les mêmes problèmes: ceux liés au processus unique mais multidisciplinaire devant conduire à l'évaluation de l'impact du temps sur l'agriculture et les pâturages.

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 chacun des pays du CILSS et d'Haïti.

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 ils 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

Nos remerciements vont d'abord à l'endroit de l'Ambassade des Etats-Unis au Sénégal et de l'USAID pour nous avoir beaucoup facilité les formalités d'entrée aux Etats-Unis. Ce cours sur les évaluations de l'impact du climat sur les cultures et les pâturages a été mis au point grâce à l'appui financier de l'Agence pour le Développement International des Etats-Unis (USAID). Nous tenons à exprimer notre gratitude à cet organisme dont le rôle pour le développement du tiers monde en particulier n'est plus à démontrer.

Nous remercions les organismes suivants d'avoir conçu ce programme à la fois d'un niveau scientifique relativement élevé et surtout axé sur la pratique des techniques agroclimatiques et les techniques de télédétection.

- le service météorologique américain (NOAA), par le département d'Information et des Données Satellitaires (NESDIS) et le Centre d'Information et d'Evaluation (AISC),

- l'Institut de Coopération pour la Météorologie Appliquée de l'Université de Missouri-Columbia (CIAM/UMC), et

- le Centre Régional AGRHYMET (Niamey) du comité permanent interétat de lutte contre la sécheresse dans le SAHEL (CILSS).

Nous adressons nos vifs remerciements à tout le personnel du Centre de Modélisation de la NOAA/NESDIS/AISC (Missouri) et à la délégation du Centre AGRHYMET pour leur disponibilité et leur sollicitude constantes tout au long du stage.

Mention spéciale est faite pour l'ensemble des conférenciers et interprètes pour leurs exposés clairs et instructifs.

Nous prions enfin les personnes ci-après de bien vouloir agréer l'expression de notre profonde gratitude pour n'avoir ménagé aucun effort pour que le stage se déroule dans de très bonnes conditions:

Dr. Wayne L. Decker - Chef du Département des Sciences de l'Atmosphère à
l'Université du Missouri-Columbia

Dr. Clarence Sakamoto - Chef du Centre de Modélisation de la
NOAA/NESDIS/AISC

Dr. Sharon K. LeDuc - Spécialiste de la statistique météorologique à
la NOAA/NESDIS/AISC

TABLE DES MATIERES

	<u>Page</u>
AVANT-PROPOS.....	i
REMERCIEMENTS.....	ii
TABLE DES MATIERES.....	v
LISTE DES TABLEAUX.....	x
LISTE DE FIGURES.....	xi
I. INTRODUCTION.....	1
II. LES TECHNIQUES D'EVALUATION.....	3
A. Les méthodes agroclimatiques.....	4
1. Methodes basées sur les données de précipitation (NOAA).....	4
a. Contrôle de qualité des données.....	4
i) Test non paramétrique de Thom.....	4
ii) Test de double masse.....	5
iii) Données manquantes.....	8
b. La longueur des séries de données.....	8
c. Les autres renseignements obtenus avec les données pluviométriques.....	10
i) Pourcentage par rapport à la "normale".....	10
ii) Probabilité cumulative de la pluviométrie.....	11
iii) Rang percentile de la pluviométrie décadaire.....	13
iv) Coupe chronologique des rangs percentiles.....	13
2. L'indice du bilan hydrique (FAO).....	13
a. Les données utilisées pour le calcul du bilan hydrique.....	17
b. L'interprétation de l'indice de bilan hydrique (FAO).....	20
c. Produits possibles.....	21

TABLE DES MATIERES
(suivie)

	<u>Page</u>
B. Les méthodes de télédétection: plan détaillé.....	21
1. Introduction.....	21
2. Historique de la télédétection.....	24
a. Les systèmes de capteurs.....	24
b. Les plate-formes d'observation.....	25
c. Les types d'images et les exemples.....	25
3. Les bases physiques de la télédétection.....	25
a. La source de rayonnement.....	25
b. Le pouvoir de réflectance des principaux types de couverture de la surface terrestre.....	28
c. Les caractéristiques des capteurs.....	28
d. La voie de transmission.....	30
i) Les fenêtres atmosphériques.....	30
ii) Le spectre électromagnétique.....	30
4. Les caractéristiques des satellites et des capteurs.....	33
a. Les satellites à orbite quasi polaire.....	33
b. Les satellites géostationnaires.....	33
c. Les capteurs.....	35
5. Préparation des données de base satellitaires.....	36
a. Introduction.....	36
b. Les types de données du satellite NOAA.....	36
c. Cellules de grille.....	37

TABLE DES MATIERES
(suivie)

	<u>Page</u>
6. Les principes de l'interprétation des images.....	37
a. Introduction.....	37
b. Les principes de base de l'interprétation d'images.....	39
c. Les facteurs régissant l'interprétabilité des images.....	39
d. Le procédé d'interprétation: caractéristiques d'une image.....	40
7. Les systèmes de couleurs coordonnées et leur application à la télédétection.....	40
a. Introduction.....	40
b. La pellicule en couleur.....	41
c. Le système de couleur rouge-vert-bleu ou système RGB.....	41
d. Le système de fausse couleur en infrarouge.....	41
e. Le système basé sur la saturation, la brillance et la teinte (IHS).....	41
f. Le système de couleur coordonnée d'Ambroziak (ACCS).....	44
8. L'indice de biomasse verte.....	50
a. Introduction.....	50
b. Pourquoi un indice de biomasse verte.....	50
c. Quelques indices de biomasse des canaux 1 et 2.....	55
d. Sélection d'un indice idéal.....	55
e. Les coupes chronologiques des indices de végétation.....	55
f. Lissage des coupes chronologiques.....	58
g. Principes d'interprétation des coupes chronologiques.....	59
h. Développement des NVI et rendement des cultures.....	59
i. Développement des NVI pour l'évaluation des pâturages.....	67
C. Système d'Information Géographique (GIS).....	71

TABLE DES MATIERES
(suivie)

	<u>Page</u>
D. Techniques de prévision des rendements.....	76
1. Analyse des statistiques agricoles au Sénégal.....	76
2. Les techniques utilisées par le Service des Enquêtes du Ministère Américain de l'Agriculture.....	77
a. Procédure de stratification.....	78
b. Estimation des surfaces cultivées par culture.....	78
c. Les techniques d'évaluation objective.....	79
d. Recherches sur la stratification et l'usage potentiel des données environnementales et technologiques.....	80
3. Analyse de la relation statistique de pluviométrie/rendement agricole.....	80
a. Le triangle de la matrice de corrélation.....	83
b. Les modèles de régression rendement/pluviométrie.....	85
c. Les facteurs qui affectent les rendements agricoles.....	87
i) Les causes des tendances.....	87
ii) Le caractère raisonnable des données agronomiques.....	87
iii) Les statistiques favorables.....	89
4. L'évaluation prospective des rendements agricoles.....	89
a. Sens et absurdité dans la modelisation des cultures.....	89
b. Les données événementielles dans les évaluations.....	94
III. EVALUATION DE LA CAMPAGNE AGRICOLE 1985 AU SENEGAL.....	94
A. Résumé.....	94
B. Situation des pâturages.....	96
C. Conditions des cultures.....	98
1. Mil/sorgho.....	98
2. Arachide.....	98

TABLE DES MATIERES
(suivie)

	<u>Page</u>
3. Maïs.....	101
4. Niébé.....	101
D. Analyse météorologique.....	101
IV. PROCEDURE D'EVALUATION AU SENEGAL.....	103
A. Procédure courante.....	103
B. Recommandations.....	107
V. ANNEXES.....	108
APPENDICE A. Modèle statistique de pluviométrie/rendement agricole.....	129
APPENDICE B. Statistiques météorologique.....	141
APPENDICE C. Exercices sur le NVI.....	148
REFERENCES.....	154

LISTE DES TABLEAUX

<u>Tableau</u>		<u>Page</u>
1	Nombre d'alternances (U) attendu dans les séries climatologiques et correspondant aux déciles inférieurs et supérieurs.....	6
2	Calcul des rangs percentiles de la pluviométrie de juillet à la station de Diourbel.....	7
3	Les statistiques décadaires, mensuelles et cumulatives pour la pluviométrie et l'indice du bilan hydrique.....	14
4	Calcul de l'indice du bilan hydrique en 1985 à Kolda.....	22
5	L'interprétation des couleurs du système ACCS.....	46
6	L'effet du développement végétatif sur les canaux 1 et 2.....	47
7	Les effets sur les canaux 1 et 2 des propriétés changeantes du sol.....	48
8	L'effet de la végétation d'une région dans le système ACCS sur les canaux 1 et 2.....	49
9	L'influence des pratiques culturales sur la couleur du couvert végétal.....	51
10	Les actions des conditions de l'environnement sur la couleur du couvert végétal.....	52
11	Coefficients de corrélation, échantillon de 50 individus.....	57
12	La matrice de corrélation.....	86
13	Paramètres statistiques de la régression dans un modèles de culture pour le mil/sorgho au Sénégal.....	88
14	Estimation des rendements à partir des indices de végétation normalisé (tonnes/ha).....	97
15	Répartition de la biomasse en août 1985 (kg/ha).....	99
16	Capacité de charge en août 1985 (U β T/ha).....	100

LISTE DES FIGURES

<u>Figure</u>		<u>Page</u>
1	Courbe de double masse	9
2	Probabilités des précipitations du mois de juillet à la station de Diourbel.....	12
3	Rang percentile de la pluviométrie décadaire à la station de Ziguinchor.....	15
4	Coupe chronologique des rangs percentiles de la pluviométrie de juillet à la station de Diourbel.....	16
5	Variation de l'indice du bilan hydrique pour le mil/sorgho en 1985.....	23
6	Image satellitaire.....	26
7	Modèle de la télédétection.....	27
8	Signature spectrale de sols nus et de végétation.....	29
9	Sensibilité spectrale.....	31
10	Le spectre électromagnétique.....	32
11	Configuration des satellites quasi-polaires et géostationnaires.....	34
12	Principes de la création des images PSG.....	38
13	Système de couleur RGB.....	42
14	Modèle de couleur ACCS IHS.....	43
15	Système de couleur coordonnée d'Ambroziak.....	45
16	Réponse spectrale des canaux AVHRR-NOAA pour le blé.....	53
17	Réponse spectrale de différents couverts du sol.....	54
18	Comparaison des trois indices de végétation: RVI, DVI, NVI.....	56
19	Coupe chronologique des NVI lissée avec l'ajustement polynomial.....	60
20	Coupe chronologique des RVI lissée avec l'ajustement polynomial.....	61
21	Coupe chronologique des NVI lissée avec la série de Fourier....	62

LISTE DES FIGURES
(suivie)

		<u>Page</u>
22	Coupe chronologique des RVI lissée avec la série de Fourier....	63
23	Coupe chronologique des NVI lissée avec la methode "4253H deux fois".....	64
24	Coupe chronologique des RVI lissée avec la methode "4253H deux fois".....	65
25	Comparaison des données pluviométriques de 1983 et 1984 (A) contre les NVI (nonlissée-B et lissés-C) de 1983 et 1984.....	66
26	NVI contre rendements des arachides et de mil/sorgho.....	68
27	Biomasse contre NVI, 1983 et 1984, Sénégal et Mali.....	69
28	Relation entre biomasse et capacité de charge.....	70
29	Structure conceptuelle du Système d'Information Géographique (GIS).....	72
30	Liste des informations pour le GIS.....	73
31	Exemple simplifié de la procédure du GIS.....	75
32	Schéma d'une région agricole avec deux stations pluvio- métriques.....	82
33	Exemple de structure appropriée d'un modèle.....	91
34	Réponse hypothétique à une variable montrant une relation linéaire quadratique.....	92
35	Exemple de variables à haute corrélation.....	93
36	Coupes chronologiques des NVI au Sénégal.....	95
37	Organigramme du Ministère du Développement Rural.....	104
38	Structure à la quelle appartient la Direction Météorologie Nationale (organigramme).....	105
39	Organigramme des Comités Nationaux AGRHYMET au Sénégal.....	106

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 SENEGAL: RAPPORT DE STAGE¹

I. INTRODUCTION

L'objectif du cours a été de se familiariser avec quelques outils sélectionnés parmi ceux de l'agrométéorologie 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 agroéconomiste ou un agro-statisticien ou un agronome avec un météorologiste ou un agrométéorologiste. Un résultat majeur du cours a été la réalisation effective d'une approche multidisciplinaire du problème de la relation entre la production de nourriture et le climat. En particulier, on se rend compte que les interventions d'un agrométéorologiste sont utiles pour la réussite de projets 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 modélisation.

Le recueil des documents se base complète le rapport.

II. LES TECHNIQUES D'EVALUATION

Dans ce paragraphe on passera en revue les méthodes agroclimatiques d'évaluation préconisées par la NOAA et la FAO et les méthodes basées sur la télédétection développées par la NOAA/NESDIS/AISC.

A. Méthodes agroclimatiques

1. Méthodes basées sur les données de précipitations (NOAA)

Les années de sécheresse répétées de la décennie 1970-1980 illustrent assez bien l'importance primordiale de la pluviométrie sur les rendements des cultures d'hivernage dans le Sahel. Elle n'est toutefois pas le seul paramètre qui détermine la productivité.

La disponibilité de séries statistiques relativement longues et fiables d'une part et l'acquisition en temps quasi-réel des données courantes durant la campagne agricole font des modèles basés sur les données de précipitations les plus simples, les plus faciles à utiliser et les moins coûteux.

Donc à partir des seules données pluviométriques, des indices peuvent être calculés pour rendre compte de manière qualitative de l'impact du climat sur les cultures et pâturages.

Mais au paravant il est indispensable de s'assurer de la qualité des données et de la longueur suffisante des séries utilisées.

a. Contrôle de qualité des données

L'échantillon de données dont on dispose (exemple: la pluviométrie mensuelle de juillet d'une station du pays de 1951 à 1985) doit être homogène. Le test non paramétrique décrit par Thom (1966) ou le test de double masse peuvent être utilisés pour vérifier l'homogénéité des données.

i) Test non paramétrique de Thom

La procédure pour employer ce test est la suivante:

- maintenir la série de donnée dans l'ordre chronologique,
- trouver la médiane (valeur susceptible d'être observée une fois tous les deux ans),
- déterminer, pour chaque valeur de la série, si elle se situe au-delà (A) ou au-deçà (B) de la médiane,

- trouver le nombre d'alternances des "A," ou groupe de A, et des "B," ou groupe de B, soit (U_C), et
- notons avec NA le nombre des "A" et avec NB le nombre des "B."

Théoriquement si le changement enregistré est dû au hasard, on doit avoir $NA = NB$. On compare U_C aux valeurs théoriques (U_E) qui correspondent aux seuils de probabilité de 10% et 90%. L'hypothèse de base consiste à considérer la série comme homogène (hypothèse nulle H_0). Si U_C est strictement contenu dans l'intervalle des deux valeurs théoriques U_E , alors l'hypothèse nulle est acceptée comme statistiquement fondée. Si non, H_0 est rejetée.

Dans certains cas particuliers, on accorde plus de crédit aux informations disponibles sur la station et même si statistiquement l'hypothèse H_0 est rejetée, la série peut être conservée.

A côté des informations historiques, il est aussi préconisé d'utiliser des tests paramétriques, tel que le test en t de Student qui est suffisamment fort pour déterminer si la série est homogène ou non.

Exemple de la station de Diourbel, période 1951-1980, mois de juillet:

$$\begin{aligned} NA &= 15 \\ U_{0.10} &= 12 \\ U_{0.90} &= 19 \end{aligned}$$

$$12 \leq U_C = 12 \leq 19$$

L'hypothèse H_0 est acceptée à moins que des informations spécifiques à propos des données historiques et des conditions de mesures permettent de décider autrement (Tableaux 1 et 2).

ii) Test de double masse

Autre méthode simple non paramétrique qui consiste à comparer la station conservée à une station (ou un groupe de stations) de référence. La procédure est la suivante:

Tableau 1. Nombre d'alternances (U) attendu dans les séries climatologiques et correspondant aux déciles inférieurs et supérieurs.

NA	U _t		NB	U _t	
	P = 0.10	P = 0.90		P = 0.10	P = 0.90
10	8	13	19	16	23
11	9	14	20	16	25
12	9	16	25	22	30
13	10	17	30	26	36
14	11	18	35	31	41
15	12	19	40	35	47
16	13	20	45	40	52
17	14	21	50	45	57
18	15	22			

NA = nombre des valeurs > médiane
 NB = nombre des valeurs > médiane
 P (U/NA) = probabilité d'avoir U donnant NA
 On assume que NA = NB.

Tableau 2. Calcul des rangs percentiles de la pluviométrie de juillet à la station de Diourbel.

Année	Précipitation	Rang pourcentile	Médiane
1 1983	3	3	
2 1966	19	7	
3 1980	29	10	
4 1962	40	13	
5 1972	58	16	
6 1981	59	19	
7 1984	64	23	
8 1958	70	26	
9 1959	71	29	
10 1963	77	32	
11 1982	91	36	
12 1977	98	39	
13 1976	101	42	
14 1957	106	45	
15 1967	110	48	
16 1973	113	52	M = 111,5
17 1965	118	55	
18 1964	128	58	
19 1979	128	61	
20 1968	142	65	
21 1970	163	68	
22 1974	166	71	
23 1956	171	74	
24 1960	179	77	
25 1961	183	81	
26 1978	188	84	
27 1975	194	87	
28 1971	195	90	
29 1955	242	94	
30 1969	327	97	

- ordonner chronologiquement l'échantillon des données,
- pointer sur un graphique les valeurs cumulatives des précipitations de la station conservée en ordonnée et celle de la station de référence en abscisse.
- analyser la courbe obtenue. Si la courbe est une droite alors la série de précipitations de la station à vérifier peut être considérée comme une série climatologique homogène. S'il y a des distorsions sur la courbe, alors on peut conclure que la série en question est hétérogène.

Cette méthode marche si les stations à comparer se trouvent dans une région suffisamment réduite pour qu'elles aient des caractéristiques semblables si les opérateurs, les instruments de mesure et les techniques d'observation sont comparables. La Figure 1 est une comparaison de la station de Coki avec la station de Louga.

Une attention particulière doit également être portée à l'identification des données aberrantes, à l'optimisation du réseau d'observation et à la sélection rigoureuse des stations à utiliser pour faire l'évaluation.

iii) Données manquantes

La caractéristique essentielle des stations du Sahel est l'existence des données manquantes même pour les stations les plus régulières. Des méthodes d'estimation de ces données ont été développées parmi lesquelles on trouve:

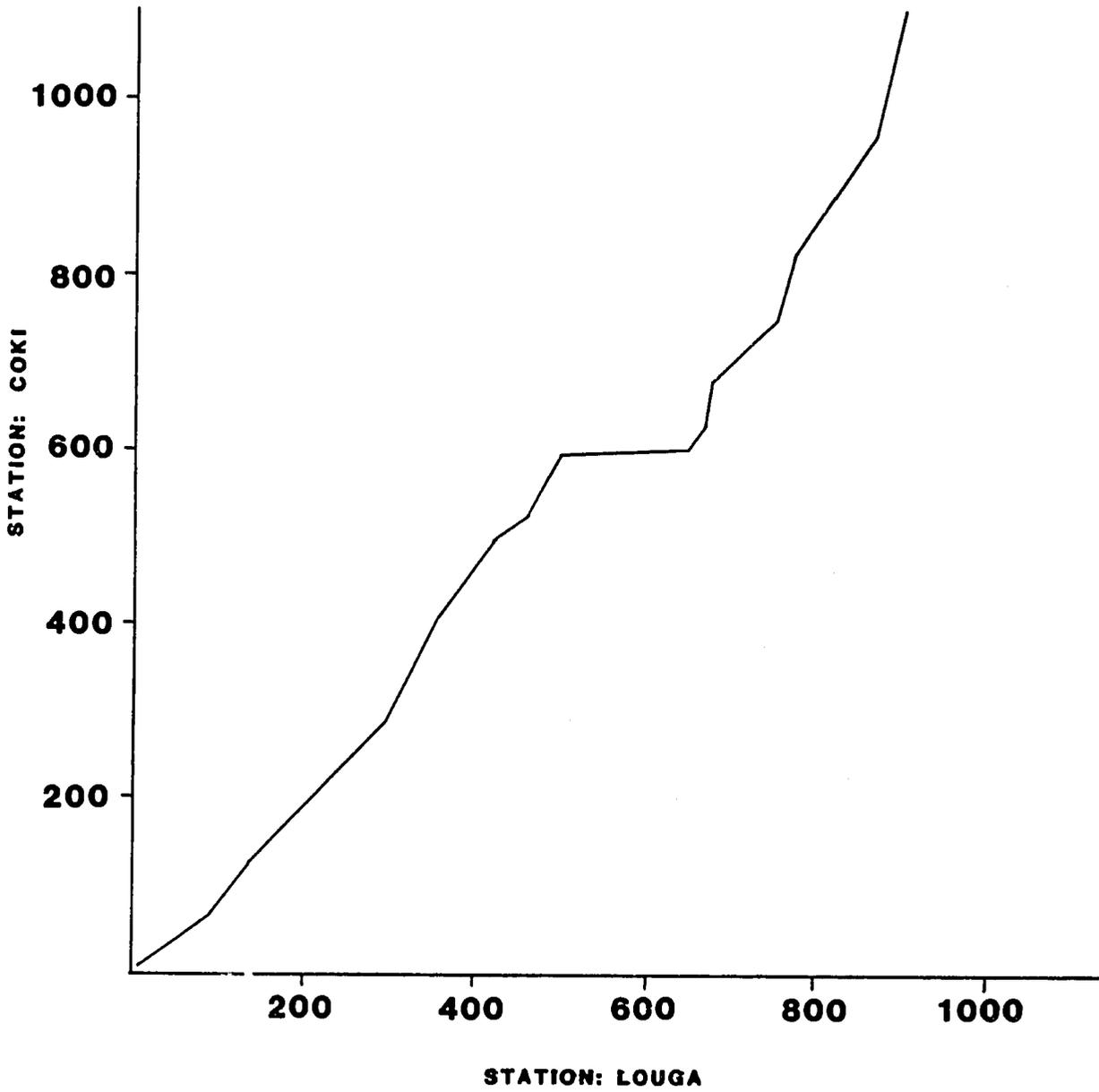
- les moyennes inversement pondérées sur les distances,
- l'ajustement quadratique des moindres carrés, et
- l'ajustement cubique des moindres carrés.

b. La longueur des séries de données

Il a été établi qu'une série de 20 ans soit le seuil minimum pour disposer des données fiables en vue d'une évaluation à partir des précipitations.

Figure 1

Courbe de double masse



Ceci doit donc être gardé présent à l'esprit, et l'on doit recourir aux informations complémentaires sur la station si ce critère n'est pas réalisé, pour interpréter correctement les résultats.

c. Les autres renseignements obtenus avec les données pluviométriques

Après s'être assuré de la qualité des données et de la longueur suffisante des séries utilisées, on peut trouver d'autres renseignements à partir des données.

i) Pourcentage par rapport à la "normale"

La normale est généralement définie comme une moyenne d'une série climatologique sur une période de 30 années au moins. Cette moyenne peut bien différer de la valeur modale (valeur la plus fréquente) ou de la médiane de la série, si nous sommes en présence d'une distribution dissymétrique des précipitations. Ceci est quasi-général dans le Sahel.

Description de la méthode:

- la pluviométrie mensuelle ou cumulée de l'année en cours est simplement divisée par la pluviométrie normale correspondante, et
- le résultat de cette division est multiplié par 100 pour l'exprimer en pourcent.

Exemple: La pluviométrie normale 1951-1980 du mois de juillet à Thies est de 110 mm. En 1985 on a enregistré en juillet à la station 82 mm. Le pourcentage par rapport à la normale est

$$\frac{82}{110} \times 100 = 75\%.$$

L'avantage de cette méthode réside dans sa simplicité et son accessibilité aux divers utilisateurs. Toutefois son interprétation doit être faite avec précaution, car si elle peut susciter un stress ou un excès d'eau, elle ne tient compte ni des besoins en eau des cultures ni de la réserve hydrique dans le sol, ni de la répartition de l'eau dans le temps.

La comparaison par rapport à la normale a été effectuée mois par mois au Sénégal durant l'hivernage 1985 (Appendice B et Annexes 1 à 6).

ii) Probabilité cumulative de la pluviométrie

La méthode la plus simple pour l'estimation des probabilités de variables météorologiques est donnée par la formule suivante:

$$P = \frac{m}{N + 1}$$

où P = l'estimation de la probabilité cumulée d'une valeur de la variable à analyser (pluviométrie ici),

m = le rang de cette valeur dans la série, et

N = le nombre total d'années.

Cette probabilité peut aussi être exprimée en pourcentage. Il suffit de multiplier chaque valeur de probabilité par 100 et on parlera de rang pourcentage d'une valeur donnée de la série.

La démarche à suivre pour déterminer les probabilités est la suivante (l'exemple utilise la pluviométrie mensuelle de juillet de la station de Diourbel de 1951 à 1981):

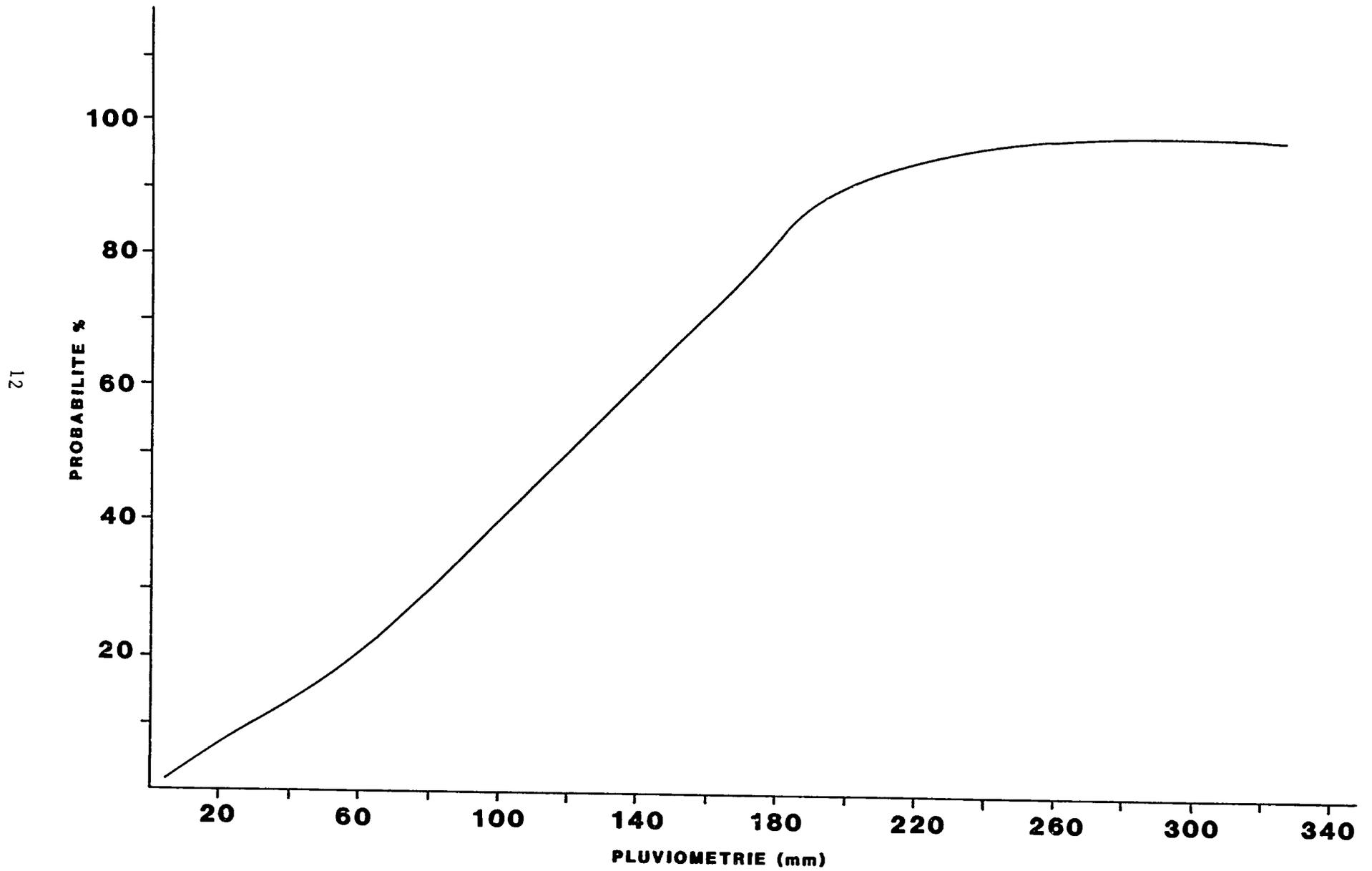
- classer les valeurs des précipitations dans l'ordre croissant (m=1 à 34) (Tableau 2).
- à partir de l'équation présentée plus haut déterminer P pour chaque valeur de m (N=34)(Tableau 2), et
- indiquer l'année de chaque observation.

Le Tableau 2 indique les probabilités empiriques pour les valeurs des précipitations de la série en question. Par exemple, la probabilité pour que la pluviométrie soit inférieure à 166 mm est 0.71 et la probabilité pour quelle soit supérieure est $1 - 0.71 = 0.29$.

Ces probabilités peuvent aussi être reportées sur un graphique en fonction de la pluviométrie en abscisse (Figure 2). Après lissage de la courbe obtenue, on peut aisément déterminer la probabilité pour n'importe quelle valeur.

Figure 2

Probabilités des précipitations du mois de juillet à la station de Diourbel



iii) Rang percentile de la pluviométrie décadaire

Le souci d'une analyse plus fine de l'impact de la pluviométrie sur les différents stades de développement des plantes suggère le passage à l'échelle décadaire au moins.

Pour le faire, on utilise les rangs percentiles de la pluviométrie décadaire qui sont obtenus ici par interpolation numérique des valeurs mensuelles.

Il est évident que les résultats obtenus à partir des données décadaires observées se rapprocheraient mieux de la réalité.

Le Tableau 3 montre l'exemple d'une sortie d'ordinateur pour la station de Diourbel en 1985.

Ou peut aussi faire figurer sur un graphique les rangs pourcentiles de chaque décade du début à la fin de l'hivernage (Figure 3).

iv) Coupe chronologique des rangs percentiles

La représentation qui consiste à illustrer la variation du rang percentile dans le temps peut nous donner des renseignements assez précieux sur les conditions de l'année en cours par rapport aux autres années de la série disponible. Ces renseignements qualitatifs, couplés avec les informations disponibles sur les niveaux de production d'une ou de plusieurs années antérieures comparables, permettent de prendre à temps les dispositions nécessaires pour une bonne planification agricole. La Figure 4 montre l'exemple de la station de Kaolack pour le mois de juillet.

2. L'indice du bilan hydrique (FAO)

Un indice agroclimatique est un paramètre utilisant les caractéristiques spécifiques d'une culture, les informations climatologiques moyennes du lieu, et les données météorologiques courantes pour traduire au mieux l'impact des conditions du milieu sur cette culture.

Tableau 3

Les statistiques décadaires, mensuelles et cumulative pour la pluviométrie et l'indice du bilan hydrique

Country: Senegal

Station: Diourbel

Year: 1985

Cr	(T)	MAY (5)				JUNE (6)					JULY (7)					AUGUST (8)					SEPTEMBER (9)					OCTOBER (10)									
		1	2	3	Mon	1	2	3	Mon	Cum	1	2	3	Mon	Cum	1	2	3	Mon	Cum	1	2	3	Mon	Cum	1	2	3	Mon	Cum					
Pn		0	1	3	4	5	11	20	36	40	29	40	57	126	166	63	69	78	211	377	71	62	48	180	557	27	14	5	46	603					
PET		56	54	47	167	53	51	50	154		47	46	49	142		42	41	44	127		41	41	41	123		41	41	44	125						
Pa		0	0	0	0	0	0	20	20	20	17	11	32	60	80	25	96	47	168	248	52	95	2	149	397	13	0	0	13	410					
X-N	???	0	0	0	0	0	0	100	56	50	59	28	56	48	48	40	139	60	80	66	73	153	4	83	71	48	0	0	28	68					
X-R		3	3	3	3	3	3	53	33	33	25	14	22	19	14	8	81	14	44	22	28	86	3	36	25	19	3	3	36	22					
Precipitation > (PET)																																			
Mi	CWR																																		
	Dif											20						21	25	37						37	39	41						41	39
	SWR											12						4	71	10						15	56	-39						-28	-39
	S/D											12						16	60	60						60	60	21						0	0
	Ind											0						0	27	10						15	56	0						-7	-39
												100						100	100	100						100	100	100						98	85
Normal Crop Calendar																																			
Mi	CWF																																		
	Dif											19	23	29						36	37	42						41	41	39					
	SWR											-2	-12	3						-11	59	5						11	54	-37					
	S/D											0	0	3						0	59	60						60	60	23					
	Ind											-2	-12	0						-8	0	4						11	54	0					
												99	95	95						92	92	92						92	92	92					

Types: Pn = Normal Precipitation Pa = Actual Precipitation PET = Potential Evapotranspiration X-N = Percent of Normal
 CWR = Crop Water Requirement Dif = Difference (Pa - CWR) SWR = Soil Water Reserve X-R = Percentile Rank
 S/D = Surplus or Deficit Ind = Water Balance Index

Crops: Co=Cow Peas GB=Green Bean Gn=Groundnut Mz=Maize Mi=Millet RI=Rice Irr. RR=Rice Rfd. So=Sorghum Te=Teff Wh=Wheat/Bar

Notes: " " = No. data for calculations "???" = Average rainfall zero "****" = Insufficient historical data for rank

Figure 3

Rang percentile de la pluviométrie decadaire à la station de Ziguinchor

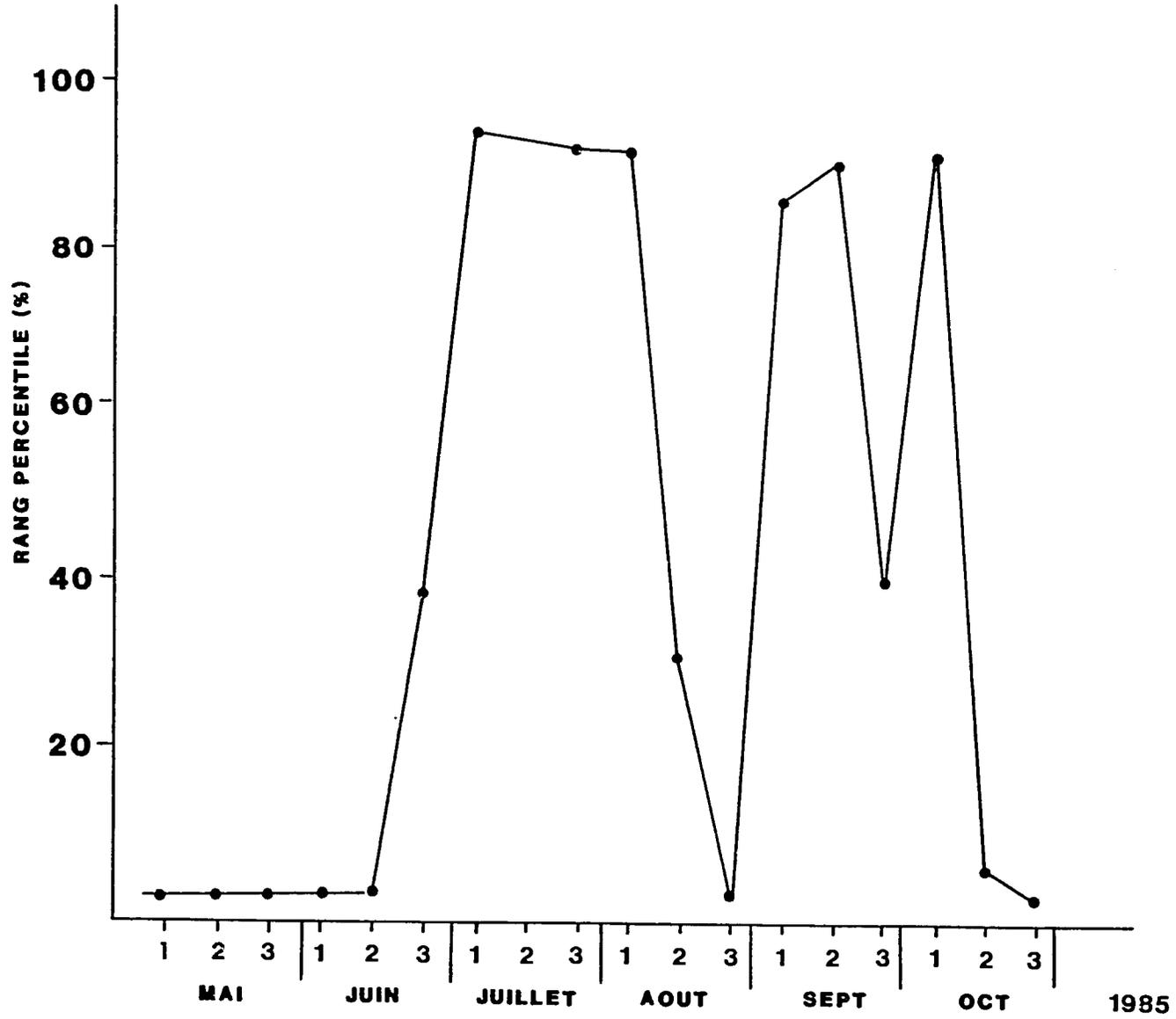
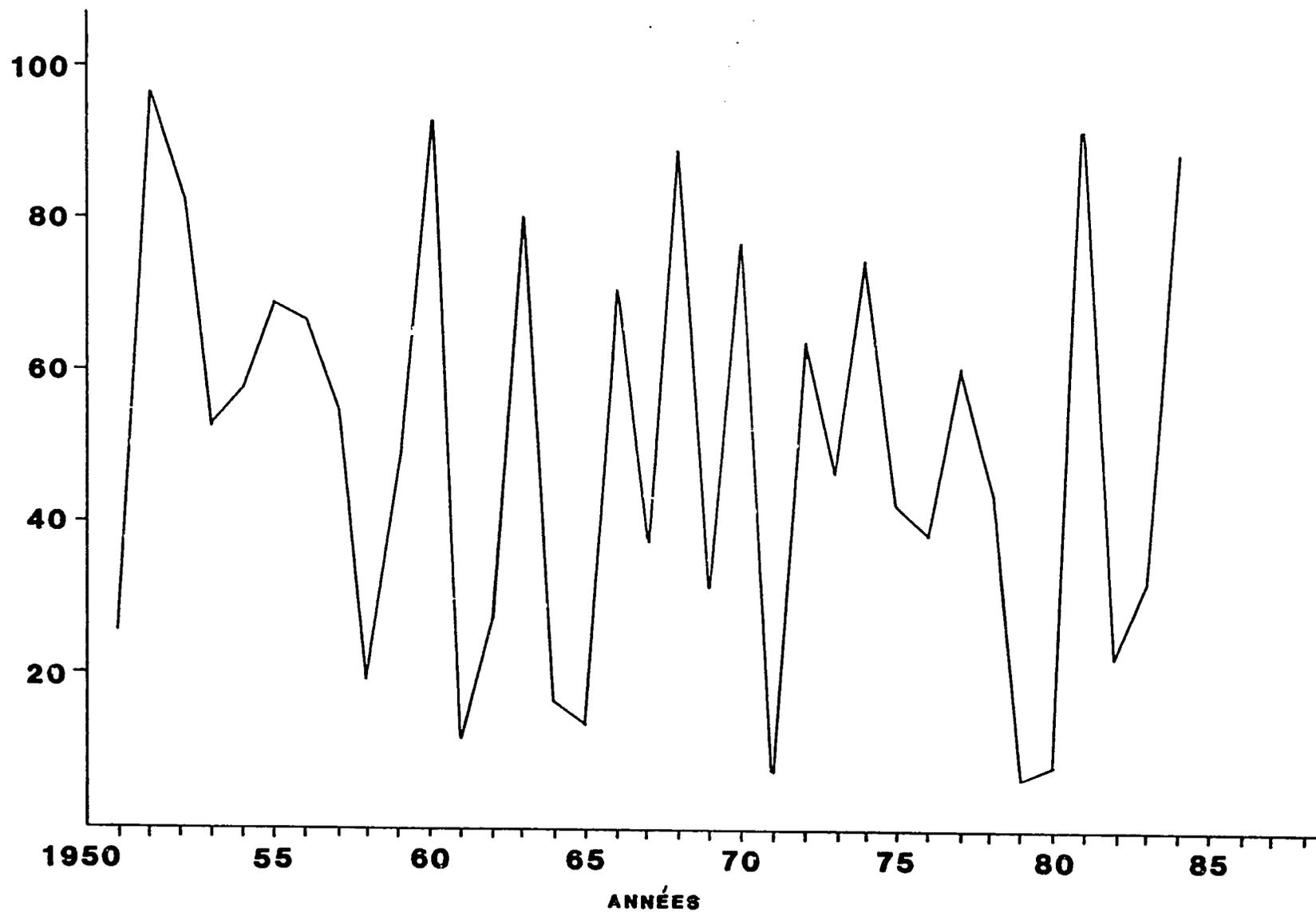


Figure 4

Coupe chronologique des rangs percentiles de la pluviométrie de juillet à la station de Kaolack

16



Les indices sont principalement utilisés pour suivre en temps réel les conditions d'évolution des cultures afin de pouvoir mettre en évidence les périodes de stress et de lancer à temps des avis et conseils sur les pratiques culturales les mieux appropriées. D'autre part si l'on dispose de statistiques assez fiables de ces indices, des évaluations qualitatives peuvent être effectuées aussi bien d'une année à l'autre sur une même localité que pour une même année dans de différentes régions du pays.

L'indice présenté ci-après a été mis au point par la FAO. Il est basé sur le calcul du bilan hydrique défini comme la différence entre les précipitations reçues par la culture et l'eau perdue par la culture et par le sol, en tenant compte de l'eau retenue dans le sol.

a. Les données utilisées pour le calcul du bilan hydrique

Le bilan est fait à la fin de chaque décade.

Précipitation normale (P_N): C'est la précipitation normale décadaire calculée d'après les données climatologiques de la station. Cette donnée à vrai dire n'entre pas dans le processus de calcul du bilan. Elle sert de référence pour le calendrier cultural de la région considérée et sert de comparaison par rapport à la pluviométrie de la décade en cours.

Précipitation réelle (P_A): La précipitation réelle représente l'ensemble des précipitations reçues au cours de chaque décade, c'est-à-dire du 1^{er} au 10, du 11 au 20 et du 21 à la fin du mois en question. Les valeurs des précipitations sont arrondies au millimètre entier. Les précipitations pénètrent dans le sol et remplissent les réserves d'eau du sol jusqu'à un certain niveau choisi pour une station donnée. Toute quantité d'eau pénétrant dans le sol au-delà du seuil choisi percolera dans les couches profondes et sera éliminée du bilan d'eau. Par hypothèse également, la précipitation est supposée tomber sur une surface horizontale éliminant de ce fait le ruissellement latéral.

Nombre de jours pluvieux (J_A): Cette donnée renseigne simplement sur la répartition des précipitations de la décade en question.

Evapotranspiration potentielle (ETP): L'évapotranspiration potentielle prise comme référence dans cette étude est la quantité maximum d'eau qui peut être évaporée par un gazon uniforme en pleine croissance, maintenu court et ne souffrant d'aucune contrainte hydrique, comme définie par Penman en 1948. Les données climatologiques mensuelles nécessaires pour le calcul de l'ETP sont la durée d'insolation, la température moyenne, la tension de vapeur et la vitesse du vent. Les données astronomiques nécessaires (durée d'insolation maximale possible, rayonnement global à la limite supérieure de l'atmosphère) sont disponibles dans des tables tenant compte de la latitude du lieu et de la saison. Les valeurs d'ETP décadaires sont ensuite déduites graphiquement ou par le calcul. A défaut de ces données climatologiques, la formule de Thornthwaite peut être utilisée moyennant certaines précautions. Toutefois les données du Bae "classe A" semblent préférables à la formule de Penman. L'ETP est une donnée essentiellement climatique, de faible variabilité spatiale et interannuelle. Elle peut donc être cartographiée pour estimer les valeurs d'ETP dans les zones ne disposant pas de données climatologiques autres que la pluviométrie.

Coefficients culturaux (K_c): L'ETP est déterminée lorsque la culture est au stade de pleine croissance et recouvre bien le sol. Ce sont donc les conditions idéales. En réalité la culture, passant par différentes phases de développement, n'est pas toujours bien approvisionnée en eau et ne conserve pas une densité optimale durant son cycle. On peut donc définir une évapotranspiration maximale (ETM) qui est la perte d'eau par la culture bien alimentée en eau et qu'elle ne peut dépasser du fait de son stade de développement. L'ETM est donc une fraction de l'ETP. Cette fraction qui varie suivant les différents

stades phénologiques de la culture est appelé coefficient cultural. Il varie généralement de 0 à 1 mais au cours du stade de fructification de certaines cultures (maïs et riz, par exemple) le coefficient peut aller de 1,0 à 1,2. Les coefficients culturaux des principales cultures sahéliennes ont été calculés à la FAO. L'exemple du mil/sorgho de 90 jours est donné ci-après: 0.3, 0.4, 0.5, 0.8, 1.0, 1.0, 1.0, 6.0, 0.5.

Besoins en eau des cultures (BE): Les besoins en eau des cultures s'obtiennent en multipliant l'évapotranspiration potentielle pour une décade donnée par le coefficient cultural (K_c) pour cette même décade. Les besoins hydriques globaux d'une culture peuvent donc être calculés dès le début de la saison.

Différence entre la précipitation réelle décadaire et les besoins en eau ($P_A - BE$): Cette différence, si elle est positive, représente le reliquat d'eau disponible pour alimenter les réserves du sol ou simplement perdue par les cultures. Si elle est négative, elle représente le complément à fournir aux plantes pour satisfaire leurs besoins hydriques.

Réserve d'eau utile dans le sol (RS): C'est la quantité d'eau que peut stocker le sol et qui peut être directement utilisée par la culture. Il s'agit de la quantité d'eau se situant entre la capacité sur champ et le point de flétrissement permanent. Cette quantité d'eau dépend de:

- la profondeur du sol exploitée par les racines de la culture, et
- les caractéristiques physiochimiques du sol.

La réserve utile du sol dépend donc de la texture et structure du sol et du stade de développement de la culture. Toutefois pour simplifier le processus de calcul, on adopte pour un lieu et une culture donnée une capacité de rétention en eau constante qui est la réserve maximale que peut contenir le sol.

Excès ou déficit d'eau (S/D): Les excès ou les déficits d'eau sont exprimés par rapport à la capacité de rétention en eau du sol. Les excès se

réfèrent aux quantités dépassant le seuil choisi pour la capacité de rétention en eau du sol et constituent dès lors des pertes par ruissellement ou drainage. Les déficits sont les quantités d'eau n'ayant pu satisfaire les besoins en eau de la plante, lorsque les réserves d'eau utile dans le sol sont entièrement utilisées.

b. L'interprétation de l'indice du bilan hydrique (FAO)

L'indice indique sous forme de pourcentage et cumulativement comment les besoins en eau d'une culture annuelle ont été satisfaits, et cela à un stade quelconque de son cycle végétatif.

On suppose que le semis prend place lorsque la réserve d'eau du sol est suffisante. Dans les régions où la période active de végétation est inférieure à 180 jours, le semis s'effectue généralement lorsqu'au moins 30 mm de précipitation sont tombés au cours d'une seule décade. Un indice de 100 est alors attribué pour la décade du semis. Cet indice restera 100 au cours des décades successives à moins qu'un excès de plus de 100 mm ne survienne pas pour une seule décade ou qu'un déficit apparaisse à l'étape "S/D." Si un excès de plus de 100 mm survient, l'indice est diminué de trois unités pour cette décade et devient 97 où il restera jusqu'à ce qu'une autre période critique survienne. Si après deux décades les réserves en eau tombent à 0 et un déficit de 20 mm apparaît, le quotient entre 20 et les besoins en eau globaux (400 mm, par exemple) sera de 0,05. Ceci correspond à un besoin en eau non satisfait de 5%, et l'indice de 97 calculé précédemment tombera à 92. Le calcul se poursuit ainsi jusqu'à la fin de la saison (maturation de la culture). Cet indice qui commence par 100 ne pourra que rester égal à 100 ou diminuer. Il reflétera, à la fin de la saison végétative, les contraintes cumulatives auxquelles aura été soumise la culture et qui sont dues aux excès ou aux déficits d'eau.

Tableau 4 donne l'exemple de calcul de l'indice du bilan hydrique (sorti d'ordinateur) en 1985 à Louga (sud du Sénégal) pour le niébé de 120 jours avec une capacité de rétention du sol de 60 mm et deux dates de semis différentes (2^{ème} et 3^{ème} décade de juillet).

c. Produits possibles

Des tentatives de corrélation de l'indice FAO avec le rendement céréalier ont été menés et des rapports quantitatifs ont été définis pour un certain nombre de pays à l'aide de l'analyse de régression. Il faut toutefois que l'utilisateur procède à des essais adéquats avant d'appliquer ce système à des travaux opérationnels. L'indice permet toutefois de faire d'assez bonnes évaluations qualitatives. Quelques exemples de ces produits sont:

- Cartographie de l'indice: A une date donnée au cours de la période végétative, le pointage des valeurs d'indice sur une carte permet d'avoir une vue synoptique des zones confrontées à des contraintes agroclimatiques et des zones favorisées.

- Variations de l'indice en fonction du temps: Le tracé sur un même graphique des indices, calculés tout au long de la campagne agricole pour un certain nombre de stations, permet d'avoir une indication sur l'évolution des cultures dans une localité donnée et de comparer les situations entre les différentes localités comme l'indique la Figure 5.

B. Les méthodes de télédétection: plan détaillé

1. Introduction

La télédétection est définie comme la science et l'art d'obtenir des informations sur un objet, une surface ou un phénomène après analyse des données obtenues par un mécanisme d'enregistrement ou capteur n'étant pas en contact avec

Tableau 4

Calcul de l'indice du bilan hydrique en 1985 à Louga

CILSS/OHM/PNUD

Programme AGRHYMET
Date d'édition : 26-FEB-86

Surveillance Agrometeorologique des Cultures Pluviales Methode Frere-Popov FAO

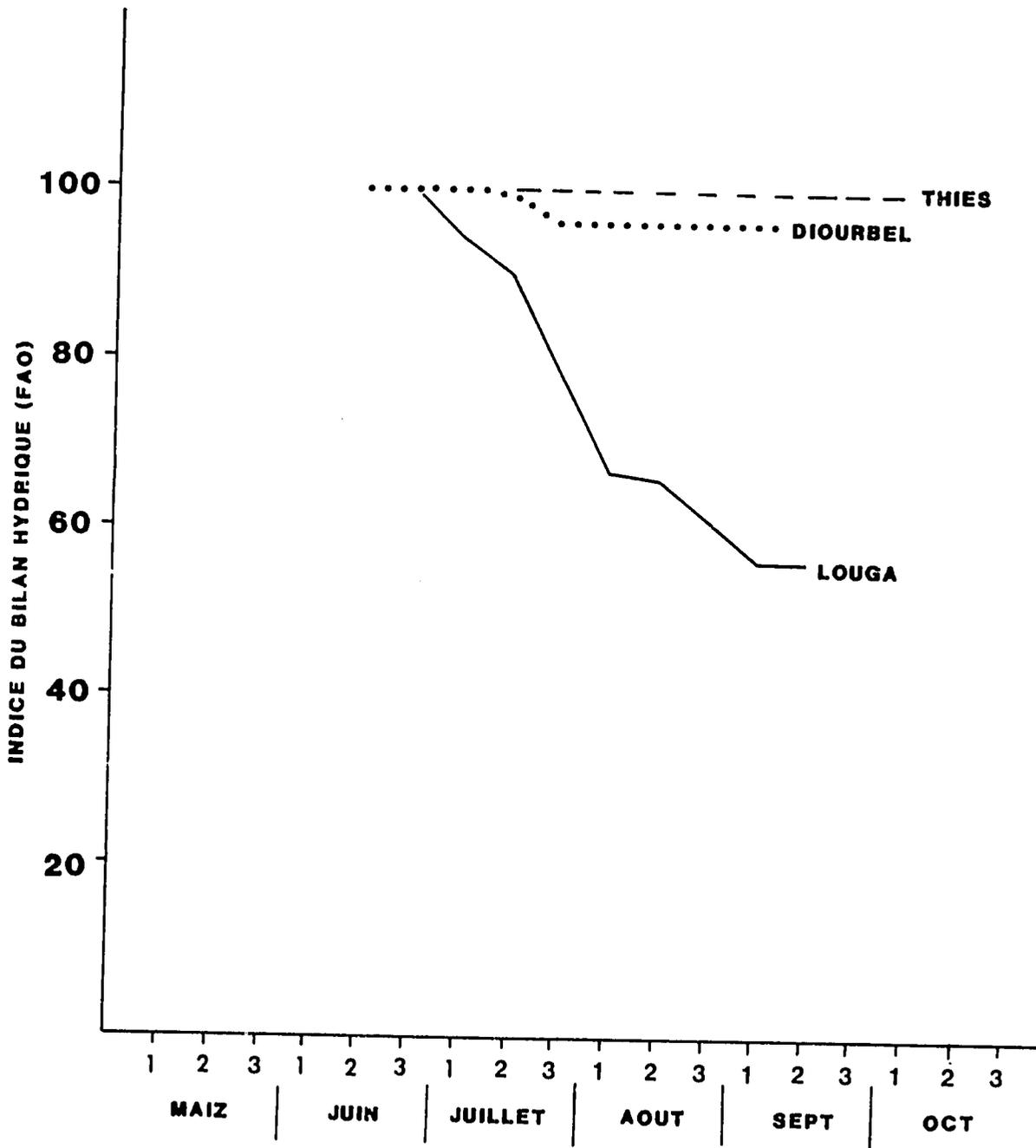
Station LOUGA		Saison 1985		Cultures : NI'85 (700)		Cycle : 7 decades		Capacite de retention du sol (mm)		
dec	Mois / Jours	Pa	Pn	ETI	Coefficients c1, c2, c3, c4	Besoins en Eau mm	Bilan Hydrique mm	Reserve en eau mm	Excedent/Deficit S/D	Indice %
13	Mai 1	0.0	0.0	51.0						
14	Mai 2	0.0	0.0	51.1						
15	Mai 3	0.0	0.0	50.1						
16	Mai 4	0.0	0.0	46.0						
17	Jui 1	0.0	0.0	47.5						
18	Jui 2	10.5	0.0	47.5	0.4	10.0	0.5	0.5	0.0	100
19	Jui 3	0.0	10.0	49.0	0.6	29.0	-29.0	0.0	-29.1	87
20	Jui 4	22.7	15.0	49.8	0.8	39.8	-17.1	0.0	-17.1	80
21	Jui 5	0.0	0.0	49.8	0.4	29.0	-24.0	2.8	-21.0	97
22	Jui 6	0.0	0.0	49.8	0.6	39.0	-17.1	0.0	-17.1	80
23	Jui 7	0.0	0.0	49.8	0.8	49.8	-17.1	0.0	-17.1	80
24	Jui 8	0.0	0.0	49.8	0.4	29.0	-17.1	0.0	-17.1	80
25	Jui 9	0.0	0.0	49.8	0.6	39.0	-17.1	0.0	-17.1	80
26	Jui 10	0.0	0.0	49.8	0.8	49.8	-17.1	0.0	-17.1	80
27	Jui 11	0.0	0.0	49.8	0.4	29.0	-17.1	0.0	-17.1	80
28	Jui 12	0.0	0.0	49.8	0.6	39.0	-17.1	0.0	-17.1	80
29	Jui 13	0.0	0.0	49.8	0.8	49.8	-17.1	0.0	-17.1	80
30	Jui 14	0.0	0.0	49.8	0.4	29.0	-17.1	0.0	-17.1	80
31	Jui 15	0.0	0.0	49.8	0.6	39.0	-17.1	0.0	-17.1	80
32	Jui 16	0.0	0.0	49.8	0.8	49.8	-17.1	0.0	-17.1	80
33	Jui 17	0.0	0.0	49.8	0.4	29.0	-17.1	0.0	-17.1	80
34	Jui 18	0.0	0.0	49.8	0.6	39.0	-17.1	0.0	-17.1	80
35	Jui 19	0.0	0.0	49.8	0.8	49.8	-17.1	0.0	-17.1	80
36	Jui 20	0.0	0.0	49.8	0.4	29.0	-17.1	0.0	-17.1	80
37	Jui 21	0.0	0.0	49.8	0.6	39.0	-17.1	0.0	-17.1	80
38	Jui 22	0.0	0.0	49.8	0.8	49.8	-17.1	0.0	-17.1	80
39	Jui 23	0.0	0.0	49.8	0.4	29.0	-17.1	0.0	-17.1	80
40	Jui 24	0.0	0.0	49.8	0.6	39.0	-17.1	0.0	-17.1	80
41	Jui 25	0.0	0.0	49.8	0.8	49.8	-17.1	0.0	-17.1	80
42	Jui 26	0.0	0.0	49.8	0.4	29.0	-17.1	0.0	-17.1	80
43	Jui 27	0.0	0.0	49.8	0.6	39.0	-17.1	0.0	-17.1	80
44	Jui 28	0.0	0.0	49.8	0.8	49.8	-17.1	0.0	-17.1	80
45	Jui 29	0.0	0.0	49.8	0.4	29.0	-17.1	0.0	-17.1	80
46	Jui 30	0.0	0.0	49.8	0.6	39.0	-17.1	0.0	-17.1	80
47	Jui 31	0.0	0.0	49.8	0.8	49.8	-17.1	0.0	-17.1	80

2 0 0 0 2 0 0 0 2 0 0 0
(Besoins en eau pour la saison)

Best Available Document

Figure 5

Variation de l'indice du bilan hydrique pour le mil/sorgho en 1985



cet objet, cette surface ou ce phénomène en observation. La distance entre le capteur et l'objet peut s'étendre de quelques millimètres à des milliers de kilomètres.

Tous les systèmes de la télédétection ont: 1) un capteur pour trouver et enregistrer les informations, et 2) une plate-forme pour soutenir le capteur et établir la distance de l'objet. Quelques exemples de capteurs et de plate-formes correspondants sont:

<u>Capteurs</u>	<u>Plate-formes</u>
l'oeil	le corp humain, l'échelle, l'arbre
la longue-vue	trépied, bâtiment, avion, vaisseau spatial
radar	tour, avion, vaisseau spatial
caméra à balayage multispectral	avion, vaisseau spatial

2. Historique de la télédétection

Bien que la photographie aérienne ait été utilisée depuis les années 1860, le mot télédétection n'a été employé qu'à partir de 1960.

a. Les systèmes de capteur

La simple caméra photographique a été parmi les premiers capteurs utilisés. Il faut par la suite attendre la Deuxième Guerre Mondiale pour voir se développer le radar aéroporté qui est un balayeur ou scanner à microonde active. On distingue également le capteur à microonde passive. Le capteur le moins familier utilisé pour obtenir des images de la surface terrestre est le scanner multispectral qui apparaît comme le plus performant des capteurs. Il détecte, à la fois, les rayonnements réfléchis et les rayonnements émis par les objets de la terre. Les scanners thermiques d'abord conçus à des fins militaires sont par la suite utilisés depuis les années 1960 pour beaucoup d'applications dans les sciences de l'environnement.

b. Les plate-formes d'observation

Les ballons à hydrogène semblent être les premières plate-formes utilisées pour la photographie aérienne. Ceci date environ de 1860. Par la suite, pour des fins météorologiques des pigeons ont été chargés de caméras pour la collecte de données sur photos. L'utilisation d'avion comme plate-forme date de 1909. Le début des années 1960 marque l'apparition des satellites, d'abord habités (ex. Mercury, Gemini, Apollo, etc.) ensuite non habités (ex. LANDSAT, SPOT, NOAA, etc.).

c. Les types d'images et les exemples

Les images peuvent être présentées sous forme de photographie en noir et blanc ou en couleur (réelle ou fausse) ou sous forme digitale pour le traitement informatique. Figure 6 est un exemple d'image sous forme de photographie en couleur.

3. Les bases physiques de la télédétection

Elles se rapportent aux propriétés du rayonnement électromagnétique. Puisque le capteur enregistre effectivement le rayonnement, il est important de considérer: 1) la source de rayonnement, 2) les interactions entre le rayonnement et les objets à la surface de la terre, 3) les caractéristiques du capteur, et 4) la voie de transmission (atmosphère) (Figure 7).

a. La source de rayonnement

Le rayonnement électromagnétique est défini comme l'énergie propagée vers l'espace ou vers un milieu en interaction avec les champs électrique et magnétique terrestres. Les ondes de rayonnement sont caractérisées par leur longueur d'onde qui est la distance qui sépare deux pics d'onde successifs. Elle est exprimée en micromètres. Les ondes sont aussi caractérisées par leur fréquence qui est le nombre de pics d'onde qui traversent un point fixé dans

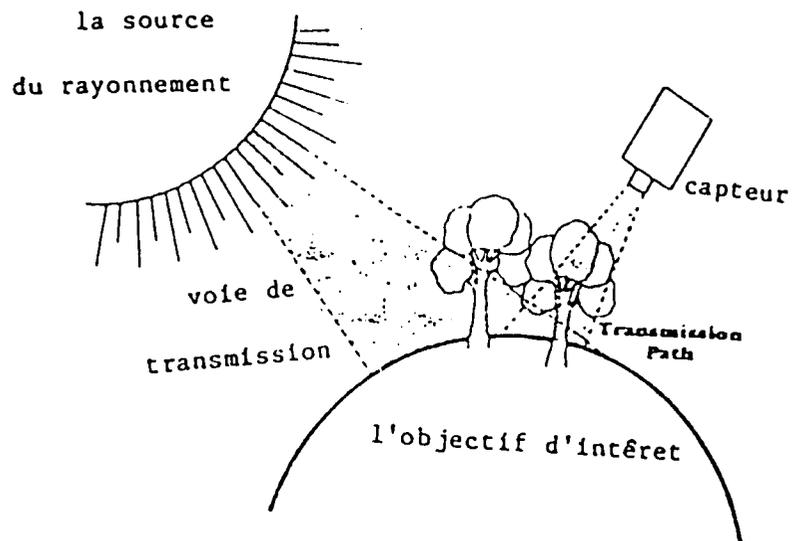


Figure 6

Image satellitaire

Figure 7

Modèle de la télédétection



l'espace par unité de temps. Les ondes se propagent à la vitesse de la lumière. Sur la base de cette définition on peut parler de spectre électromagnétique qui implique une disposition ordonnée des rayonnements électromagnétiques connus qui s'étendent des rayonnements cosmiques aux ondes radio en tenant par les rayonnements gamma, X, ultraviolet, visible et infrarouge. En télédétection le soleil est souvent considéré comme source de rayonnement.

b. Le pouvoir de réflectance des principaux types de couverture de la surface terrestre

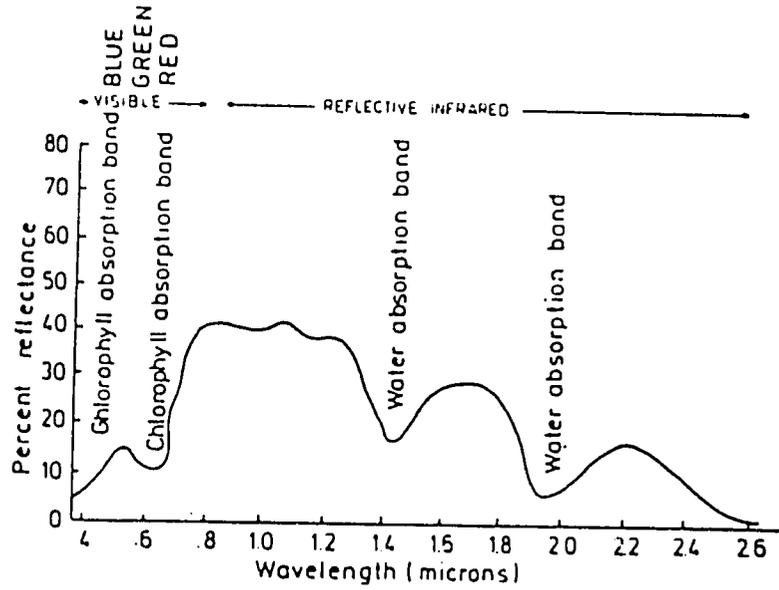
Tout corps dont la température est au-dessus du zéro absolu (-273°C ou 00K) émet de l'énergie électromagnétique. Plus cet objet est chaud, plus l'énergie émise est importante (loi de Stephan-Boltzman). L'énergie maximale à une longueur d'onde donnée est fonction de la température absolue de l'objet. Pour le cas du soleil le maximum correspond à la longueur d'onde 0.47 micromètre (μm) (loi de Wien). L'énergie qui atteint la surface terrestre, de manière directe ou indirecte, est absorbée ou réfléchie. La courbe qui donne le pourcentage d'énergie réfléchie par un couvert quelconque de la surface terrestre, en fonction de la longueur d'onde caractérise la signature spectrale de ce couvert. Les signatures sont considérées comme caractéristiques mais non constantes. En effet l'interférence atmosphérique, l'angle d'illumination, le champ de visée etc. peuvent donner aux objets apparemment identiques, des signatures différentes. Un graphique portant les signatures d'un sol nu et de la végétation est présenté à la Figure 8.

c. Les caractéristiques des capteurs

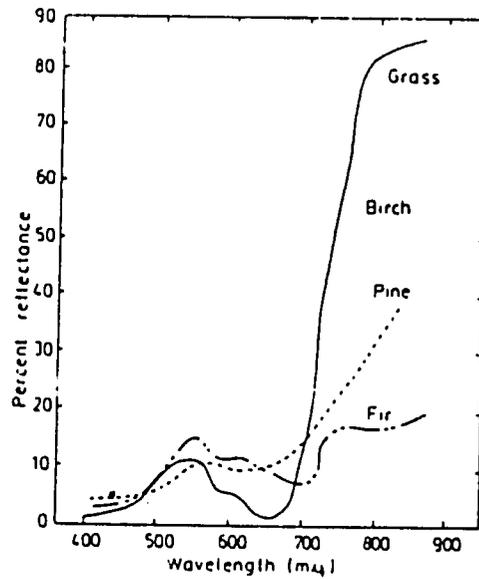
Les capteurs sont conçus pour être sensibles à une ou plusieurs bandes de longueurs d'ondes. C'est ainsi que l'oeil humain est sensible à la bande visible ($0.4 - 0.7 \mu\text{m}$), la caméra photographique dans la bande $0,3 - 1,2 \mu\text{m}$, les

Figure 8

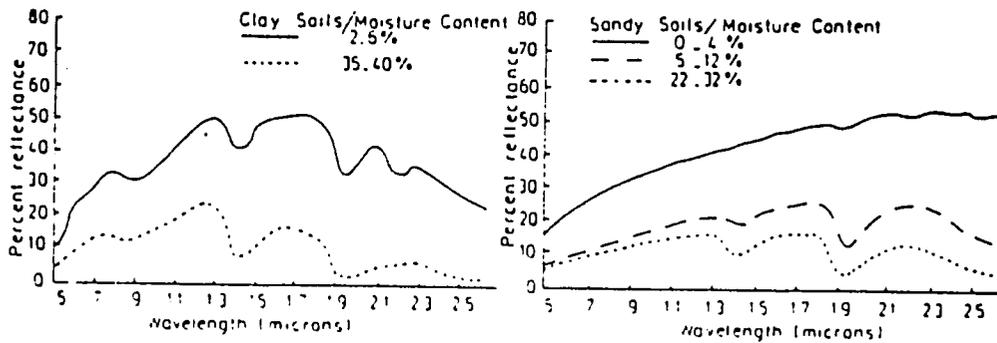
Signature spectrale de sols nus et de végétation



Reflection curve for a healthy green leaf.



Reflection curves for various types of foliages.



Reflection curves for two soil types under different moisture contents.

scanners thermiques dans l'infrarouge thermique (3 - 15 μm), et les scanners multispectraux dans la bande 0,3 $\bar{\times}$ 15 μm (Figure 9).

d. La voie de transmission

La voie de transmission utilisée en télédétection est principalement l'atmosphère. Cependant du fait de sa composition: vapeur d'eau, gaz carbonique, monoxyde de carbone, oxyde d'azote, ozone et d'autres gaz rares, elle atténue la propagation des ondes émises par le soleil ou la surface terrestre.

i) Les fenêtres atmosphériques

La conséquence de ceci est qu'un nombre très limité de "fenêtres" du spectre électromagnétique n'est pas relativement affecté par la réflexion, l'absorption ou la diffusion de l'atmosphère.

ii) Le spectre électromagnétique

Quoique considéré comme infini, seule une petite partie du spectre est généralement appliquée en télédétection. Il s'agit essentiellement des fenêtres situées dans le visible, le proche-infrarouge et l'infrarouge thermique (Figure 10).

Les données collectées dans les fenêtres visibles (0.4 - 0.75 μm) et proche-infrarouges (0.75 - 1.1 μm) traduisent l'énergie réfléchie par les objets terrestres. Les capteurs utilisés pour ces fenêtres sont la caméra photographique ordinaire et plus récemment les scanners multispectraux.

Les données collectées dans les deux bandes spectrales du moyen infrarouge (3 - 5 μm et 6 - 14 μm) traduisent l'énergie émise par les objets de la terre. Les émulsions photographiques ne peuvent pas être utilisées pour ces longueurs d'onde. On utilise des scanners sensibles au rayonnement infrarouge thermique.

Figure 9

SENSIBILITE SPECTRALE

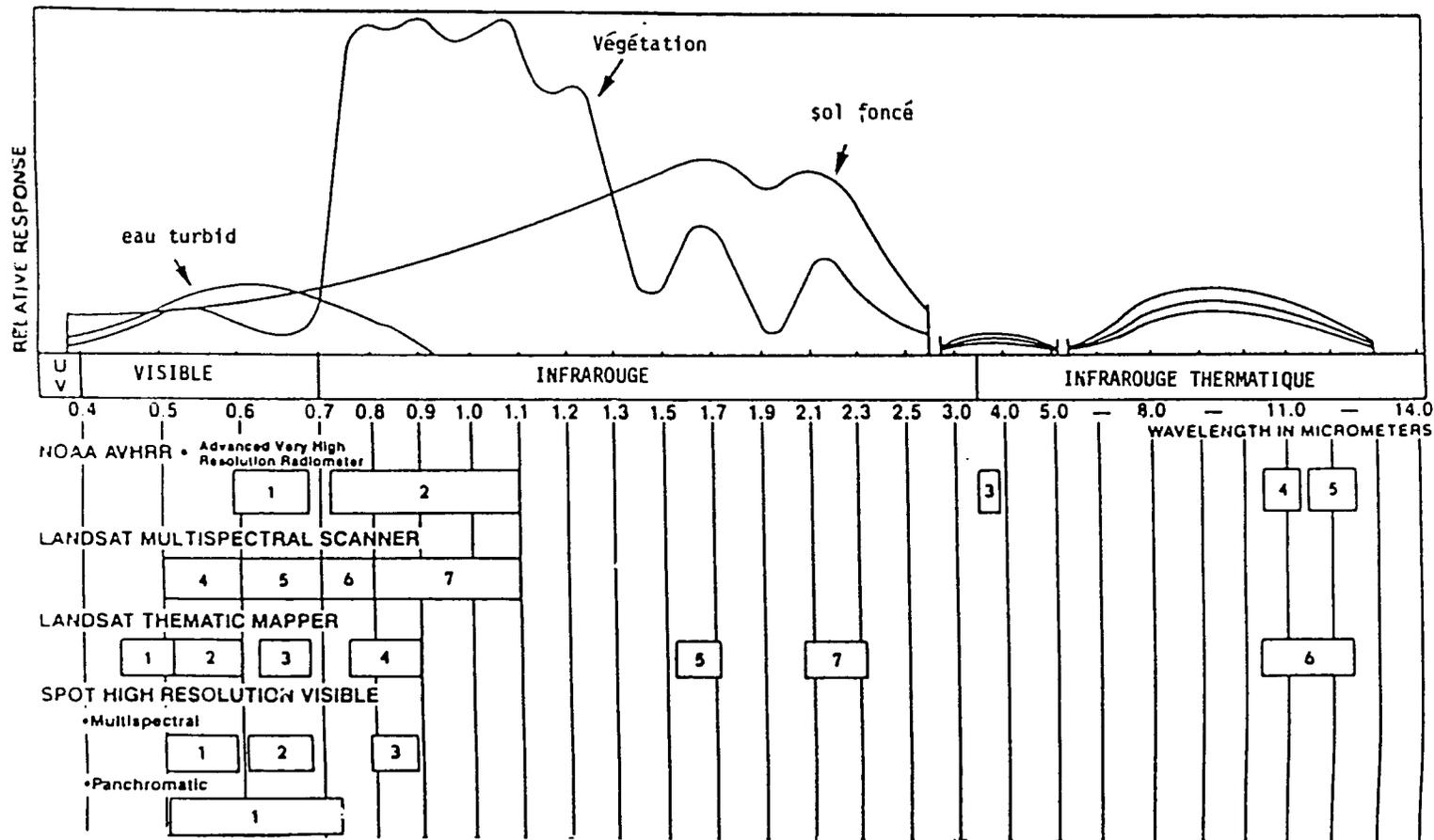
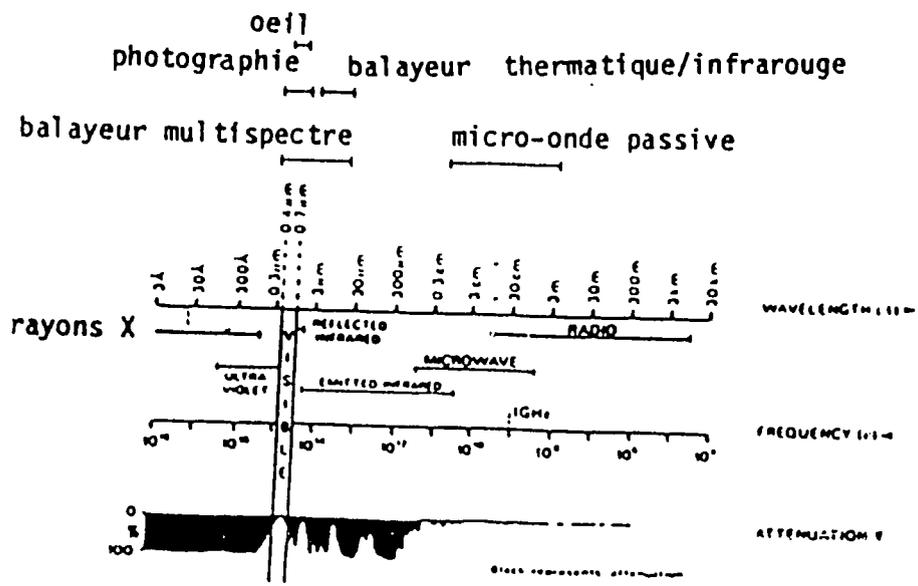


Figure 10

Le spectre électromagnétique



4. Les caractéristiques des satellites et des capteurs

Les satellites sont généralement caractérisés par leur orbite. On distingue deux catégories de satellites.

a. Les satellites à orbite quasi-polaire

Leurs trajectoires passent près des pôles nord et sud à une altitude allant de 800 à 1400 km. Ils passent au-dessus d'une même région à la même heure locale toutes les 12 ou 24 heures. Ils font 14 ou 15 fois leur orbite par jour et chaque tour dure environ 100 minutes.

LANDSAT qui n'est plus opérationnel à présent et SPOT (système probatoire d'observation de la terre, satellite français) sont des exemples des satellites à orbite polaire. Les objectifs de ce cours, qui ne sont pas en adéquation avec les caractéristiques de ces satellites, font que de plus amples détails ne soient pas données à leur propos. L'exemple qui suscite ici notre intérêt concerne les satellites NOAA.

Le satellite NOAA-9 appartient à la troisième génération des satellites opérationnels à orbite polaire. Le NOAA-9 passe à l'équateur aux environs de 14:30 (temps solaire vrai) dans le sens ascendant (sud-NRD) au nadir (point situé au sol à la verticale du satellite).

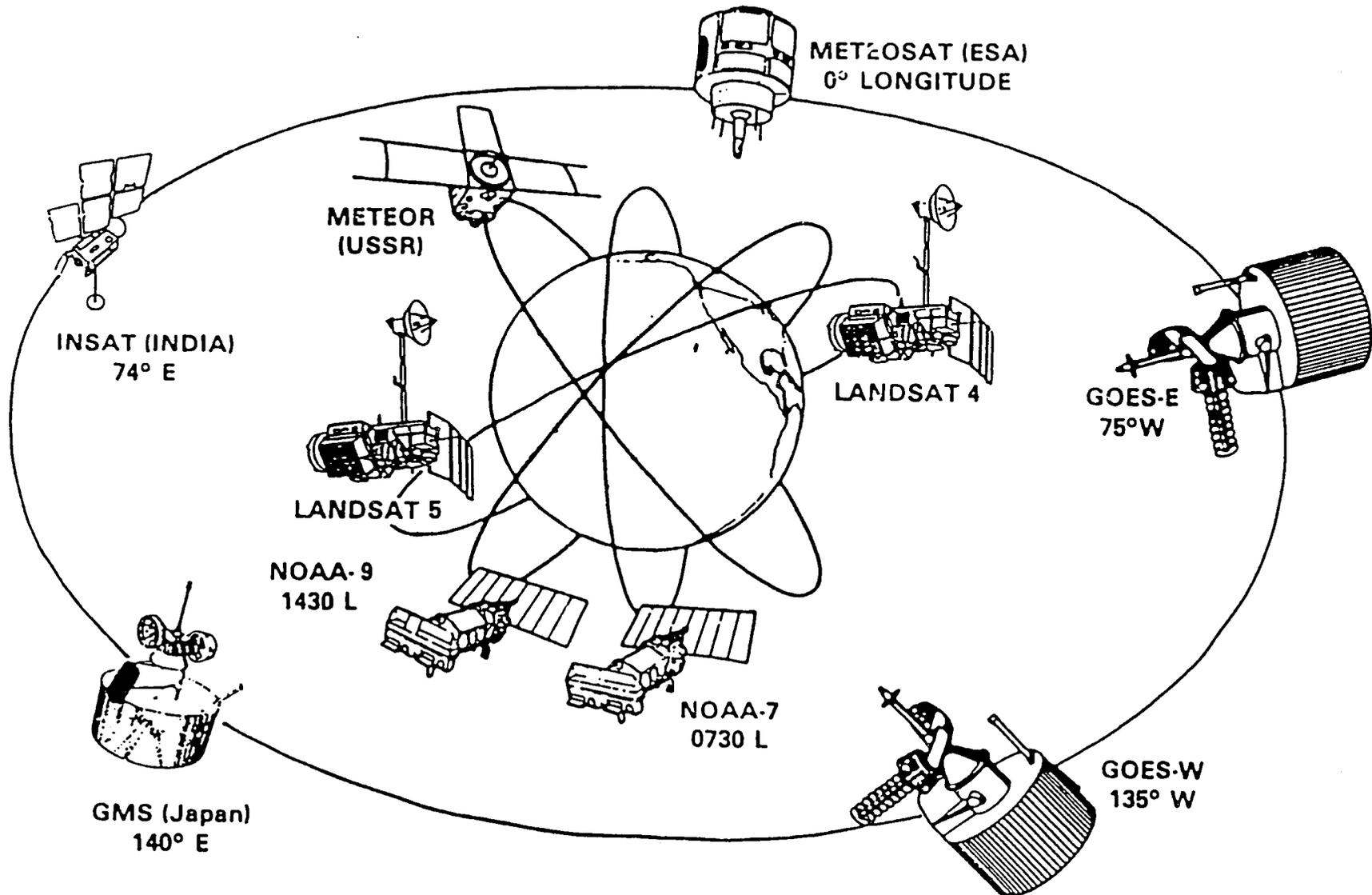
b. Les satellites géostationnaires

Ils sont lancés à une altitude de 36.000 km. Ils tournent ainsi à la même vitesse et dans le même sens que la terre donnant ainsi l'impression d'être stationnaire au-dessus d'un certain point de la surface terrestre. Les images obtenues représentent ainsi la même partie de la surface terrestre. Les conditions météorologiques peuvent ainsi être suivies avec 48 images (une toutes les 30 minutes) par jour. Quelques exemples des satellites géostationnaires sont: METEOSAT (Europe), GOES (USA) et GMS (Japan) (Figure 11).

Figure 11

Configuration des satellites quasi-polaires et géostationnaires

34



c. Les capteurs

Les capteurs des satellites sont des scanners multispectraux.

Multispectral se définit comme le fait d'opérer dans plus d'une bande du spectre simultanément. Le scanner est un miroir qui tourne autant de fois que le capteur passe au-dessus de l'objet. Le capteur à bord de NOAA-9 est un Radiomètre Avancé à Très Haute Résolution (AVHRR). Il réalise des images dans cinq canaux: visible, proche- et moyen-infrarouge et les deux derniers dans l'infrarouge thermique. Nous nous intéressons au capteur AVHRR dont les données sont essentiellement utilisées pour les évaluations agroclimatiques.

La résolution spatiale qui est la plus petite surface que le capteur peut distinguer et considérer comme une unité de données dépend des modes d'utilisation opérationnelle du capteur AVHRR. On en distingue cinq:

- APT (transmission automatique d'image): Les images peuvent être obtenues au niveau des stations de réception au sol du monde entier, sur support papier dans les spectres visible et infrarouge. La résolution est de 4 x 4 km.

- HRPT (transmission d'image à haute résolution): C'est la sortie directe des données aux stations de réception au sol dans tous les cinq canaux. La résolution est de 1,1 x 1,1 km.

- GAC (couverture globale d'une surface): C'est l'enregistrement global à bord du satellite des données de résolution 4 x 4 km dans tous les canaux du AVHRR pour le traitement sur l'ordinateur central de la NOAA à Suitland, Maryland.

- LAC (couverture locale d'une surface) enregistrement à bord du satellite des données relatives à des portions sélectionnées de chaque orbite avec une résolution de 1,1 x 1,1 km dans tous les cinq canaux du spectre pour le traitement au niveau central.

- Indice global de végétation: Produit par NOAA/NESDIS depuis avril 1982 à partir des données GAC. Les données sur les indices de végétation sont présentées sur une grille à projection polaire stéréographique (PSG). Il y a deux grilles: l'une centrée au pôle nord et l'autre au pôle sud. La résolution va de 15 x 15 km à l'équateur à 30 x 30 km aux pôles.

5. Préparation des données satellitaires de base: satellites

a. Introduction

Les images obtenues du satellite doivent faire en premier lieu l'objet de correction géométrique et radiométrique avant d'être interprétées. Les distorsions géométriques sont généralement causées par les irrégularités du capteur, la topographie et la courbure de la terre. Les corrections radiométriques sont effectuées pour normaliser les données radiométriques de chaque scène en égard à la hauteur du soleil, l'instrument de calibration, les conditions atmosphériques et l'angle de visée. Par la suite, on procède au traitement proprement dit qui comprend toutes les activités développées pour extraire les informations disponibles sur une image pour des fins d'interprétation. Les calculs d'indice de végétation sont un exemple de traitement. Le type de l'étendue du traitement dépend de l'équipement, des possibilités de sortie disponibles et des produits désirés.

b. Les types de données du satellite NOAA

Les données utilisées pour les évaluations agroclimatiques sont les données LAC, GAC et PSG.

- Données LAC: Déjà présentées.

- Données GAC: Elles sont obtenues à partir des données LAC. Les pixels de la première ligne sont groupés en série de cinq. Les quatre premiers sont moyennés (ce qui donne la valeur d'un pixel GAC). Le cinquième

pixel est ignoré. On saute les deuxième et troisième lignes. Ainsi, un pixel GAC est constitué d'un échantillonnage de 15 pixels LAC.

- Données PSG: Elles sont constituées à partir des données GAC et échantillonnées sur une grille de 4 sur 4 pixels GAC. Le pixel PSG donne la même réponse spectrale que le pixel GAC située à la quatrième ligne, quatrième colonne de la grille. Il représente une superficie de 225 km² (à l'équateur) qui s'étend jusqu'à 900 km² aux pôles. Les pixels d'un jour représentent 14 orbites.

- Données PSG composite par semaine: Sur une échelle de temps d'une semaine on conçoit une image composite dans l'optique d'obtenir une image avec le moins de nuage possible. On calcule l'indice de biomasse verte et on sélectionne la plus grande valeur de ces indices dans une journée.

Figure 12 montre la conception des données PSG.

c. Cellules de grille

Les dispositions sont déjà prises pour identifier de manière opérationnelle les données disponibles de rendements, de biomasse et de pluviométrie dans chacune des cellules suivantes:

- $\frac{1}{2}$ x 1°lat/long (sera utilisé en 1986),
- 1 x 2°lat/long, et
- sur une région quelconque.

6. Les principes de l'interprétation des images

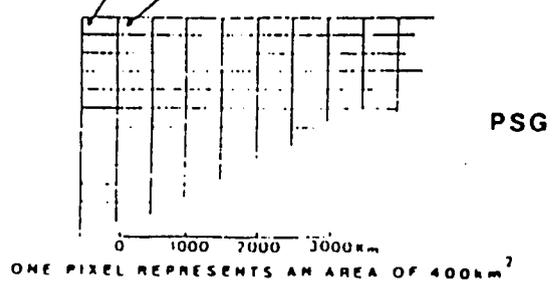
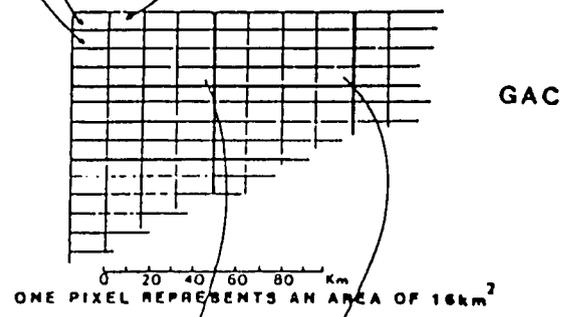
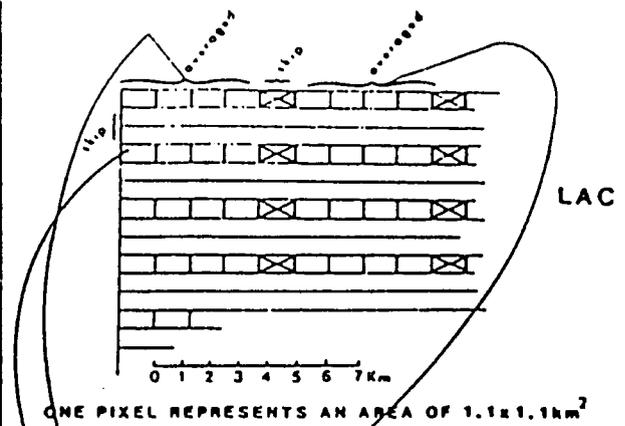
a. Introduction

La compréhension des principes d'interprétation d'image est essentielle en télédétection. L'image est soit une photographie aérienne, soit une photo imprimée sur support papier ou simplement visualisée au moniteur (video).

Figure 12

Principes de la création des images PSG

1) PSG DATA GENERATION



b. Les principes de base de l'interprétation d'images

En interprétant les images, il y a quatre principes de base: 1) une image est une représentation illustrée des détails trouvés dans un paysage, 2) une image est composée d'éléments qui servent comme indicateurs des matériaux, conditions, et événements qui sont en rapport avec les composants physiques, biologiques, culturels et climatiques du paysage, 3) les matériaux, conditions et événements semblables dans des environnements semblables produisent des modèles semblables et les matériaux, conditions et événements différents produisent des modèles différents, et 4) l'information de type qualitatif ou quantitative que l'on peut obtenir par interprétation d'image est proportionnelle à la connaissance, à l'expérience, au talent et à l'intérêt de l'analyste.

c. Les facteurs régissant l'interprétabilité des images

Quelques facteurs qui régissent l'interprétation d'une image sont:

- les caractéristiques de sensibilité spectrale du capteur (camera, film, filtre, scanner multispectral),
- les techniques de traitement d'image utilisées (exposition, rehaussement),
- la saison pendant laquelle l'image est enregistrée,
- temps du jour pendant lequel l'image est enregistrée,
- les effets de l'atmosphère,
- l'échelle de l'image,
- les capacités de résolution du capteur utilisé,
- la parallaxe stéréoscopique (il faut deux images de même scène enregistrées selon deux perspectives différentes),
- l'acuité visuelle et mentale de l'analyste,
- le matériel d'interprétation disponible (simple ou complexe) et les techniques utilisées, et
- une bonne documentation.

Les huit premiers facteurs sont relatifs aux caractéristiques physiques de l'image et les trois derniers à l'aptitude de l'analyste d'extraire de l'image l'information utile.

d. Le procédé d'interprétation: caractéristiques d'une image

Il consiste à détecter, à esquisser et à identifier les détails et/ou les conditions et à quantifier la signification de ces détails et/ou conditions. Un certain nombre de caractéristiques permettent à l'analyste d'arriver à ce but. Les plus importantes sont: 1) la couleur, 2) la forme, 3) la taille, 4) la texture, 5) l'ombre, 6) le modèle, 7) la situation ou l'association de circonstance, et 8) la parallaxe.

En somme l'analyste doit avoir une parfaite compréhension de:

1) comment l'image a été développée, 2) ce qu'elle représente, et 3) processus et phénomènes terrestres qui sont représentés.

Nous nous intéressons principalement ici aux images de l'indice normalisé de végétation de l'AVHRR. Elles sont évaluées et montrées avec le système de couleur coordonné d'Ambroziak (ACCS) qui sera décrit au-dessous.

7. Les systèmes de couleur coordonnée et leurs applications à la télédétection

a. Introduction

L'oeil humain qui peut distinguer 200 niveaux de gris peut en principe distinguer 20.000 teints et ombres de couleur. A cause de cette perception augmentée, on pourra obtenir beaucoup plus d'informations dans une image en couleur que dans une image en noir et blanc. Un système de couleur coordonné est une méthode rationnelle d'ordonner et de spécifier les couleurs. Les systèmes de couleur coordonnée sont répartis en deux groupes: ceux qui sont basés sur les principes physiques de création de couleur et ceux qui sont basés sur le principe de la perception de couleur.

b. La pellicule en couleur

Elle est basée sur le principe de mélange de couleur soustractive en utilisant les couleurs superposées jaune, rouge pourpre (magenta), et le bleu verdâtre (cyan). Ces couleurs sont dénommées primaires soustractives et chacune résulte de la soustraction d'une d'elles de la lumière blanche. Le jaune absorbe le bleu de la lumière, le magenta absorbe le vert de la lumière et le cyan absorbe le rouge de la lumière.

La pellicule teintée en proche infrarouge est basée sur le principe des trois couches d'émulsion, chacune étant sensible à une longueur d'onde donnée du rayonnement électromagnétique.

c. Le système de couleur rouge-vert-bleu ou système RGB

Il est basé sur le principe physique de la création de couleur additive. Cela signifie que dans des conditions variables, les couleurs différentes seront obtenues par addition des couleurs primaires: rouge, vert et bleu (Figure 13).

d. Le système de fausse couleur en infrarouge

La fausse couleur en infrarouge est basé sur le principe selon lequel la couche d'émulsion jaune enregistre la radiation verte, la couche d'émulsion magenta enregistre la radiation rouge et la couche d'émulsion cyan enregistre la radiation proche-infrarouge.

e. Le système basé sur la saturation, la brillance et la teinte (IHS)

L'intensité est la perception d'un objet comme étant noir ou brillant. La teinte est l'attribut de couleur (bleu, vert, jaune, rouge, etc.). La saturation dénote la présence ou l'absence de couleur. Ce système a l'avantage d'être plus descriptif que le RGB à propos du mélange de couleurs dans les systèmes graphiques des ordinateurs. La Figure 14 présente l'hexagone

Figure 13
Système de couleur RGB

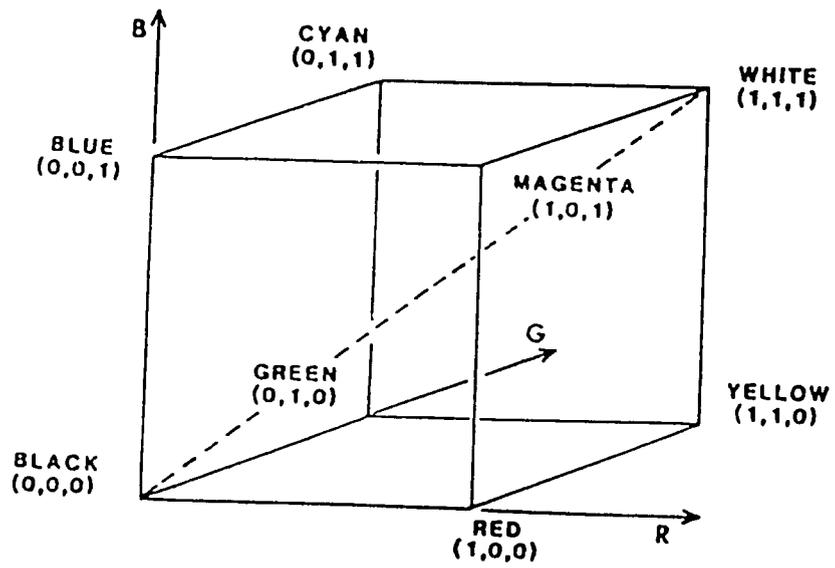
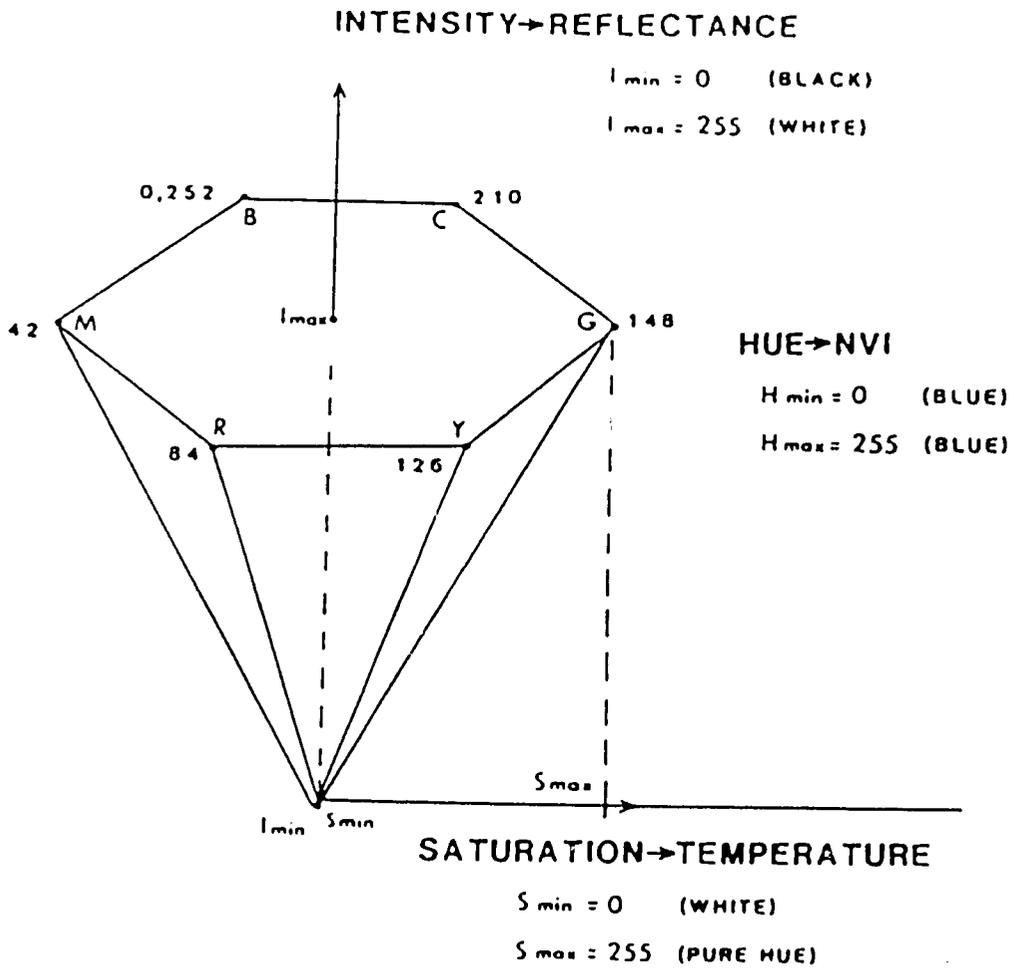


Figure 14

Modèle du système de couleur IHS



représentant le système qui est une déformation du cube de couleur RGB. Ce système est ainsi plus adéquat pour intégrer le facteur humain, c'est-à-dire améliorer la qualité de l'interprétation de l'image.

f. Le système de couleur coordonnée d'Ambroziak (ACCS)

L'imagerie du capteur AVHRR utilisée pour les évaluations agroclimatiques est rehaussée par l'application d'un système développé par Ambroziak qui retrace les données dans l'espace: intensité - teinte de gris-saturation (IHS). L'indice de végétation est tracé en teinte, les réflectances maximales du visible et du proche-infrarouge sont tracées en intensité et la température et tracée en saturation. Le système ACCS attribue des couleurs aux objets de la manière suivante: l'indice de végétation est cartographié en teinte et les pixels à indice de végétation différent ont des teintes différentes. Ainsi un couvert végétal en bonne santé est vert contrairement au couvert ayant subi un stress qui est jaune. Les nuages apparaissent blancs. Les pixels à indice de végétation identique avec des valeurs différentes dans les canaux 1 et 2 peuvent être différenciés de telle manière que les cultures sont en vert clair et la forêt dense en vert sombre. La saturation est réduite à zéro pour les valeurs très élevées de brillance visible, devenant ainsi un filtre à nuages. Les contours saillant sur une image, qui apparaissent comme de grands changements en teinte, indiquent de réels changements dans le couvert végétal (Figure 15).

Généralement les couleurs peuvent être interprétées comme montrées au Tableau 5. Le développement végétatif a un effet sur les valeurs des canaux 1 et 2. Tableau 6 montre cet effet sur les deux canaux. Les propriétés changeantes du sol ont aussi des effets sur les canaux 1 et 2 dans le système ACCS comme le montre le Tableau 7. Dans le système ACCS, l'effet de la végétation varie suivant la région. Le Tableau 8 donne un exemple de cette variabilité. Les pratiques culturales ont aussi une influence sur la couleur rendue par le

Figure 15

Système de couleur coordonnée d'Ambroziak

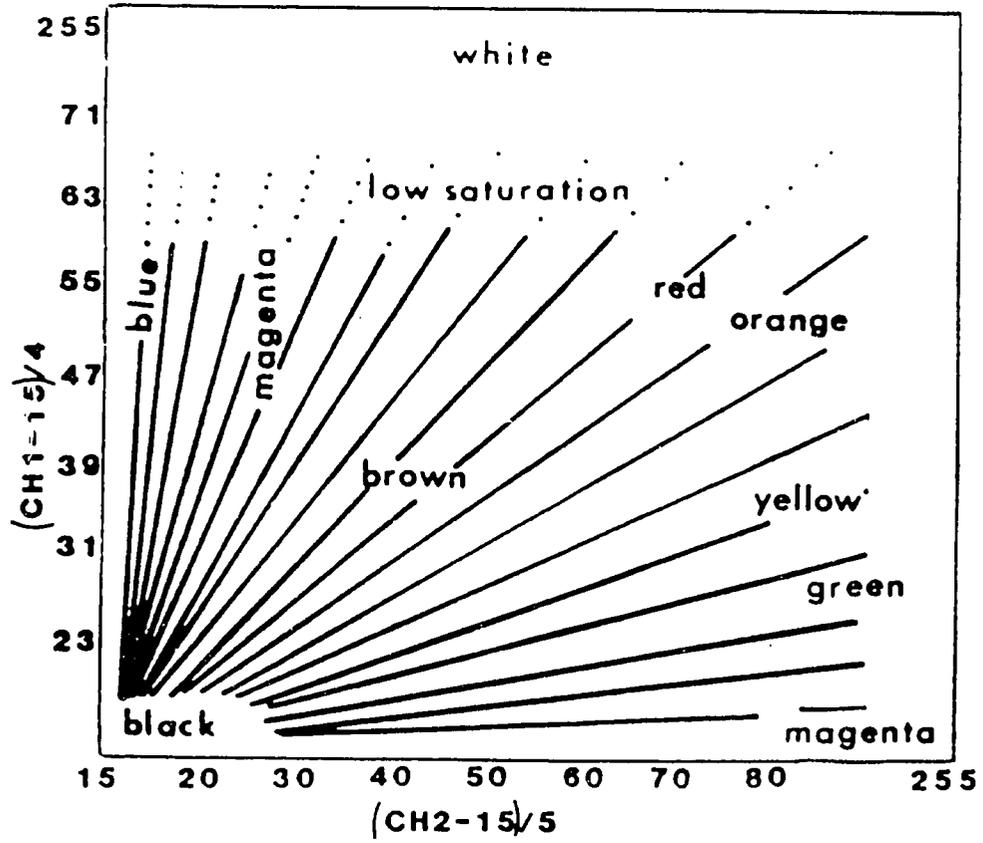


Tableau 5. L'interprétation des couleurs du système ACCS

TEINTE	INTENSITE	
	<u>Sombre</u>	<u>Clair</u>
rouge	Sol humide ou noir*	Sable ou nuages bas
jaune	Plantes à la levée ou dispersées couvert végétal sur sol humide ou noir	Plantes à la levée ou plantes dispersées sur sable ou sous nuages diffus
vert	Plantes en très bonne santé avec eau stagnante ou forêt	Champ de culture en bonne santé ou plantes identiques
cyan (bleu verdâtre)	Forêt dense	Forêt dense, couvert de maïs ou de riz
magenta (rouge porupre)	Plan d'eau clair et peu profond où eau légèrement troublée	Eau très troublée, peu profonde, ou plan d'eau partiellement couvert de nuages
Les couleurs sans teintes		
noir	Plan d'eau clair profond ou ombre noire	
blanc	Nuages, neige ou montagnes froides	

* les couleurs sombres rouges, oranges et jaunes sont des ombres du brun.

Tableau 6. L'effet du développement végétatif sur les canaux 1 et 2

Etat végétatif	Canal 1	Canal 2	DVI = (C2 - C1 + 100)
Sol nu	C	C	100
Levée	-	+	+
Indices de surface foliaire (LAI) = 1	C	+	+
LAI = 8	C	C	maxi
Chute des feuilles	C	-	-
Maturation	-	-	-

Légende: + = accroissement, - = diminution, C = constant

Tableau 7. Les effets sur les canaux 1 et 2 des propriétés changeantes du sol

Propriétés du sol	Canal 1	Canal 2	Couleur
Contenu hydrique en hausse	-	--	rouge sombre
Augmentation de la taille des particules	+	++	rouge clair
Augmentation des matières organiques	--	-	rouge sombre
Augmentation en Fe ₂ O ₃	--	-	rouge sombre
Surface lisse	+	++	rouge clair

Legende: ++ = forte augmentation, + = augmentation, - = diminution, -- = forte diminution

Tableau 8. L'effet de la végétation d'une région dans le système ACCS sur les canaux 1 et 2

Stade de développement	<u>Afrique sahelienne</u>		<u>Missouri</u>	
	Canal 1	Canal 2	Canal 1	Canal 2
Sol nu	44	44	30	37
Levée	42	48	28	42
LAI = 2	35	50	26	49
LAI maxi	30	50	21	57
Maturité	30	45	18	50
Récolte	35	37	24	36

couvert végétal. Tableau 9 présente un schéma de cette influence. Les conditions de l'environnement agissent également sur la couleur rendue par le couvert végétal comme l'indique le Tableau 10.

L'analyse des images AVHRR peut être accomplie avec un processeur d'images (exemple sur IBM/PC). Les programmes disponibles permettent l'affichage, l'agrandissement, le changement de couleur à l'écran et l'étiquetage de l'image obtenue. Les changements de couleur sont faits sur la base du système intensité-teinte-saturation de l'ACCS.

8. L'indice de biomasse verte

a. Introduction

L'évaluation de la biomasse végétale par les systèmes de télédétection multispectrale est basée sur les caractéristiques de réflectance du couvert végétal lui-même et sur la réflectance différentielle détectable entre les bandes visible et proche infrarouge (Figure 16).

b. Pourquoi un indice de biomasse verte

L'indice de végétation est un nombre qui nous dit si un objet est de la végétation ou pas. C'est un rapport ou une différence des réflectances du proche-infrarouge (Canal 2) et du visible (Canal 1). Il compense les variations de l'énergie rayonnée par le soleil et corrige partiellement les effets de l'atmosphère et les différences des réflectances des objets dues aux modifications de l'angle de balayage du capteur. Les indices ont été utilisés pour la surveillance des biotopes d'insectes, des feux de brousse, de l'avancée du désert et des cultures (surfaces cultivées, type de culture et stade de développement). La Figure 17 montre, sur un système d'axes portant les réflectances visible et proche-infrarouge, la situation des différents couverts du sol.

Tableau 9. L'influence des pratiques culturales sur la couleur
du couvert végétal

	Canal 1	Canal 2	Couleur
<u>Pratiques culturales</u>			
Augmentation des engrais	-	+	bleu verdâtre clair
Semis tardif	-	+	" "
Densité accrue des plantes	-	+	" "

+ = augmentation, - = baisse

Tableau 10. Les actions des conditions de l'environnement sur la couleur de couvert végétal

<u>Conditions de l'environnement</u>	Canal 1	Canal 2	Couleur
Maladie	+	-	jaune rougeâtre
Sécheresse	+	-	jaune
Inondation	+	-	bleu verdâtre très foncé
Gelée	+	-	jaune

Legende: + = augmentation, - = baisse

Figure 16

Réponse spectrale des canaux AVHRR-NOAA pour le blé

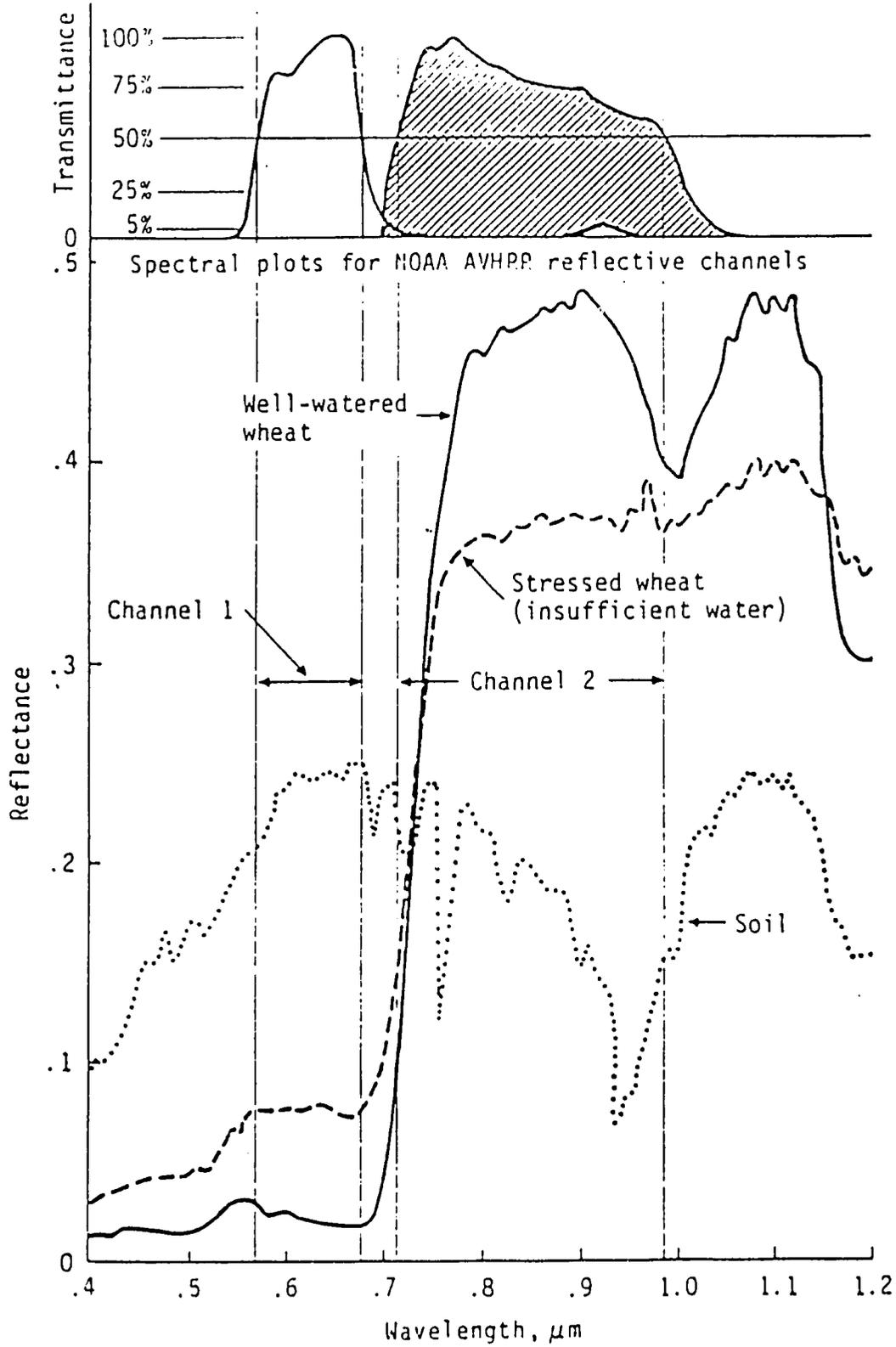
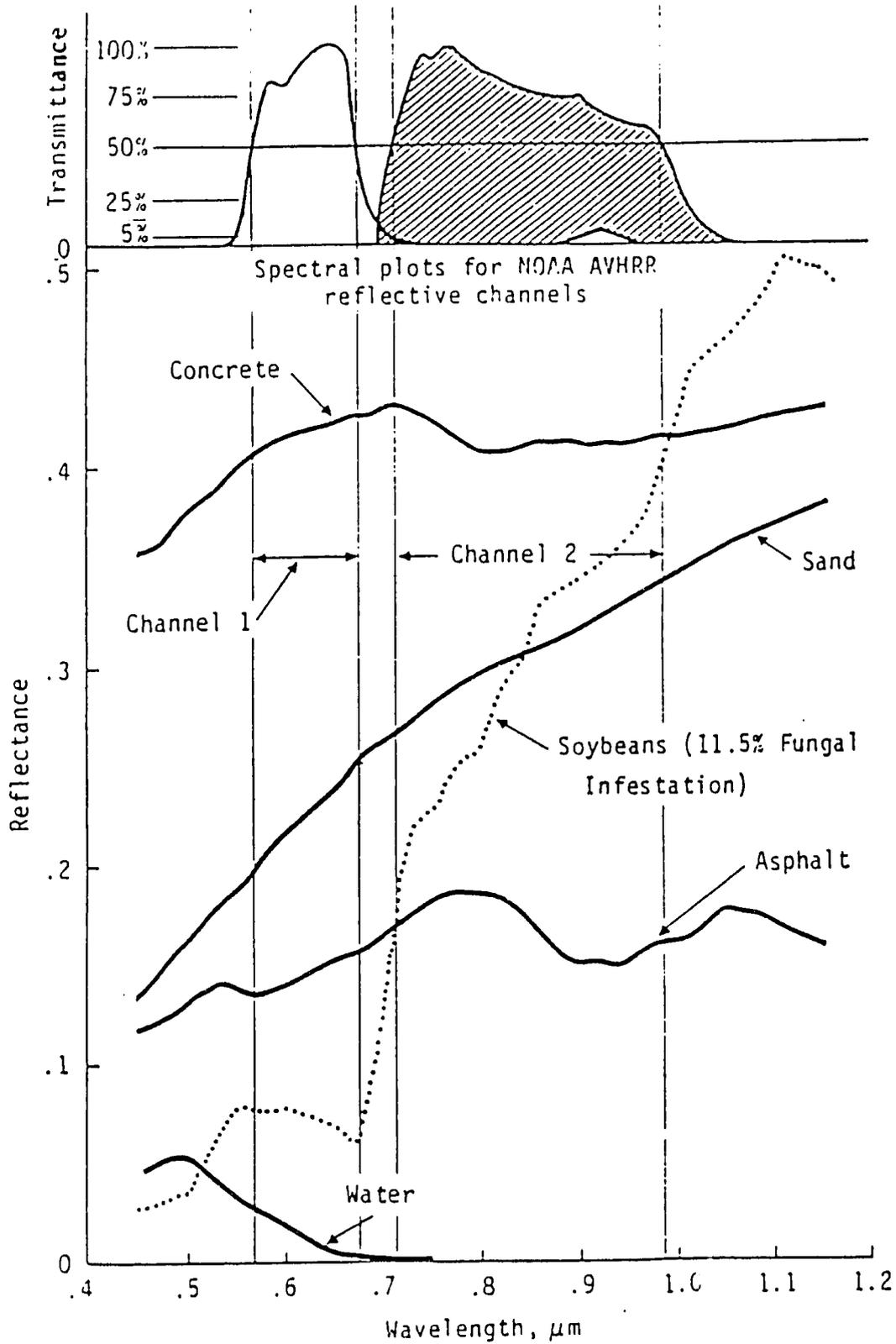


Figure 17

Réponse spectrale de différents couverts du sol



c. Quelques indices de biomasse des canaux 1 et 2

On distingue:

- l'indice de végétation différentielle (DVI):

$$DVI = \text{Canal 2} - \text{Canal 1}$$

- l'indice basé sur le rapport des réflectances (RVI):

$$RVI = \frac{\text{Canal 2}}{\text{Canal 1}}$$

- l'indice de végétation normalisé (NVI)

$$NVI = \frac{\text{Canal 2} - \text{Canal 1}}{\text{Canal 2} + \text{Canal 1}}$$

Les profils des trois indices de végétation dans une zone semi-aride du Sénégal sont donnés en Figure 18. Cette zone semi-aride permet de distinguer la végétation du sol nu. Pour différencier les courbes d'indices, on a ajouté 100 au DVI, et on a multiplié NVI par 100 et RVI par 50.

d. Selection d'un indice idéal

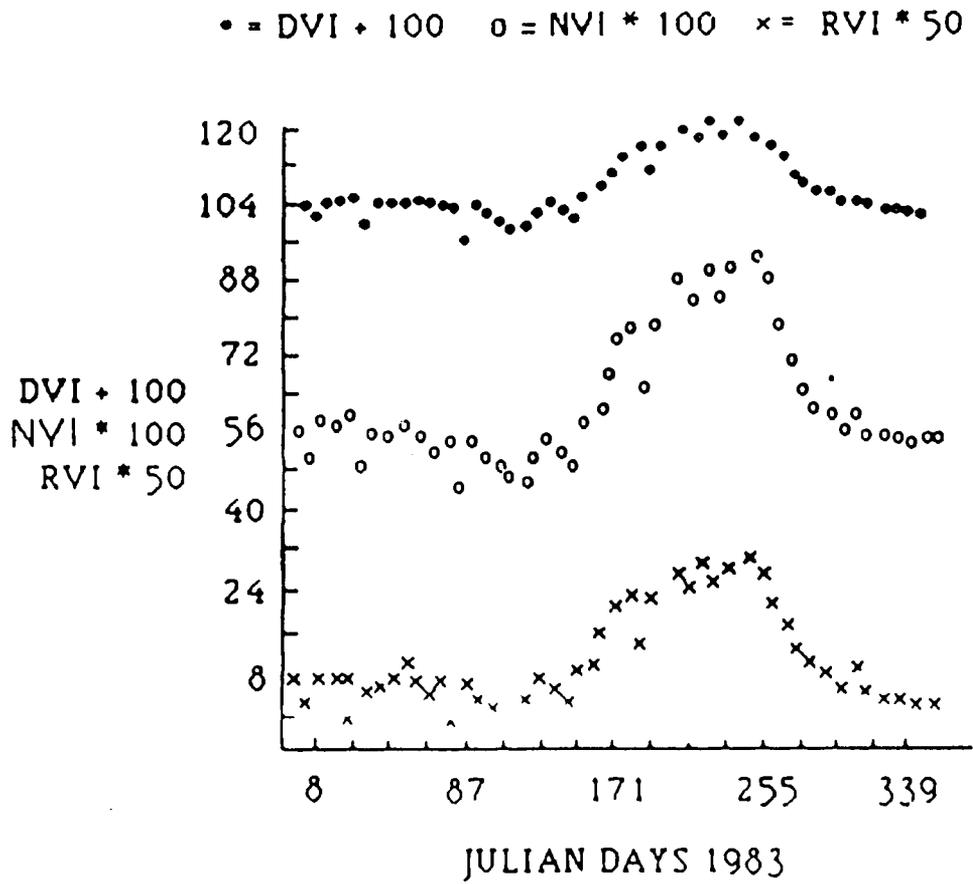
A première vue les trois indices ne présentent pas de différences notables. Une méthode plus élaborée de standardisation des données montre qu'il y a une petite différence entre DVI et NVI et une différence moindre entre RVI et le NVI. Le Tableau 11 des coefficients de corrélation illustre bien ce fait. Ces valeurs ne sont toutefois pas corrigées. Cependant les variations des réflectances dans les canaux 1 et 2 sont très bien corrélées. Les RVI présentent l'avantage de permettre d'interpréter les différences entre stades phénologiques d'une année à l'autre.

e. Les coupes chronologiques des indices de végétation

Une coupe chronologique d'indice de végétation montre les variations des indices en fonction du temps. Les valeurs d'indices de végétation pour chaque pixel sont calculées chaque jour de la semaine et les pixels dépourvus de nuages sont moyennés pour produire un indice de végétation hebdomadaire. Les

Figure 18

Comparaison des trois indices de végétation: RVI, DVI, NVI



Numéro du jour dans l'année

Tableau 11

Coefficients de corrélation, échantillon de 50 individus

	DVI	NVI	RVI
DVI	1.00	0.99	0.99
NVI	0.99	1.00	1.00
RVI	0.99	1.00	1.00

valeurs hebdomadaires des pixels sont par la suite moyennées sur une région. Considérant que le type d'utilisation de la terre n'a pas changé, la comparaison d'un profil de l'année courante à celui de l'année précédente sur la même région peut donner des informations sur les conditions de la végétation de l'année courante. Un comportement anormal du profil à un certain moment de la saison végétative peut résulter de contraintes subies par la végétation. Les profils ont l'avantage: 1) de corriger partiellement les variations radiométriques, 2) de globaliser les données, et 3) d'être des outils efficaces pour interpréter les développements phénologiques dans différentes régions pour différentes années. L'indice de végétation est étroitement lié à l'indice de surface foliaire (LAI) sur une région. Le LAI est déterminé à partir du stade phénologique de la plante. Le stress qu'un couvert végétal endure durant son développement aura une influence sur le LAI, sur l'indice de végétation et sur la forme du profil d'indice.

f. Lissage des coupes chronologiques

En général un profil présente toujours de larges fluctuations. La variation totale ou oscillation d'un profil à travers le temps peut être définie comme la somme de plusieurs oscillations observées sur plusieurs intervalles de temps. Certaines oscillations sont dites régulières (indice de végétation, angle de visée, hauteur du soleil) et d'autres irrégulières (conditions environnementales irrégulières). On procède ainsi pour éliminer les variations non-désirées au lissage des profils, technique qui ne nécessite pas des connaissances profondes sur les interactions du rayonnement avec l'atmosphère et l'angle de visée. On utilise généralement les courbes d'ajustement polynomial ou la décomposition en série de Fourier (26 harmoniques en général). De plus en plus, on utilise les lisseurs composites dont le principe consiste à utiliser simultanément deux méthodes de filtrage. Le lisseur composite le plus utilisé et le "4253H deux fois" qui a été développée par Velleman et al.

Les chiffres de ce lisseur indiquent les harmoniques utilisées. Le 4253H filtre en premier lieu les données en utilisant la médiane courante de la 4^{ème} harmonique, puis la 2^{ème}, et ensuite le 5^{ème} et la 3^{ème}. Le H se réfère au "hanning" qui consiste à pondérer les données par 0.25, 0.50 et 0.25. Les différentes méthodes de lissage peuvent être expérimentées sur ordinateur comme le montre les sorties des Figures 19-24 (profil d'indice de végétation lissé). Ces méthodes bien que assez performantes ne sont toutefois pas idéales surtout lorsqu'il existe des valeurs extrêmes ou aberrantes.

g. Principes d'interprétation des coupes chronologiques

Le principe est de coupler le profil avec un ou plusieurs paramètres climatiques (pluviométrie mensuelle par exemple). La Figure 25 illustre ce principe. A partir du 162^{ème} jour de l'année 1984 (partie 1), la végétation devient de plus en plus vert. La pluie décroît durant le mois de juillet et la végétation subit un stress hydrique et l'indice de végétation décroît également (partie 2). En août les pluies augmentent provoquant un reverdissement du couvert et l'accroissement de l'indice de végétation. Le cumul total de la pluviométrie de 1984 a été supérieur à celui de 1983, du fait de la saison des pluies plus longue en 1983. Ceci a pour conséquence une meilleure production de biomasse verte totale et de pâturages en 1984. Cependant en 1984, la sécheresse a eu lieu juste au stade critique de la grenaison du mil. Ainsi les rendements de 1984 ont été inférieurs à ceux de 1983. Ceci a été confirmé par les données recueillies de rendements de la région.

h. Développement des NVI et rendements des cultures

Les profils de NVI rendent donc bien compte des conditions bonnes ou mauvaises subies par les cultures. Ceci a conduit à chercher une relation entre cet indice et le rendement des cultures. Il est à rappeler que ce sont les

Figure 19

Coupe chronologique des NVI lissée avec l'ajustement polynomial

INDEX SMOOTHED WITH POLYNOMIAL CURVE FITTING FOR D2 1983

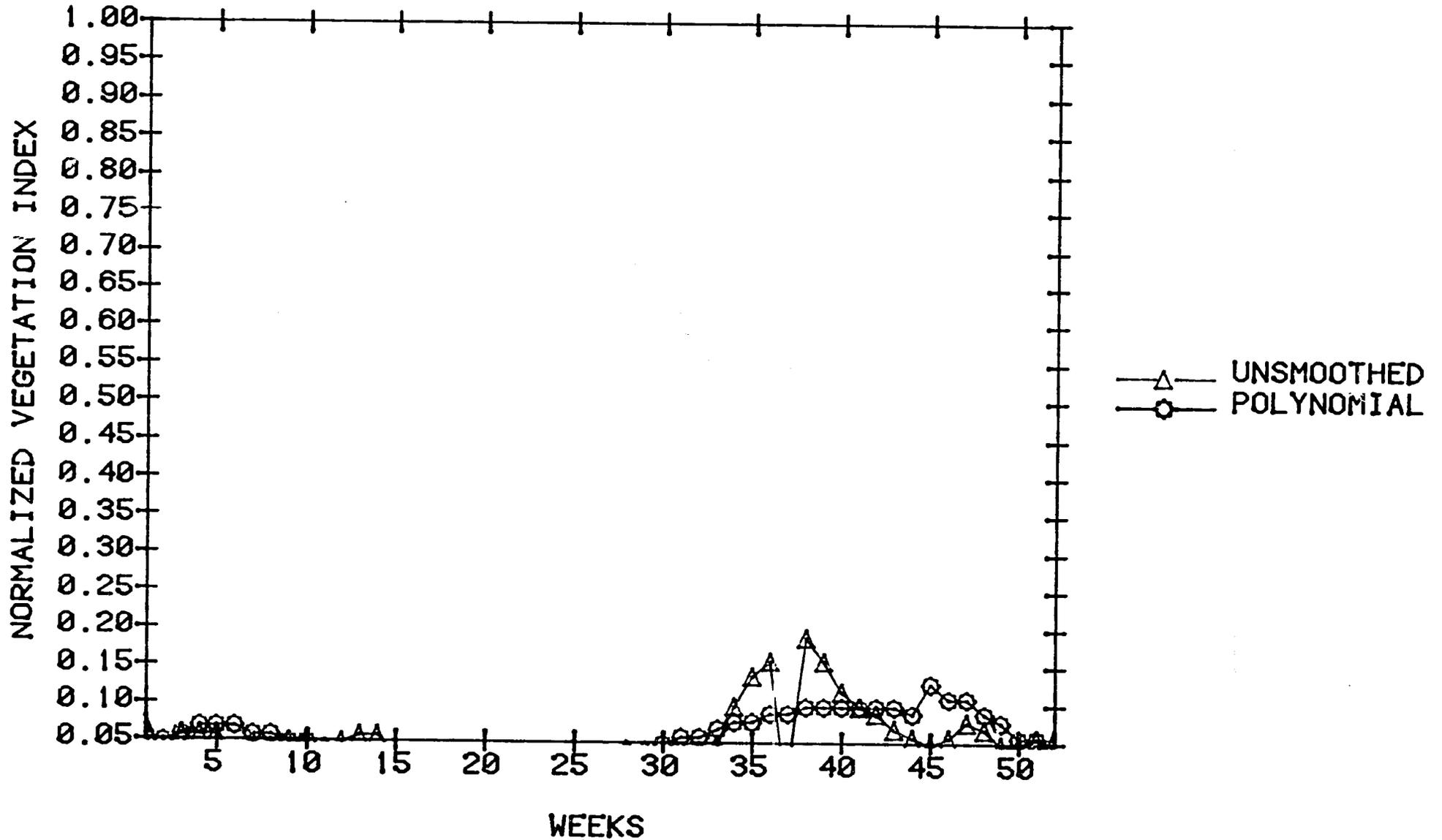


Figure 20

Coupe chronologique des RVI lissée avec ajustement polynomial

INDEX SMOOTHED WITH POLYNOMIAL CURVE FITTING FOR D2 1983

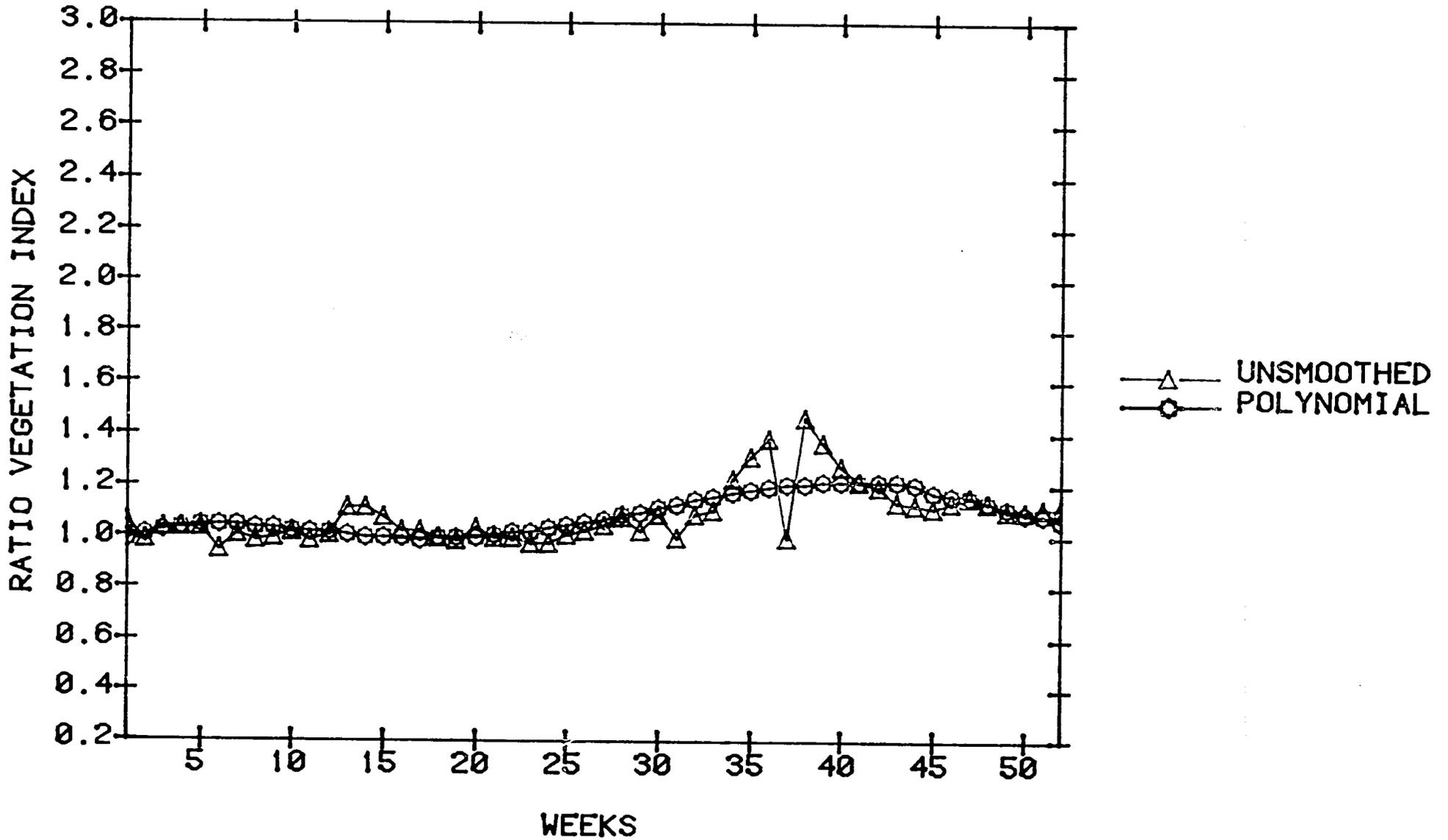


Figure 21

Coupe chronologique des NVI lissée avec la série de Fourier

VEGETATION INDEX SMOOTHED WITH FOURIER SERIES FOR D2 1983

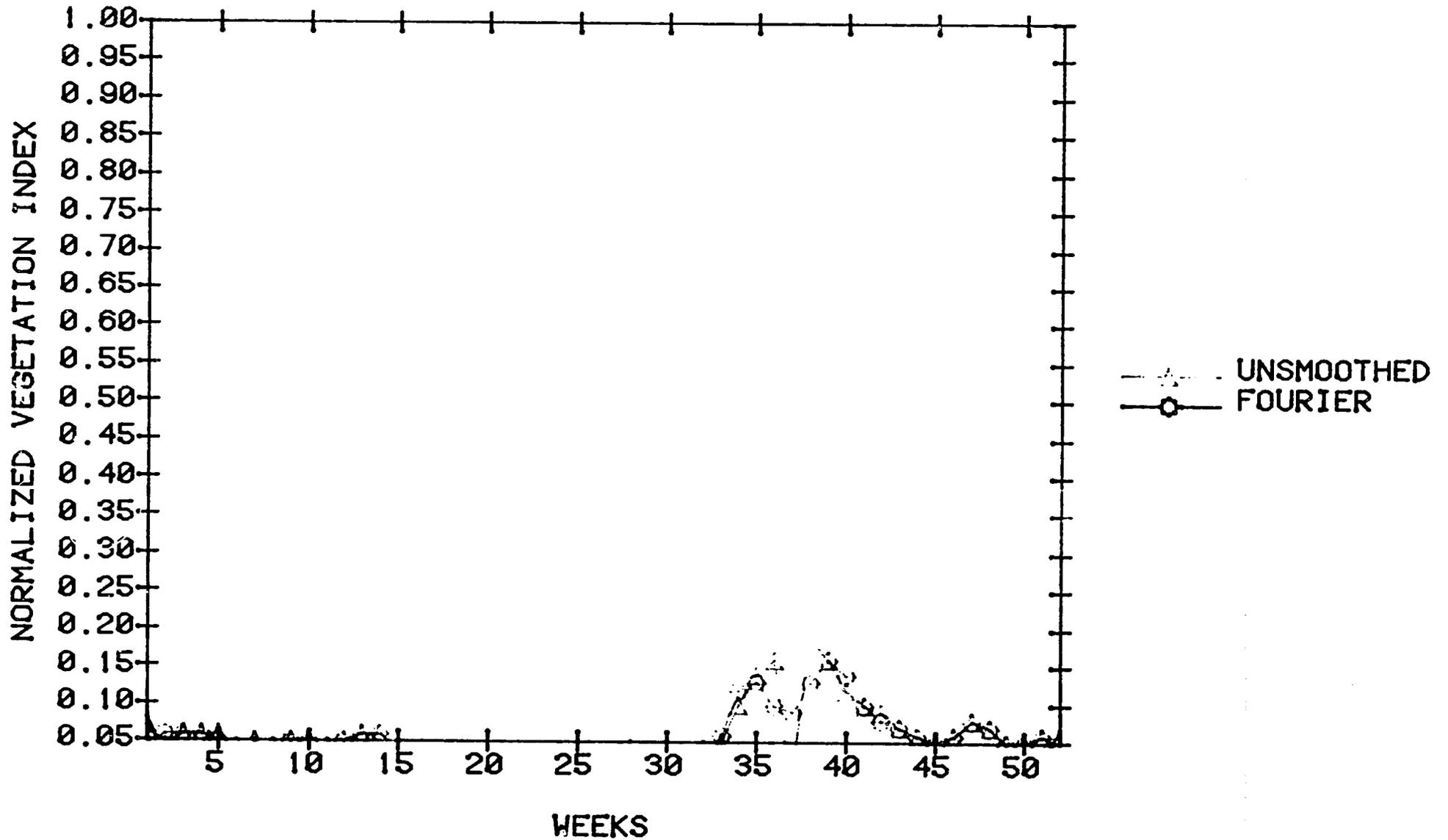


Figure 22

Coupe chronologique des RVI lissée avec la série de Fourier

VEGETATION INDEX SMOOTHED WITH FOURIER SERIES FOR D2 1983

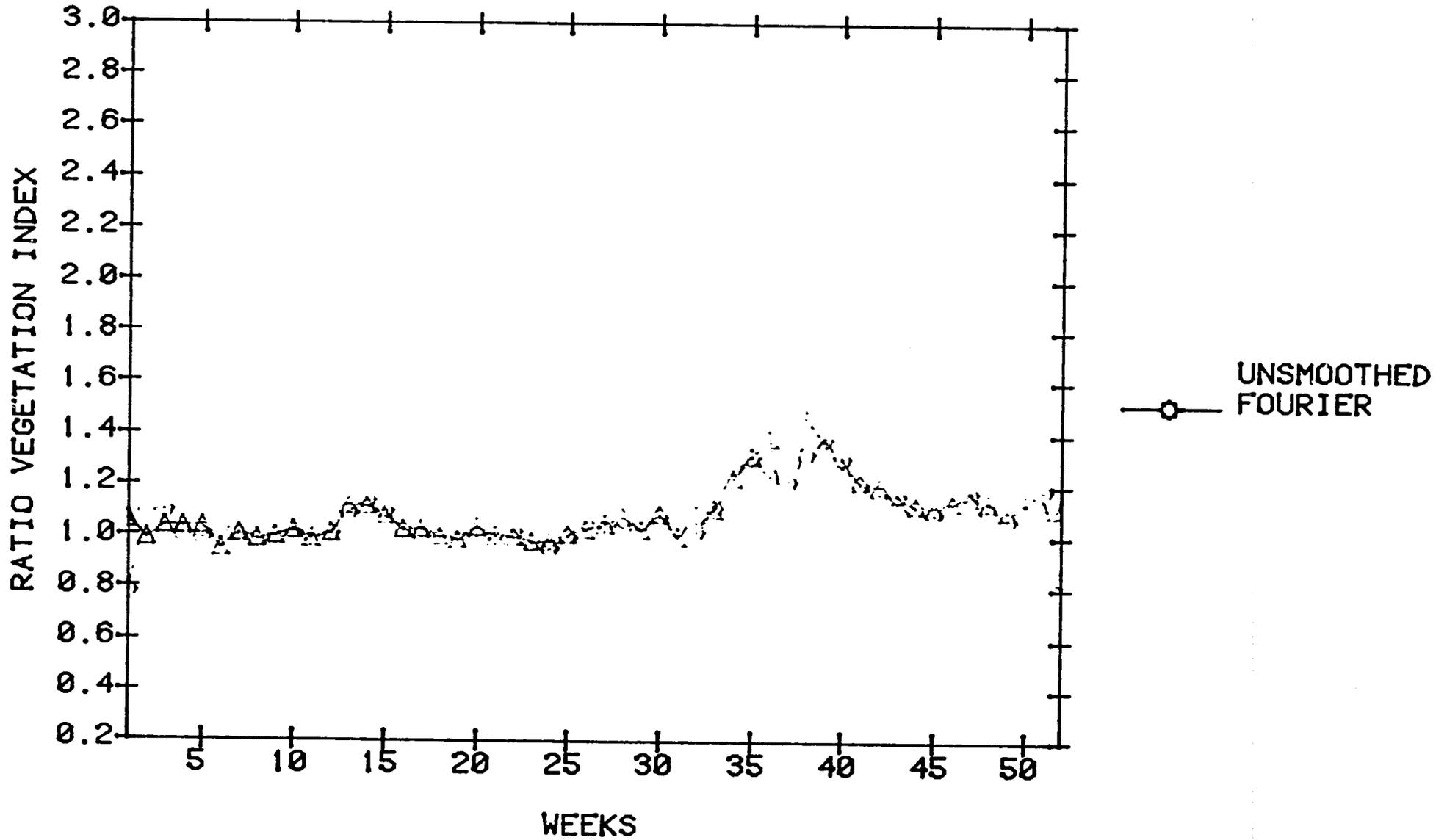


Figure 23

Coupe chronologique des NVI lissée avec la méthode "4253H deux fois"

VEGETATION INDEX SMOOTHED WITH 4253H FOR D2 1983

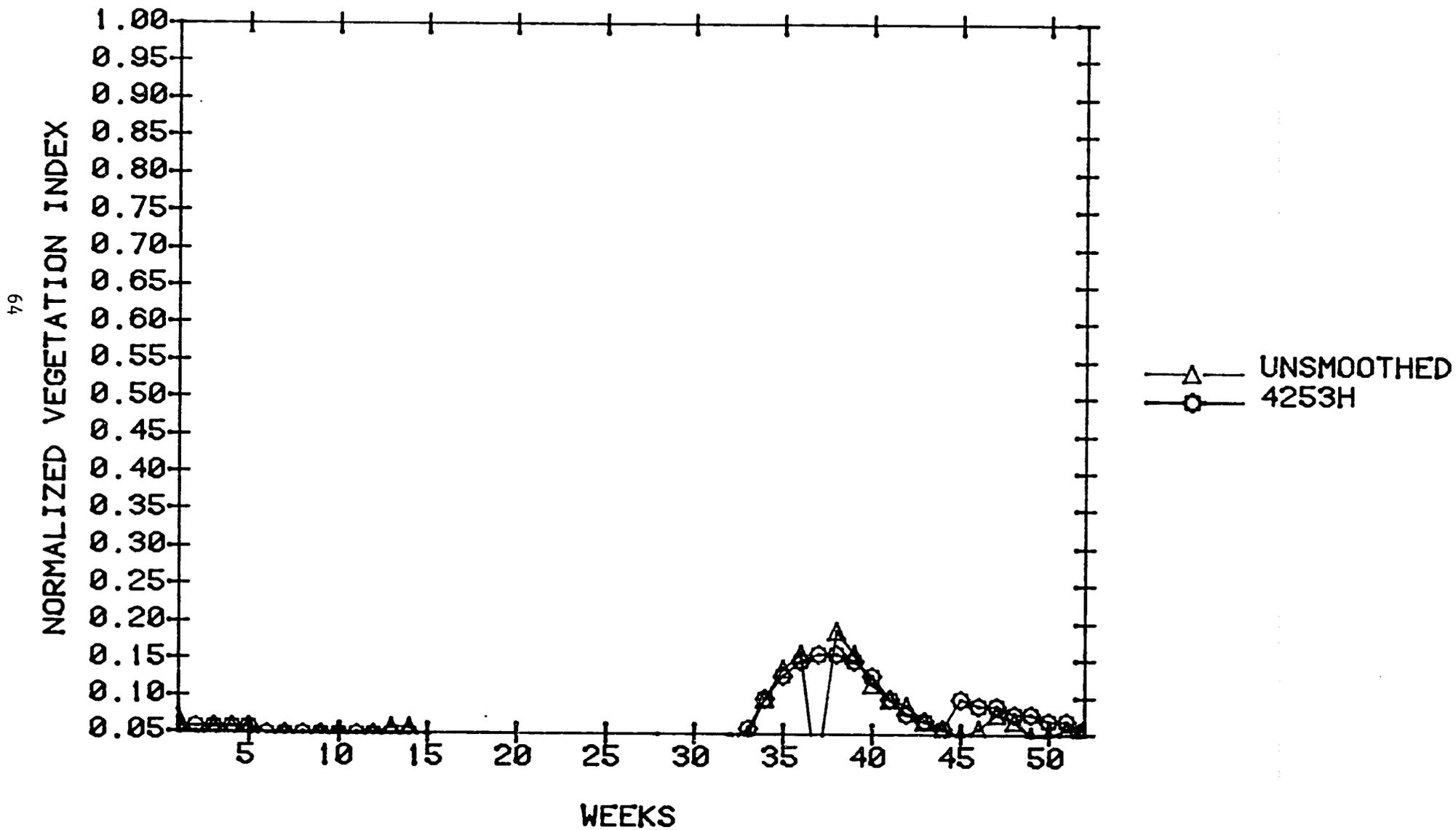


Figure 24

Coupe chronologique des RVI lissée avec la méthode "4253H deux fois"

VEGETATION INDEX SMOOTHED WITH 4253H FOR D2 1983

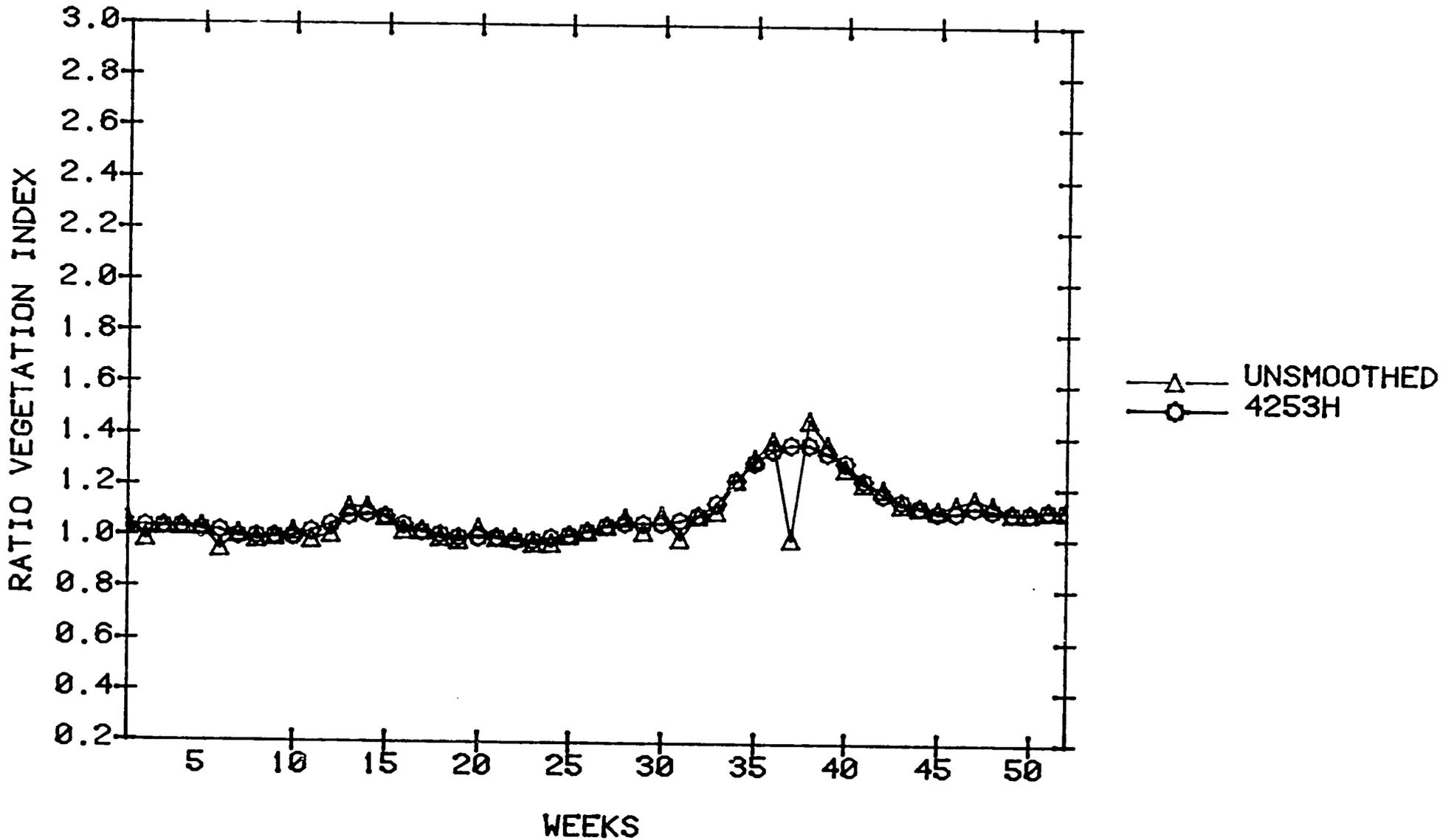
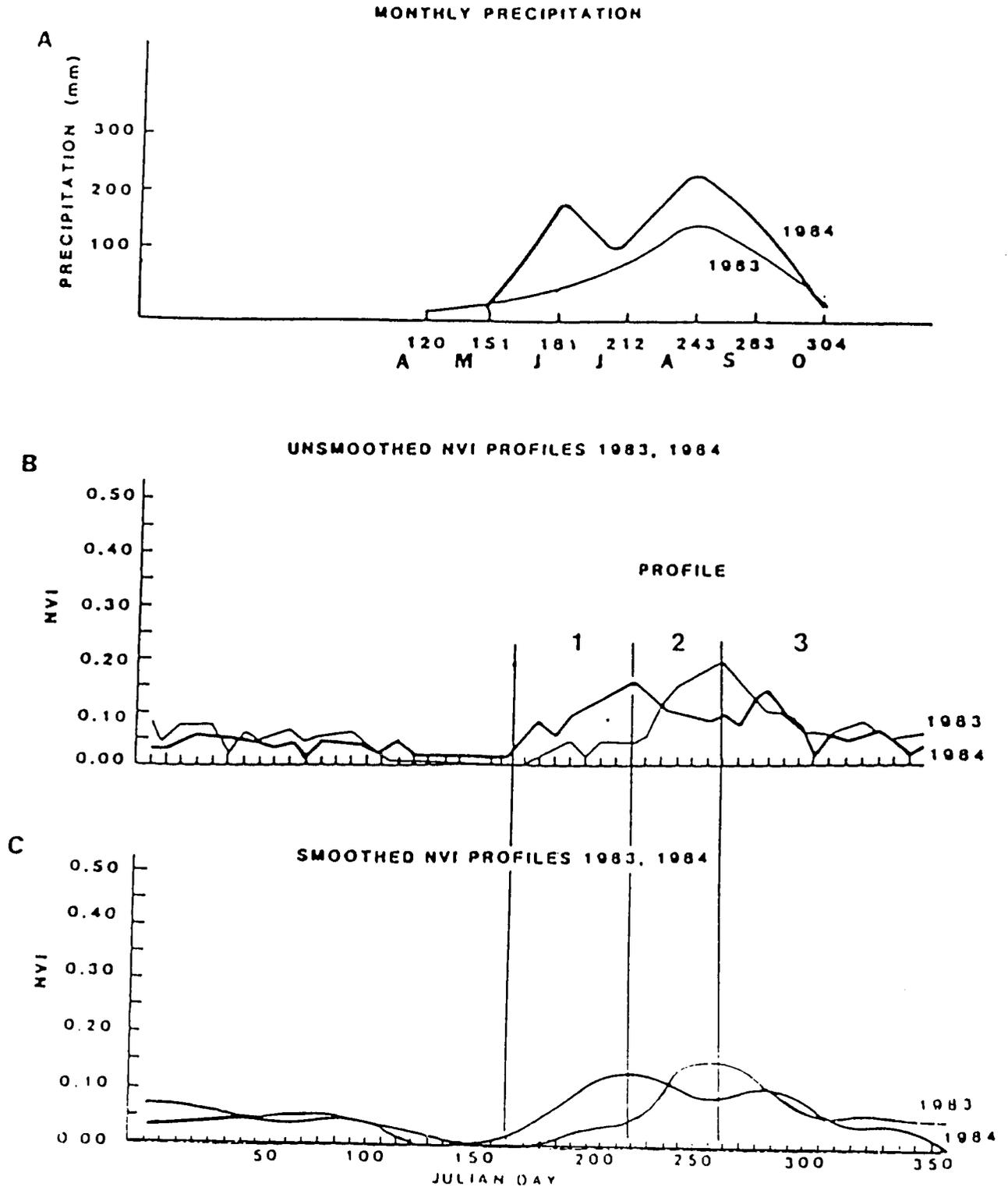


Figure 25

Comparaison des données pluviométriques de Sénégal de 1983 et 1984 (A) contre les NVI (nonlissés - B et lissés - C) de 1983 et 1984



données PSG composites qui sont utilisées au stade opérationnel des évaluations agroclimatiques pour déterminer les NVI. Des relations assez bien fondées ont été mises au point entre le NVI et les rendements.

Ces relations étant supposées établies, l'utilisation des satellites pour estimer les rendements présente l'avantage de fournir aux responsables des renseignements rapides et continus relatifs aux cultures, surtout vivrières, sur de larges zones de culture permettant ainsi de bien mener les opérations d'urgence de transfert de vivres à la suite de stress de tous ordres subis par les cultures.

A partir des données réelles de rendements et des valeurs de NVI des relations permettant d'estimer le rendement final au cours de la saison végétative sont établies pour les principales cultures du Sahel. La Figure 26 présente l'exemple du mil/sorgho et de l'arachide pour 1983 et 1984 au Sénégal.

1. Développement des NVI pour l'évaluation des pâturages

Il a déjà été établi des rapport étroits entre les mesures de rayonnement et la production primaire de biomasse végétale. Ce rapport est lié à l'indice de surface foliaire (LAI), la biomasse totale et la paille pour le bétail. C'est ainsi que, sur le même principe que plus haut, des tentatives de liaison ont été menées entre les NVI et les données réelles de terrain relatives aux pâturages.

Ainsi une meilleure gestion des parcours peut être faite réduisant ainsi le surpâturage et partant l'avancée du désert sur la base de l'estimation de la biomasse et de l'indice de surface foliaire.

Des courbes de regression significatives ont été obtenues:

- entre la biomasse mesurée et le NVI (exemple du Sénégal et du Mali en 1983 et 1984, Figure 27),
- entre la biomasse et la capacité de charge des pâturages par Boudet (1975)(Figure 28).

Figure 26

NVI contre rendements d'arachide et de mil/sorgho

PLOT OF NVI VERSUS YIELD OF
GROUNDNUTS AND MILLET/SORGHUM
SENEGAL, 1983 AND 1984

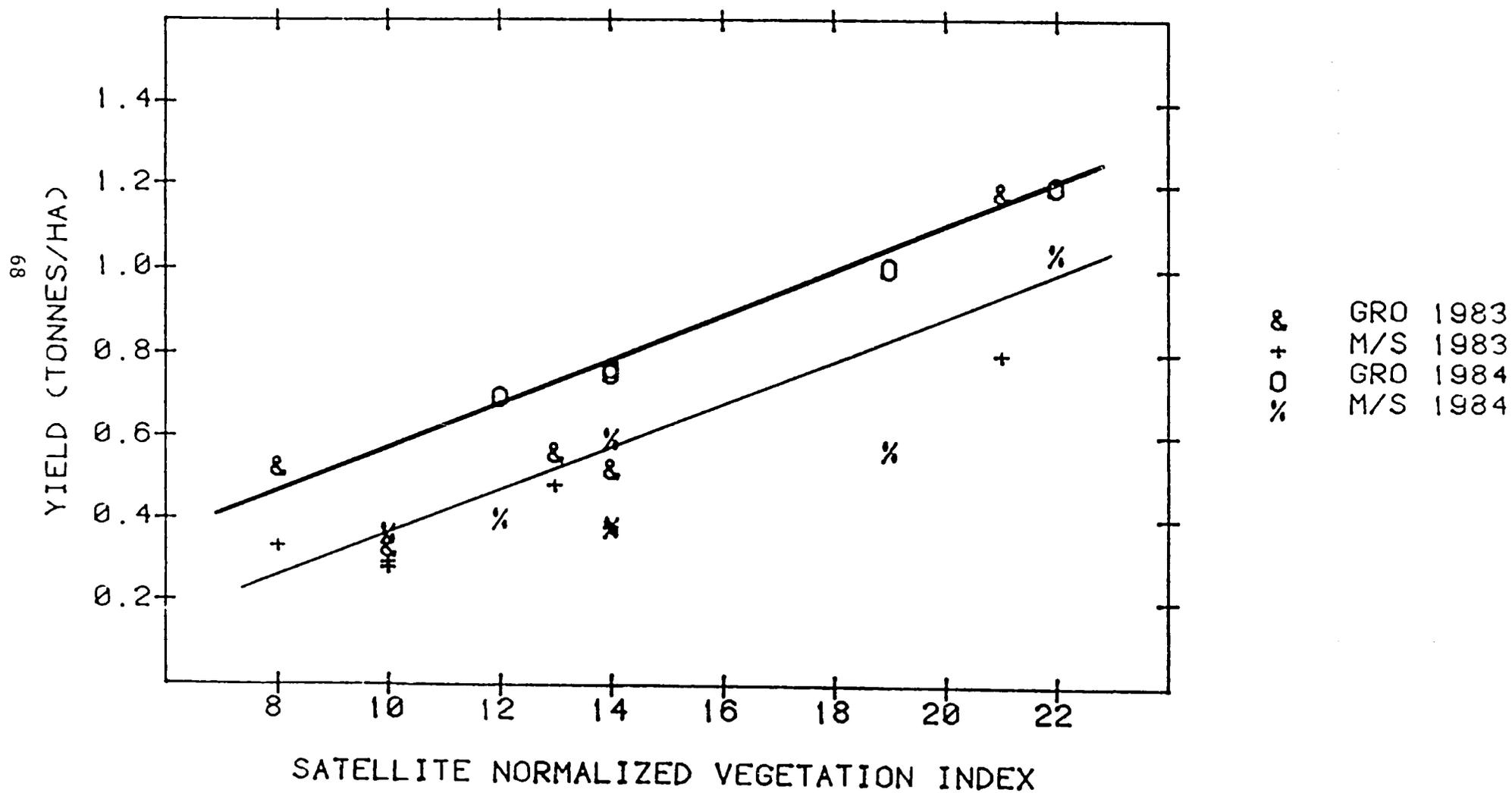


Figure 27

Biomass contre NVI, 1983 et 1984

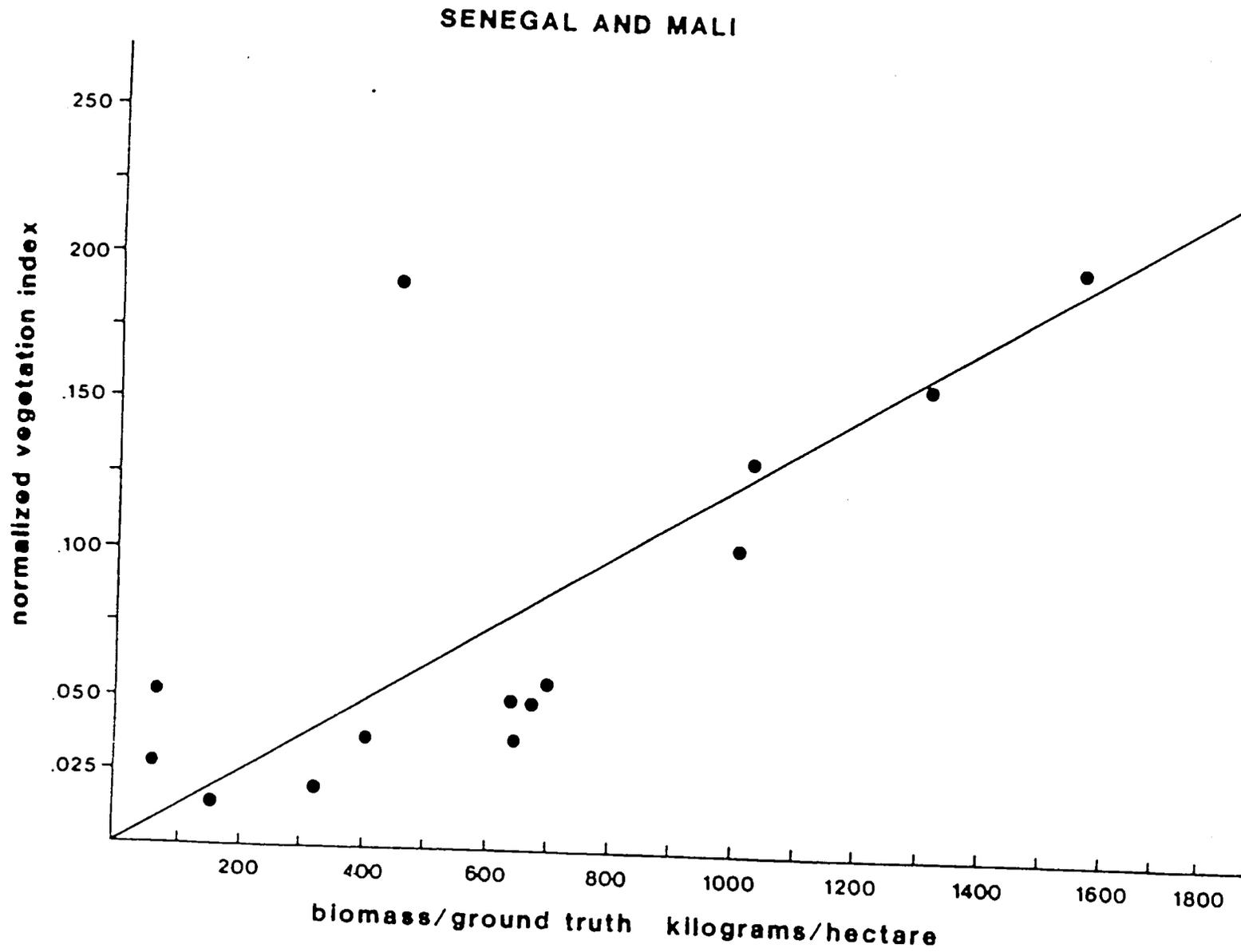
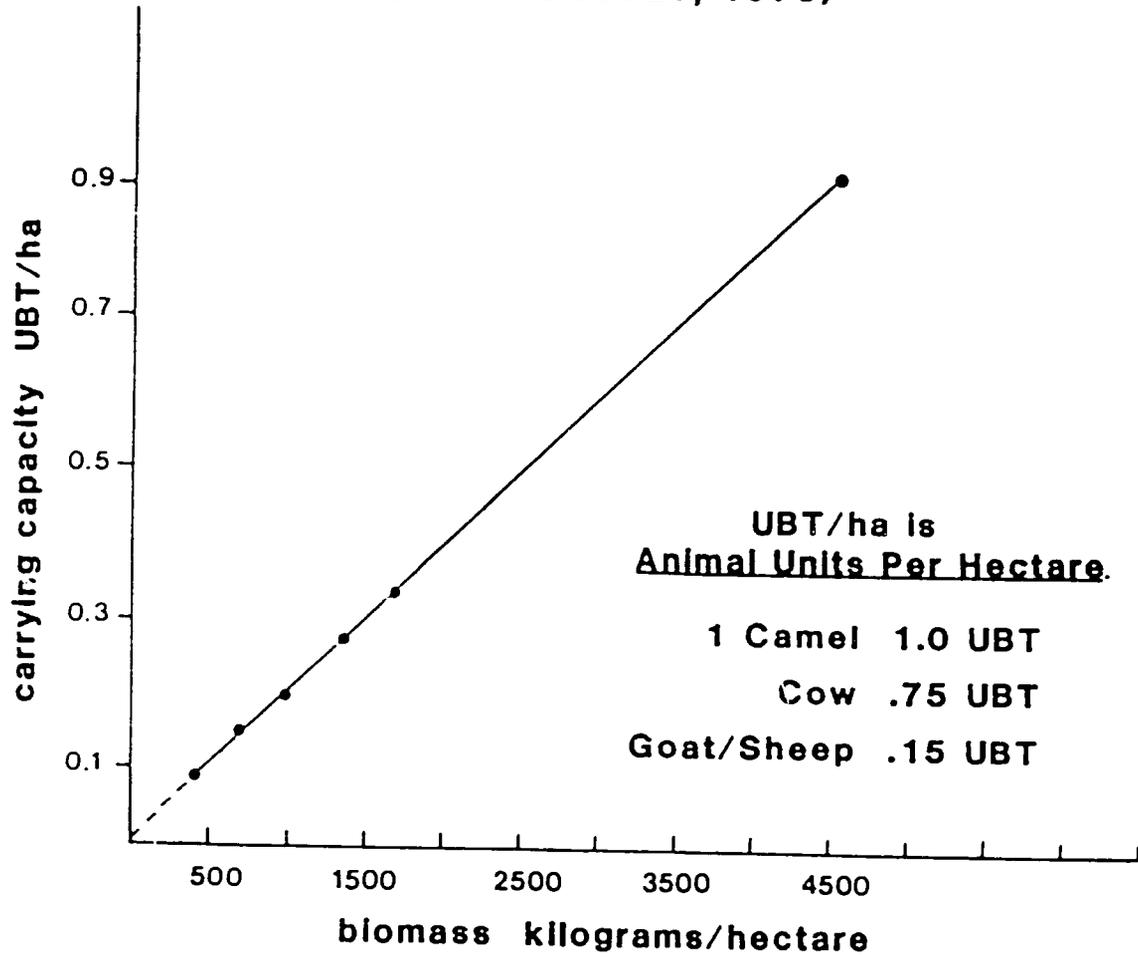


Figure 28

Relation entre biomasse et capacité de charge

(AFTER BOUDET, 1975)



La capacité de charge des pâturages peut ainsi être estimée à partir des NVI. Un exemple d'utilisation de cette méthode est donné dans la partie évaluation 1985 par pays.

C. 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)

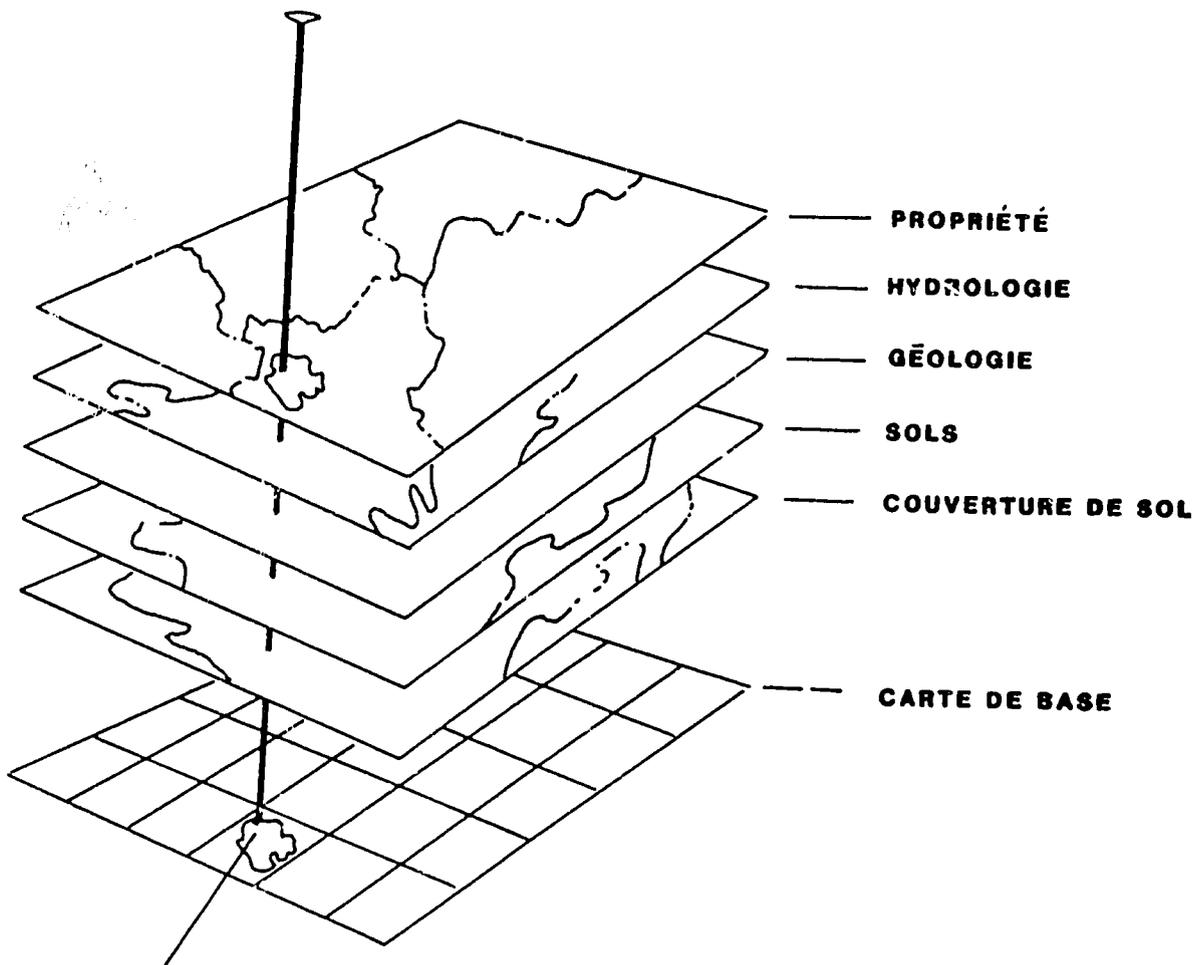
Un Système d'Information Géographique peut être conçu comme un système manuel ou informatisé. Il doit permettre d'acquérir, d'organiser, d'analyser statistiquement et de montrer plusieurs types d'informations spatiales qui sont cartographiées à la même échelle et selon la même projection. La Figure 29 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 en la préparation de l'information sur des fonds de carte et ensuite en la superposition manuelle des "couches" élémentaires qui sont les composantes relatives à chaque type de données GIS. Une liste des informations à inclure dans un tel système pour une évaluation agroclimatique est suggérée dans la Figure 30 qui servira également à un pointage 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 décennales et mensuelles enregistrées dans les postes pluviométriques, les résultats des divers modèles d'indice agroclimatique et de l'information événementielle.

Une version simplifiée de la procédure GIS est montrée à la Figure 31 qui illustre les résultats d'une évaluation spéciale d'une situation au Mali en 1984. Les principales informations utilisées y sont aussi montrées. Des

Figure 29

Structure conceptuelle du Système d'Information Géographique



**UN POINT OU UNE RÉGION RÉFÉRENCÉ(E)
GÉOGRAPHIQUEMENT**

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.

Figure 30

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 Culturelles

- _____ Indice Décadaire du Bilan Hydrique
- _____ Autre (_____)

Figure 30
(suivie)

Modèles Régionaux des Récoltes

- _____ Mil
- _____ Sorgho
- _____ Maïs
- _____ 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 Lissés (Série Chronologique)
- _____ Carte Hebdomadaire Régionale de NVI
- _____ Carte Hebdomadaire Nationale de NVI

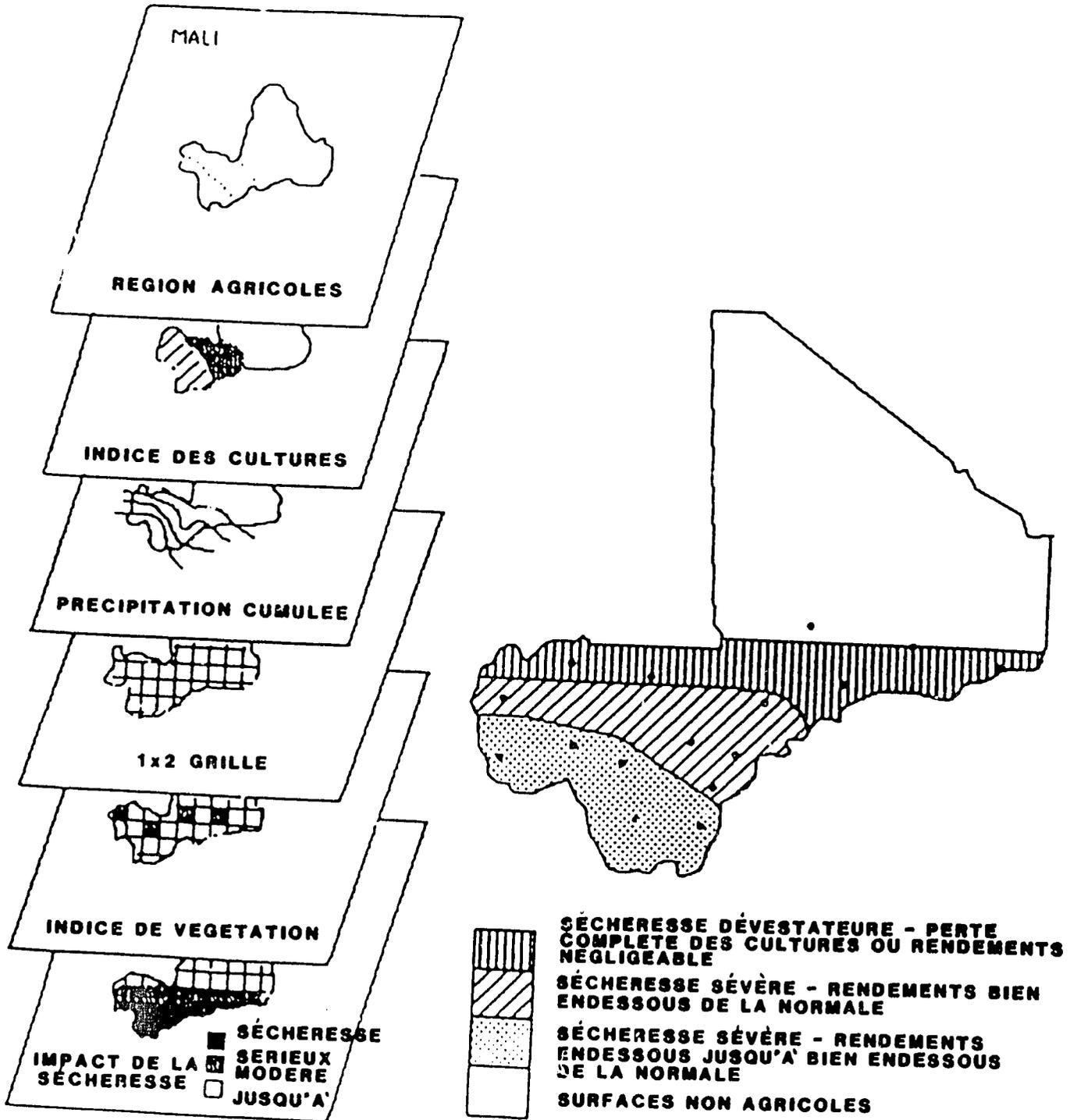
Autres Données

- _____ Données des Evenements Episodiques
- _____ Autres Données Ancillaires

Figure 31

Exemple simplifié de la procédure GIS

GIS: MALI (SAHEL)



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.

La 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.

D. Techniques de prévision des rendements

1. Analyse des statistiques agricoles au Sénégal

L'évaluation quantitative et qualitative de la production agricole s'appuie essentiellement sur les estimations annuelles des sociétés régionales de développement rural et des structures techniques traditionnelles du monde rural, à savoir les inspections régionales de l'agriculture et les secteurs agricoles au niveau des départements, chargés de l'encadrement technique des paysans. Des rapports périodiques hebdomadaires et mensuel sont collectés au niveau de la Direction de l'Agriculture pour leur exploitation. Deux méthodes d'enquêtes statistiques sont en général utilisées: la méthode du recensement et celle de l'enquête par sondage suivant les services utilisateurs. Le schéma de sondage le plus fréquemment adopté est sur rondage à trois degrés qui porte successivement avec les villages, les exploitations et les champs. La communauté rurale représente l'unité statistique de base.

Durant la campagne agricole, des séries de réunions techniques regroupant tous les services techniques d'encadrement sont programmées par la Direction de

l'Agriculture suivant ce calendrier suivant: mai, juin = plan de campagne et mise en place des facteurs de production. juillet, août = évaluation du déroulement de la campagne, septembre = préestimation des récoltes, octobre = estimation des récoltes, et novembre = évaluation finale de la campagne. A la fin de la campagne des enquêtes régulières sont menées au niveau des marchés pour suivre l'évaluation des prix. Sept cultures dominent largement l'agriculture sénégalaise: l'arachide, les mils et sorghos, le riz, le maïs, le manioc, le niébé et le coton. Deux autres cultures, la tomate et la canne à sucre, connaissent un développement important dans les départements de Dagana et de Podor.

Enfin d'autres cultures, parfois localement significatives, comme la patate douce, le béréf, la fonio, et le voandzou ne présentent au niveau national ou même régional, qu'un intérêt mineur. En outre la faiblesse des données en interdit tout traitement statistique approprié. Une série des superficies cultivées existe depuis 1960; cependant deux cultures, le coton dans toute sa zone et le maïs dans le Sine-Saloum (Kaolack et Fatick), connaissent un développement récent accéléré. Les rendements des différentes cultures sont d'une grande variabilité temporelle.

Il est à signaler que dans le courant de ce mois de mars 1986, un séminaire technique conjoint de la Direction de l'Agriculture et du Projet Diagnostique Permanent devrait se tenir à Dakar dans le cadre des statistiques agricoles et ses perspectives au Sénégal. Ce séminaire devrait déboucher sur l'harmonisation de procédures d'échantillonnage statistique au niveau national.

2. Les techniques utilisées par le Service des Enquêtes du Ministère Américain de l'Agriculture

Deux principales méthodes sont utilisées à savoir: l'échantillonnage dans le plan d'occupation des terres et la classification des terres selon l'usage, c'est-à-dire la stratification.

Avantages de l'échantillonnage:

- plus économique qu'un recensement complet, et
- les résultats statistiques peuvent être destinés à la population.

Selon la stratification on peut distinguer: l'agriculture intensive, l'agriculture extensive, les villes et villages, les parcours de bétail, les terres non agricoles et l'eau.

Différentes sources d'information existent dont la liste des impôts à recueillir à la cour de justice qui permet de mettre à jour le fichier d'information. L'échantillonnage sur cette fiche peut être aléatoire ou non aléatoire. Par exemple, la liste d'accès à la production de chaque comté est non aléatoire. Un comté est l'unité de base statistique aux Etats-Unis.

a. Procédure de stratification

- Identifier les strates sur les cartes des unités administratives (sous-préfecture ou comté aux USA). On peut utiliser: les cartes disponibles (autoroute, enquête géologique, enquête du sol, etc.), les données antérieures à l'enquête et les photos aériennes.
- Diviser en unités primaires d'échantillonnage chaque comté. La taille va varier de 500 km² à 2500 km² et les routes vont servir de limites comme des repères permanents.
- Subdiviser les unités primaires d'échantillonnage en segments de taille finale de 1 mile carré, c'est-à-dire 2,59 km², chacun. Ces segments identifiés avec les photos aériennes seront tracés et numérotés.
- Sélectionner des échantillons à étudier. D'abord on fait l'échantillonnage à partir des unités primaires. Ensuite on choisit les segments à partir des unités primaires déjà sélectionnées.
- Faire la synthèse de la construction d'un plan d'occupation des terres.

b. Estimation des surfaces cultivées par culture

- Compléter l'énumération des segments. D'abord on identifie tous les champs et cultures sur la photo contenant le segment sélectionné et ensuite on rassemble les données relatives au bétail.

- La superficie de chaque type de culture identifiée avec segments sélectionnés est extrapolée afin de fournir une estimation de la superficie de ces cultures au niveau de l'Etat.

Le facteur d'extrapolation qui permet de passer des superficies estimées dans les échantillons aux surfaces totales au niveau de l'état est calculé à partir du procédé de sélection des segments. L'erreur relative est de 2% au niveau national (USA) et de 6% au niveau de chaque état. La précision des estimations, paraît-il, est de 95% en comparaison avec un recensement systématique périodique.

c. Les techniques d'évaluation objective

- Sur l'ensemble des champs identifiés pour l'estimation des superficies cultivées par culture, on sélectionne avec une probabilité proportionnelle aux estimations des superficies. La fréquence et les moyens à partir de ce procédé d'échantillonnage fournissent les estimations au niveau de l'Etat.

- Modèles de récoltes en employant les mesures de champ. Ici la récolte est fonction du nombre de plantes, du nombre de fruits par plante et du poids du fruit. L'exemple du maïs:

$$\text{récolte} = (\text{nombre de tiges}) \times (\text{nombre d'epis/tige}) \times (\text{poids/épi})$$

comme source d'erreur en fin de saison, il y a l'échantillonnage et la mesure. A la fin de la saison ces trois composants peuvent être mesurés. Il n'est pas nécessaire d'estimer la variable indépendante (la pluviométrie).

- Modèles de prévision des récoltes objectives. Ici l'objectif est d'estimer la production assez tôt pendant la saison. Le premier calcul pour le maïs et le soja est effectué le premier août (75 jours après le semis, approximativement) tandis que le second est effectué le premier septembre (avant la maturité). Comme procédé on rassemble les données des champs et on emploie les modèles pour calculer le nombre de plantes, unités de fruit et poids de l'unité de fruit.

Quand il n'y a pas de données environnementales ou technologiques dans les modèles, on suppose que les mesures sur les plantes rendent compte de l'impact total de l'environnement.

Le modèle de prévision dépend du degré de maturité de la culture. Avant la maturité, il n'y a pas d'épis mesurables; ces épis sont fonction des plantes. En ce moment le poids de l'épi est égal à la moyenne des données

historiques. A la maturité moyenne, les fruits sont mesurables et sont fonction des plantes et de la proportion des plantes avec ou sans épis, tandis que le poids de l'épi est fonction de la longueur de l'écorce et de la longueur des rangées de fruits sur le noyau.

d. Recherches sur la stratification et l'usage potentiel des données environnementales et technologiques

- Catégories alternatives de stratification. Actuellement on peut citer les stades de maturité et l'irrigation, tandis que potentiellement on peut retenir les cultures associées (exemple soja + maïs), le niveau d'application des engrais, les méthodes de labour et le niveau de contrôle du sarclage.
- Avec l'emploi des données environnementales et/ou technologiques dans les modèles de télédétection, on remarque que le poids de l'épi est fonction de la date de semis, de la précipitation, de la température, de la fumure azotée, de la classe hybride, de la maturité, etc., tandis que le rendement est lui fonction du nombre des plantes, de la date de semis, de la précipitation, de la température, de la fumure azotée, de la classe hybride, de la maturité, etc.

Le calcul des variables technologiques permet de remplacer les années dans une étude de tendance.

3. Analyse de la relation statistique pluviométrie/rendement agricole

Un des volets les plus importants du système d'évaluation des cultures dans le Sahel concerne la relation statistique qui existe entre la pluviométrie et les rendements des principales cultures.

La caractérisation de cette relation doit tenir compte du fait que la pluviométrie est mesurée par endroits, donc uniquement représentative du point de mesure alors que les rendements sont estimés pour des zones relativement étendues. A l'intérieur de ces zones peuvent exister plusieurs stations pluviométriques.

On procède d'abord à la sélection des stations pluviométriques les plus représentatives d'une zone donnée et on affecte un poids à la contribution de

chacune de ces stations suivant leur importance dans la région étudiée, afin d'estimer la pluviométrie moyenne de celle-ci.

Une première approche consiste à faire appel au jugement de l'analyste pour attribuer à chaque station le poids qui convient. Il peut supposer par exemple que chaque station intéresse une portion plus ou moins grande de la région comme le montre la Figure 32. S_1 est la surface relative à la station 1, S_2 est la surface relative à la station 2, et S est la surface totale des deux parties ($S_1 + S_2$). La pluviométrie moyenne de la région peut être estimée par la formule suivante

$$P_s = \frac{S_1}{S_1 + S_2} P_1 + \frac{S_2}{S_1 + S_2} P_2$$

P_1 et P_2 étant les pluviométries respectives des deux stations. Cette méthode simple et pratique nécessite des informations sur S_1 et S_2 qui peuvent changer d'une année à l'autre. La station 2 peut aussi ne pas exister.

D'autres techniques plus sophistiquées peuvent également être utilisées si les moyens opérationnels existent et se justifient. L'exemple de la méthode de Krigeage peut être cité.

Pour estimer la pluie moyenne P_0 sur une surface S on considère d'abord la moyenne pondérée des n données disponibles soit:

$$P_0^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i f(X_i)$$

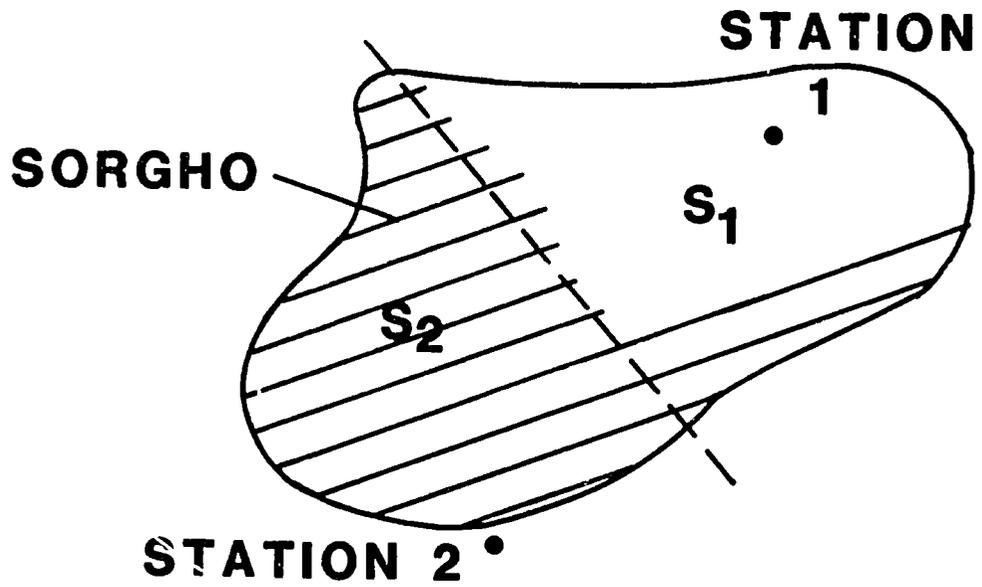
où les X_i étant les pluviométries des différentes stations et f peut être n'importe quelle fonction linéaire.

En introduisant l'interprétation probabilistique considérant $f(x)$ comme une variable aléatoire, les poids λ_i doivent vérifier: 1) la relation $E(P_0^* - P_0) = 0$ où E est espérance mathématique, et 2) $E(P_0^* - P_0)^2$ minimum.

La méthode du Krigeage tient compte de la position des stations par rapport à la région, de la position des stations les unes par rapport aux autres et

Figure 32

Schéma d'une région agricole avec deux stations pluviométriques



de la structure du phénomène. Elle est donc indépendante des données expérimentales. Cette remarquable propriété fait du Krigage une technique assez performante pour l'optimisation des réseaux de mesures.

a. Le triangle de la matrice de corrélation

Les matrices offrent un outil très efficace et puissant pour l'écriture et la manipulation d'équations linéaires, comprenant des combinaisons très larges. Ce genre de manipulation mathématique est très commun dans la résolution des systèmes d'équations en statistique. L'analyse du rapport entre la précipitation et la récolte peut être déterminée sous forme de corrélation.

Le triangle de la matrice de corrélation est l'un des premiers outils utilisés pour développer les modèles de régression. Il nous aide à comprendre l'ensemble des données. Il représente la partie supérieure droite d'une matrice.

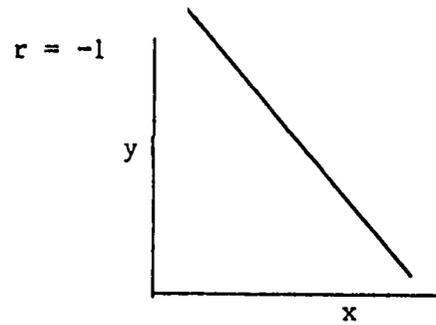
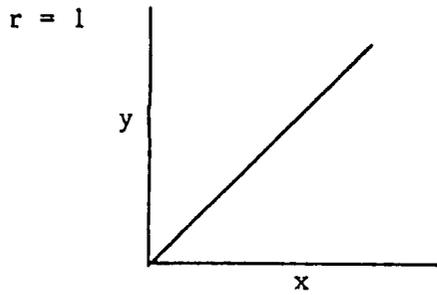
X	X	X	X
X	X	X	X
X	X	X	X
X	X	X	X

Chaque élément X est un simple coefficient de corrélation.

Le coefficient de corrélation r mesure la relation linéaire entre deux variables, x et y (x = précipitation, y = rendement) à partir d'un échantillon de grandeur n, $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_n, Y_n)$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{j=1}^n (Y_j - \bar{Y})^2}}$$

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



On s'attend à ce que l'on ait une corrélation positive si la précipitation augmente de même que la production.

Si on ne trouve pas une corrélation positive, on réexamine les données de précipitations et de rendements en faisant des diagrammes de dispersion et des courbes chronologiques pour vérifier si les données sont conformes aux sources d'information. Le coefficient de corrélation r s'appelle quelque fois le coefficient de corrélation de Pearson.

Si dans l'échantillon, il y a des valeurs extrêmes ou si la relation n'est pas linéaire, on peut utiliser un coefficient de corrélation non-paramétrique, tel que le coefficient de Spearman:

$$r = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (s_i - t_i)^2}{n^3 - n}$$

Exemple: $n = 5$

<u>n</u>	<u>x</u>	<u>y</u>	<u>s</u>	<u>t</u>	<u>s-t</u>
1	50	3.0	3	2.5	.5
2	45	2.5	1	1	0
3	47	3.0	2	2.5	-.5
4	60	3.5	4	4	0
5	70	3.6	5	5	0

$$r = 1 - \frac{.50}{125-5} = 1 - \frac{.50}{120}$$

La matrice de corrélation est interprétée comme c'est montrée au Tableau 12. Il ya aussi un exemple d'une matrice de corrélation des précipitations cumulées avec les rendements du mil sorgho au Siné-Saloum. En mai, la corrélation est négative entre le rendement de fin de saison et la précipitation cumulée. Il en est de même que pour le mois de juin. La corrélation est positive en juillet, devient maximale en août et décroît pour le reste des mois.

S'il existe une tendance dans la série des rendements mais pas dans les précipitations, la corrélation peut se trouver basse même si la relation existe. La même approche est utilisée pour les données décadaires mais avec certaines modifications.

b. Les modèles de régression rendement/pluviométrie

Un modèle de régression indique la relation qui existe entre des variables prédicteurs et prédicants. S'il y a un seul prédicteur (pluviométric), la régression est appelée régression simple.

La plupart des modèles de regression utilisés durant la campagne agricole 1985 était de simples modèles de régression.

Exemple:

Matrice

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ Y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & X_1 \\ 1 & X_2 \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ 1 & X_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ E_n \end{bmatrix}$$

$$Y_1 = 1\beta_0 + X_1\beta_1 + E_1$$

$$Y = a + b x + e$$

Tableau 12. La matrice de corrélation

		mois d'arrivée					
		mai	juin	juillet	août	sept	oct
mois de départ	mai	a	b				
	juin						
	juil				c		
	août						
	sept						
	oct						

a = précipitation mai

b = précipitation mai + précipitation juin

c = précipitation juillet + précipitation août

Exemple: Coefficients de corrélation des précipitations cumulées avec les rendements du mil-sorgho au Sine-Saloum (1974-84).

Période	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct
Mai	-0.0476	-0.1527	0.2250	0.6556	0.6472	0.6831
Juin		-0.1496	0.2256	0.6523	0.6396	0.6814
Juil			0.4676	0.7432	0.6425	0.6761
Août				0.7198	0.5633	0.6336
Sept					0.1238	0.2601
Oct						0.3906

Cette analyse a été faite sur une période de 11 années.

où

Y = rendement

x = précipitation

a, b = coefficient

e = incertitude.

Le Tableau 13 montre un modèle de régression pour le mil/sorgho au Sénégal de 1974 à 1984.

Le premier facteur qui peut influencer un modèle est la tendance. Une tendance avec augmentation constante est une tendance linéaire. Avec les variations temporelles des rendements, il serait nécessaire de faire un travail préliminaire pour s'assurer de la réponse du modèle.

c. Les facteurs qui affectent les rendements agricoles

La fiabilité des données de culture et météorologie: s'assurer de la qualité, quantité, disponibilité des données et voir la technologie employée et les tendances du temps.

i) Les causes des tendances

Le temps plus favorable, la technologie améliorée, les méthodes de culture améliorées, l'emploi d'engrais, l'emploi de variétés améliorées et l'irrigation sont quelques exemples de variables qui causent une tendance positive, tandis que le temps moins favorable, l'augmentation des populations d'insectes, et de ravageurs, les maladies et l'accroissement de la mise en culture de terre non-fertile constituent quelques variables qui causent une tendance négative.

ii) Le caractère raisonnable des données agronomiques

Là on se réfère au calendrier cultural pour mieux situer les mois de semis et de récolte.

Tableau 13

Paramètres statistiques de la regression dans un modèle de culture
pour le mil/sorgho au Sénégal

Sénégal, National, Gouvernement, mil/sorgho

Source	Degrés de liberté	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Valeur de F	Prob>F
Modèle	1	0.089165	0.089165	35.512398	0.0004
Incertitude	9	0.022597	0.002511		
Total	10	0.111762			
R-Carré		0.7978	Racine carrée de la moyenne des carrés de l'incertitude		0.0501
R-Carré ajouté			Coefficient de variation * 100.0		8.9961
			Moyenne de la variable dépendente		0.5570

Variable	Estimation des paramètres	Mesure de dispersion	Test de Student Parametre = 0	Prob>T
Segm. Droite	0.191163	0.063222	3.023694	0.0140
jul-aou	0.001180	0.000198	5.959229	0.0004

Année	Rndmnt effectif	jul-aou	Rndmnt predit	Résidus
1974	0.6960	431.9	0.7009	-0.0049
1975	0.6390	427.8	0.6961	-0.0571
1976	0.5350	278.1	0.5194	0.0156
1977	0.3820	215.4	0.4454	-0.0634
1978	0.7130	346.3	0.5999	0.1131
1979	0.5380	307.2	0.5538	-0.0158
1980	0.4880	259.9	0.4979	-0.0099
1981	0.6260	388.5	0.6497	-0.0237
1982	0.5910	309.0	0.5559	0.0351
1983	0.4490	218.2	0.4487	0.0003
1984	0.4700	227.1	0.4592	0.0108

iii) Les statistiques favorables

On utilise une régression linéaire multiple pour déterminer le rapport entre le climat et les rendements. Pour cela, il serait nécessaire d'effectuer les opérations suivantes:

- faire des séries chronologiques des rendements pour détecter les tendances,
- faire des triangles de corrélation pour déterminer la meilleure ou la plus grande corrélation des variables prédictibles,
- faire des diagrammes de dispersion des rendements par rapport aux variables prédictibles, et
- voir les variables induits

L'évaluation de la régression peut s'effectuer suivant deux types de test, c'est-à-dire par la procédure de Jackknife ou par la procédure de Bootstrap. En appendice A, on peut voir une illustration à partir du modèle sur le mil/sorgho au niveau du Sénégal sur la période de 1975-84.

4. L'évaluation prospective des rendements agricoles

a. Sens et absurdité dans la modélisation des cultures

L'objectif ici est de mettre l'accent sur les limites statistiques et des usages des modèles de culture/climat dans le système biologique.

Il existe deux types de variables dans le domaine de la science, l'une qui est déterministique et l'autre qui est aléatoire.

Dans le système physique, chaque élément est une variable tandis que dans le système biologique les éléments ne sont pas collés et les espaces représentent les erreurs.

Quand on développe un modèle des cultures, on devrait faire attention à la taille des erreurs (les espaces non pris en considération) et voir les limites des données.

Comme exemple, voir la différence des jours entre le modèle estimé et l'observation au champ au stade d'épiaison du sorgho.

<u>Zones d'essai</u>	<u>Différence</u>
1	-2
2	6
3	-1
4	-7
5	10
6	-4
7	1
8	-8

A ce niveau, il y a 18 jours de différence ou d'erreur.

Pour les variables significatives, on peut rencontrer une structure appropriée, des variables non-linéaires et des variables à haute corrélation (Figures 33, 34 et 35).

Un modèle peut ne pas être fiable même si le coefficient de détermination (R^2) est élevé; de même il peut être précis avec un coefficient de détermination (R^2) bas.

Les rendements sont des variables dépendantes et sont également des estimation, ce qui peut conduire à des erreurs.

Les tendances technologiques (fumure, variétés etc.) et climatologiques doivent être analysées avec soin afin de mieux spécifier le modèle: Pour l'ajustement des tendances il serait nécessaire de savoir les raisons de l'augmentation des rendements.

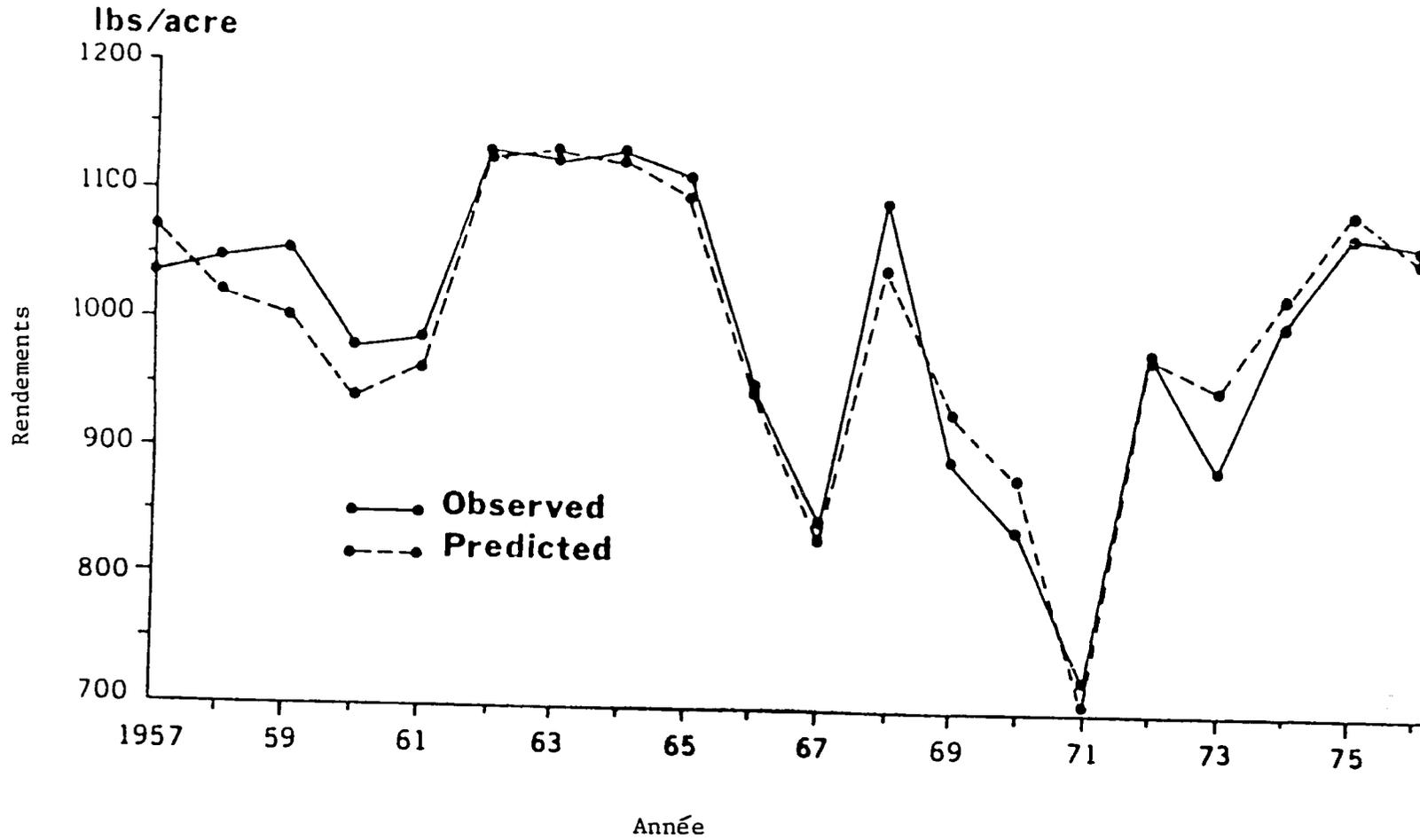
Pour les échelles spatiales, on devrait prendre en considération d'une part le problème de l'extrapolation des modèles à petite échelle vers les grandes régions, d'autre part le régime climatique et également le type météorologique. Par exemple la précipitation est beaucoup plus variable que la température.

Donc, il faudrait toujours se rappeler que l'application des modèles de cultures est un processus évolutif, d'où la nécessité de se rendre compte des limites de ces outils.

Figure 33

Exemple de structure appropriée d'un modèle

$R^2 = 92$
16 variables à 20 années de données



CONDITION OPTIMALE

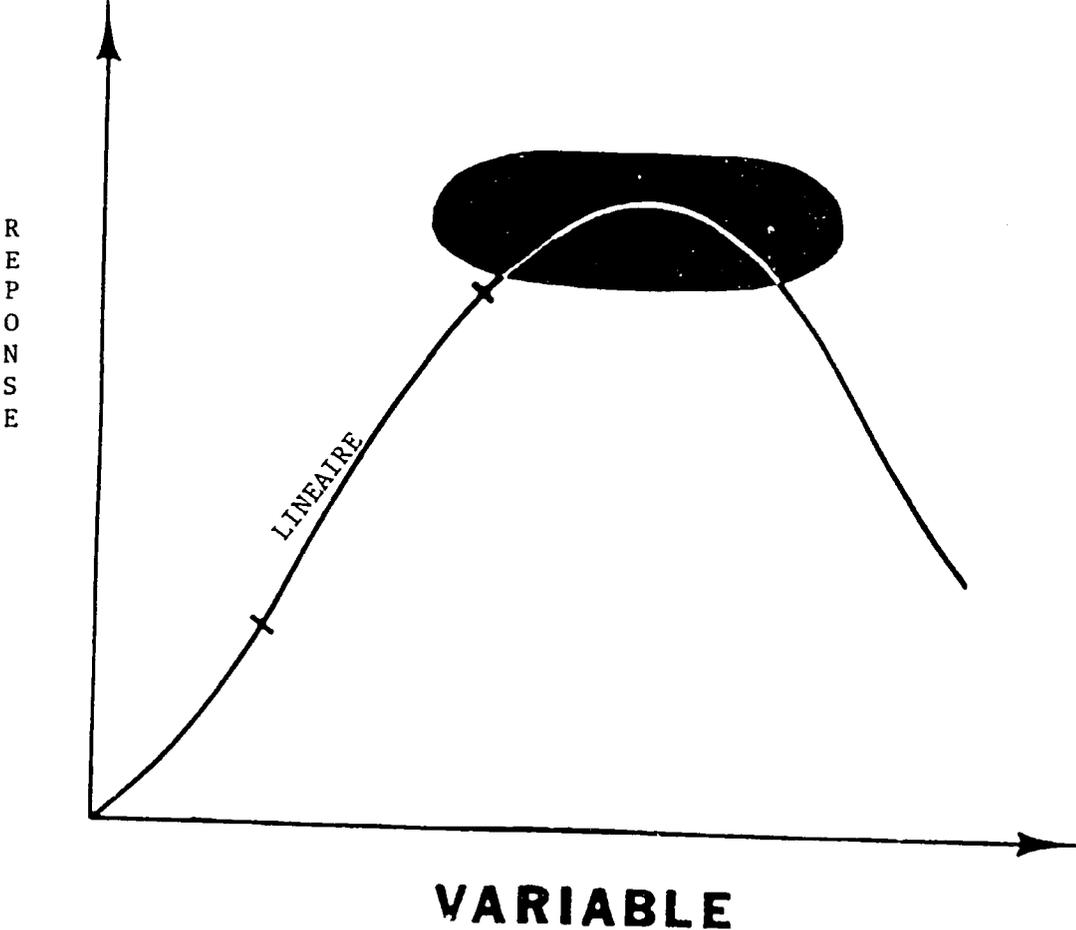
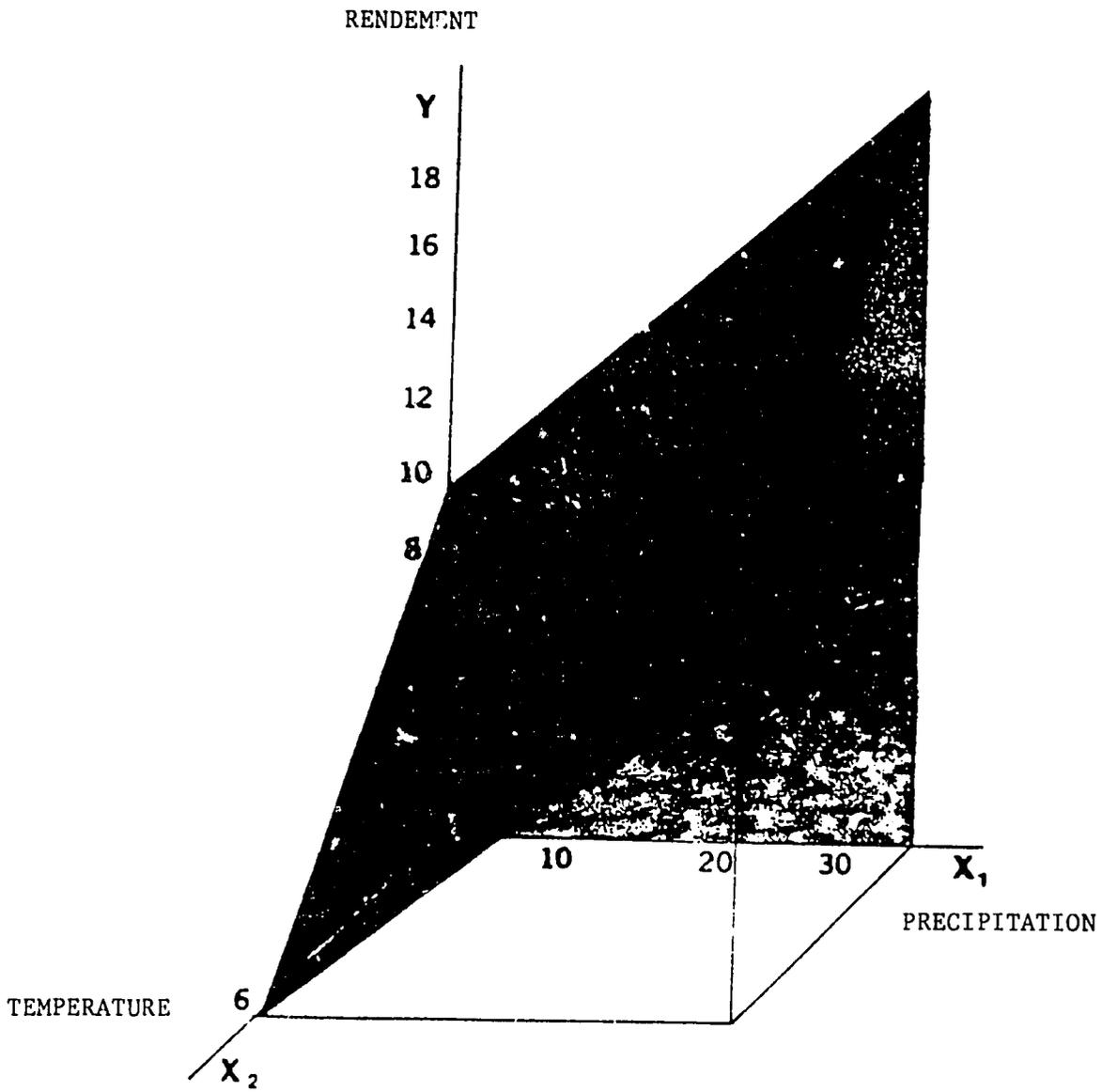


Figure 34

Réponse hypothétique à une variable montrant une relation linéaire et quadratique

Figure 35

Exemple de variables à haute corrélation



b. Les données événementielles dans les évaluations

Le but principal des données événementielles est de fournir à l'évaluateur les informations relatives à la sécheresse, aux inondations, aux ravageurs et aux maladies.

Les données événementielles représentent des données météorologiques et non-météorologiques, complètent les méthodes d'évaluation des cultures, vérifient les accroissements ou les baisses de rendement et de production trouvés avec les modèles agroclimatiques. Elles sont qualitatives, auxiliaires, quelque fois secondaires mais aident toujours dans le processus d'évaluation et peuvent être, dans le temps, épisodiques, sporadiques ou singulières.

Les événements météorologiques sont la sécheresse, les inondations et la tempête sévère tandis que les événements non-météorologiques peuvent être les catastrophes naturelles telles que les éruptions volcaniques et les tremblements de terre, les infestations par les prédateurs (criquets, etc.), les épidémies, les changements dans les techniques culturales, les manque de semences causés par une production trop faible ou une famine lors de précédentes années, la guerre civile qui interfère avec les habitudes des cultures, les mouvements de population, et les changements de gouvernement.

Les sources des informations événementielles sont: les massemedias, les journaux, les revues, les agences internationales (OMM, FAO) et les rapports de terrain.

III. EVALUATION DE LA CAMPAGNE AGRICOLE 1985 AU SENEGAL

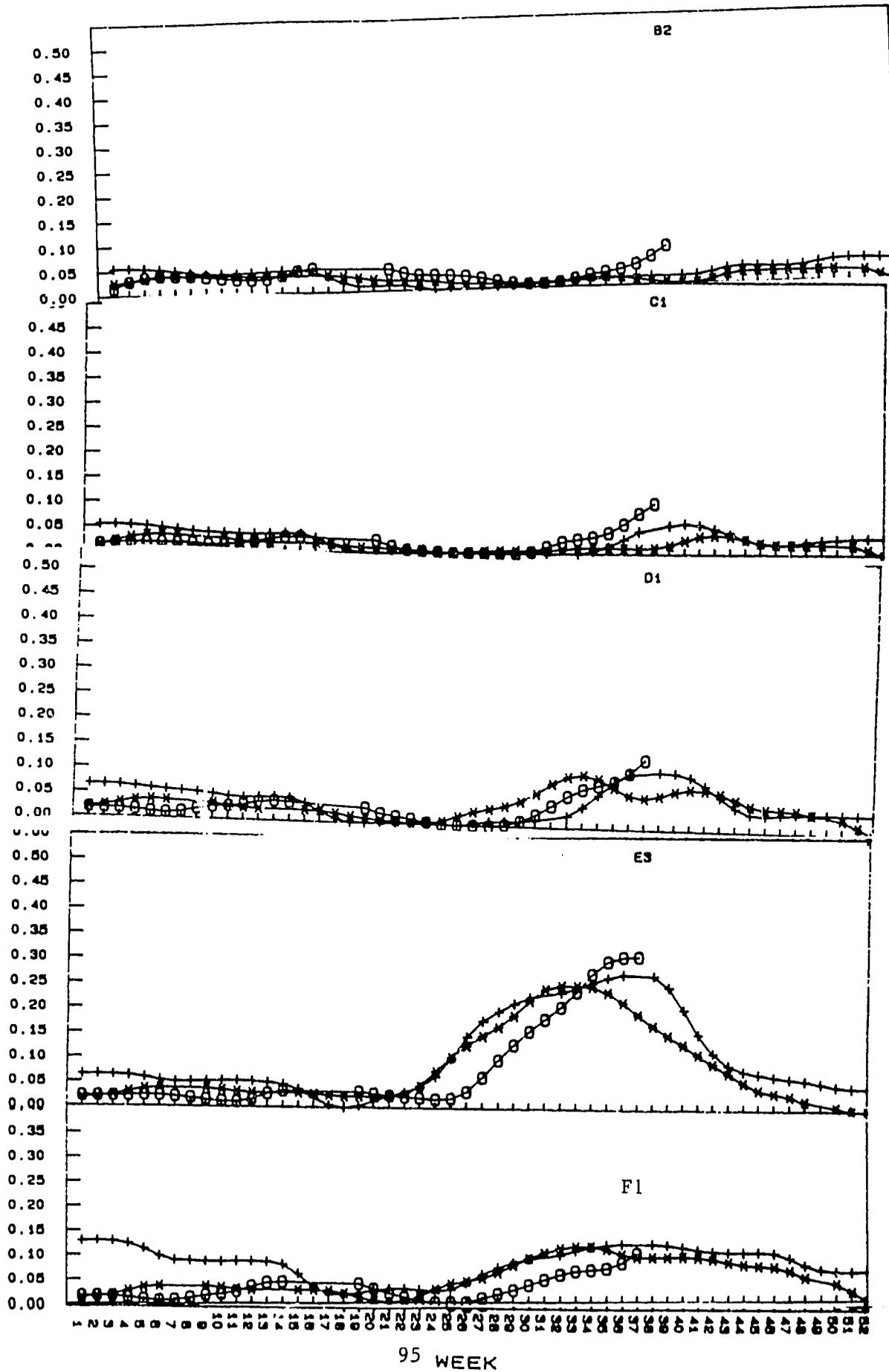
A. Résumé

L'hivernage 1985 est caractérisé par une installation tardive notamment en sud du pays et un arrêt précoce quasi-généralisé des précipitations (Figure 36 et Annexes 1-6). Les cultures ont bénéficié dans l'ensemble de conditions agrométéorologiques correctes suites à la bonne répartition des pluies, pendant

Figure 36

Coupes chronologiques des NVI au Sénégal

+ = 1983
x = 1984
o = 1985



toute la saison, sauf vers Louga et l'extrême nord du pays. L'imagerie de satellite et les indices agroclimatiques mettent en évidence des conditions de végétation et de biomasse meilleures qu'en 1983 sauf vers Tambacounda, à Basse Casamance et le Sud de Faticla et qu'en 1984 sauf vers Tambacounda, la Basse Casamance et toute Centre Ouest (Annexes 7 et 8). L'extrême nord du pays (Podor: mil, niébé), pourra avoir des problèmes alimentaires assez sérieux (Tableau 14, Annexe 9).

B. Situation des pâturages

Les indices de végétation/biomasse dérivés des satellites en août 1985 ont mis en évidence six zones distinctes de végétation/biomasse, variant de la zone de biomasse inférieure à 400 kg/ha et de capacité de charge inférieure à 0,1 UBT/ha (Podor et Louga) jusqu'à la zone de biomasse supérieure à 1950 kg/ha et de capacité de charge supérieure à 0,38 UBT/ha.

Par rapport à 1983, les conditions de la biomasse en 1985 ont été comparables à 1983 dans les zones de Podor Sud-Est, de Kolda et de Kédougou. Par contre, elles ont été moins favorables dans les zones suivantes: Sud-Ouest de la région de Fatick, en Basse Casamance et la partie centrale de la région de Tambacounda. Elles ont été également beaucoup plus favorables dans tout le reste du pays.

Mais par rapport à l'année 1984, les conditions de biomasse en 1985 ont été comparables dans les zones suivantes: Podor, Saint-Louis, Louga Nord-Ouest de Thiés, Nioro du Rip, Velingara, Kolda Sédhio et Kédougou. Par contre, elles ont été moins favorables à Daklar, à la partie ouest de Diourbel, à Thiés, à M'Bou, à la partie sud et ouest de Fatick Basse Casamance et à la partie centrale de Tambacounda. Elles ont été également beaucoup plus favorables dans tout le reste du pays.

Tableau 14. Estimation des rendements à partir des indices de végétation normalisé (tonnes/ha)

		Indicé	Mil	Sorgho	Arachide
Saint-Louis	Podor	0.07	0.250	0.250	0.380
	Saint-Louis Matam	0.08	0.300	0.300	0.400
Louga	Louga	0.10	0.350	0.380	0.450
	Linguire	0.16	0.500	0.550	0.650
Diourbel	Diourbel	0.15	0.450	0.500	0.620
Thiès	Thiès	0.15	0.450	0.500	0.620
	Mbour	0.15	0.450	0.500	0.620
Fatick	Fatick	0.15	0.450	0.500	0.620
Kaolack	Kaolack	0.25	0.750	0.800	1.100
	Nioro du rip	0.27	0.800	0.900	1.200
Tambacounda	Tambacounda	0.30	0.850	0.950	1.300
	Kedougou	0.30	0.850	0.950	1.300
Kolda	Velingara	0.27	0.800	0.900	1.200
	Kolda	0.27	0.800	0.900	1.200
	Sedhiore	0.27	0.800	0.900	1.200
Ziguinchor	Ziguinchor	0.27	0.800	0.900	1.200
	Bignona	0.10	0.350	0.380	0.450
	Oussonye	0.10	0.350	0.380	0.450

En général pour l'ensemble du pays, les conditions de végétation/biomasse en août 1985 ont été relativement bonnes. La situation de la biomasse et des capacités de charge en août 1985 est présentée dans les Tableaux 15 et 16.

Il ressort de ces deux tableaux que la biomasse et les capacités de charge correspondantes ont été très faibles à Saint-Louis, à Podor, à Louga et au nord de Thiès. Par contre, elles ont été très importantes à Kolda et à Kédougou, et moyennes dans la zone sylvopastorale.

C. Conditions des Cultures

1. Mil/sorgho

Les cultures du mil/sorgho généralement semées en sec ont connu quelques cas de ressemis dus à l'installation tardive de l'hivernage. Les conditions hydriques ne sont pas améliorées de la fin juin à la mi-juillet (Annexes 10-14, cartes des indices de bilan hydrique FAO). Dans l'ensemble du pays on peut s'attendre à des rendements moyens à excédentaires surtout sur la moitié sud du pays en égard aux valeurs de NVI obtenues par satellite (Tableau 14 des rendements estimés). Toutefois dès le début d'août les stress hydriques ont frappé les cultures à Diourbel, à Louga et surtout à Podor (Annexes 10 et 19). A Louga, suite aux périodes de sécheresse répétées durant la saison, les conditions agrométéorologiques se sont empirées et les rendements escomptés seront au deçà de 400 kg à l'hectare. A Diourbel les rendements pourraient être corrects malgré les stress signalés plus haut (Annexes 10-14).

2. Arachide

Les cultures de l'arachide se sont correctement composées dans l'ensemble sauf en Basse Casamance (Ziguinchor, Cap Skiving) et à Kédougou où les cultures ont plutôt souffert d'excès d'eau. Toutefois en fin de cycle (Annexes 15-17) les variétés tardives ont subi des stress hydriques du fait de

Tableau 15: Répartition de la biomasse en août 1985 (kg/ha)

Zones	NVI					
	0 - 0.5	0.05 - .10	.10 - .15	.15 - .20	.20 - .25	>.25
St. Louis-Ouest	<400	-	-	-	-	-
Podor	<400	-	-	-	-	-
Thiès Nord-						
Louga	<400	-	-	-	-	-
Linguère	-	-	800-1200	-	-	-
Matam	-	400-800	-	-	-	-
Dakar, Sud Thiès						
Diourbel-Fatick	-	400-800	-	-	-	-
Kaolack	-	-	-	1200-1600	-	-
Goudiry-Bakel	-	-	-	1200-1600	-	-
Sud-Fatick						
Nord-Ziguin	-	400-800	-	-	-	-
Nioro-Vélingara	-	-	-	1200-1600	-	-
Tambacounda	-	-	-	-	1600-1950	-
Ziguinchor	-	400-800	-	-	-	-
Kolda	-	-	-	-	-	>1950
Kédougou	-	-	-	-	-	>1950

Tableau 16: Capacité de charge en août 1985 (U β T/ha)

Biomasse						
	<400	400-800	800-1200	1200-1600	1800-1600	>1950
Zone						
St. Louis-Ouest	<.1	-	-	-	-	-
Podor	<.1	-	-	-	-	-
Thiès Nord-Luga	<.1	-	-	-	-	-
Linguère	-	-	.17-.24	-	-	-
Matam	-	.1-.17	-	-	-	-
Dakar-Sud Thiès	-	.1-.17	-	-	-	-
Diourbel-Fatick	-	.1-.17	-	-	-	-
Kaolack	-	-	-	.24-.32	-	-
Bakel-Goudiry	-	-	-	.24-.32	-	-
Sud Fatick	-	-	-	-	-	-
Nord Ziguinchor	-	.1-.17	-	-	-	-
Nioro-Velingara	-	-	-	.24-.32	-	-
Tambacounda	-	-	-	-	.32-.38	-
Ziguinchor	-	.1-.17	-	-	-	-
Kolda	-	-	-	-	-	>.38
Kédougou	-	-	-	-	-	>.38

l'arrêt précoce des pluies, notamment au Cap Skiving, à Nioro du Rip et à Tambacounda Malgré tout, de bons rendements sont à espérer surtout vers Tambacounda, Kolda et Kaolack (Tableau 14 des rendements estimés).

3. Maïs

Le maïs cultivé principalement sur la moitié sud du pays s'est assez bien comporté malgré quelques stress hydriques notés par endroits (Tambacounda à la deuxième décennie de juillet, Kaolack à la deuxième décennie d'août) (Annexes 18 et 19). Les indices de bilan hydrique FAO se situent autour de 100, et les rendements seront moyens à excédentaires.

4. Niébé

Le niébé cultivé essentiellement sur la moitié nord du pays a dû endurer des stress hydriques en début de cycle. Les conditions se sont par la suite améliorées. Des rendements exceptionnellement élevés (plus de 400 kg/ha) sont à prévoir dans l'ensemble en égard aux indices de bilan hydrique FAO. Toutefois à Louga et surtout à Podor les indices FAO sont descendus à 74% et 53% respectivement (Annexes 20 et 21) et les rendements pourraient être en deçà de 300 kg/ha. Mais ceci ne pénalisera pas la production totale, étant donné le pourcentage relativement faible (moins de 10%) que ces zones représentent par rapport à la surface totale cultivée en niébé.

D. Analyse Météorologique

Le mois de mai 1985 a été relativement sec dans les régions où la pluie est attendue à cette date (Ziguinchor, Kolda-Tambacounda-Kaolack). Les seules pluies reçues aux stations de Kaolack et Kédougou ont été inférieures à 25% de la normale pluviométrie (Annexe 1).

En juin, malgré l'appel de mousson assez sensible, les pluies se sont faites attendre à Tambacounda, Ziguinchor, Kaolack et Diourbel. Par rapport à la

normale la pluviométrie est en delà de 65% dans les localités avec des rangs percentiles respectifs de 3, 17, 42 et 33 (échelle de 0 à 100). La faible pluviométrie reçue sur la moitié nord du pays n'est pas préjugé cible aux cultures qui démarrent en juillet. En cumul (mai-juin) (Annexe 2) seule la station de Dakar-Teff présente une pluviométrie normale.

Le mois de juillet a bénéficié de conditions météorologiques assez favorables dans l'ensemble pour procéder aux semis de principales cultures. Toutefois des problèmes augmentent à Kolda et persistent à Tambacounda et Diourbel. Les rangs pourcentiles de la pluviométrie de juillet se situent respectivement à 6, 8 et 19. La pluviométrie cumulée de mai à juillet reste très basse dans ces localités suite à la basse des pluies des mois passés (Annexe 3).

En août le Sénégal a été sous l'influence d'une forte rentrée de mousson qui a favorisé le passage de plusieurs foyers pluvio-orageux qui ont donné des précipitations assez importantes. La pluviométrie est dans l'ensemble arrivée à la médiane sauf à Kolda, Ziguinchor Luguère et Podor. En cumul, le niveau pluviométrique atteint reste bas par rapport à la normale surtout à Tambacounda, Podor, Kolda et Diourbel (Annexe 4). En septembre les conditions étaient assez favorables dans tout le pays sauf Podor et Kaolack qui ont reçu une pluviométrie relativement basse: 51% et 10% de la normale respectivement. Cette pluviométrie de septembre a beaucoup favorisé le cumul de mai à septembre qui se situe à plus de 65% sur l'ensemble des stations disponibles (Annexe 5).

Du fait de l'arrêt précoce du pluies (première décade d'octobre), la pluviométrie d'octobre a été très médiocre dans la quasi-totalité du pays. La pluviométrie de la saison reste par conséquent en deça de la normale mais relativement correcte dans l'ensemble (Annexe 6) surtout plus que les cultures ont déjà dépassé le stade critique de la floraison. L'impact sur les cultures sera donc négligeable.

IV. PROCEDURE D'EVALUATION AU SENEGAL

A. Procédure courante

En principe, tous les services impliqués directement ou indirectement dans la production agro-pastorale et dans la diffusion de l'information sont membres du Groupe de Travail Pluridisciplinaire (GTP). Le service du Ministère du Développement Rural (Figure 37), du Ministère de l'Équipement (Figure 38) et du Ministère de l'Hydraulique participent dans le fonctionnement du AGRHYMET. L'organigramme de la Figure 39 montre tous les Services participant au Comité Restreint AGRHYMET et au Comité Interministeriel AGRHYMET de Suivi de la Campagne Agricole.

Avant le début de la saison des pluies, un lot de fiches d'observation est distribué. Au cours de la campagne agricole, à la fin de chaque décade, on reçoit par télécommunication les informations sur les cultures et la pluviométrie locale à partir des agents sur le terrain. Les fiches sont remplies et transmises à un endroit central où on constitue un tableau récapitulatif pour les cultures et les pâturages. Cette information est diffusée aux utilisateurs nationaux impliqués dans le suivi de la campagne hivernale.

Et parallèlement à ce comité, la Direction de l'Agriculture anime également, des réunions périodiques de suivi et d'évaluation quantitative de la campagne agricole avec les services techniques chargés de l'encadrement du monde rural à savoir: les inspections régionales de l'Agriculture et les sociétés régionales du Développement Rural.

La première réunion a trait aux plans de production et à la mise en place des facteurs de production en avril-mai, la deuxième pour l'évaluation du démarrage de la campagne en juin-juillet, la troisième pour la préestimation des récoltes (grâce au suivi des carrés de densité et de rendement) en août-septembre; et la quatrième pour l'évaluation finale de la campagne agricole en octobre-novembre sous la présidence du Ministre du Développement Rural et sous la présence des Gouverneurs des régions.

Figure 37
Organigramme du Ministère du Développement Rural

SENEGAL

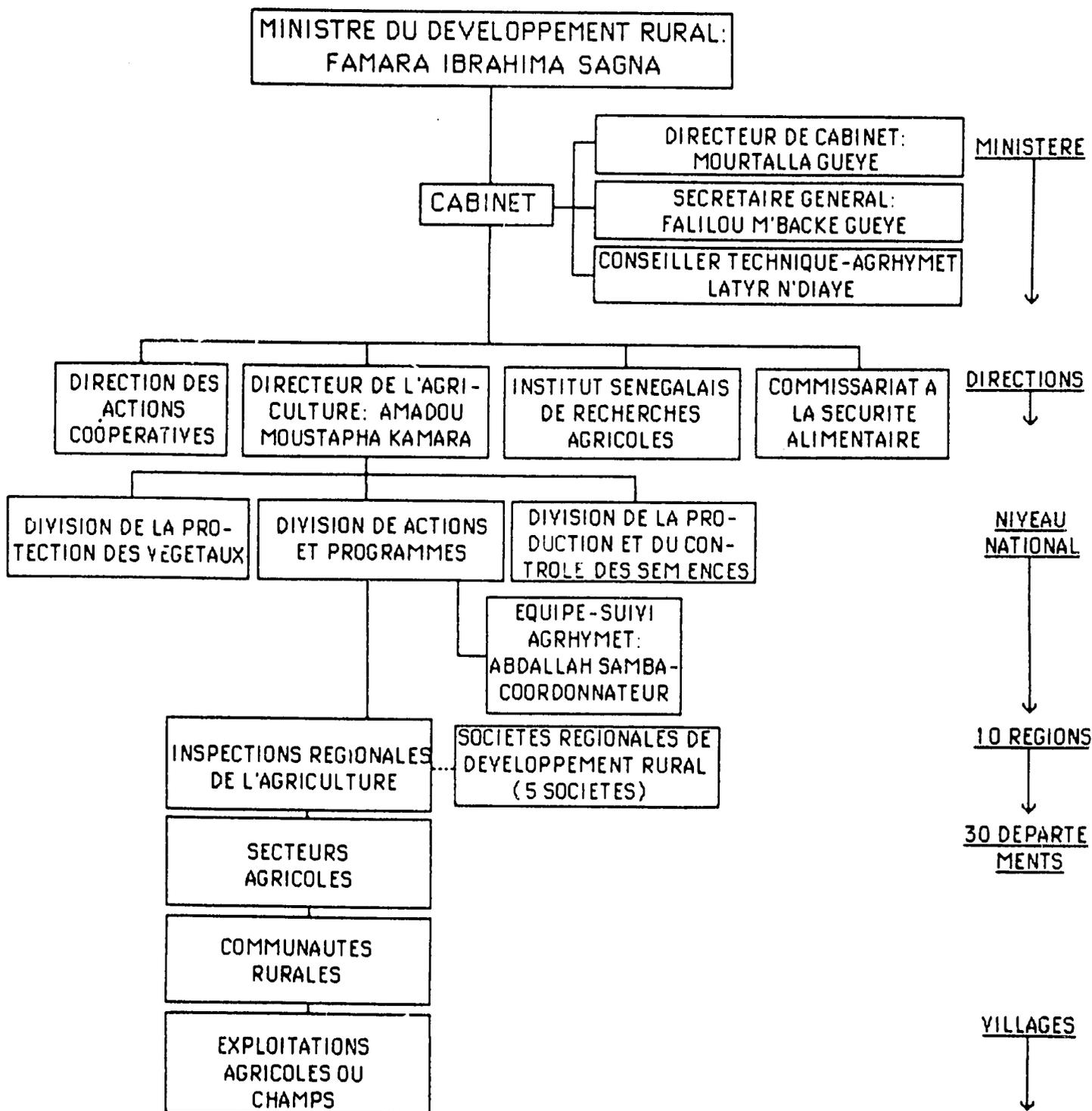


Figure 38

STRUCTURE A LA QUELLE APPARTIENT
LA DIRECTION METEOROLOGIE NATIONALE
(ORGANIGRAMME)

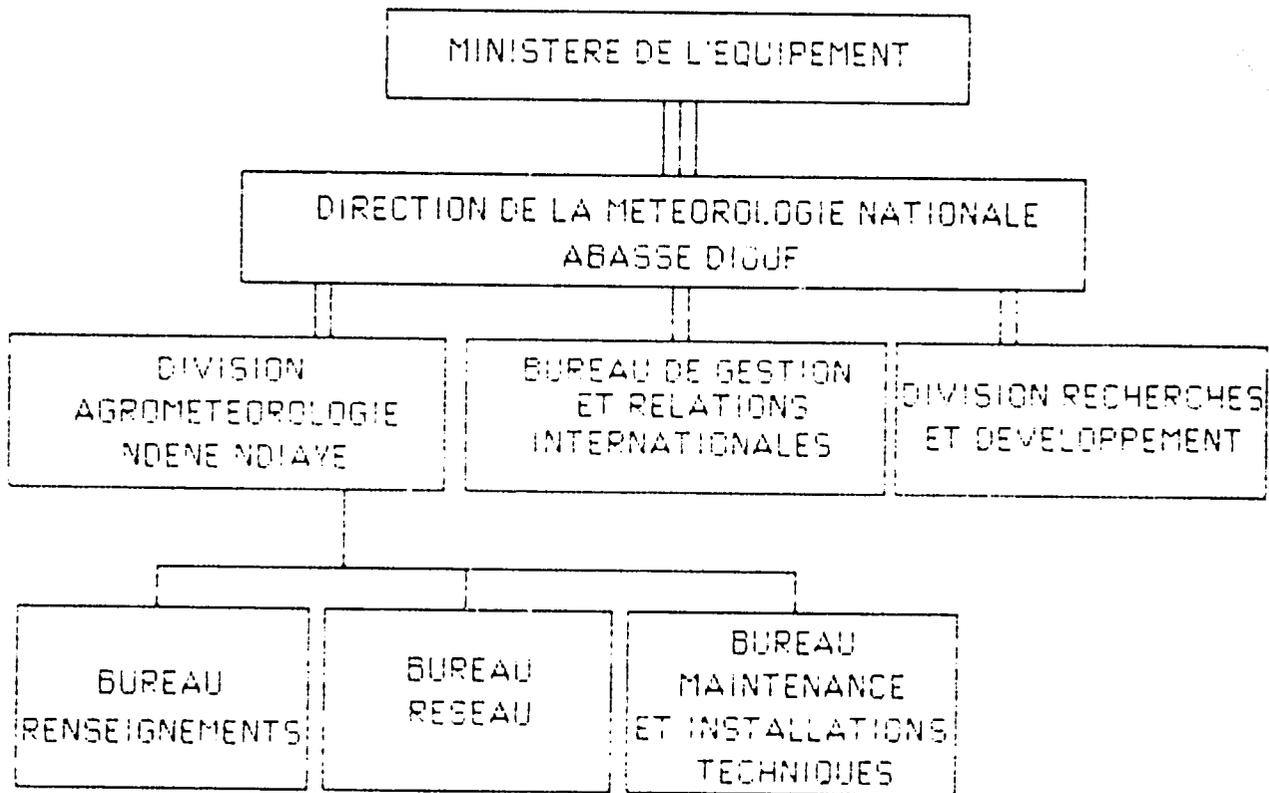
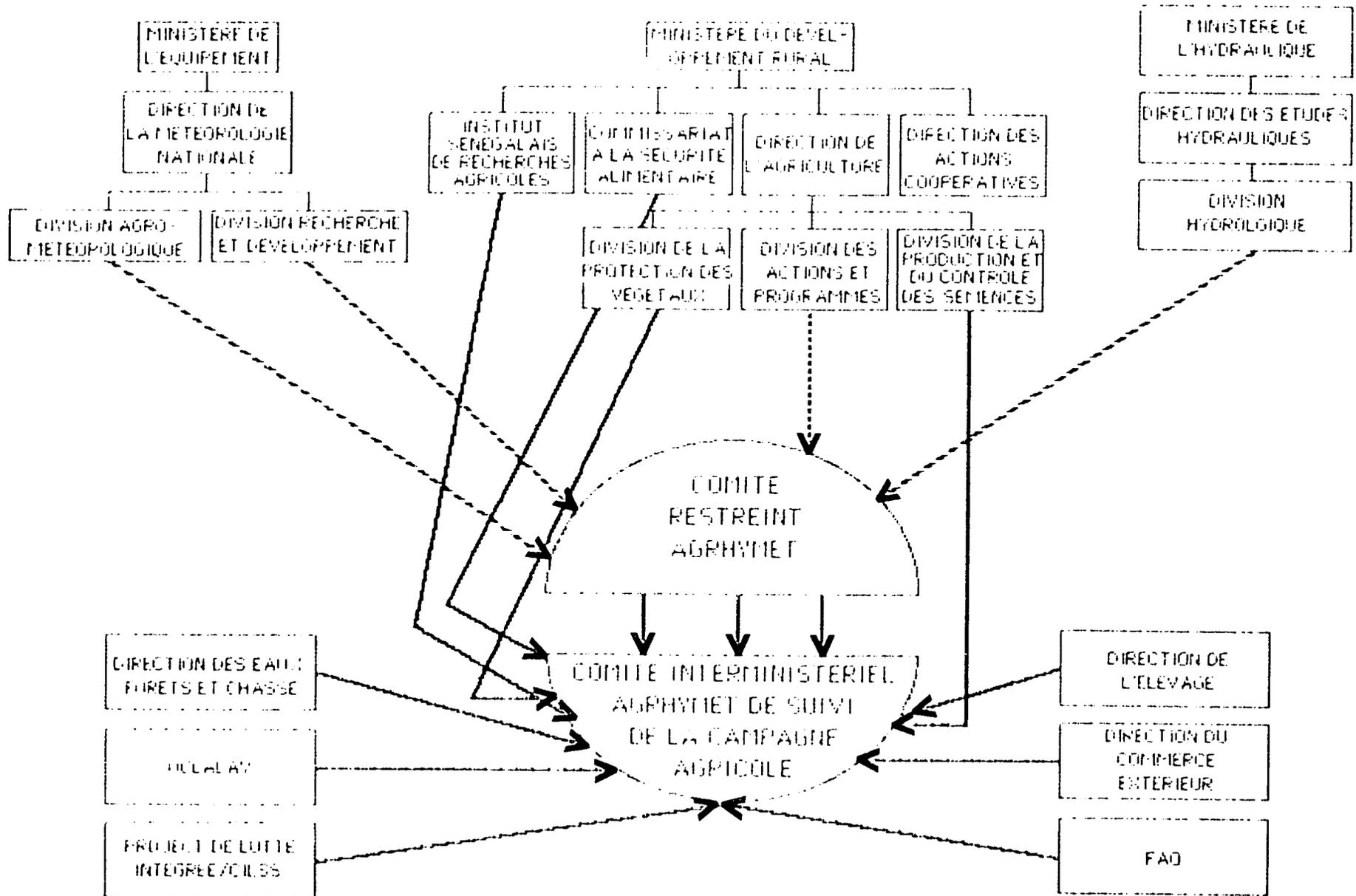


Figure 39



ORGANIGRAMME DES COMITES NATIONAUX AGRHYMET AU SENEGAL

B. Recommandations

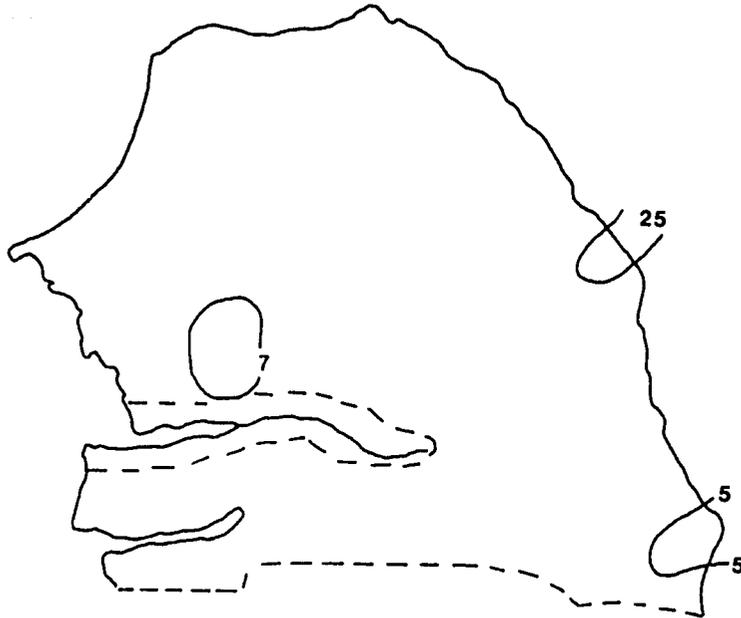
- Démarrer, dès cette campagne agricole 1986, le projet-pilote pour tester les objectifs d'AGRHYMET à l'échelle réduite au niveau paysan.
- Organiser des émissions régulières à la radioéducative rurale en langue nationale "Wolof."
- Améliorer l'outil de suivi et d'évaluation de la campagne agricole grâce à l'introduction des données satellitaires.
- Elargir le comité national à tout autre service dont la compétence est jugée nécessaire à savoir: les services du Ministère de l'Information et le Centre de Recherches Océanographiques (CRODT) qui possèdent actuellement une station de réception Météosat et qui préparent conjointement avec l'ORSTOM un projet de station de réception NOAA (dans le cadre élargi à l'agrométéorologie).
- Renforcer les comités nationaux AGRHYMET en matériel informatique, en moyens logistiques de déplacement et en moyens de télécommunication plus performants que les radio (BLU).

ANNEXES

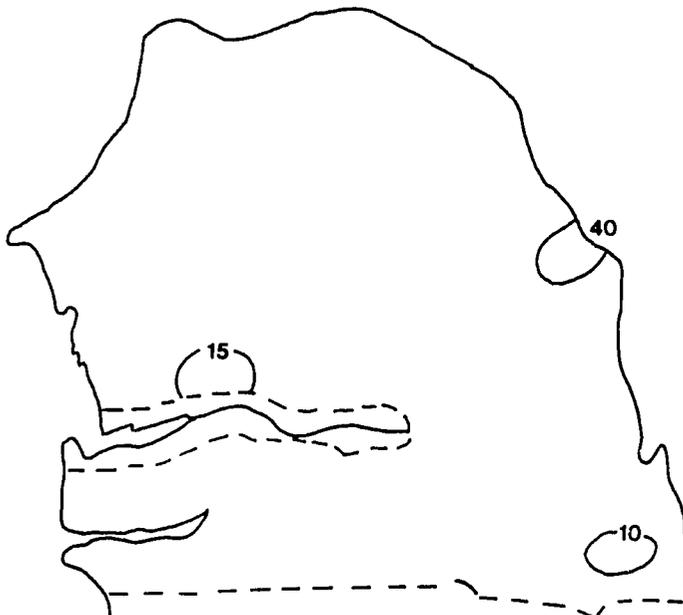
ANNEXE 1

MAI

HAUTEUR DE PLUIE EN MM



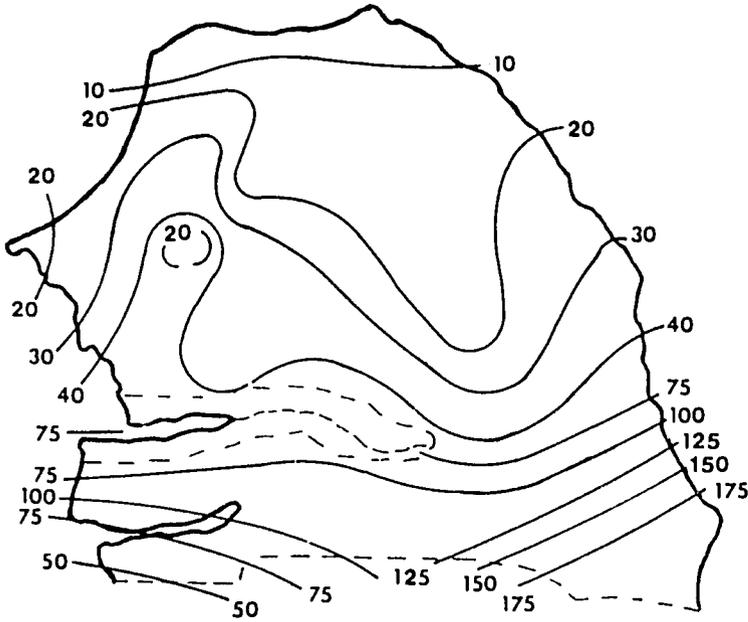
POURCENTAGE PAR RAPPORT
À LA NORMALE 1951-80



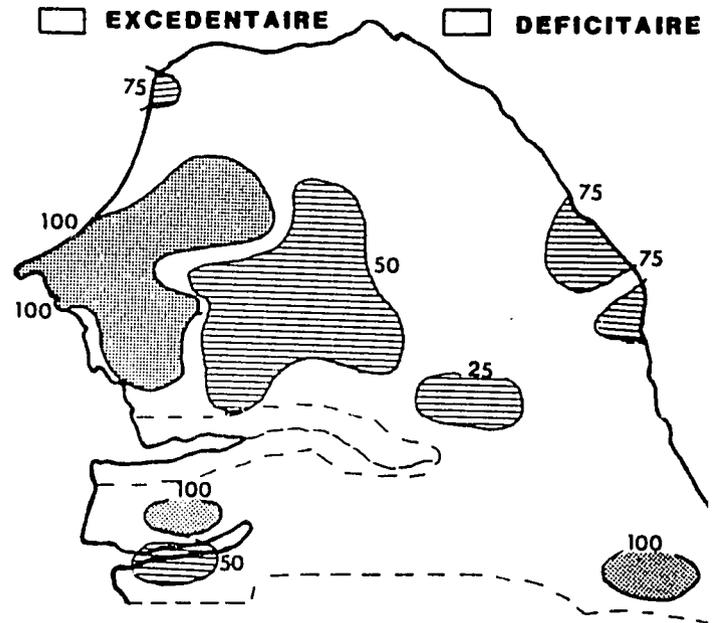
ANNEXE 2

JUIN

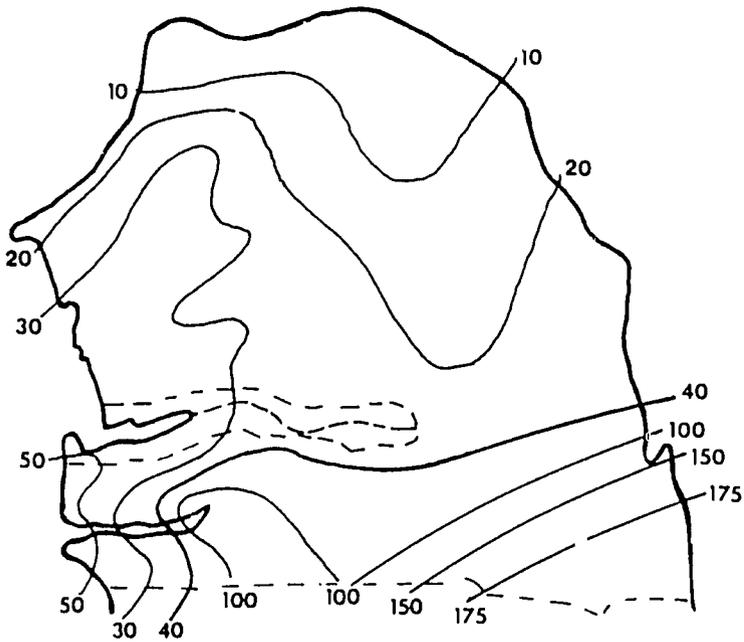
**JUIN 1985
HAUTEUR DE PLUIE EN MM**



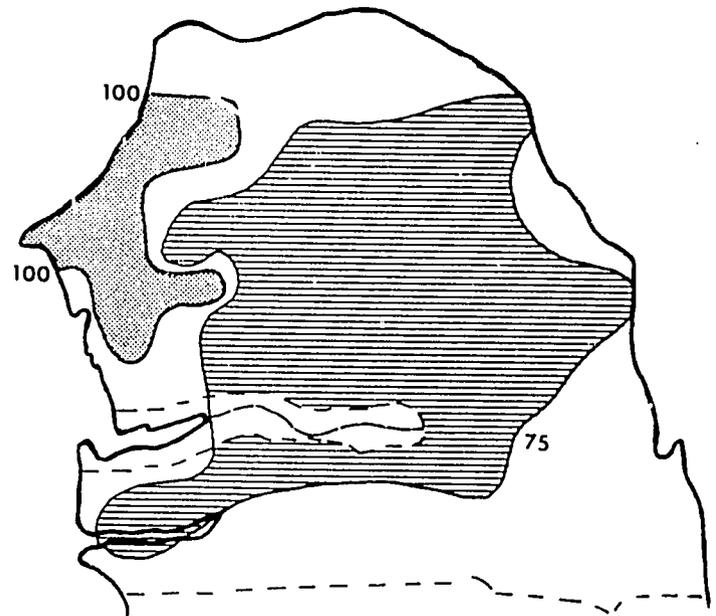
**JUIN 1985
POURCENTAGE PAR RAPPORT
À LA NORMALE 1961-80**



CUMUL MAI-JUIN 1985



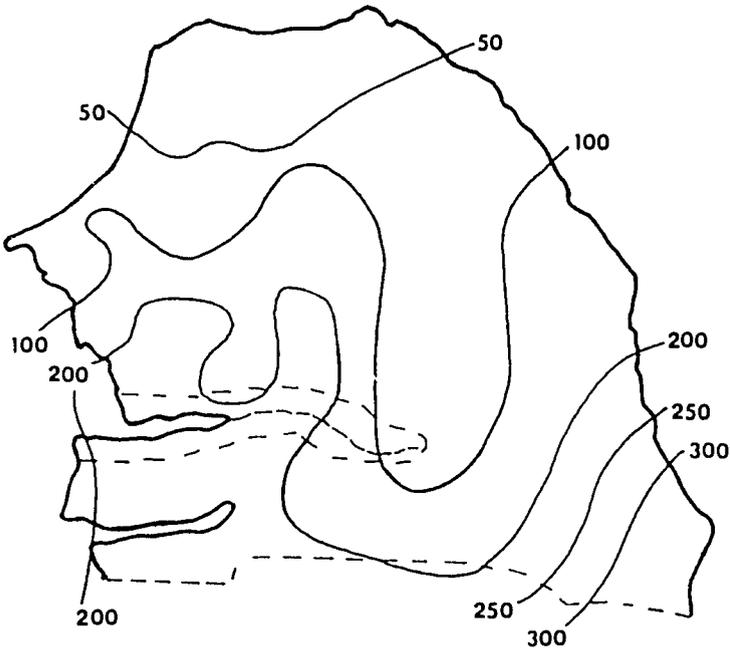
**CUMUL MAI-JUIN
POURCENTAGE PAR RAPPORT
À LA NORMALE 1961-80**



ANNEXE 3

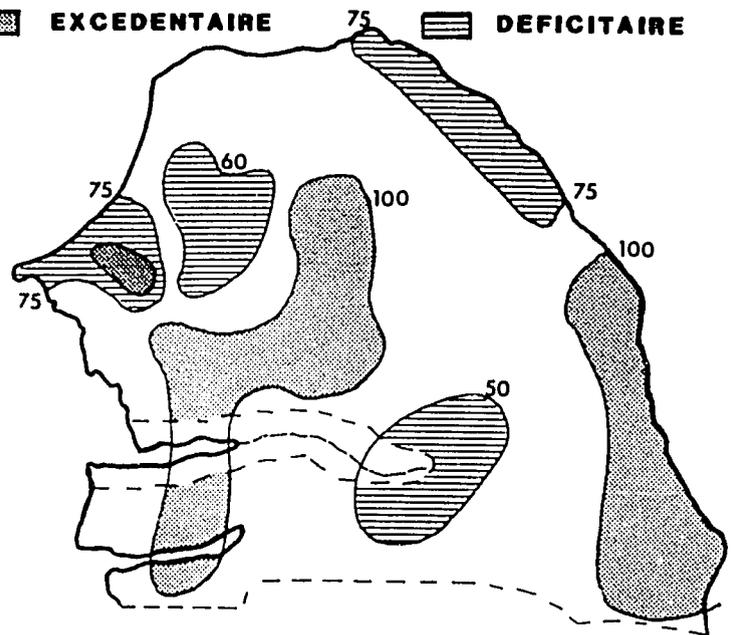
JUILLET

HAUTEUR DE PLUIE EN MM
MOIS DE JUILLET

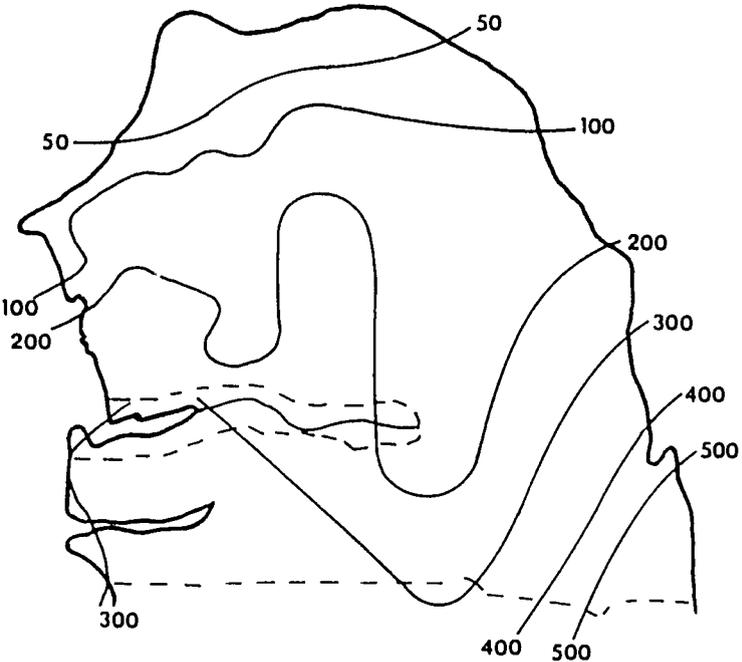


POURCENTAGE PAR RAPPORT
A LA NORMALE 1951-80
MOIS DE JUILLET

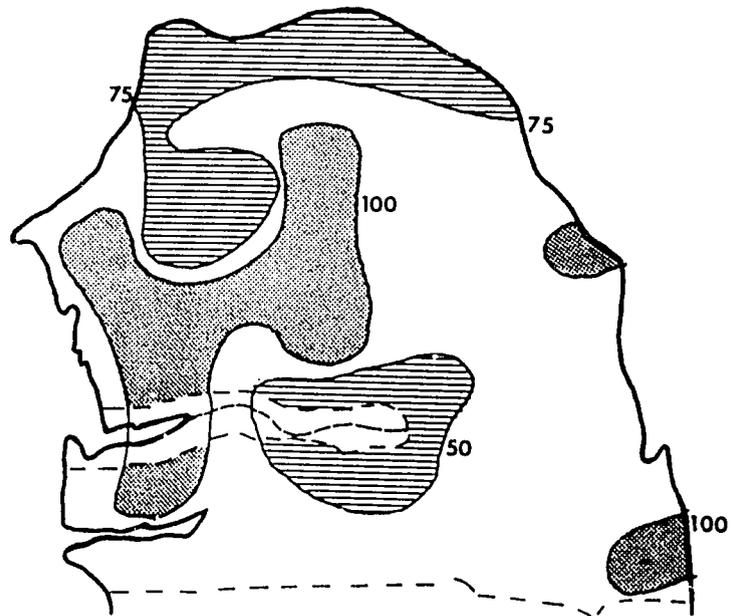
EXCEDENTAIRE DEFICITAIRE



CUMUL MAI-JUILLET EN MM



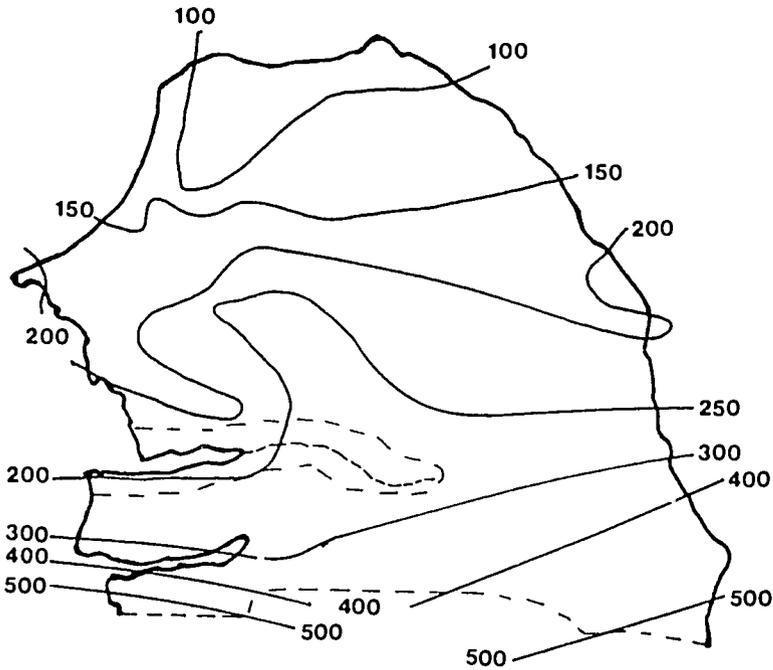
POURCENTAGE PAR RAPPORT
A LA NORMALE 1951-1980
CUMUL MAI-JUILLET



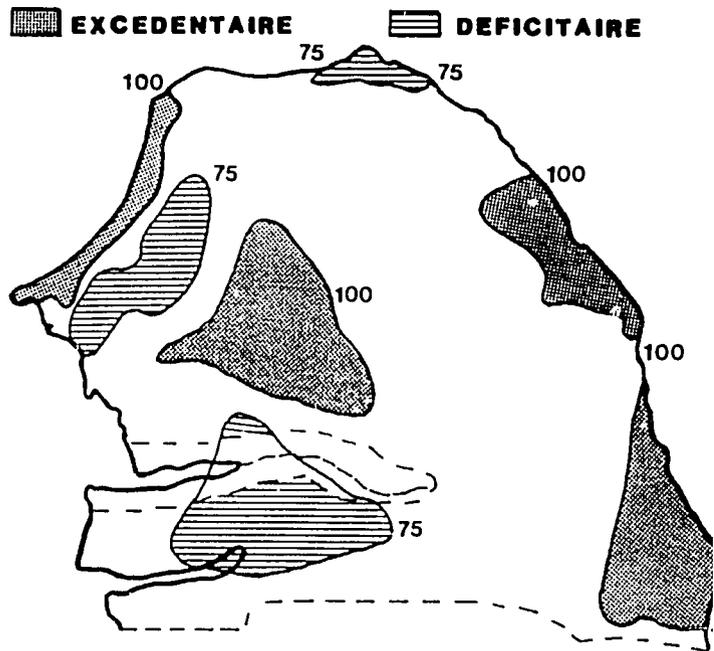
ANNEXE 4

AOUT

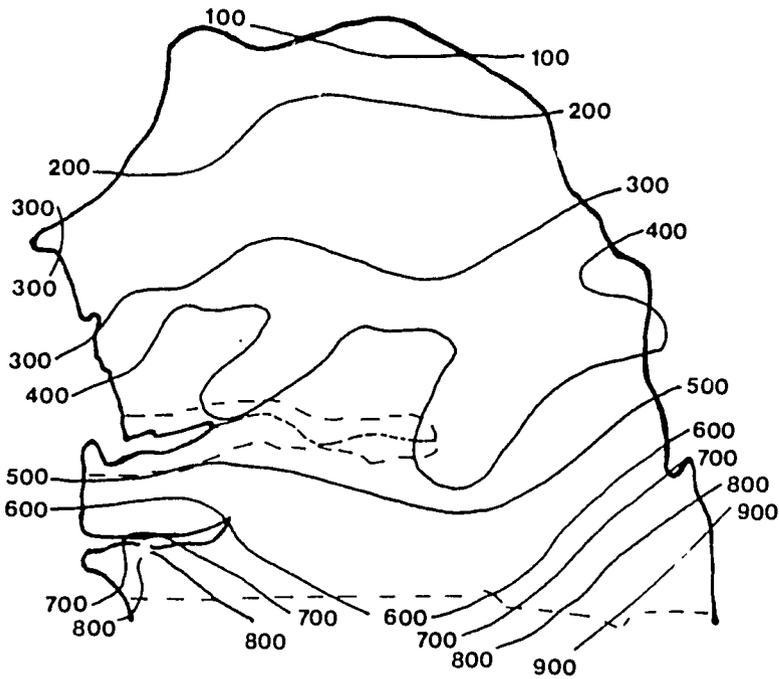
**AOUT 1985
HAUTEUR DE PLUIE EN MM**



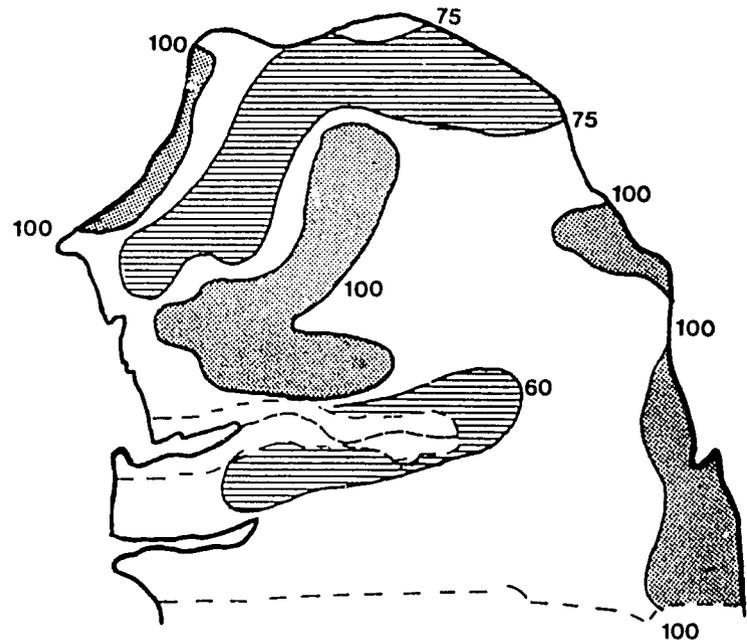
**AOUT 1985
POURCENTAGE PAR RAPPORT
À LA NORMALE 1951-80**



CUMUL MAI-AOUT 1985 EN MM



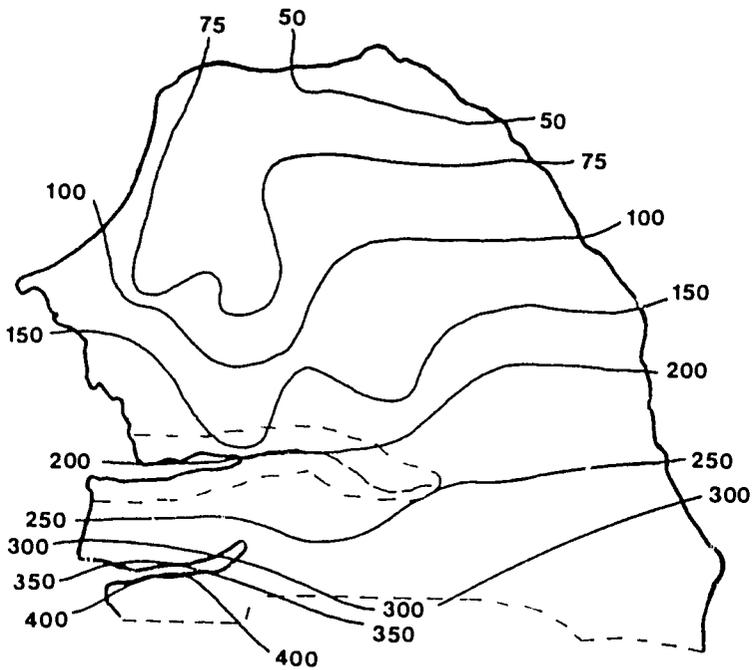
**CUMUL MAI-AOUT
POURCENTAGE PAR RAPPORT
À LA NORMALE 1951-80**



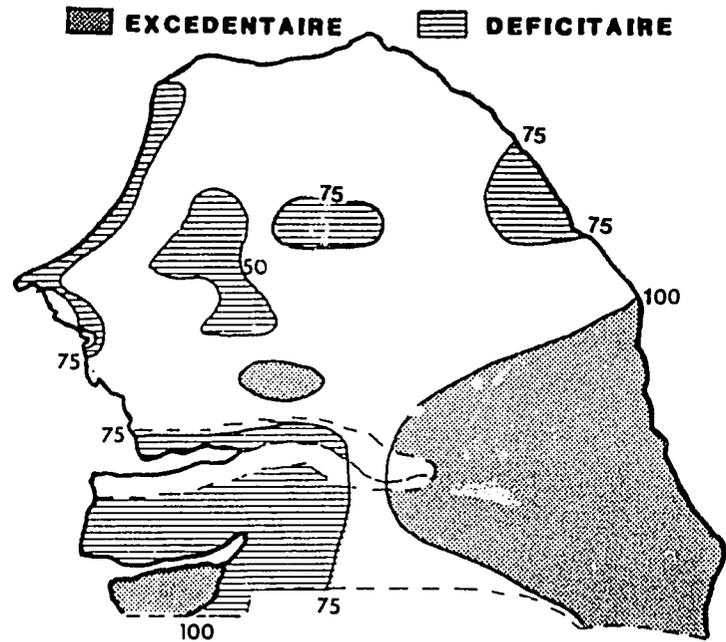
ANNEXE 5

SEPTEMBRE

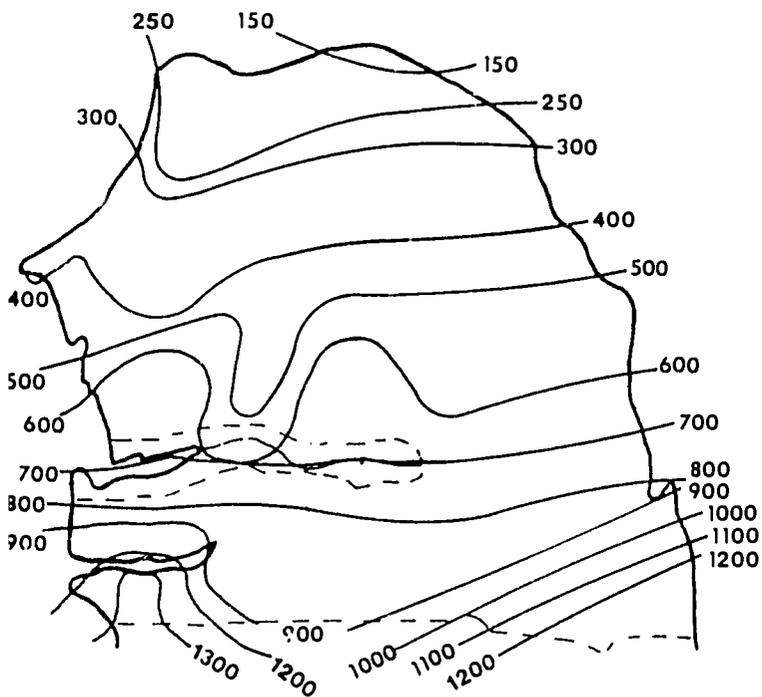
**SEPTEMBRE 1985
HAUTEUR DE PLUIE EN MM**



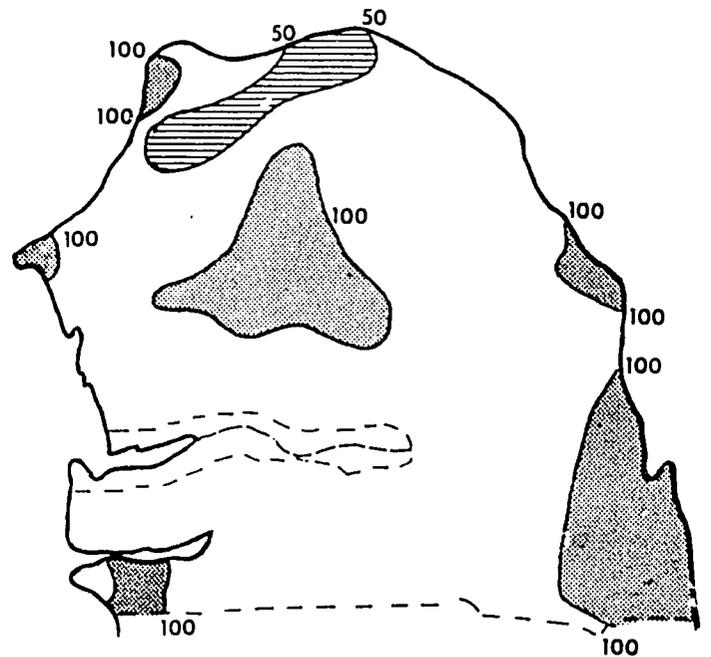
**SEPTEMBRE 1985
POURCENTAGE PAR RAPPORT
À LA NORMALE 1951-80**



CUMUL MAI-SEPTEMBRE 1985 EN MM



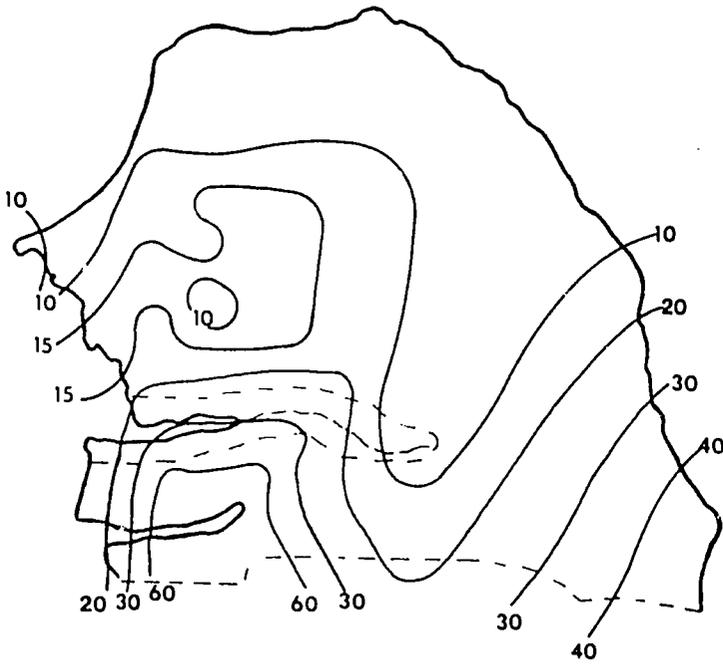
**CUMUL MAI-SEPTEMBRE
POURCENTAGE PAR RAPPORT
À LA NORMALE 1951-80**



ANNEXE 6

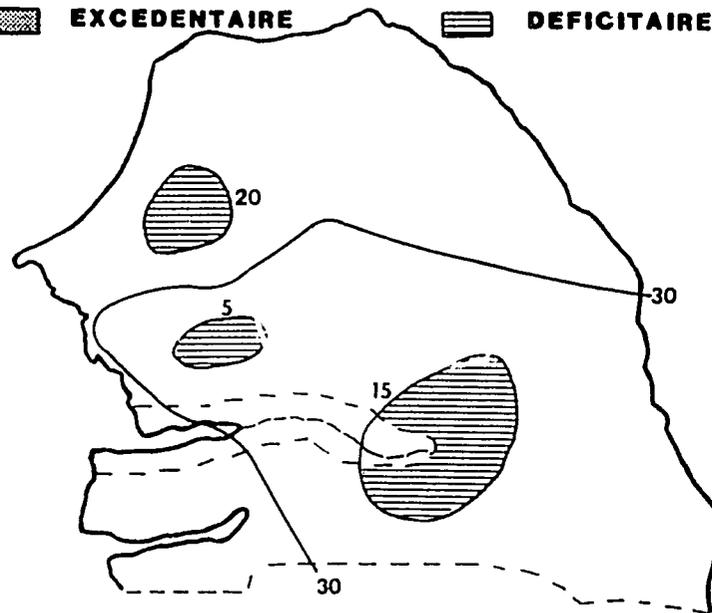
OCTOBRE

**OCTOBRE 1985
HAUTEUR DE PLUIE EN MM**

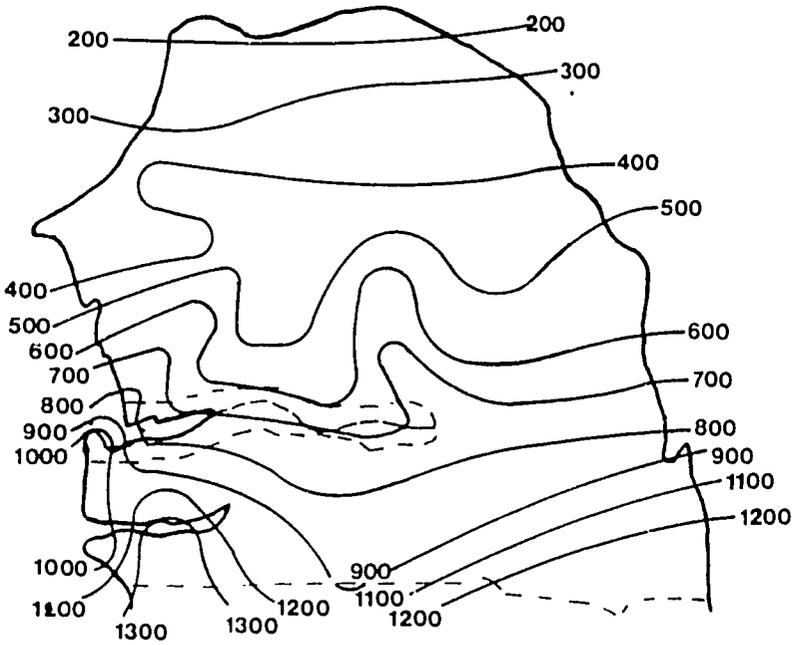


**OCTOBRE 1985
POURCENTAGE PAR RAPPORT
À LA NORMALE 1951-80**

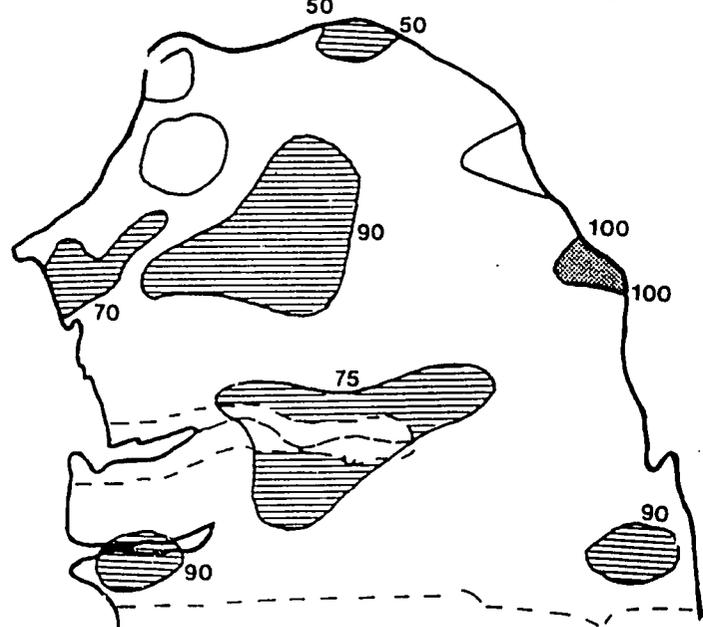
EXCEDENTAIRE DEFICITAIRE



CUMUL MAI-OCTOBRE EN MM

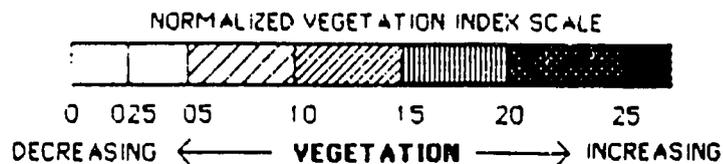
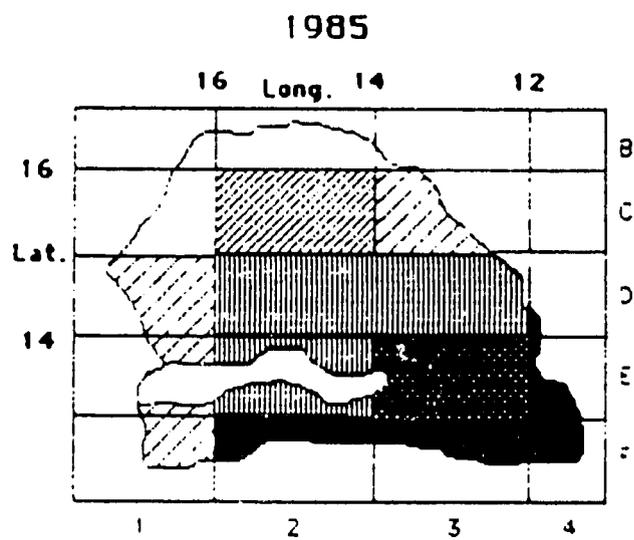
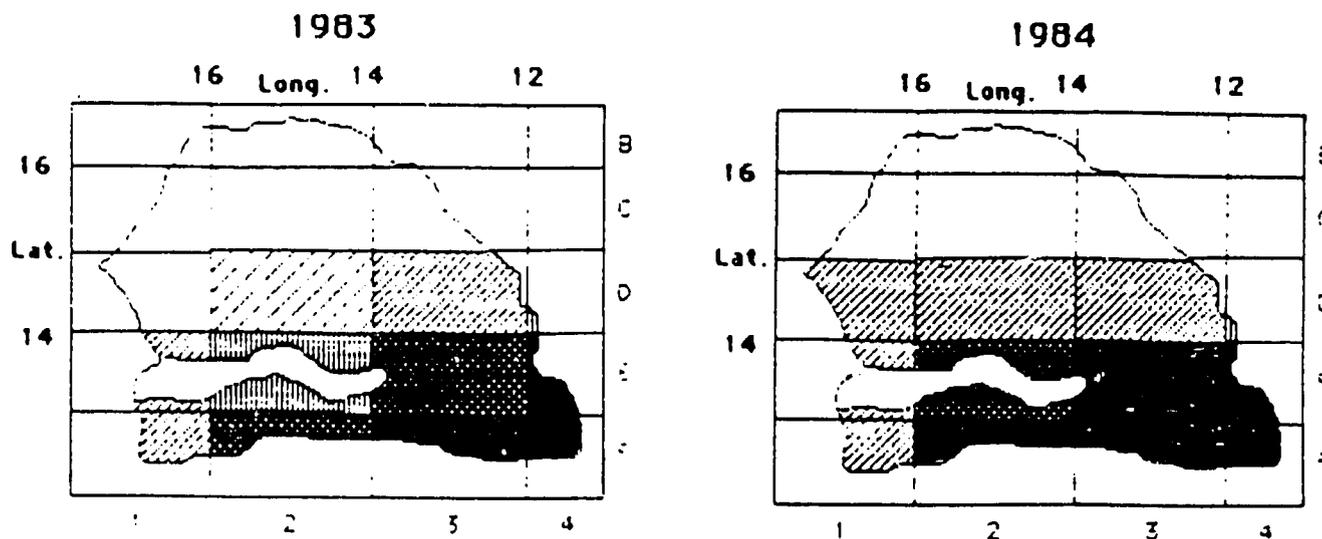


**CUMUL MAI-OCTOBRE
POURCENTAGE PAR RAPPORT
À LA NORMALE 1951-80**



ANNEXE 7: Cartographie de l'indice de végétation normalisé
de la 2^e semaine d'Aout 1983, 1984 et 1985

**NOAA SATELLITE VEGETATION/BIOMASS INDEX
NORMALIZED AVHRR DATA
SECOND WEEK OF AUGUST
SENEGAL**

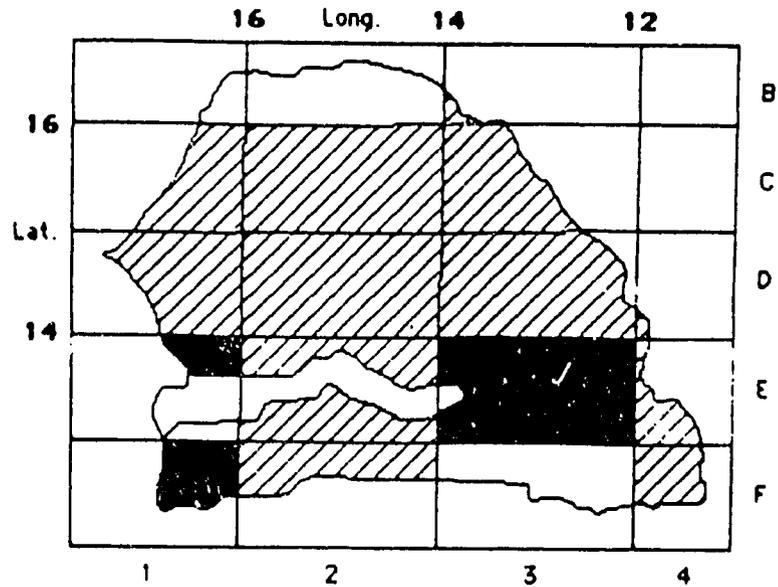


COMPARATIVE NOAA VEGETATION/BIO MASS INDEX NORMALIZED AVHRR DATA

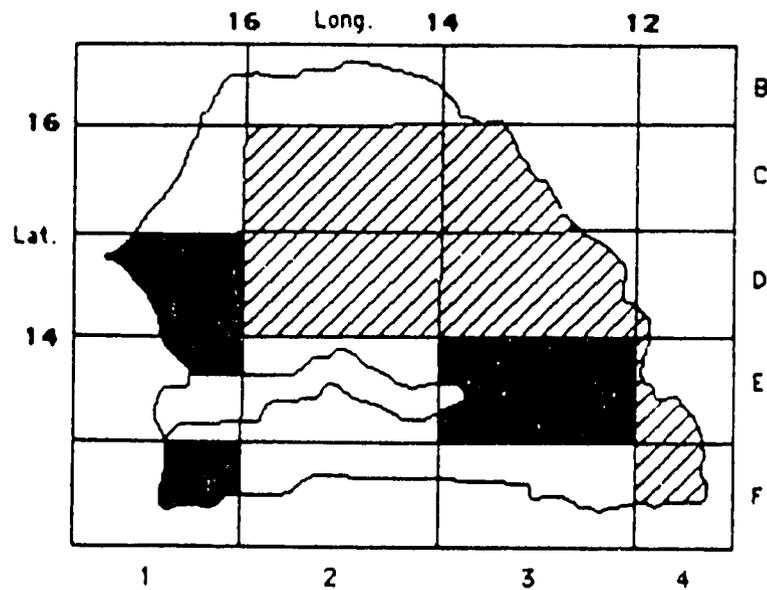
SECOND WEEK OF AUGUST

SENEGAL

1985 VS. 1983



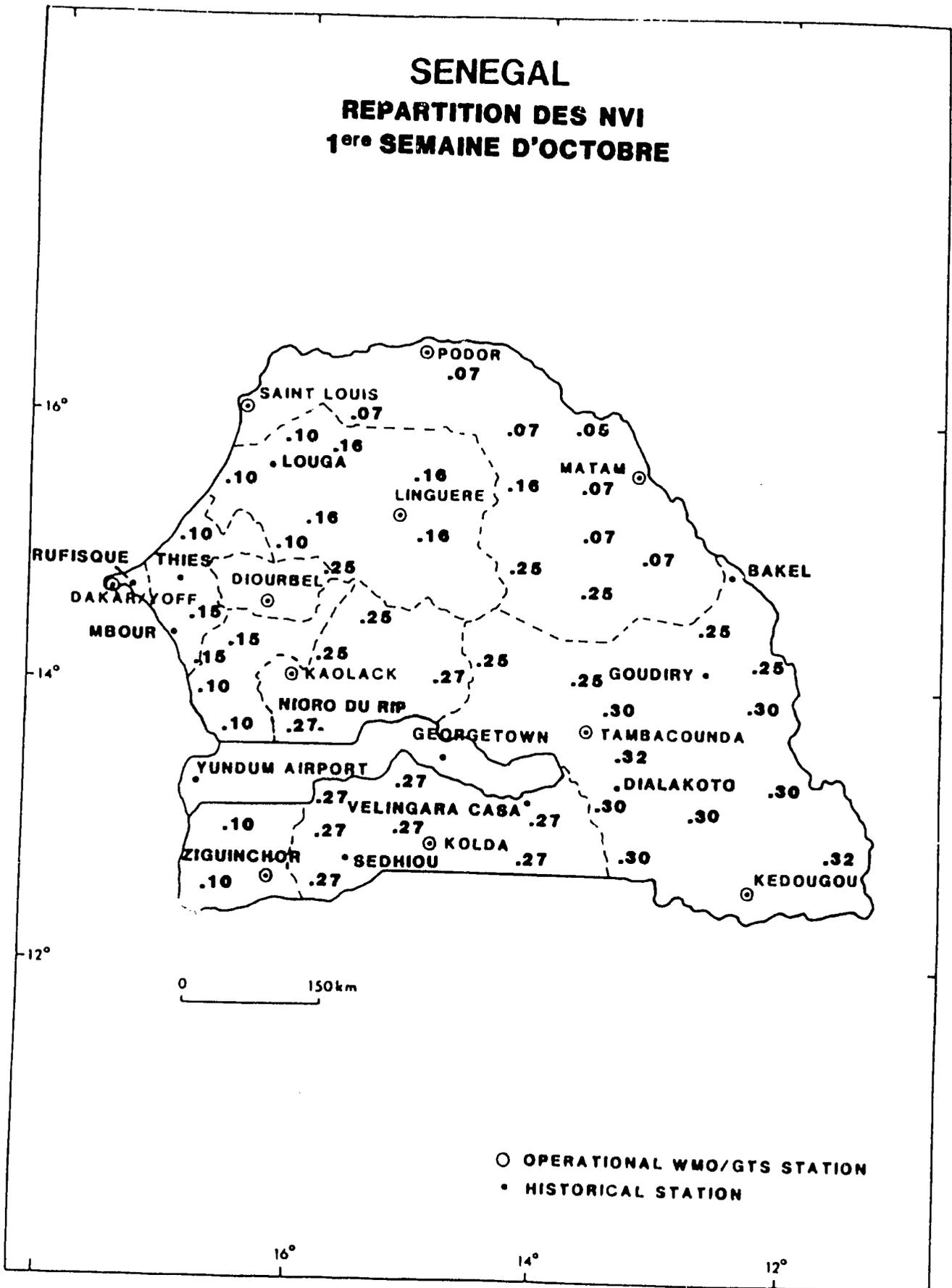
1985 VS. 1984



-  1985 LESS GREEN THAN PREVIOUS YEAR
-  NO DIFFERENCE FROM PREVIOUS YEAR
-  1985 GREENER THAN PREVIOUS YEAR

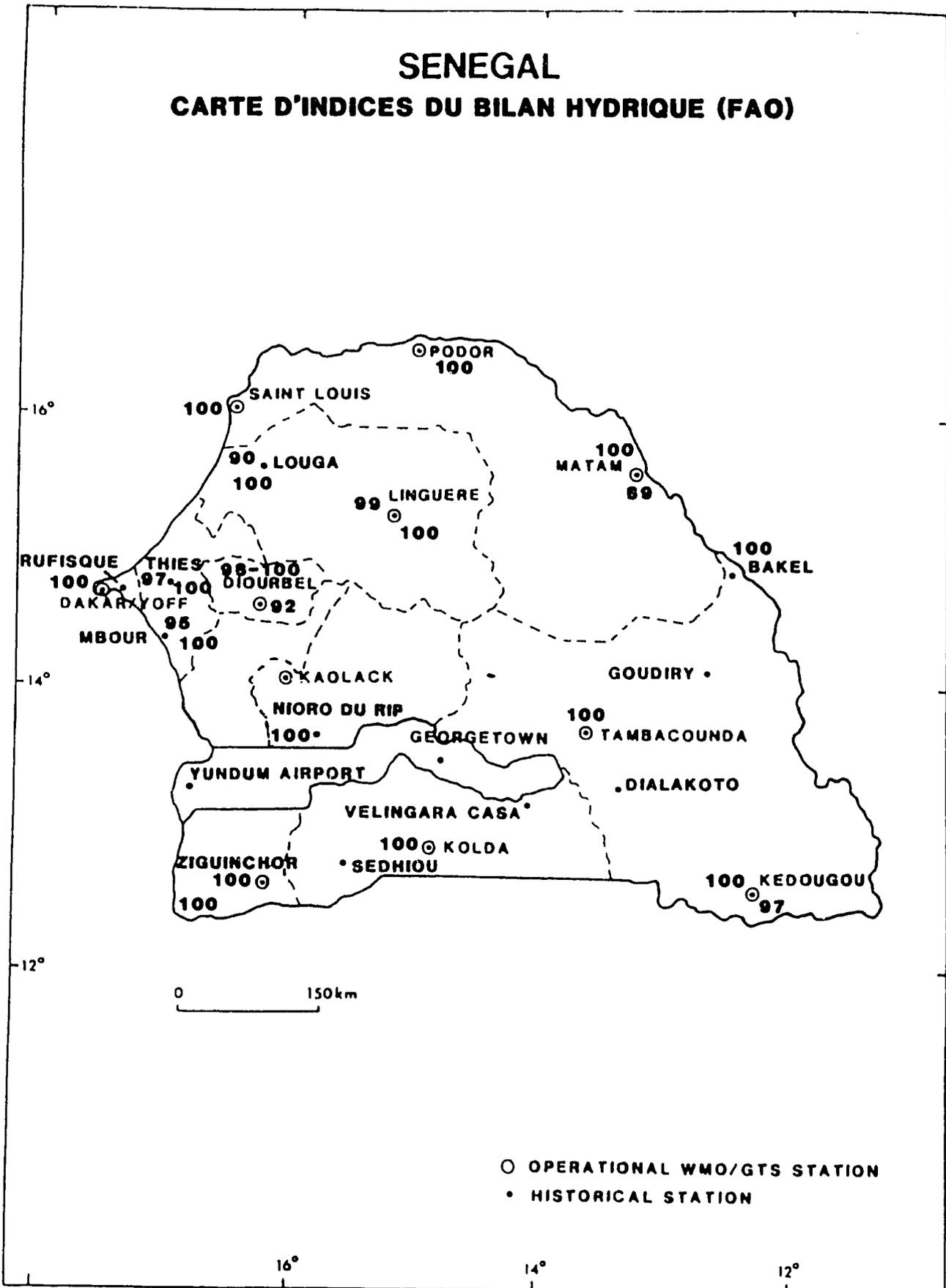
SENEGAL

REPARTITION DES NVI 1^{ere} SEMAINE D'OCTOBRE



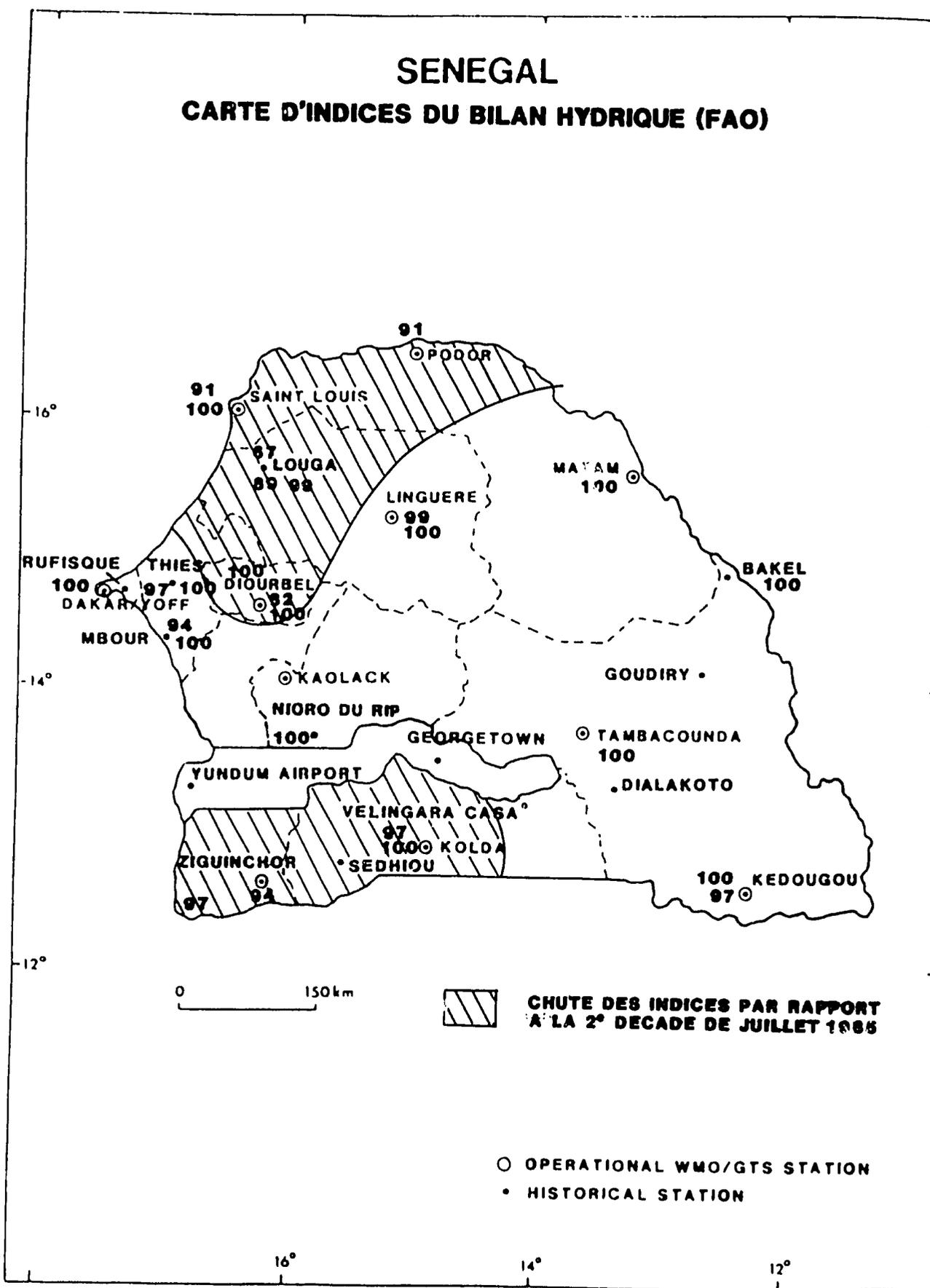
SENEGAL

CARTE D'INDICES DU BILAN HYDRIQUE (FAO)



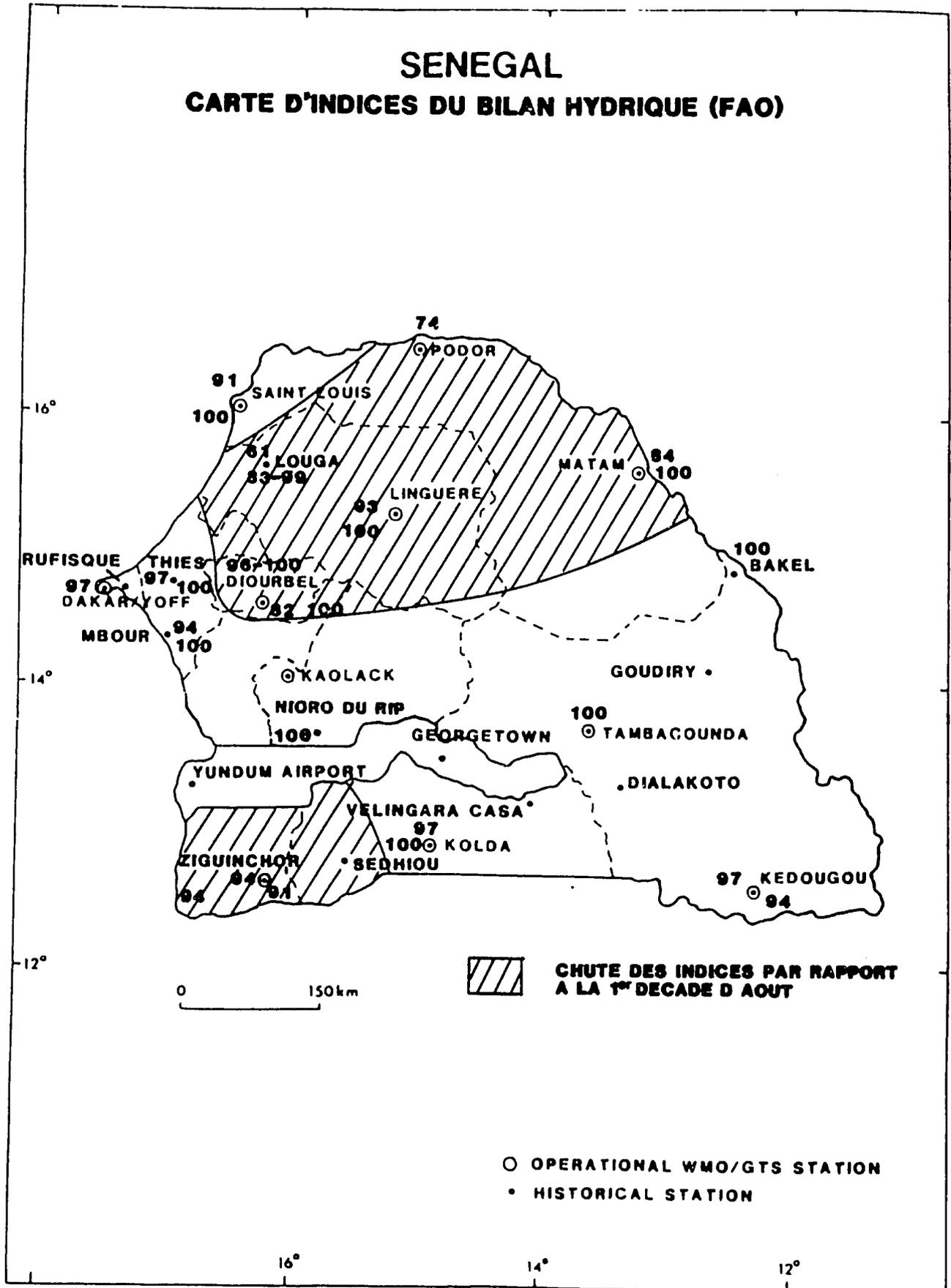
SENEGAL

CARTE D'INDICES DU BILAN HYDRIQUE (FAO)



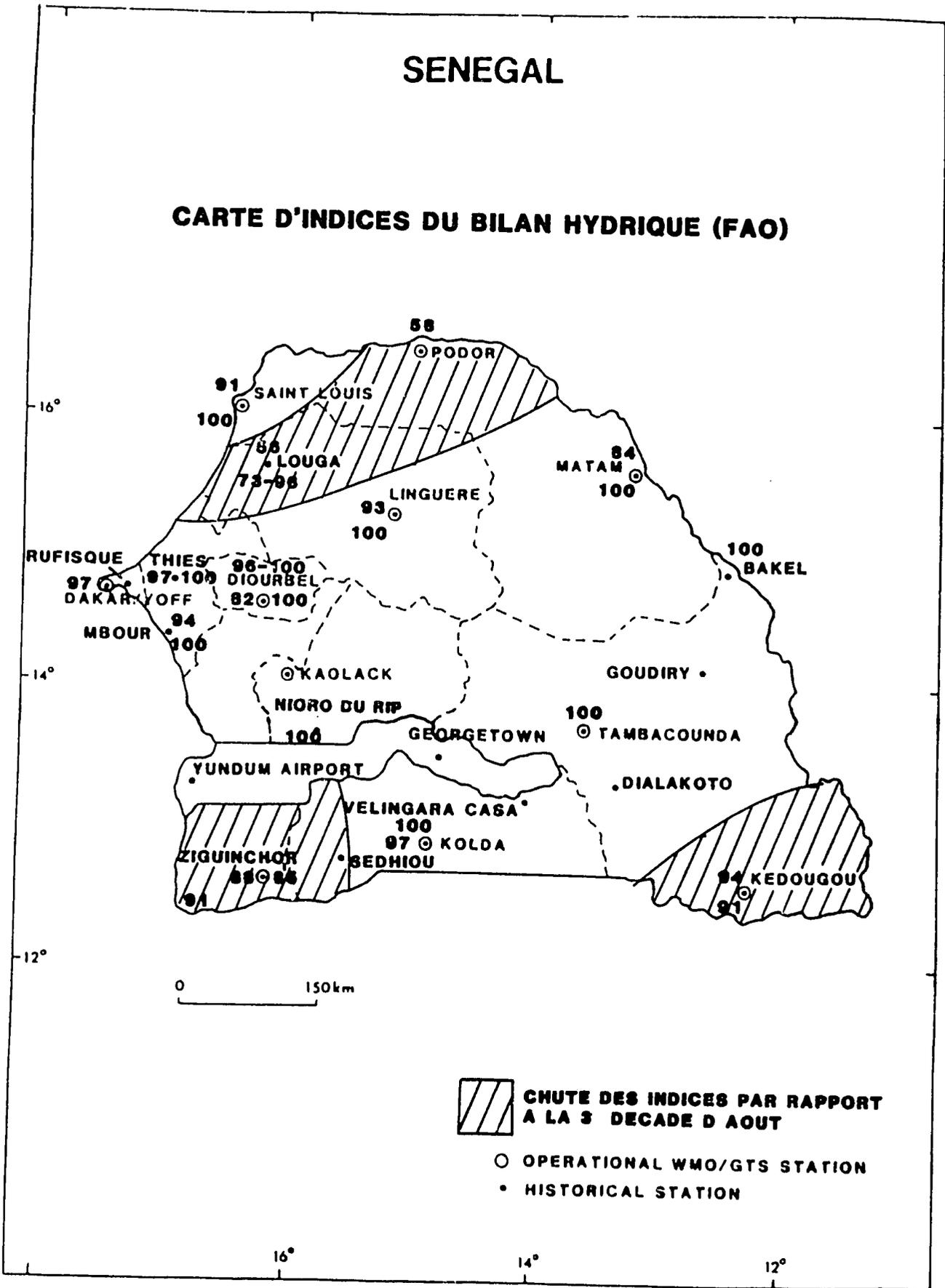
SENEGAL

CARTE D'INDICES DU BILAN HYDRIQUE (FAO)



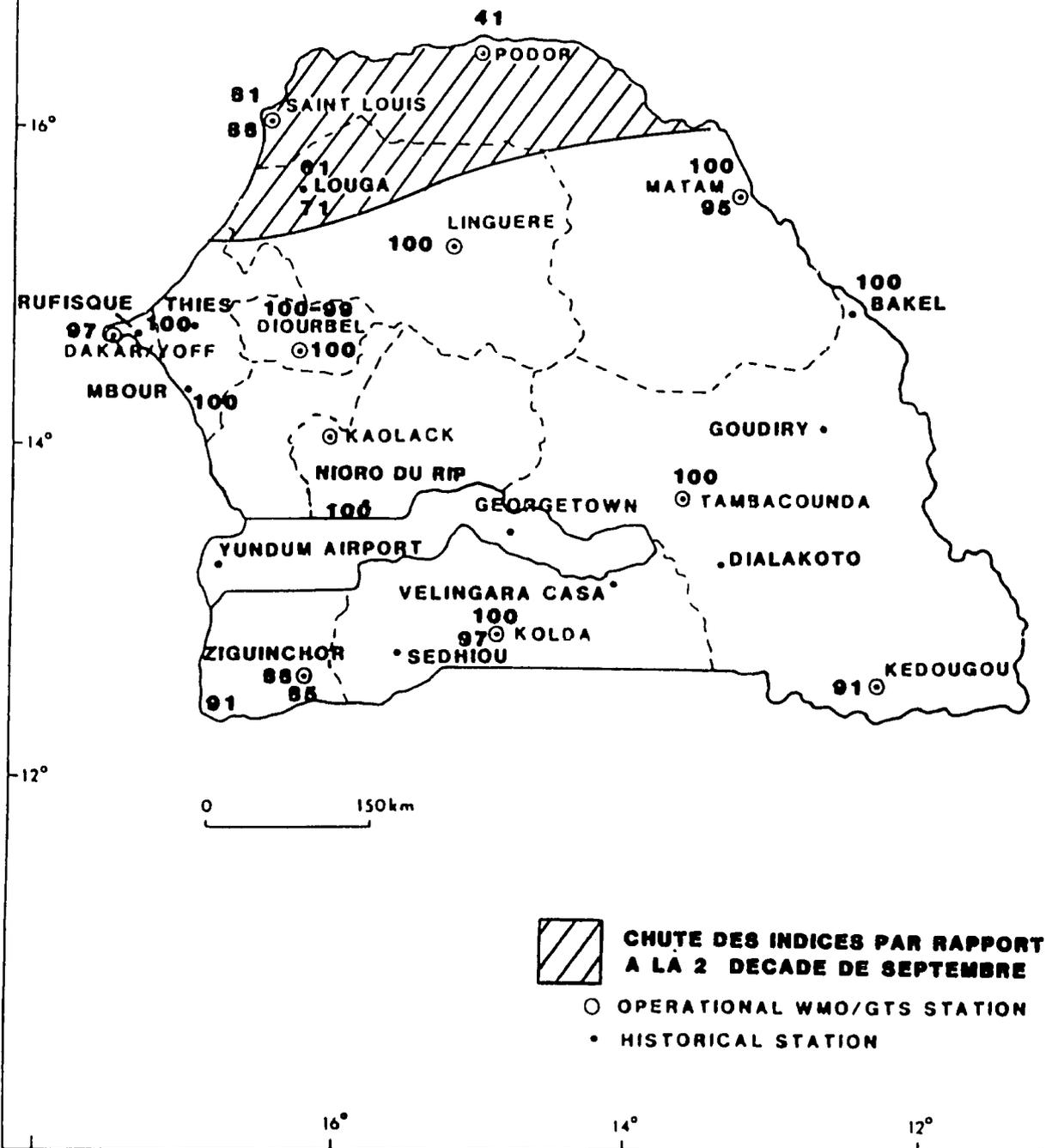
SENEGAL

CARTE D'INDICES DU BILAN HYDRIQUE (FAO)



SENEGAL

CARTE D'INDICE DU BILAN HYDRIQUE (FAO)



 **CHUTE DES INDICES PAR RAPPORT A LA 2 DECADE DE SEPTEMBRE**
 ○ OPERATIONAL WMO/GTS STATION
 • HISTORICAL STATION

ANNEXE 15

CILSS/OMM/PNUD

Programme AGRHYMET
Date d'édition : 26-FEB-86

Surveillance Agrometeorologique des Cultures Pluviales Methode Frere-Popov FAO

Station CAP SKIRRING		Saison 1985		Culture : ARACHIDE (1200)		Cycle 12 decades		Capacite de retention du sol 60mm					
dec	Mois /dec	Pa	Pn	ETP	Coefficients culturaux Kc	Besoins en Eau DE = Kc*ETP		Bilan Hydrique Pa-DE		Reserve en eau RES	Exedent/Deficit S/D	Indice ISE	
13	Mai	1	0.0	1.0	74.7								
14	Mai	2	0.0	5.3	74.7								
15	Mai	3	0.0	10.3	65.0								
16	Jui	1	0.0	20.7	55.0								
17	Jui	2	1.2	39.7	49.9								
18	Jui	3	20.2	57.9	45.0	0.3	13.8	87.6	67.4	22.6	100	100	
19	Jul	1	17.6	75.2	40.0	0.3	17.3	22.8	27.3	20.3	0.0	100	
20	Jul	2	39.8	100.8	42.2	0.7	29.5	16.9	10.3	22.9	60.0	50.2	100
21	Jul	3	170.7	110.0	35.0	0.7	24.5	15.3	140.9	10.0	10.3	0.0	100
22	Aou	1	170.7	100.0	30.0	0.7	21.0	11.3	140.9	10.0	10.0	10.0	97
23	Aou	2	170.7	90.0	28.0	1.0	28.1	10.0	140.9	10.0	10.0	10.0	97
24	Aou	3	170.7	80.0	26.0	1.0	26.0	10.0	140.9	10.0	10.0	10.0	96
25	Sep	1	170.7	70.0	25.0	1.0	25.0	10.0	140.9	10.0	10.0	10.0	96
26	Sep	2	170.7	60.0	24.0	1.0	24.0	10.0	140.9	10.0	10.0	10.0	96
27	Sep	3	170.7	50.0	23.0	1.0	23.0	10.0	140.9	10.0	10.0	10.0	91
28	Oct	1	170.7	40.0	22.0	1.0	22.0	10.0	140.9	10.0	10.0	10.0	91
29	Oct	2	170.7	30.0	21.0	1.0	21.0	10.0	140.9	10.0	10.0	10.0	91
30	Oct	3	170.7	20.0	20.0	1.0	20.0	10.0	140.9	10.0	10.0	10.0	91

						33.1 20.7 0.0							

(Besoins en eau pour la saison)

123

ANNEXE 16

CILSS/OMM/PNUD

Programme AGRHYMET
Date d'édition : 26-FEB-86

Surveillance Agrometeorologique des Cultures Pluviales Methode Frere-Popov FAO

Station TAMBOUNDA

Saison 1985

Culture : ARACHIDE (1200)

Cycle 12 decades

Capacite de retention du sol 60mm

dec	mois	Pa	Pn	ETP	Coefficients cultureux		Besoins en Eau BE - REFLV		Bilan Hydrique (a-B)		Reserve en eau RES		Excedent/Deficit S/D		Indice ISE
	/dec														
13	Mai	1	0.0	2.3											
14	Mai	2	0.0	1.4											
15	Mai	3	0.0	12.7											
16	Jui	1	0.0	20.0											
17	Jui	2	0.0	28.4											
18	Jui	3	20.1	31.1			15.7		4.8		7.0		0.0		100
19	Jui	1	0.0	0.7		0.3	19.2	14.5	11.8	17.5	17.2	17.5	0.0	0.0	100
20	Jui	2	10.0	60.5	45.3	0.7	31.7	18.1	-15.7	-2.1	1.7	15.4	0.0	0.0	100
21	Jui	3	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100
22	Jui	1	10.0	10.7	40.7	0.3	14.5	11.5	11.5	18.0	17.2	3.8	0.0	0.0	100
23	Jui	2	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100
24	Jui	3	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100
25	Aoû	1	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100
26	Aoû	2	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100
27	Aoû	3	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100
28	Sept	1	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100
29	Sept	2	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100
30	Sept	3	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100

124

3 1.7 3 0.0 0.0
(Besoins en eau pour la saison)

Best Available Document

ANNEXE 17

CILSS/OMM/PNUD

Programme AGRHYMET
Date d'edition : 26-FEB-86

Surveillance Agrometeorologique des Cultures Pluviales Methode Frere-Popov FAO

Station NIORO DU RIP

Saison 1985

Culture : ARACHIDE (1203)

Cycle 12 decades

Capacite de retention du sol 60mm

dec	Mois /dec	Pa	Pn	ETI	Coefficients culturaux Kc	Besoins en Eau BE KcETP		Bilan Hydrrique Pa-BE		Reserve en eau RES		Exedent/Deficit S/D		Indice ISE
13	Mai 1	0.8	0.0	64.0										
14	Mai 2	0.0	0.0	60.0										
15	Mai 3	0.0	3.0	61.6										
16	Mai 4	0.0	1.0	57.0										
17	Jui 2	0.0	25.0	54.9										
18	Jui 3	0.0	20.0	52.0	0.3		15.0	10.5			10.5	0.0		100
19	Jui 4	0.0	1.0	50.0	0.3	0.3	20.0	16.5	10.7	21.0	3.0	21.0	0.0	100
20	Jul 2	54.6	80.0	49.7	0.7	0.4	34.8	19.9	19.8	34.7	55.0	56.6	0.0	100
21	Jul 3	0.0	10.0	47.0	0.7	0.7	30.0	23.0	3.1	37.0	50.0	50.0	20.0	100
22	Jul 4	0.0	0.0	45.0	0.7	0.0	27.0	20.0	0.7	37.0	50.0	50.0	0.0	100
23	Aou 1	17.0	0.0	43.0	1.0	0.0	13.0	13.0	0.0	37.0	40.0	67.0	50.0	100
24	Aou 2	10.0	10.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
25	Aou 3	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
26	Aou 4	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
27	Set 1	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
28	Set 2	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
29	Set 3	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
30	Set 4	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
31	Oct 1	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
32	Oct 2	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
33	Oct 3	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
34	Oct 4	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
35	Nov 1	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
36	Nov 2	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
37	Nov 3	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
38	Nov 4	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
39	Dec 1	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
40	Dec 2	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
41	Dec 3	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
42	Dec 4	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
43	Jan 1	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
44	Jan 2	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
45	Jan 3	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
46	Jan 4	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
47	Feb 1	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
48	Feb 2	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
49	Feb 3	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
50	Feb 4	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
51	Mar 1	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
52	Mar 2	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
53	Mar 3	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
54	Mar 4	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
55	Apr 1	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
56	Apr 2	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
57	Apr 3	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
58	Apr 4	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
59	May 1	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
60	May 2	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
61	May 3	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
62	May 4	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
63	Jun 1	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
64	Jun 2	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
65	Jun 3	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
66	Jun 4	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
67	Jul 1	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
68	Jul 2	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
69	Jul 3	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
70	Jul 4	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
71	Aug 1	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
72	Aug 2	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
73	Aug 3	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
74	Aug 4	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
75	Sept 1	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
76	Sept 2	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
77	Sept 3	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
78	Sept 4	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
79	Oct 1	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
80	Oct 2	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
81	Oct 3	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
82	Oct 4	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
83	Nov 1	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
84	Nov 2	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
85	Nov 3	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
86	Nov 4	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
87	Dec 1	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
88	Dec 2	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
89	Dec 3	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
90	Dec 4	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
91	Jan 1	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
92	Jan 2	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
93	Jan 3	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
94	Jan 4	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
95	Feb 1	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
96	Feb 2	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
97	Feb 3	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
98	Feb 4	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
99	Mar 1	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
100	Mar 2	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
101	Mar 3	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
102	Mar 4	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
103	Apr 1	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
104	Apr 2	0.0	0.0	42.0	1.0	1.0	10.0	10.0	-0.0	37.0	30.0	30.0	0.0	100
105	Apr 3	0.0	0.0	42.0										

Surveillance Agrometeorologique des Cultures Pluviales Methode Frere-Popov FAO

Station KAOLACK

Saison 1985 Culture : MAIZE (920)

Cycle 9 decades

Capacite de retention du sol 60mm

dec	mois	Pa	Pn	ETP	Coefficients			Besoins en Eau		Bilan Hydrigue		Reserve en eau		Excedent/Deficit		Indice								
	/dec				SE	NE	SE	NE	(+B)	(-B)	(ES)	(S)	(S)	(S)	(S)	(S)	(S)							
12	Mai	1	0.5	0.1	64.0																			
14	Mai	2	0.0	1.0	60.0																			
15	Mai	3	0.0	3.0	61.6																			
17	Jui	2	0.0	4.6	54.9																			
19	Jui	2	0.0	12.0	50.0	0.4		21.1	29.6	0.4	40.7	0.0	0.0	0.0	0.0	100								
20	Jui	2	134.3	40.2	49.7	0.8	0.6	0.4	39.8	29.8	19.9	94.5	104.5	114.4	60.0	60.0	60.0	83.3	94.2	54.4	100	100	100	
21	Jui	1																						
22	Jui	1																						
23	Jui	1																						
24	Jui	1																						
25	Jui	1																						
26	Jui	1																						
27	Jui	1																						
28	Jui	1																						
29	Jui	1																						
30	Jui	1																						
31	Jui	1																						

126

30.0 21.6 21.0
(Besoins en eau pour la saison)

Best Available Document

ANNEXE 19

CILSS/OMM/PNUD

Programme AGRHYMET
Date d'édition : 27-FEB-85

Surveillance Agrometeorologique des Cultures Pluviales Methode Frere-Popov FAO

Station TANDJOUNDA

Saison 1985

Culture : MAIZE (923)

Cycle 9 decades

Capacite de retention du sol 60mm

Dec	Mois	Pa	Pc	ETP	Coefficient cultureux	Requis en Eau mm	Bilan Hydrique mm	Receve en eau mm	Excedent/Deficit mm	Indice
13	Mai	1	11.0	2.3	0.1					
14	Mai	2	0.0	1.6	0.1					
15	Mai	3	0.0	12.7	0.1					
16	Mai	4	0.0	2.0	0.1					
17	Jui	1	0.0	28.4	0.1					
18	Jui	2	0.0	11.1	0.1					
19	Jui	3	0.0	0.0	0.1					
20	Jui	4	16.0	66.5	0.8	36.2	27.2	-20.2	-11.2	94
21	Jui	5	0.0	0.0	0.6					
22	Jui	6	0.0	0.0	0.6					
23	Jui	7	0.0	0.0	0.6					
24	Jui	8	0.0	0.0	0.6					
25	Jui	9	0.0	0.0	0.6					
26	Jui	10	0.0	0.0	0.6					
27	Jui	11	0.0	0.0	0.6					
28	Jui	12	0.0	0.0	0.6					
29	Jui	13	0.0	0.0	0.6					
30	Jui	14	0.0	0.0	0.6					
31	Jui	15	0.0	0.0	0.6					

36.2 ? mm
(Besoins en eau pour la saison)

Best Available Document

Surveillance Agrometeorologique des Cultures Pluviales Methode Frere-Popov FAO

Station POPOP		Saison 1985		Culture : NI85 (773)		Cycle : 7 decades		Capacite de retention du sol : 50mm		
dec	Mois /dec	Fa	Pa	ETP	Coefficient de culture au 100	Besoins en Eau (mm)	Bilan Hydrrique Pa-E	Recherche en eau (Ee)	Excedent/deficit S/D	Inclen
13	Mai 1	0.0	0.1	55.5						
14	Mai 2	0.0	0.0	56.0						
15	Mai 3	0.0	0.0	57.9						
16	Jui 1	0.0	0.0	59.0						
17	Jui 2	0.0	1.2	61.1						
18	Jui 3	0.0	1.0	62.1						
19	Jui 4	0.0	1.0	63.1						
20	Jul 1	38.1	17.0	63.1	0.4	25.2	12.9	12.9	0.0	100
21	Jul 2	0.0	0.0	64.0	0.0	25.2	-3.9	2.7	-20.1	92
22	Jul 3	0.0	0.0	64.0	0.0	25.2	-3.9	2.7	-20.0	85
23	Jul 4	0.0	0.0	64.0	0.0	25.2	-3.9	2.7	-20.0	77
24	Jul 5	0.0	0.0	64.0	0.0	25.2	-3.9	2.7	-20.0	69
25	Jul 6	0.0	0.0	64.0	0.0	25.2	-3.9	2.7	-20.0	61
26	Jul 7	0.0	0.0	64.0	0.0	25.2	-3.9	2.7	-20.0	53
27	Jul 8	0.0	0.0	64.0	0.0	25.2	-3.9	2.7	-20.0	45
28	Jul 9	0.0	0.0	64.0	0.0	25.2	-3.9	2.7	-20.0	37
29	Jul 10	0.0	0.0	64.0	0.0	25.2	-3.9	2.7	-20.0	29
30	Jul 11	0.0	0.0	64.0	0.0	25.2	-3.9	2.7	-20.0	21
31	Jul 12	0.0	0.0	64.0	0.0	25.2	-3.9	2.7	-20.0	13

2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
(Besoins en eau pour la saison)

Best Available Document

APPENDICE A

Modèle statistique de pluviométrie/rendement agricole

PARAMETRES STATISTIQUES POUR LE MODELE DE MIL/SORGHO AU NIVEAU NATIONAL

Année	\hat{a}	\hat{b}	y	\hat{y}	$y - \hat{y}$	$(y - \bar{y})^2$
0	0.1874	0.0011		0.6984		
1975	0.1098	0.0014	0.6390	0.7480	-0.11	0.01
1976	0.1837	0.0012	0.5350	0.5178	0.02	0.0003
1977	0.2384	0.0010	0.3820	0.4648	-0.08	0.0068
1978	0.2143	0.0011	0.7130	0.5814	0.13	0.0173
1979	0.1882	0.0012	0.5380	0.5562	-0.02	0.0003
1981	0.1711	0.0013	0.6260	0.6610	-0.03	0.0012
1982	0.1864	0.0012	0.5910	0.5526	0.04	0.0015
1983	0.1868	0.0012	0.4490	0.4478	0.001	0.000001
1984	0.1798	0.0012	0.4700	0.4558	0.014	0.0002

$$\bar{y} = 0.5431$$

$$\bar{x} = 297.75$$

$$r^2 = 0.002820$$

$$t = 2.752 \text{ chiffre extrait d'apr\`es student T}$$

$$x_{1985} = 364 \text{ mm}$$

Choix des stations agrométéorologiques

National		11	₣		
Sahel	Senegal			Dakar/Yoff	0.0000
Sahel	Senegal			Diourbel	0.0000
Sahel	Senegal			Kaolack	0.0000
Sahel	Senegal			Kedougou	0.0000
Sahel	Senegal			Kolda	0.0000
Sahel	Senegal			Linguere	0.0000
Sahel	Senegal			Matam	0.0000
Sahel	Senegal			Podor	0.0000
Sahel	Senegal			Saint Louis	0.0000
Sahel	Senegal			Tambacounda	0.0000
Sahel	Senegal			Ziguinchor	0.0000

pluviométrie cumulée juillet - août = 364 mm

Les Précipitations Mensuelles (Années) Historiques (Millimètres) pour la Région Sahélienne
 Phys: Sahel - Institut National

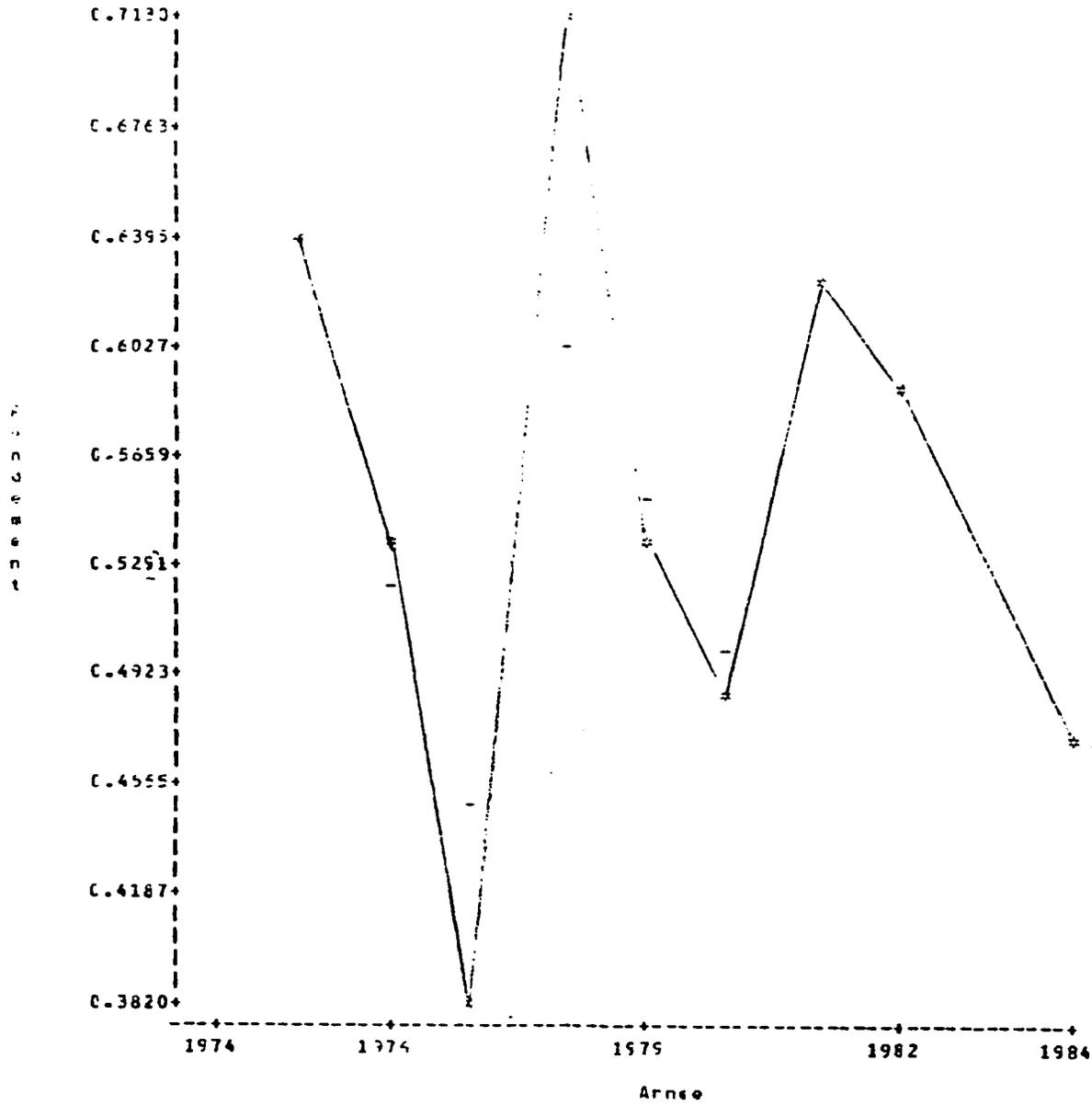
Année	jan	fev	mar	avr	mai	jun	juil	aoû	sep	oct	nov	dec
1975	0	0	0	0	0	74	200	171	229	29	0	0
1976	1	2	1	1	10	4	114	162	176	55	5	5
1977	0	0	0	1	1	1	1	121	152	24	0	1
1978	0	0	0	0	0	71	185	191	164	63	22	2
1979	15	0	0	1	10	102	137	170	92	32	1	3
1980	0	5	0	0	0	37	94	175	152	17	0	1
1981	1	0	1	1	1	55	174	214	125	42	1	0
1982	0	3	0	0	0	33	153	167	94	54	0	0
1983	0	0	1	0	10	51	114	113	106	14	---	0
1984	0	0	0	0	11	117	120	107	125	20	---	0
1985	---	---	---	---	1	45	105	110	167	22	---	---

Données de Culture Régionale Historique (Superficie, Production et Rendement) pour la Région de Sahel
 Pays: Senegal Région: Nationale Source: Gouvernement Culture/Mil/Sciens

Année	Superficie (Hectares)	Production (Tonnes)	Rendement (Ton/Ha)
1950	438200	392500	0.9150
1961	439800	404500	0.9240
1962	454700	421700	0.9290
1963	459500	473400	0.9950
1964	1010300	513100	0.5080
1965	1069400	560100	0.5240
1966	996700	423500	0.4250
1967	1155500	515000	0.4460
1968	1053600	444300	0.4210
1969	1037300	474700	0.4570
1970	956500	400000	0.4180
1971	970400	400000	0.4120
1972	936100	400000	0.4270
1973	1102200	410000	0.3720
1974	1144700	494200	0.4320
1975	954500	514400	0.5390
1976	948900	507600	0.5350
1977	942800	340700	0.3610
1978	1054700	750000	0.7110
1979	967400	527600	0.5450
1980	1116700	540000	0.4840
1981	1176700	736400	0.6260
1982	960900	400000	0.4170
1983	787500	350000	0.4450
1984	1002300	471000	0.4700
1985	-----	-----	-----
1986	-----	-----	-----
1987	-----	-----	-----
1988	-----	-----	-----
1989	-----	-----	-----
1990	-----	-----	-----

X-Y Tracement pour l'emploi, National, Gouvernement, Mil/Serchio

Legend: * = Année (M/1/83) & Année



"-" = Ligne Regression "M" = Valeurs Recouvertes

Precipitations Cumulatives contre Coefficients de Correlation du Rendement

	Senegal	National	Gouvernement	Mil/Sorgho		
Periode	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre
mai	-0.1102	-0.2226	0.5937	0.8773	0.9029	0.8510
juin		-0.2058	0.6052	0.8817	0.8015	0.8532
juillet			0.7628	0.8932	0.7908	0.9435
août				0.8173	0.6841	0.7692
septembre					0.2054	0.4039
octobre						0.5491

Années utilisées dans l'analyse. Période de registre: 1974-84

Evaluation de régression - procédure de Jackknife

Paramètres statistiques de la régression dans les modèles de culture
Sénégal, National, Gouvernement, Mily/Soncho

Source	Degrés de liberté	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Valeur de F	Prob>F
Modèle	1	0.04404	0.04404	17.142719	0.0015
Incertitude	7	0.019064	0.002723		
Total	8	0.063104			

R-Carré	0.7497	Radice carrée de la moyenne des carrés de l'incertitude	0.0479
R-Carré ajuste	0.7424	Coefficient de variation à 100.0	9.0022
		Moyenne de la variable dépendante	0.5324

Variable	Estimation des paramètres	Mesure de dispersion	Test de Student Paramètre = 0	Prob> t
Sept. Droite	0.109803	0.001574	1.7470	0.2198
Jul-aoû	0.001452	0.000232	5.014079	0.0015

Année	Rendmt effectif	Rendmt jul-aoû	Rendmt prédit	Résidus
1975	-99.9959	427.8	0.7466	-99.9959
1976	0.5350	278.1	0.5247	0.0103
1977	0.5820	215.4	0.4711	-0.0431
1978	0.7130	346.2	0.6164	0.0966
1979	0.5330	307.2	0.5621	-0.0291
1980	0.4830	259.9	0.4971	-0.0141
1981	0.5250	398.5	0.6354	-0.0444
1982	0.5910	309.0	0.5703	0.0207
1983	0.4430	218.2	0.4353	0.0137
1984	0.4700	227.1	0.4485	0.0214

Note: Les valeurs -99.9 indiquent des données manquantes. Si une valeur est manquante, l'ensemble des paramètres de l'observation est exclu du processus d'estimation.

Best Available Document

SENEGAL CROP DATA

Country: Senegal Region: Dakar (New) Source: Government Crop: Millet/Sorghum

1970	3295	1031	0.4490
1971	746	746	0.7890
1972	285	38	0.1330
1973	700	1122	1.6030
1974	2000	1400	0.7000
1975	2200	1340	0.6090
1976	1124	507	0.4510
1977	500	134	0.1490
1978	540	274	0.4280
1979	500	200	0.4000
1980	1850	915	0.5900
1981	1250	735	0.5920
1982	1350	620	0.5900
1983	120	2	0.0170
1984	150	5	0.0690
1985	150	105	0.7000

Year | Area (Hectares) | Production (Tonnes) | Yield (Ton/Hec)

Region: Diourbel (New) Source: Government Crop: Millet/Sorghum

1970	101000	27200	0.2690
1971	99000	39055	0.5970
1972	103500	43750	0.4230
1973	148150	58500	0.4000
1974	162262	103642	0.6390
1975	157450	88690	0.5300
1976	161483	100635	0.6230
1977	139227	87766	0.6300
1978	151000	128025	0.7940
1979	172406	95625	0.5550
1980	145350	52921	0.3640
1981	168701	133796	0.7930
1982	130717	62297	0.4770
1983	106391	44096	0.4140
1984	154563	58688	0.3790
1985	204783	153363	0.7490

SENEGAL CROP DATA

Year	Area (Hectares)	Production (Tonnes)	Yield (T/ha)
------	--------------------	------------------------	-----------------

Region: Fatick (New) Source: Government Crop: Millet/Sorghum

1975	146250	96637	0.6610
1976	173337	116462	0.6720
1977	206750	104377	0.5050
1978	227703	160974	0.7070
1979	170575	99850	0.5850
1980	226469	125556	0.5550
1981	248305	229786	0.9240
1982	154791	96363	0.6230
1983	152336	63331	0.4150
1984	163652	103000	0.6590
1985	197236	114919	0.6140

Region: Kaolack (New) Source: Government Crop: Millet/Sorghum

1975	119950	82467	0.7110
1976	108478	79193	0.7300
1977	126198	71402	0.5660
1978	135120	125672	0.9030
1979	158225	92568	0.5850
1980	134442	110570	0.5990
1981	215522	237007	1.1000
1982	140154	83591	0.5960
1983	150602	76237	0.5060
1984	138250	131092	0.5500
1985	419000	207350	0.6500

Region: Kolda (New) Source: Government Crop: Millet/Sorghum

1975	56754	63617	0.9530
1976	59425	63911	0.9190
1977	68300	52057	0.7620
1978	75059	63518	0.8410
1979	80577	61479	0.7630
1980	81720	48431	0.5930
1981	81940	79421	0.9690
1982	76483	74867	0.9790
1983	65253	49109	0.7530
1984	37136	138 46312	1.2340
1985	34247	72249	0.8590

SENEGAL CROP DATA

Year	Area (Hectares)	Production (Tonnes)	Yield (Ton/Hec)
------	--------------------	------------------------	--------------------

Region: Louga (New) Source: Government Crop: Millet/Sorghum

1970	129200	27120	0.6750
1971	107260	49530	0.4530
1972	138500	9250	0.0600
1973	179910	43179	0.2400
1974	166433	82200	0.4940
1975	148700	73980	0.4980
1976	137390	39784	0.3010
1977	139700	27585	0.2030
1978	160993	87619	0.5440
1979	142549	46995	0.3300
1980	159503	66235	0.4270
1981	169993	48299	0.2840
1982	176271	44843	0.2540
1983	95140	8090	0.1240
1984	149054	4789	0.0330
1985	201345	116999	0.5810

Region: St. Louis (New) Source: Government Crop: Millet/Sorghum

1970	91140	29030	0.3190
1971	118389	49352	0.4170
1972	49491	1142	0.0230
1973	86503	27443	0.0320
1974	120551	54201	0.0040
1975	74381	41036	0.4340
1976	99415	23100	0.2320
1977	76010	8555	0.1130
1978	31469	37561	0.4110
1979	38533	11989	0.3110
1980	16364	27852	0.2230
1981	97327	48666	0.5000
1982	71057	17220	0.2440
1983	24351	6930	0.2840
1984	3204	783	0.2550
1985	28339	15152	0.5700

SENEGAL CROP DATA

Year	Area (hectares)	Production (Tonnes)	Yield (Ton/Hec)
------	--------------------	------------------------	--------------------

Region: Thies (New) Source: Government Crop: Millet/Sorghum

1970	152400	33360	0.2190
1971	160100	81013	0.5060
1972	155863	13166	0.0850
1973	175400	103350	0.5890
1974	123351	83525	0.6760
1975	128471	92145	0.7640
1976	121431	49350	0.4060
1977	102000	21495	0.2110
1978	110040	117665	1.0690
1979	113216	62357	0.5480
1980	156927	66050	0.4210
1981	150403	111031	0.7380
1982	151918	104406	0.6870
1983	132753	41631	0.3110
1984	155651	66252	0.4000
1985	177155	139074	0.7850

Region: Ziguinchor (New) Source: Government Crop: Millet/Sorghum

1974	25529	29677	1.1630
1975	13943	9803	0.4090
1976	21043	12055	0.5570
1977	18468	12539	0.6510
1978	27540	17268	0.6250
1979	23263	19945	0.8320
1980	12939	13414	0.9980
1981	17534	14745	0.8510
1982	20019	14461	0.7120
1983	12238	9817	0.5370
1984	13356	11531	0.6450
1985	22036	17668	0.8000

APPENDICE B

Statistiques météorologiques

Situation pluviométrique du mois de Mai 1985
comparée aux années normales

	M A I								
	H	NJ	Max en 24 h	1° DEC	2° DEC	3° DEC	% 1951-80	% 31-60	Mai 1984
Saint Louis	NT								
Loug									
Podor									TR
Katim	TR		TR			TR			1.1
Diourbel	TR		TR			TR			
Codi	NT								
Linguère									
Dahra									
Kébémér									
Diour									
Diabey									
Thiès									
Tivouane									
Lbour									
Dakar Yoff									TR
Rufisque									
Maolack	0.5	1	0.5	0.5			10	5	
Gosses	NT								
Patick									
Kaffrine	TR		TR	TR					1.2
Foumbougne	NT								
Moro du Rip	0.8	1	0.8	0.8			18	9	4.2
Koungheul									4.8
Tambacounda	TR		TR			TR			19.8
Diel	2.2	1	2.2			2.2	45	23	1.9
Kédougou									18.0
Kafongou	4.5	1	4.5			4.5	10	10	91.5
Signinchor									
Wlingara Caca									75.1
Signon									
Kold									7.8
Sékou									12.7
Cassoupe									

H : Hauteur du mois en mm et décimales TR : TRACES
 NJ : Nombre de jours de pluie
 Max : Hauteur maximale en 24 h.
 1° Dec: 1°, 2° et 3° décade du mois
 % 1951-80 : Pourcentage par rapport à la Normale 1951-1980
 % 1931-60 : " " " " " " 1931-1960
 NT ou : Néant xx : donnée non parvenue ou non disponible.

Situation pluviométrique du mois de Juin 1985

comparée aux années normales.

	J U I N									
	H	MJ	Max en 24 h	1° DEC	2° DEC	3° DEC	% 1951-80	% 31 30	JUIN 1984	
Saint Louis	4.2	1	4.2			4.2	56	58	1.1	
Louga	19.5	1	19.5	19.5					7.7	
Podor	TR		TR			TR			6.5	
Matam	20.1	2	19.3	TR		20.1	55	40	28.3	
Diourbel	20.1	2	12.8	TR		20.1	55	50	90.0	
Coti	40.0	1	40.0			40.0	183	176	19.3	
Linguère	17.7	2	14.3			17.7	59	56	53.8	
Dahra	25.0	2	23.5			25.0	105	77	67.5	
Kédougou	25.0	1	25.0			25.0	151	xx	32.3	
Diour	32.0	1	32.0			32.0	xx	97	156.6	
Bambey	30.7	3	20.0			30.7	x	102	18.4	
Thiès	27.1	3	25.0	1.5	TR	25.6	116	112	10.5	
Tivoutane	29.4	2	27.5			29.4	156	151	55.0	
Thour	2.0	1	2.0			2.0	7	7	42.9	
Dakar Yoff	13.5	2	13.1			13.5	136	92	7.7	
Rufisque	15.9	2	15.5			15.9	148	92	xx	
Mbourak	30.5	4	25.3			30.5	58	50	180.1	
Gosses	72.9	2	58.0			72.9			26.9	
Mékhé	44.5	3	41.5			44.5	118	94	122.9	
Kaffrine	33.5	3	15.8		TR	33.5	54	54	53.0	
Foundiougne	57.5	2	57.0			57.5	152	170	xx	
Niéro du Rip	34.3	3	18.0			34.3	55	43	76.7	
Bohamboul	44.5	2	41.0			41.0	50	40	21.9	
Tambacounda	20.6	4	18.9	0.1		20.5	20	10	162.7	
Bolel	44.2	4	20.3	1.2		43.0	89	65	57.2	
Kédougou	18.3	4	7.3	8.0		10.3	24	19	108.3	
Kédougou	188.6	10	42.4	2.4	79.2	37.0	104	110	272.1	
Ziguinchor	46.5	5	23.7		1.5	44.9	40	37	254.5	
Villingara Cas	74.2	5	15.1		17.2	57.0	63	54	181.6	
Dagnone	112.6	4	70.0	2.6		110.0	101	x	196.8	
Diour	104.3	9	49.2	5.2	23.3	59.8	83	70	224.1	
Diour	85.3	4	40.5	11.0		74.3	68	66	371.0	
Diour	51.3	4	27.0			51.3	xx	45	216.0	

Situation pluviométrique de Juillet 1985
comparée aux années normales

	J U I L L E T								
	h	NJ	Max en 24 h	1° DEC	2° DEC	3° DEC	1951-80	31-60	JUILLET 1984
Saint Louis	30.2	5	17.0		10.0	11.2	59	58	5.0
Louga	28.5	4	20.9		22.7	5.8	40	30	12.9
Podor	41.7	2	38.1	TR	30.1	3.6	77	52	7.1
Matane	90.3	9	48.8	8.2	19.0	62.3	82	70	49.2
Diourbel	50.3	10	15.7	17.4	11.3	31.6	45	43	54.0
Coki	58.2	6	28.7		32.7	25.5	70	56	45.8
Linguere	103.3	10	28.0	21.0	50.9	31.4	270	103	101.2
Dehr	44.0	6	18.0	10.2	11.9	21.9	53	41	21.1
Kébédou	52.1	4	49.1		49.1	13.0	88	xx	40.7
Kiback	67.4	7	34.8	10.5	13.7	40.2	57	xx	96.5
Bambey	101.0	11	26.2	8.4	71.4	21.2	97	79	87.2
Thiès	32.0	10	41.2	1.7	42.2	38.1	75	67	131.0
Tivaouane	108.7	5	31.4		41.8	57.1	119	102	73.7
Nbour	81.0	10	24.7	3.1	30.2	47.7	64	64	74.5
Dakar Yoff	72.4	7	37.3		21.6	14.0	87	82	18.8
Rufisque	62.8	7	35.1		42.0	20.0	70	52	xx
Kaolack	245.8	11	92.9	70.3	134.3	42.2	171	154	99.6
Gossas	121.6	9	58.0	17.1	35.2	58.3	84	x	32.4
Fatick	194.8	12	51.2	3.0	55.1	125.4	149	120	53.3
Kaffrine	105.7	8	38.8	17.7	50.0	29.0	74	74	124.1
Poundiougne	155.1	13	55.0	13.5	89.9	51.7	112	95	xx
Nioro du Rip	170.2	17	30.0	37.3	51.5	71.3	94	92	72.3
Koungheul	225.5	9	52.0	77.0	53.5	81.0	128	124	175.8
Tambacounda	93.2	13	30.9	32.0	15.0	45.8	45	48	152.7
Bafel	153.3	13	40.0	13.2	70.9	59.2	125	87	33.5
Kidira	190.5	9	52.0	52.0	55.0	83.5	120	103	80.7
Kédougou	315.1	21	42.9	2.3	132.2	121.6	114	123	259.8
Ziguinchor	390.7	23	120.7	135.0	45.1	209.0	121	108	393.6
Vélingara Goss	89.2	12	20.3	0.0	38.7	57.5	40	40	105.6
Bignona	285.2	15	47.2	58.0	31.1	199.5	x	94	348.0
Kolda	162.4	15	74.0	4.9	48.7	108.8	60	53	152.8
Sédhiou	231.1	13	63.0	107.3	58.2	55.1	75	79	302.9
Oussouye	199.2	20	37.0	43.2	47.6	78.4	x	38	301.0
Dag na	36.2	4	19.4	-	24.4	11.3	71	5	

Situation pluviométrique du mois d'août 1985
comparée aux années normales

	A O U T									
	H	NJ	Max en 24 h.	1° DEC	2° DEC	3° DEC	% 51 80	% 31 50	AOÛT 1984	
Saint Louis	137.1	7	35.3	17.0	36.1	34.0	129	85	11.5	
Louga	88.2	3	33.0	13.1	45.9	29.2	60	50	63.8	
Podor	55.4	3	31.4	14.8	7.6	34.0	62	42	17.8	
Nataf	148.4	12	30.0	4.3	21.5	80.5	101	73	30.8	
Diourbel	158.5	14	35.0	24.7	25.5	47.2	77	55	125.1	
Coldi	130.5	7	58.0	23.5	14.5	42.5	83	65	13.0	
Linguère	129.0	2	52.5	52.5	15.3	61.1	85	62	39.6	
Dahra	152.7	1	53.5	29.7	23.5	53.5	115	84	45.6	
Kébémbar	152.2	4	101.4		10.8		101.4	101	xx	27.7
Mboke	193.5	10	55.6	7.1	100.3	31.1	103	xx	58.6	
Barbo	151.6	13	38.0	31.3	92.7	47.5	78	54	118.4	
Thiès	150.9	14	25.8	51.2	83.0	21.7	69	53	44.0	
Tivaouane	152.4	9	48.5	54.1	30.4	50.0	84	54	57.9	
Mbour	170.8	17	29.2	43.5	109.7	17.5	55	58	112.1	
Dakar Yoff	200.1	10	87.3	28.3	225.1	6.7	141	105	69.9	
Rufisque	140.1	10	43.0	22.3	120.9	4.9	80	56	xx	
Kaolack	237.1	14	20.0	57.3	132.7	47.5	93	80	151.1	
Cossas	200.0	13	50.0	81.3	144.4	54.3	153	xx	61.7	
Fatick	230.7	16	53.6	20.0	93.8	70.5	99	79	119.4	
Kaffrine	215.3	13	55.0	37.6	91.7	35.3	95	74	66.7	
Foundiougne	136.9	14	35.0	38.3	79.0	19.5	48	38	129.5	
Nioro du Rip	152.6	15	68.5	27.0	107.1	18.5	56	43	113.6	
Koungheul	301.0	14	94.0	13.0	51.5	119.5	114	93	95.1	
Tombé	223.8	19	60.8	118.3	34.8	30.7	91	77	73.4	
Bahel	204.1	13	45.5	38.3	93.8	72.0	127	87	88.9	
Kidira	147.6	8	53.4	55.0	32.5	19.0	55	50	61.6	
Kédougou	377.0	20	71.0	148.1	189.7	39.2	116	118	247.9	
Ziguinchor	399.2	21	59.9	227.4	137.4	34.2	33	75	227.2	
Vélingara (G3)	250.0	15	53.5	58.7	138.3	31.0	90	79	249.2	
Bignone	285.5	13	51.0	93.1	157.2	35.3	55	xx	213.3	
Kolda	271.4	19	50.0	150.0	9.5	13.3	xx	xx	177.1	
Séhiou	222.5	10	57.0	77.0	74.0	71.5	55	49	242.6	
Gaoussou	444.7	20	59.0	121.5	115.2	135.0	xx	77	319.0	
Dagan	87.0	4	55.2	75.0	16.3	1.7	87	66	xx	

Situation pluviométrique du mois de Septembre 1985
comparée aux années normales.

	S E P T E M B R E								SEPT. 1984
	H	IIJ	Mois en 24 h.	1° DEC	2° DEC	3° DEC	% 51-80	% 31-50	
Saint Louis	87.4	10	23.4	45.3	35.3	5.5	91	90	55.0
Podor	39.0	5	22.7	13.1	25.0	0.4	44	47	24.0
Naten	83.6	12	24.2	17.0	33.1	13.6	75	59	38.1
Diourbel	128.8	15	54.3	31.5	25.1	2.2	65	60	177.7
Coki	75.5	5	27.0	27.5	18.0		55	52	47.0
Linguère	95.1	10	27.1	15.3	73.5	4.8	80	70	85.2
Dahra	84.5	7	40.0	10.3	30.5	5.6	73	70	66.5
Kébémér	67.0	6	21.6	20.1	39.2		55	xx	65.1
Abacké	102.3	9	51.5	59.9	35.9	7.0	64	xx	162.3
Bambor	74.8	16	13.9	25.5	44.8	4.5	47	37	124.7
Thiès	123.5	15	39.8	73.6	30.0	18.9	88	60	109.6
Tivouane	109.0	10	35.6	35.1	35.5	7.4	65	58	94.6
Mbour	174.7	16	48.3	24.2	17.5	12.0	90	79	172.0
Dakar Yoff	143.0	12	43.3	34.7	55.2	13.0	92	88	133.5
Rufisque	103.4	12	25.6	31.2	35.8	12.4	70	61	xx
Kool di	119.3	15	23.0	62.6	65.3	11.7	64	59	163.6
Gosses	71.4	11	17.5	25.6	28.5	9.4	34	xx	154.2
Fatick	130.8	14	25.7	49.0	39.5	12.3	63	61	xx
Kaffrine	183.7	15	31.1	22.7	82.4	18.1	109	95	154.8
Foundiougne	133.6	13	32.0	24.3	70.0	19.5	64	58	243.0
Nioro du Rip	132.0	19	30.2	22.1	45.0	25.6	60	60	125.3
Koungoul	130.5	10	40.0	33.5	39.0	35.0	65	60	113.4
Tamba	207.1	17	42.5	125.9	13.7	37.5	101	89	151.6
Bakel	118.1	10	31.0	31.3	31.0	49.9	97	65	39.7
Kidiri	154.0	7	42.3	31.3	33.3	54.4	102	87	125.6
Kédougou	315.7	20	47.3	148.0	115.7	55.0	104	104	210.5
Ziguinchor	427.2	22	85.2	179.3	174.0	73.0	128	118	302.0
Vélingara Cas	292.3	16	41.0	155.4	65.0	61.0	114	106	267.2
Bignon	285.5	18	54.0	83.9	157.6	35.8	95	xx	157.4
Kolda	225.4	18	64.0	115.7	57.4	53.3	77	75	241.0
Sédhiou	309.4	14	45.0	167.7	153.0	48.7	97	93	144.2
Oussouye	371.4	17	63.0	160.0	139.0	72.4	105	96	205.7
Loug	71.8	7	29.6	14.0	34.0	1.0	53	53	223.1

Situation pluviométrique du mois d'Octobre 1985
comparée aux années normales

	O C T O B R E								
	H	NJ	Max en 24 h.	1° DEC	2° DEC	3° DEC	% 51-80	% 31-50	OCT. 1984
Saint Louis	NT								26.2
Louga	8.1	1	8.1	8.1			21	20	10.4
Podor	NT								7.7
Matam	3.7	1	3.7	3.7			13	17	44.6
Diourbel	12.9	2	12.9	12.9			27	23	5.9
Co'ri	10.0	1	10.0	10.0			25	20	6.5
Linguère	18.9	2	13.0	18.9				42	TR.
Dahra	14.0	1	14.0	14.0			64	35	2.2
Kébémér	15.0	1	15.0	15.0			32	xx	7.5
Mbacké	19.0	1	19.0	19.0			46	xx	xx
Bambey	14.9	3	8.0	14.9			39	26	11.4
Thiès	5.5	2	4.4	5.5			11	10	24.9
Tivaourne	NT								26.3
Fbour	13.8	1	13.8	13.0			29	22	3.1
Dakar Yoff	15.5	1	15.5	15.5			30	31	4.5
Rufisque	3.8	1	3.8	3.8			07	06	4.8
Kaolack	1.2	2	0.7	0.5	0.7		02	02	13.6
Gossas	7.2	3	1.5	6.7		0.5	14	xx	7.1
Fatick	17.1	3	12.5	15.5		0.5	30	27	45.9
Kaffrine	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	47.2
Foundiougne	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	11.5
Nioro du Rip	21.3	3	11.1	21.5	0.3		38	30	42.9
Koungoul	15.5	3	7.5	9.3	7.2		23	21	68.5
Tambacounda	3.2	1	8.2	8.2			11	12	56.9
Bahel	7.8	1	7.8	7.8					28.4
Kidira	17.0	2	11.0	17.0			32	29	48.3
Kédougou	39.6	3	32.5	4.4	35.2		28	31	109.3
Siguinchor	107.4	4	71.2	100.1	7.3		79	74	45.3
Vélingara	7.7	2	5.0	5.0	2.7		09	08	74.6
Kolda	27.7	3	23.0	27.7			24	24	56.4
Bignona	74.2	4	42.0	51.0	23.2		63	xx	38.0
Sékhio	12.5	3	6.3	3.7	3.8		10		57.6
Oussouye	19.2	3	9.0	10.2	9.0		xx	12	141.5

APPENDICE C

Exercices sur le NVI

Exercice de NVI

Albert van Dyk

jour 13, le 27 mars a 13:30

Probleme 1

l'Objectif

Les donnees stereographiques polaires sont les donnees d'echantillonnage de la Couverture de Superficie Globale. L'echantillonnage est basee sur la question de la quantite minimale de donnees necessaires pour arriver a resultat desire. Les preditions des recoltes de grande superficie impliquent qu'on travaille avec les unites d'interpret de 75,000 km² (plus ou moins la meme superficie que la moitié de la superficie de MISSOURI). Avec cette unite de 75,000 km², on fait l'estimat de la recolte d'une culture. Base sur la methode d'estimation de recolte deja discute, il est questionnable si un estimat plus precis pour les grandes superficies est possible en employant les 300 pixels de PSG (echantillone a part de GAC avec un resolution de 4.8 km²), ou 4500 pixels de GAC (echantillone et moyenne a part des donnees de LAC avec une resolution de 4.8 km²), ou 62,500 pixels de LAC (avec une resolution de 1.1 km²) ou 10⁷ pixels de Landsat Balayeur Multispectral. Utilisation des donnees de satellite a haute resolution, en presumant qu'elles sont disponibles tous les sept jours, augmentera le temps d'evaleur les donnees a l'ordinateur.

L'avantage d'echantillonner sera demonstre dans le prochaine probleme.

Plan de Travail

Partie une

Superposez Figure 1 avec le grid de points, alignez les coins de grid avec les croix la carte.

Etape 1. Determinez la superficie representee par une pointe.

1. Determinez l'échelle de votre image.
2. Mesurez la distance entre deux pointes de grid?
3. Convertrez la distance entre deux pointes à la distance equivalent sur la terre.
4. Rendez carré la distance de la terre.
Une pointe represente m x m =

Réponses	
$1/100000$	
0.9	cm
300	m
810000	m ²

Facteurs de Conversion:

$$1 \text{ ha} = 10,000 \text{ m}^2$$

$$1 \text{ km}^2 = 100 \text{ ha} = 1 \text{ mille m}^2$$

Exemple

Il y a 82 pointes et la superficie que ressemble la forme deuxième à gauche ($p = 1.5$). A Table 1, pour $n = 80$, $p = 1.5$, le pourcentage de erreur standard est a 2.41%. Donc erreur standard est 82 pointes \times 0.024 = 1.98 pointes. Si une pointe représente 10 ha, l'erreur standard pour la superficie entière est 19.8 \times 10 ha = \pm 19.8 ha.

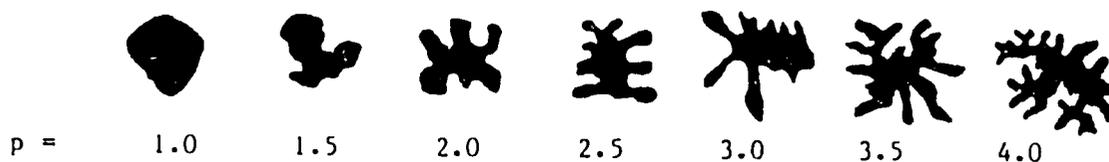


Tableau 1. Percent de erreur standard pour les valeurs donné de p et n (Nombre des pointes)

No. of Dots	p-value						
	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
5	16.27	19.58	22.33	24.72	26.87	28.83	30.65
10	9.64	11.60	13.23	14.65	15.92	17.09	18.16
20	5.71	6.87	7.84	8.68	9.22	10.12	10.76
30	4.21	5.06	5.77	6.39	6.95	7.45	7.92
40	3.38	4.07	4.65	5.14	5.59	6.00	6.38
50	2.86	3.44	2.93	4.35	4.72	5.07	5.39
60	2.49	3.00	3.42	3.79	4.12	4.42	4.70
70	2.22	2.67	3.04	3.37	3.66	3.93	4.18
80	2.01	2.41	2.75	3.05	3.31	3.55	3.78
90	1.83	2.21	2.52	2.79	3.03	3.25	3.46
100	1.69	2.04	2.33	2.58	2.80	3.00	3.19
150	1.25	1.50	1.71	1.90	2.06	2.21	2.35
200	1.00	1.21	1.38	1.53	1.66	1.78	1.89
300	0.74	0.89	1.01	1.12	1.22	1.31	1.39
400	0.59	0.72	0.82	0.90	0.98	1.05	1.12
500	0.50	0.60	0.69	0.76	0.83	0.89	0.95
750	0.37	0.45	0.51	0.56	0.61	0.66	0.70
1000	0.30	0.36	0.41	0.45	0.49	0.53	0.56

Etape 2. Déterminez le grandeur de chaque superficie d'intérêt.

1. Comptez le nombre des pointes pour chaque superficie d'intérêt:

	nombre des pointes
Agriculture	12
Foret	17
Parcours	5

2. Multipliez le nombre des pointes par la superficie representee par une pointe.

	Nombre de pointes	ha/ pointes	superficie en ha.	(%) de superficie total
Agriculture	12	24	0.72	15
Foret	17			
Parcours			4	3

Etape 3. Calculez l'erreur d'échantillonnage de vos calculs des pointes de grid.

1. Comptez le nombre des pointes dans la superficie d'intérêt.
2. Egalez le forme de la superficie avec un de les formes sur le page voisin chercher la p-valeur pour cette superficie.
3. Employez Table 1 pour faire un calcul approximative d'erreur standarde en pourcentage et le nombre de pointes.
4. Calculez l'erreur standarde en multipliant ce pourcentage par le nombre des pointes.
5. Calculez l'erreur finale standarde en ha ou km² en multipliant le nombre des pointes dans l'erreur standarde par les hectares totals représentés par une pointe.
6. Remplissez Table 2.

Table 2. Table de travail pour Etape 3.

	nombre des pointes	p-valeurs	Percent de Erreur Standard	Erreur standard (les pointes)	Superficie Total en ha	Erreur Standard en ha
Agriculture	15	20	100%	1.5	150	119
Foret	17	15	70	1.2	170	124
Parcours	20	10	200	1.5	200	116
Total	52	10	90%	1.5	520	129

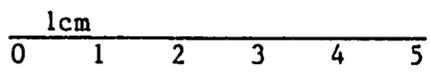
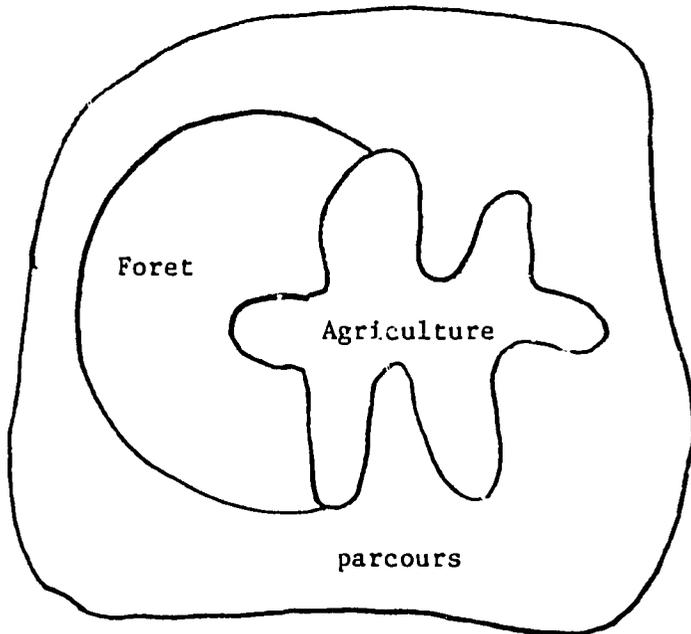
Partie Deux

Combien de pointes seraient necessaires pour calculer le foret avec une erreur standard de 5%. Employez Table 1.

au moins

?

pointes



REFERENCES

- Ambroziak, R. 1983. Ambroziak Color Coordinate System. Unpublished Manuscript.
- Boudet, G. 1975. Rapport sur la situation pastorale dans les pays du Sahel, FAO/EMASAR, IEMVT, Rome, 45 pp.
- 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 1979.
- Gray, T. I. Jr. and D. G. McCrary. 1981. The environmental vegetation index, a tool potentially useful for arid land management. AgRISTARS Report EW-N1-04076, JSC-17132.
- Penman, H. L. 1948: "Natural evaporation from open water, bare soil, and grass." Royal Soc., London Proc., Ser. A., 193:120-149.
- Sahel Course Lesson Plans. 1986. NOAA/AISC/CIAD Models Branch, Columbia, Missouri.
- Velleman, P. and D. C. Hoaglin. 1981. Applications, basics and computing of exploratory data analyses. Duxbury Press. Boston, Massachusetts.