

# TRAINING REPORT RAPPORT DE STAGE

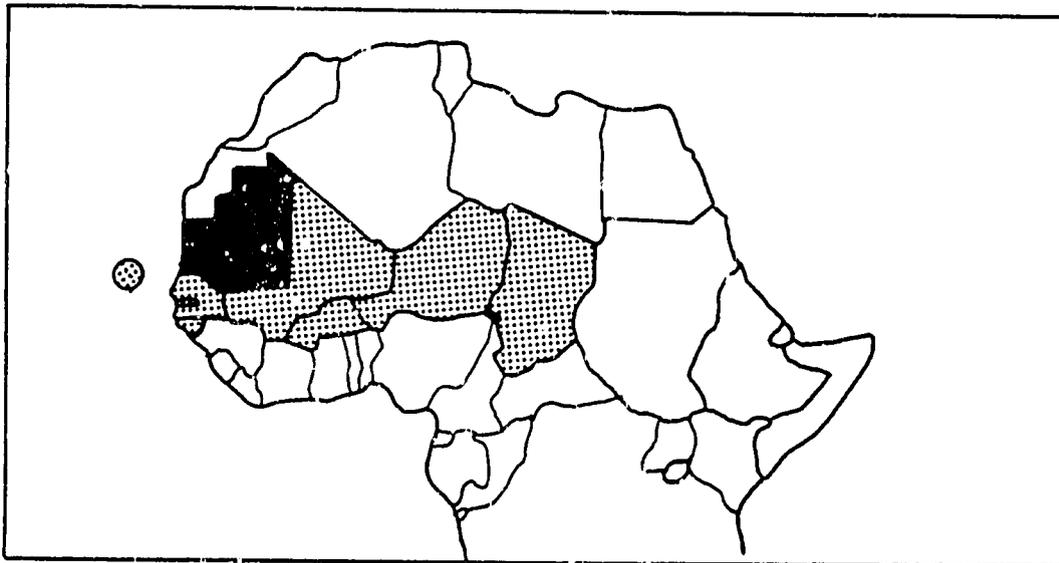
## SPECIAL CLIMATIC IMPACT ASSESSMENT FOR CROPS AND RANGELANDS

## 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 MAURITANIA EXEMPLES POUR LA MAURITANIE



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

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

YELLI GANDEGA

DIAKITE HAMALA KABA



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 EN MAURITANIE: RAPPORT DE STAGE<sup>1</sup>

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  
Yelli Gandega et Hamala Kaba Diakite<sup>2</sup>

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

---

<sup>1</sup> 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.

<sup>2</sup> Respectivement, Ingénieur Agrométéorologiste, Chef Service AGRHYMET, Direction de l'Agriculture et Ingénieur Agroéconomiste, Division Etude et Développement, Direction de l'Agriculture, Nouakchott, Mauritanie.

## 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 les 11 Mars et 19 Avril 1986. Ce cours a été financé par l'Agence pour le Développement International (AID), la NOAA/NESDIS/AISC, l'Institut Coopératif pour la Météorologie Appliquée de l'Université du Missouri (CIAM/UMC) et le Centre régional AGRHYMET du CILSS à Niamey au Niger. Y ont participé seize techniciens de huit pays du Sahel (Burkina Faso, Cap Vert, Gambie, Mali, Mauritanie, Niger, Sénégal et Tchad) et d'Haïti. Le cours a été dispensé simultanément en anglais et en français.

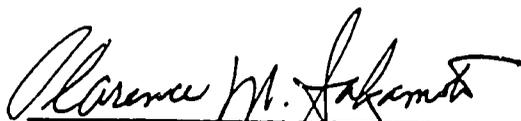
Le rapport de stage présente l'essentiel des techniques apprises et des résultats obtenus en suivant le programme du cours. Une contribution majeure des représentants de chaque pays a été l'amélioration du recueil des documents de base. Il est prévu que ce recueil soit utilisé dans chaque pays comme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

Le Ministère du Développement Rural de la République Islamique de Mauritanie à travers sa Direction de l'Agriculture tient à remercier la NOAA/NESDIS de l'invitation qui lui a été adressé pour sa participation au séminaire sur l'évaluation de l'impact du climat sur les cultures et les pâturages.

Les participants Mauritaniers à ce cours se voient le devoir de remercier le Directeur de l'Agriculture qui a bien voulu les autoriser à participer effectivement à ce stage.

Nos remerciements vont également à tout l'ensemble du personnel de la NOAA/NESDIS, de l'Université de Missouri-Columbia pour toute la contribution, la collaboration, la disponibilité et l'hospitalité authentiquement américaine qui nous a été réservé durant tout notre séjour aux Etats-Unis d'Amérique notamment:

Dr. Clarence Sakamoto, Chef de Bureau du Modèle NOAA  
Dr. Sharon LeDuc, Statisticienne  
Dr. Gary Johnson, Expert en télédétection  
Dr. Rao Achutuni, Agrométéorologiste  
Dr. Thomas Phillips, Spécialiste des ordinateurs  
Dr. Louis Steyaert, Météorologiste  
Mr. Mike Benzinger, Analyste programmeur  
Mme. Suzanne Callis, Météorologiste  
Mr. Chris Hord, Météorologiste  
Mme. Anne Marie Kaylen, Agroéconomiste  
Mr. George Lozano, Protocole  
Mme. Mildred Grissum, Secrétaire  
Mme. Rita Terry, Rédactrice  
Mme. Virginia Thompson, Savante en science physique  
Mme. Judy Trujillo, Technicienne de recherche  
Mr. Albert van Dijk, Expert en télédétection  
Mme. Sandra Weisman, Programmeuse  
Mr. Jerry Wright, Artiste  
Mme. Tyeece Little, Word Processor II

Pour terminer, nos remerciements vont également au centre AGRHYMET d'avoir bien voulu contribuer à la réalisation de ce stage, aux participants Sahéliens à ce séminaire de leurs esprits coopératifs, l'ambiance et la fraternité qui a prévalu durant le stage.

TABLE DES MATIERES

	<u>Page</u>
AVANT-PROPOS.....	i
REMERCIEMENTS.....	iii
TABLES DES MATIERES.....	iv
LISTE DES TABLEAUX.....	vii
LISTE DES FIGURES.....	viii
I. INTRODUCTION.....	1
La politique agricole.....	3
II. LES TECHNIQUES D'EVALUATION.....	4
A. Agroclimatologie.....	4
1. Les données de précipitation.....	4
2. Le suivi des cultures.....	4
3. Le pourcentage par rapport à la normale.....	6
4. Situation en 1985.....	6
B. Satellites - les méthodes de télédétection.....	6
1. Définition de la télédétection.....	6
2. Bases physiques de la télédétection.....	7
3. Les caractéristiques du satellite.....	9
4. Les caractéristiques de l'AVHRR de NOAA-9.....	13
5. Les images ACCS.....	13
a. Les principes de l'interprétation de l'image.....	13
b. Les relations entre le canal 1 et le canal 2 et l'index de végétation normalisé (NVI).....	15
c. La cartographie des valeurs de NVI avec le système de coloration ACCS.....	15
d. Interprétation des images ACCS.....	18

TABLE DES MATIERES  
(suivie)

	<u>Page</u>
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).....	18
D.    Techniques de prévision des rendements.....	21
1.  Analyse des statistiques agricoles.....	21
2.  Les techniques utilisées par le Service des Enquêtes du Ministère Américain de l'Agriculture.....	26
a.  Procédure de la stratification suivant les étapes.....	27
b.  Estimation des superficies cultivées par culture.....	27
c.  Estimation des rendements objectifs.....	28
d.  Recherche sur la stratification et l'usage potentiel des données.....	29
3.  Plan d'occupation des terres (Area Frame Construction).....	29
4.  Enquête pour obtenir le rendement objectif du maïs.....	32
5.  L'index de végétation normalisé (NVI).....	34
6.  Analyse des modèles statistiques entre index de végétation (NVI) et les rendements.....	34
7.  Analyse de la relation statistique: pluviométrie et rendement.....	35
8.  L'indice du bilan hydrique.....	42
a.  Description de la méthode.....	42
b.  L'index.....	44
III.  RAPPORT D'EVALUATION.....	44
A.  Introduction.....	44
B.  Résumé d'évaluation 1985.....	44
C.  Les pâturages.....	46
D.  Conditions de cultures.....	46
E.  Analyse du climat.....	46

TABLE DES MATIERES  
(suivie)

	<u>Page</u>
ANNEXE A. Groupe de travail pluridisciplinaire en Mauritanie.....	65
ANNEXE B. Information supplémentaire concernant le NVI.....	69
ANNEXE C. Statistiques agricoles.....	81
REFERENCES .....	83

## LISTE DES TABLEAUX

	<u>Page</u>
Tableau 1 Coefficient de corrélation pour le mil en Mauritanie.....	37
2 Statistiques de régression.....	39
3 Modèle de rendement.....	40
4 Les données statistiques.....	41
5 Les éléments de l'indice du bilan hydrique: exemple de la station de Kaedi pour l'année 1985.....	43
6 Rendements et le NVI.....	45
7 La biomasse et UBT/ha.....	47
8 Conditions de semis: pluviométrie et pourcentage à la normale du mois de juillet (sorgho).....	49
9 Conditions de floraison: pluviométrie et pourcentage à la normale du mois de septembre.....	49
10 L'analyse de la pluviométrie de quelques stations.....	50
11 L'indice du bilan hydrique, août et septembre 1985.....	50
12 Mauritanie - données de sorgho/mil.....	82

## LISTE DES FIGURES

		<u>Page</u>
Figure 1	Organigramme du Ministère du Développement Rural.....	5
2	Le modèle de la télédétection.....	8
3	Le concept de signature spectrale.....	10
4	Les satellites d'observation terrestre.....	11
5	Les satellites de NOAA et GOES.....	12
6	Les caractéristiques des satellites.....	14
7	Les objets tracés en fonction de réflechissance visible, proche - infrarouge et l'indice de végétation normalisé.....	16
8	Le tracement de teinte, intensité, et saturation sur le traceur de réflechissance.....	16
9	Photo satellitaire d'Afrique de l'Ouest.....	17
10	Le système de couleurs coordonnées d'Ambroziak.....	19
11	Système d'Information Géographique.....	20
12	Compilation des composantes du manuel GIS.....	22-23
13	GIS: Mali (Sahel).....	24
14	Séries chronologiques des rendements et des précipitations.....	36
15	Graphique montrant les rendements contre les précipitations (diagramme de dispersion).....	38
16	Carte des indices de végétation normalisé.....	46
17	Sorgho-mil, ISE=3 <sup>ème</sup> décade de juillet.....	51
18	Mil-sorgho, ISE=1 <sup>ère</sup> décade août.....	52
19	Sorgho-mil, ISE=3 <sup>ème</sup> décade août.....	53
20	Sorgho-mil, ISE=1 <sup>ère</sup> décade septembre.....	54
21	Mil-sorgho, ISE=3 <sup>ème</sup> décade septembre.....	55
22	Pluviométrie: rapport à la normale en %.....	56
23	Pluviométrie cumulée, mai-septembre 1985.....	57

LISTE DES FIGURES  
(suivie)

	<u>Page</u>
24 Kaedi: pluviométrie.....	59
25 Kaedi: ISE.....	60
26 Kiffa: pluviométrie.....	61
27 Kiffa: ISE.....	62
28 Nema: pluviométrie.....	63
29 Nema: ISE.....	64
30 Organigramme du Comité de Coordination du GTP.....	68
31 NVI moyen lissé régional.....	70-75
32 Analyse de régression de la récolte contre l'indice de végétation pour le sorgho au Sahel, 1983 et 1984.....	76
33 Analyse de régression de la récolte contre l'indice de végétation pour le mil au Sahel, 1983 et 1984.....	77
34 Analyse de régression de la récolte contre l'indice de végétation pour l'arachide au Sahel, 1983 et 1984.....	78
35 Relation entre le NVI et la biomasse.....	79
36 Relation entre la biomasse et la capacité de charge.....	80

# Evaluation Spéciale de l'Impact Climatique sur les Cultures et les Pâturages

## Le Rapport du Mauritanie

### 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 agro-économiste ou un agro-statisticien ou un agronome avec un météorologiste ou un agro-météorologiste. Un résultat majeur du cours a été la réalisation effective d'une approche 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 agro-météorologiste 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.

### La politique agricole

La politique agricole de la Mauritanie qui a été défini clairement par le Comité Militaire de Salut National (CMSN) repose sur trois objectifs fondamentaux:

- autosuffisance alimentaire,
- régénération du milieu naturel, et
- fixation et retour des populations dans leurs terroirs.

A cet effet, le Gouvernement a donné la priorité des investissements au secteur rural qui englobe 75% de la population. C'est ainsi que le plan de redressement économique et financier établi pour une période de trois ans (1985-1988) a donné plus de 30% des investissements au secteur rural qui occupe le premier rang. Dans cette perspective, le plan de redressement recommande une politique d'allocation des investissements privilégiant les secteurs directement productifs comme l'agriculture, l'élevage et la pêche.

La structure du Ministère du Développement Rural est représenté dans la Figure 1. Cet organigramme nous montrons la position hiérarchique des participants mauritaniens au niveau de leur département.

## II. LES TECHNIQUES D'EVALUATION

### A. Agroclimatologie

#### 1. Les données de précipitation

Les données de précipitation sont disponibles de 1961 à 1985 pour toutes les stations météorologiques et quelques postes pluviométriques sur la partie agropasturale de la Mauritanie. Les stations sont au nombre de 20.

#### 2. Le suivi des cultures

Le suivi agrométéorologique des cultures débute à partir de la date des semis qui prend effet dès la première pluie utile, c'est-à-dire aux environs de fin juin, début juillet. Les données pluviométriques sont rassemblées à la fin de chaque décade et un suivi des cultures est mené parallèlement au relevé pluviométrique. En effet à la vue des premiers résultats de ces précipitations vers la fin d'août, nous pouvons avoir une idée globale de la situation agricole de la campagne en cours.

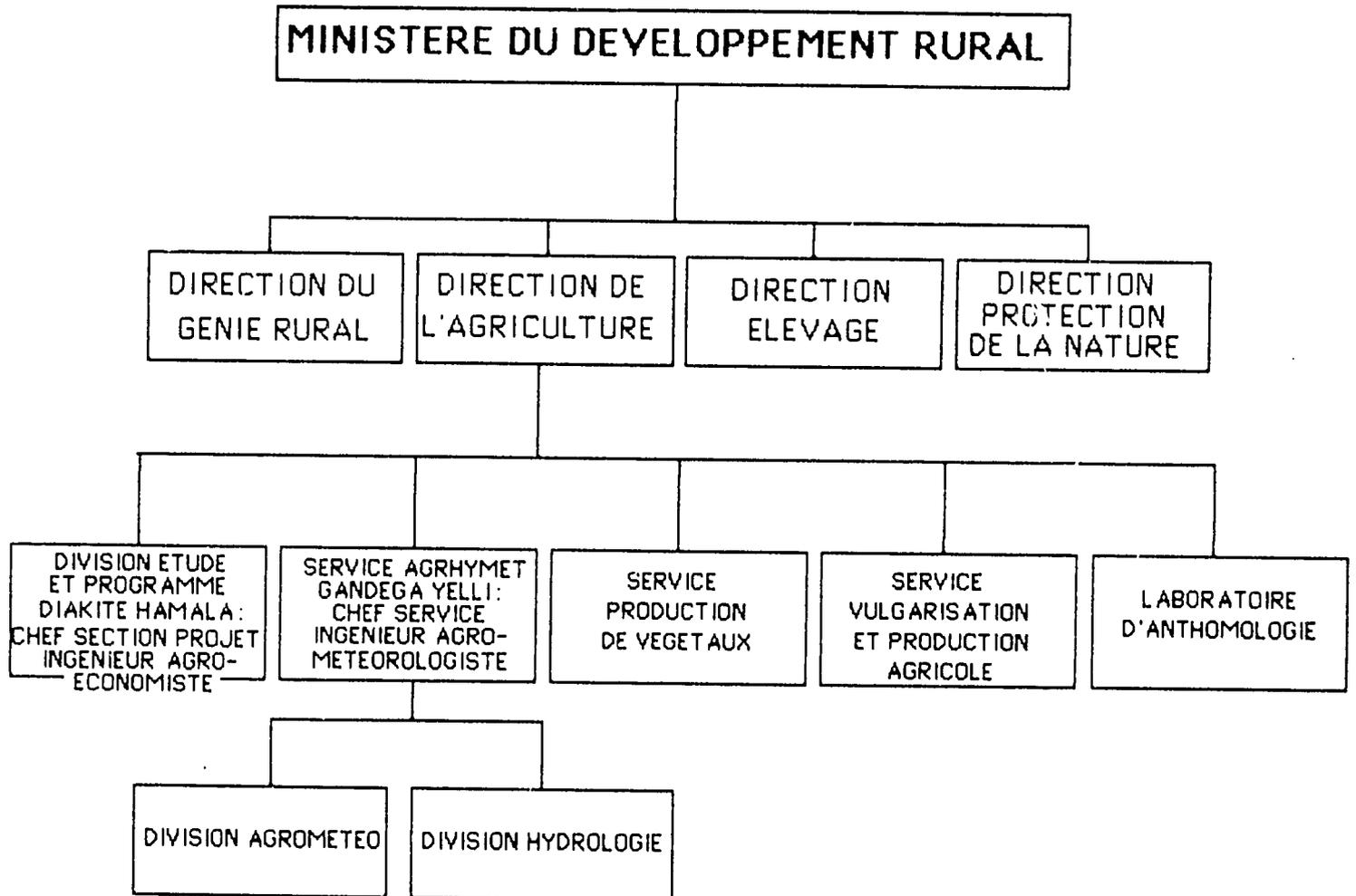


FIGURE 1. Organigramme du Ministère du Développement Rural

### 3. Le pourcentage par rapport à la normale

La normale pluviométrique considérée en Mauritanie s'étend de 1941 à 1970. Malgré les années de sécheresse, par souci d'objectivité, nous n'avons pu porter des changements à la période de la normale. Les pourcentages des précipitations décadaires mensuelles ou annuelles sont calculés par rapport à cette normale.

### 4. Situation en 1985

Pendant l'élaboration des bulletins mensuels agrométéorologiques, des cartes sont élaborées avec la présentation des isohyètes (voir Annexe C).

La pluviométrie a été dans l'ensemble très bonne dans les zones de culture et la production agricole estimée est d'environ 60 à 80 tonnes de céréales ou plus de quatre fois la production de l'année 1984. Dès le début des pluies de l'année 1985, l'état Mauritanien a pris des mesures incitatives telles que le retour des agriculteurs et éleveur des zones urbaines aux zones rurales, la distribution gratuite des semences et un encadrement technique renforcé auprès des paysans. L'action du service national AGRHYMET a été d'une grande importance quant à la collecte des données de toutes ses stations et postes pluviométriques installées dans le pays.

## B. Satellites - les méthodes de télédétection

### 1. Définition de la télédétection

La télédétection est définie comme suit: la reconnaissance et l'évaluation des objets au moyen d'un mécanisme d'enregistrement. Les objets sont évalués de loin et non par contact direct. La télédétection comprend toujours l'évaluation à distance, les informations qualitatives et quantitatives relatives à la surface terrestre. Les systèmes de télédétection possèdent une plate-forme d'observation et un capteur. La base physique de la télédétection

s'agit d'une source de rayonnement, l'objectif, le capteur et la voie de transmission.

Tous les systèmes de télédétection ont:

- un capteur pour trouver et enregistrer les informations, et
- une plate-forme pour soutenir le capteur et évaluer la distance de l'objet.

Quelques exemples de capteurs et de plate-formes:

<u>Capteurs</u>	<u>Plate-formes typiques</u>
l'oeil	un corps humain, une échelle
la longue vue (binoche)	un arbre, un sommet d'une montagne, un bâtiment,
le radar	un avion
la camera à balayage multispectral	un vaisseau spécial

## 2. Bases physiques de la télédétection

On se rapporte aux propriétés du rayonnement électromagnétique (EMR) qui sont d'une importance capitale dans le processus de la télédétection, y compris les interactions EMR avec les objets d'intérêt et l'enregistrement d'EMR par le capteur. Il est important de considérer:

- la source d'EMR,
- les interactions entre EMR et la surface terrestre,
- les interactions entre l'EMR et l'atmosphère avec laquelle l'EMR prend le contact, et
- les caractères et la capacité du capteur.

La Figure 2 présente ces concepts.

Aussi que le spectre peut être considéré comme infini, une seule partie du spectre est généralement appliquée à la télédétection; cette partie est appelée le proche-infrarouge et l'infrarouge thermique.

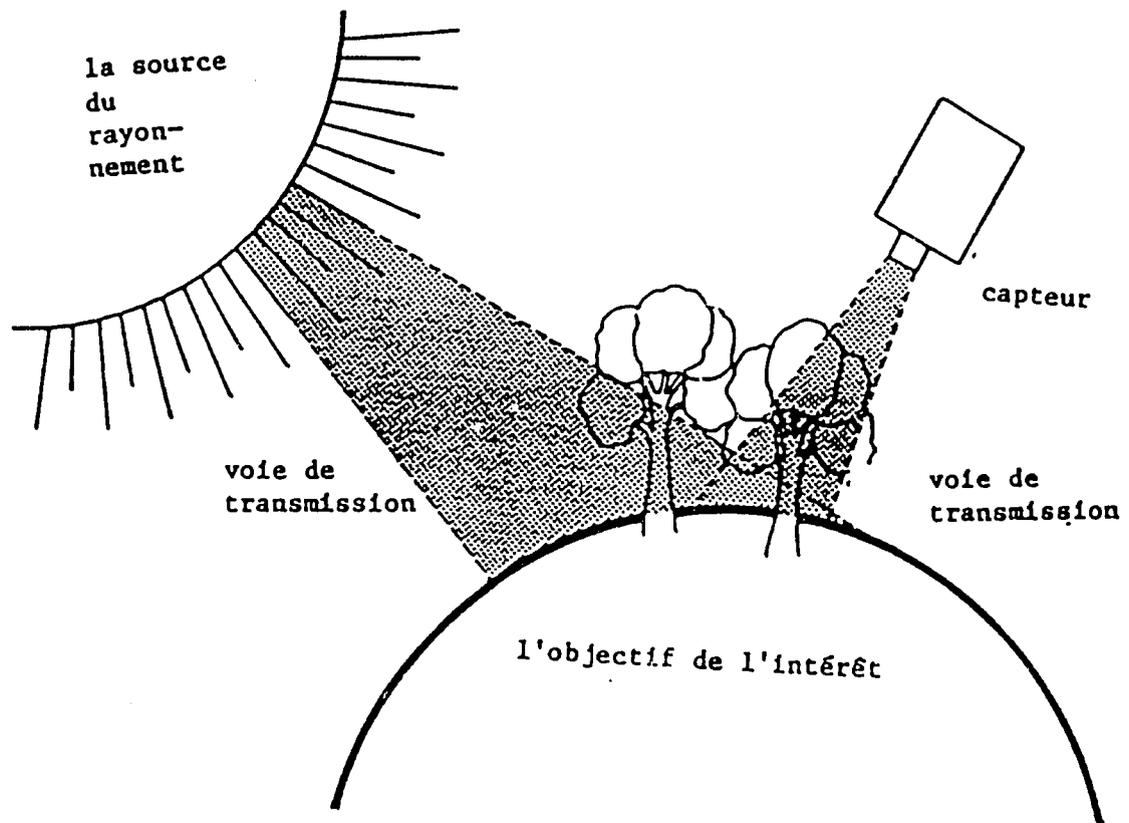


Figure 2. Le modèle de la télédétection

L'interaction de l'EMR avec le milieu de surface terrestre fournit la base caractéristique de signature spectrale. La signature spectrale définit la mesure qualitative des propriétés d'un objet à un ou quelques intervalles de longueur d'onde. La Figure 3 illustre le concept de signature spectrale.

### 3. Les caractéristiques du satellite

Il y a deux catégories de satellite avec les applications aux ressources terrestres et météorologiques:

Les satellites polaires (NOAA):

- Landsat
- TIROS
- SPOT

Les satellites géostationnaires:

- METEOSAT
- GMS
- GOES

La Figure 4 montre les satellites terrestres en marche depuis janvier 1986.

Les satellites polaires (NOAA) sont en orbite entre 500 et 1500 km de la terre. Ils ont les trajets qui vont du pôle nord au pôle sud; ils ascendent du sud au nord de l'équateur et descendent du nord au sud. Ils sont généralement synchronisés au soleil, il y a un rapport constant et angulaire entre le soleil et le satellite. Les satellites NOAA font 14 à 15 orbites de la terre par jour, d'une orbite à une autre, ils font 100 mm. En comparaison avec les satellites polaires, les satellites géostationnaires sont lancés en orbite à 3500 km de la terre. Géostationnaire ne veut pas dire que le satellite est immobile, au contraire il orbite à la même vitesse et au même sens que la terre. La Figure 5 montre les caractéristiques des satellites NOAA.

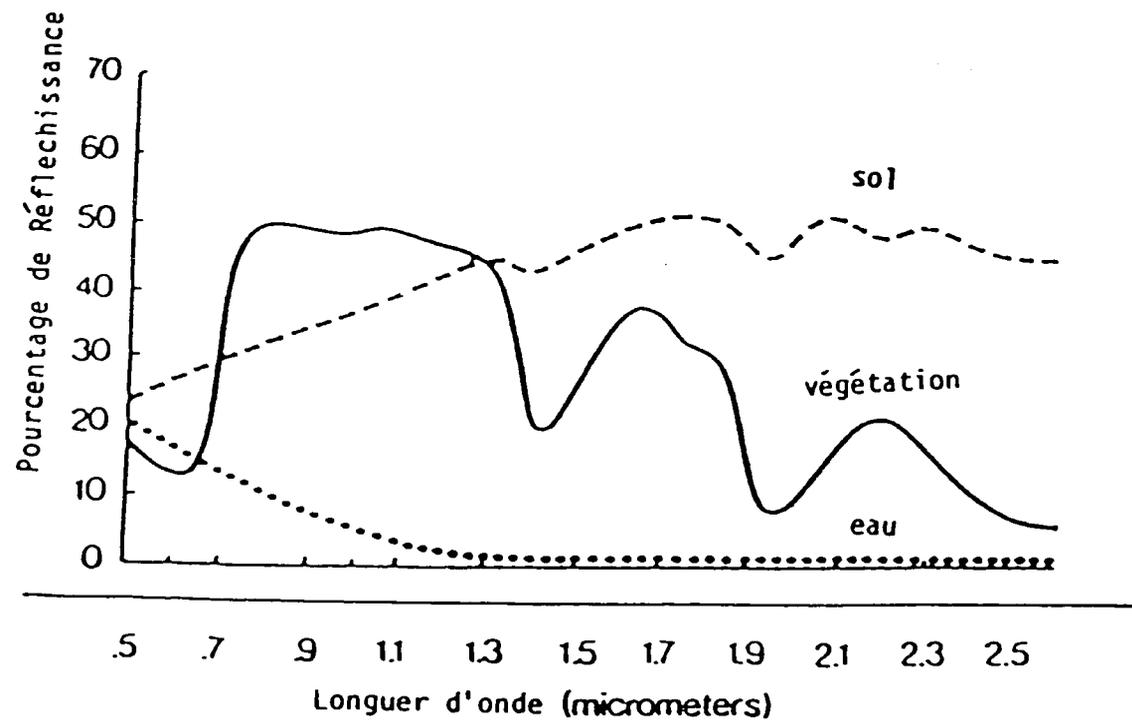
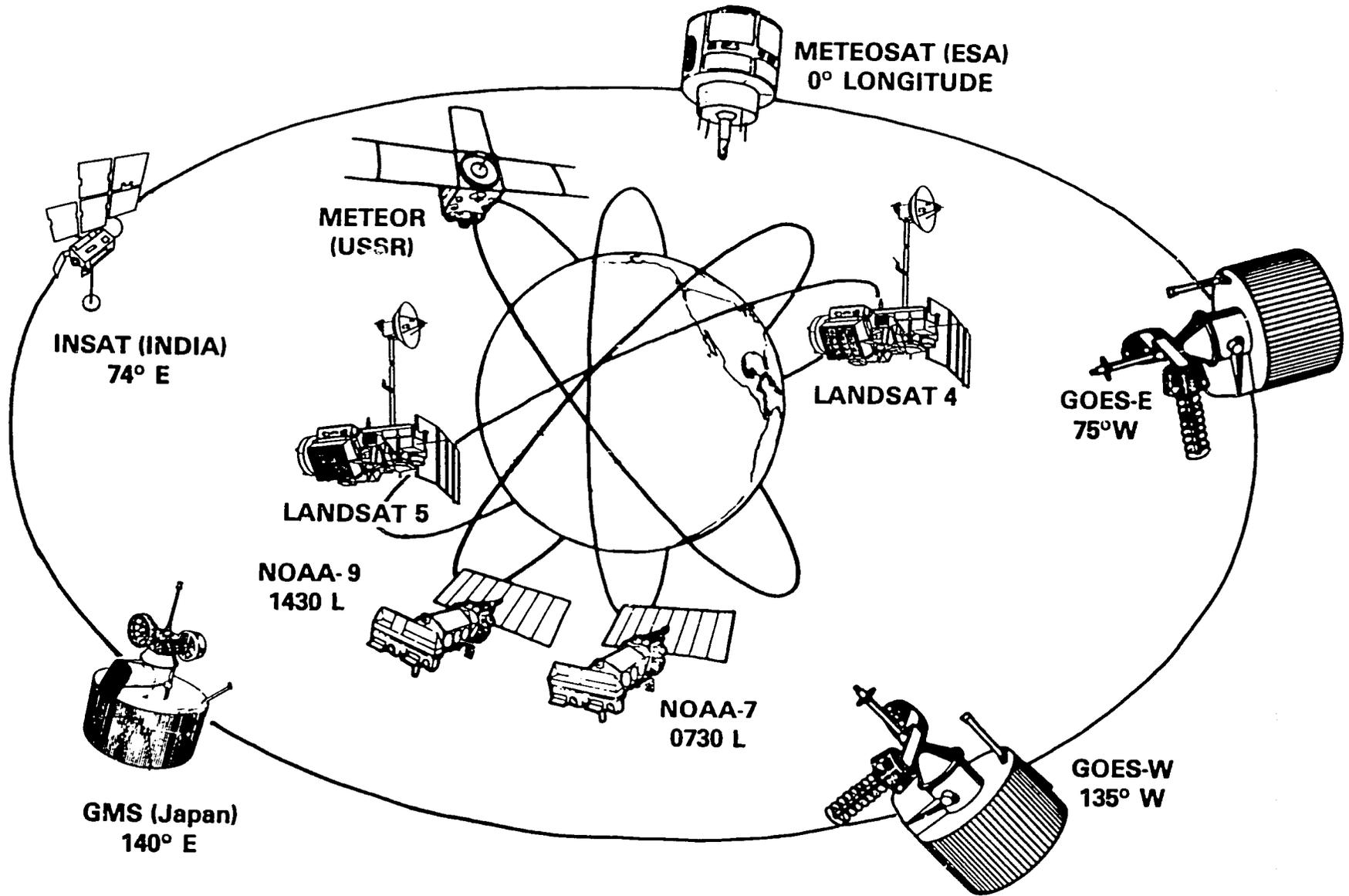


Figure 3. Le concept de signature spectrale

# Operational Earth Observation Satellites



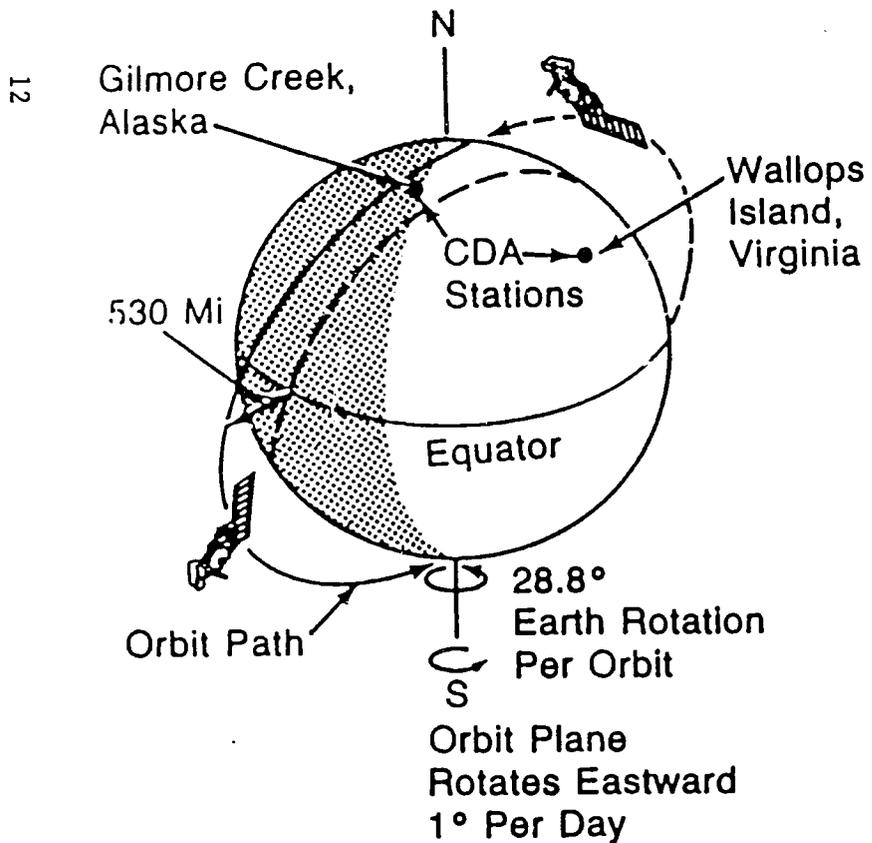
11

Figure 4. Les satellites d'observation terrestre

Figure 5. Les satellites de NOAA et GOES

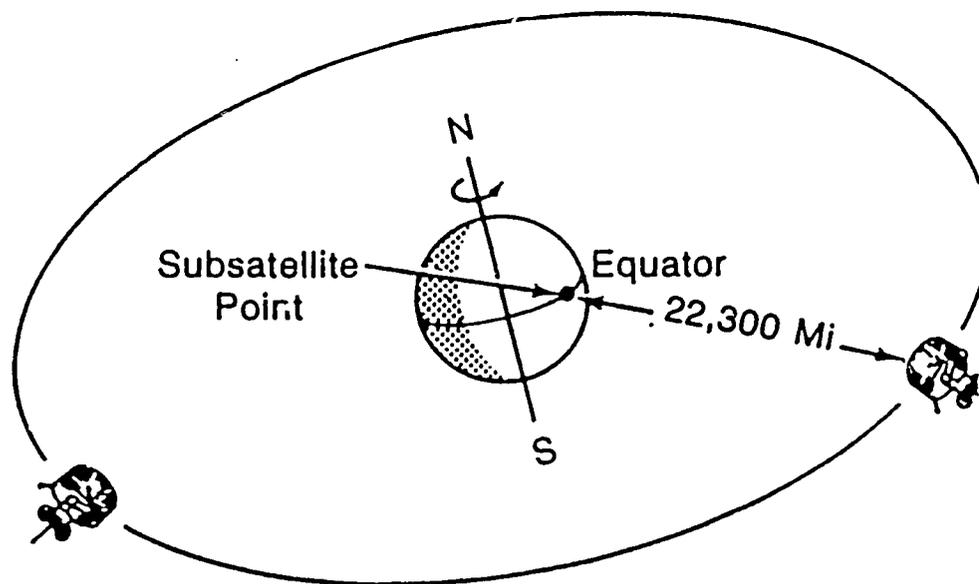
# NOAA

## Polar Orbiting Satellites



# GOES

## Geostationary Satellites



#### 4. Les caractéristiques de l'AVHRR de NOAA-9

Le radiomètre de résolution très haute et avancée (AVHRR) de NOAA-9 réalise des images dans cinq canaux visibles proches infrarouge et deux dans l'infrarouge thermique. La résolution spatiale est de 1,1 km<sup>2</sup> au sous-point du satellite. La Figure 6 présente les caractéristiques des satellites.

#### 5. Les images ACCS

##### a. Les principes de l'interprétation de l'image

La compréhension des principes d'interprétation de l'image est importante, soit que l'image à interpréter est une photographie aérienne, soit une photographie imprimée, soit qu'elle est montrée au moniteur. Le processus d'interprétation de l'image peut être décrit comme le processus de détection, d'esquisser et d'identifier les détails. Un nombre important de caractéristiques de l'image permet à l'interpréteur de trouver, d'esquisser, d'identifier et d'évaluer les objets trouvés sur l'image. Les plus importantes sont:

- la couleur,
- la forme,
- la taille,
- la texture,
- l'ombre, et
- le modèle.

En effet l'interpréteur d'image doit avoir une compréhension de:

- comment l'image est développée,
- ce que l'image représente, et
- des processus et phénomènes qui sont représentés sur l'image.

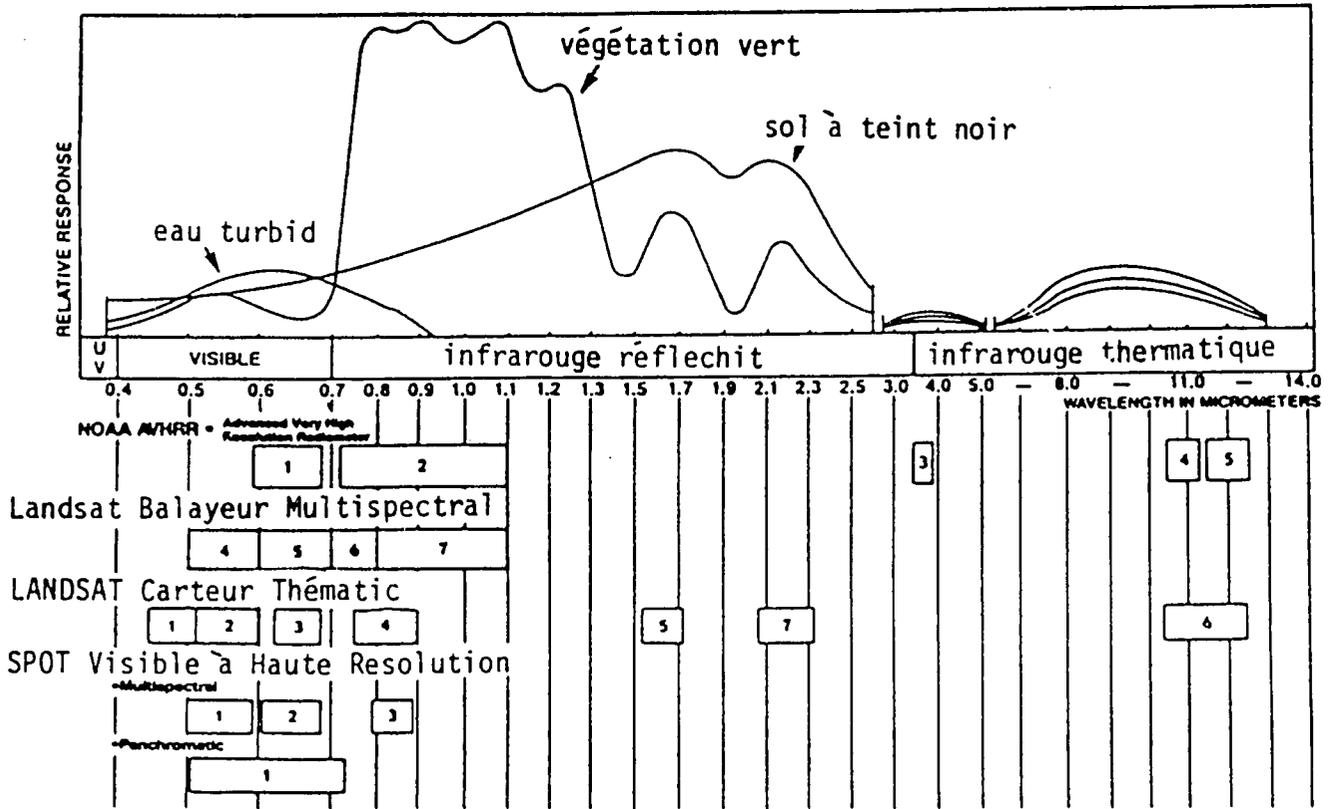


Figure 6. Les caractéristiques des satellites

b. Les relations entre le canal 1 et le canal 2 et l'index de végétation normalisé (NVI)

Les paramètres dérivés d'AVHRR qui sont utiles pour contrôler la végétation et pour détecter la contamination de l'atmosphère sont:

- l'index de végétation normalisé (NVI),
- la réflechissance maximale des canaux visibles et proche-infrarouges, et
- la température dérivée du canal infrarouge thermique.

Ces paramètres sont retracés dans l'espace de couleur ACCS. L'index de végétation est tracé en teinte, les réflechissances maximums et proche-infrarouges sont tracées en intensité et la température est tracée en saturation.

Quant au procédé de retranchement, il s'agit de tracer les valeurs de réflechissances individuelles des canaux visibles et infrarouges (Figures 7 et 8). Figure 9 est un exemplaire d'une photo satellitaire. Annexe B contient de l'information supplémentaire concernant le NVI.

c. La cartographie des valeurs de NVI avec le système de coloration ACCS

L'intensité est utilisée pour faire les distinctions entre les pixels avec le même NVI. Si une valeur NVI de 0,0 est montrée comme rouge, quelques détails de NVI de, 90 seront montrés avec des intensités différentes.

L'eau (NVI près de 0,0 réflechissances visibles et proche-infrarouges presque égales) semble noire.

Le sol humide (NVI près de 0,0 avec des valeurs de réflechissances plus élevées que l'eau) est rouge sombre mais pâle.

Le sol aride et le sol sableux (NVI près de 0,0 avec des valeurs de réflechissance encore plus élevées) sont rouges moyens et brillants.

Les nuages (NVI près de 0,0 avec des réflechissances plus élevées semblent rouges brillants.

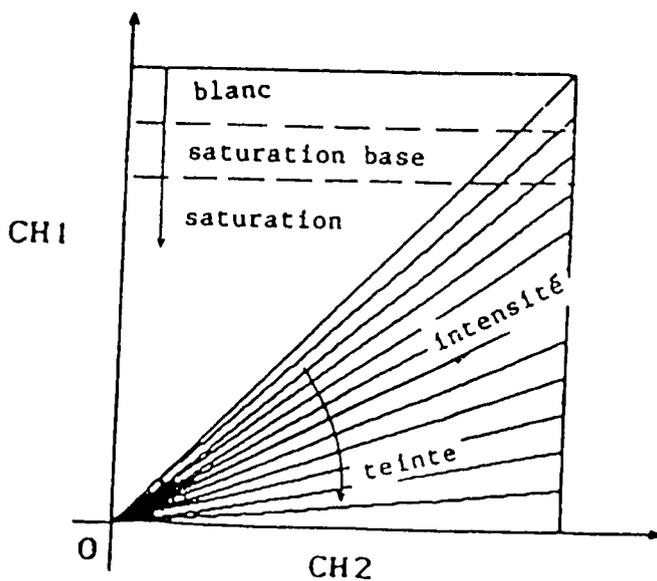


Figure 7. Les objets tracés en fonction de réflectance visible (AVHRR canal 1), proche infrarouge (AVHRR canal 2) et l'indice de végétation normalisé.

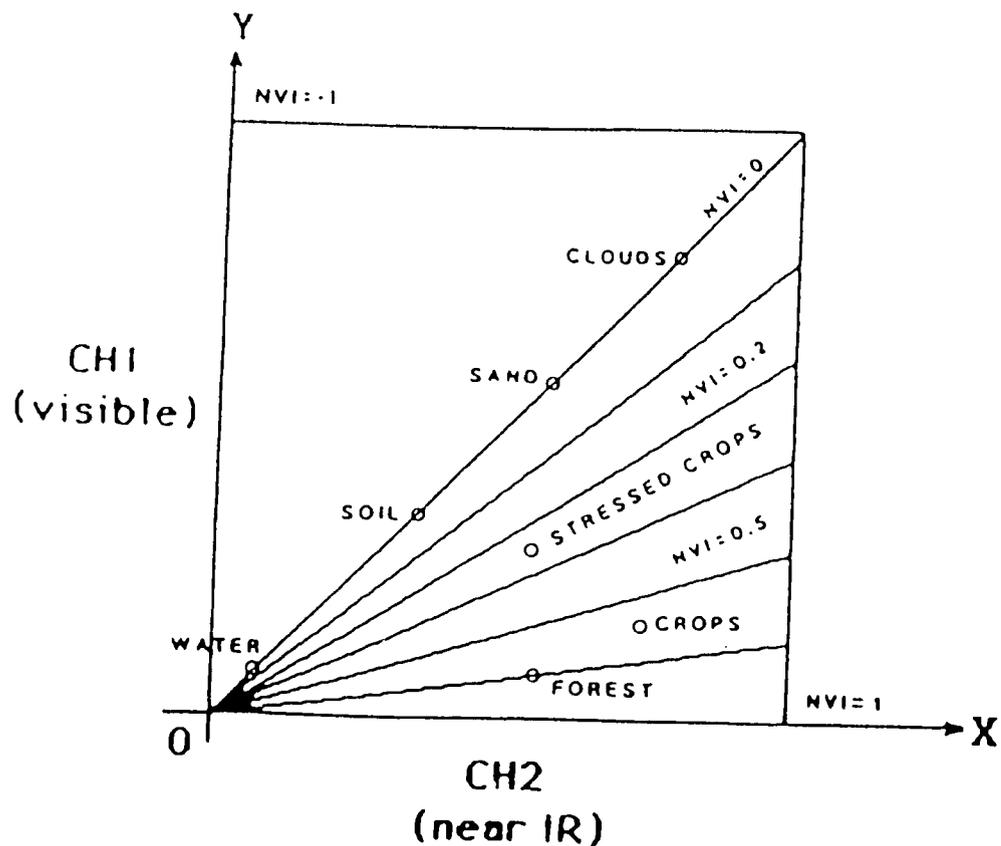


Figure 8. Le tracement de teinté, intensité et saturation sur le traceur de réflectance.



Figure 9. Photo satellitaire d'Afrique de l'Ouest

Le filtre de saturation détermine si les attributs avec une réflechissance deviennent blancs à l'écran (Figure 8).

d. Interprétation des images ACCS

L'imagerie d'AVHRR est utilisée pour les évaluations agroclimatiques et rehaussée avec l'application d'un schéma développé par Ambroziak qui retrace les données dans l'espace des couleurs, l'intensité, la teinte et la saturation.

- L'intensité est la perception d'un objet comme étant noir ou brillant.
- La teinte est l'attribut des couleurs qui est denoté par le bleu, vert, jaune et rouge.
- La saturation dénote la présence ou l'absence de couleur.

Un système de couleur coordonnée est une méthode rationnelle d'ordonner et de spécifier les couleurs. Le système de couleurs cordonnées d'Ambroziak retrace les données multi-spectrales d'AVHRR au Système de la Perception des Couleurs (IHS) (Figure 10).

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 uniquement manuel ou bien être informatisé. Il doit permettre d'acquérir, d'organiser, d'analyser statistiquement et de montrer plusieurs types d'informations spatiales qui sont cartographiées à la même échelle et selon la même projection. La Figure 11 illustre la structure conceptuelle d'un tel système.

La superposition manuelle préconisée par le CIAD, appelée aussi "technique de la table lumineuse," du Système d'Information Géographique (GIS) consiste d'abord dans la préparation de l'information sur des fonds de carte et ensuite dans la superposition manuelle des "couches" élémentaires qui sont les

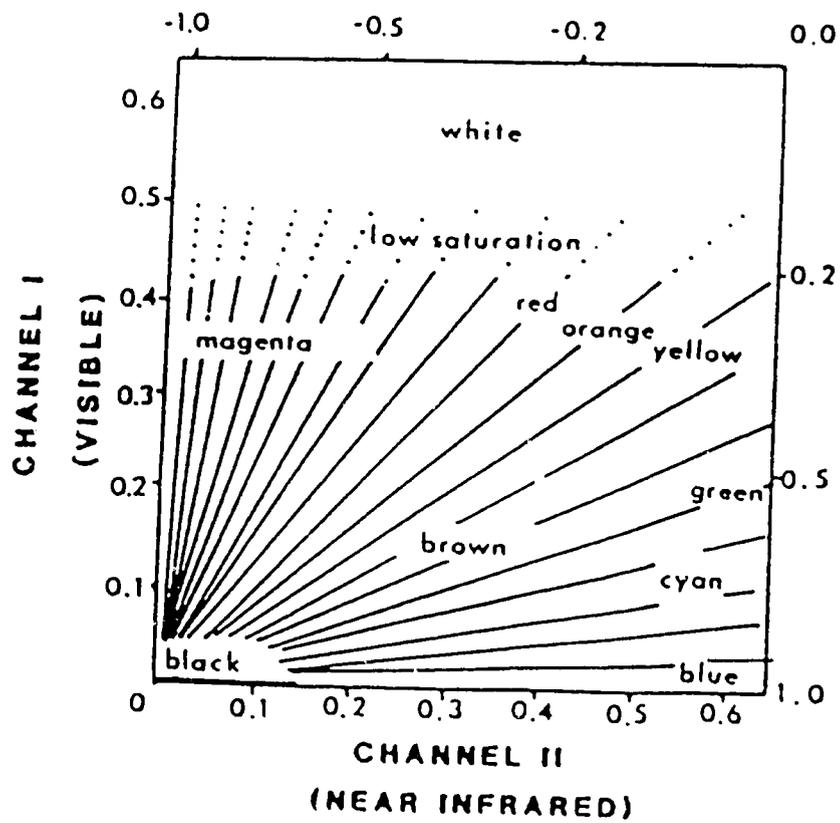
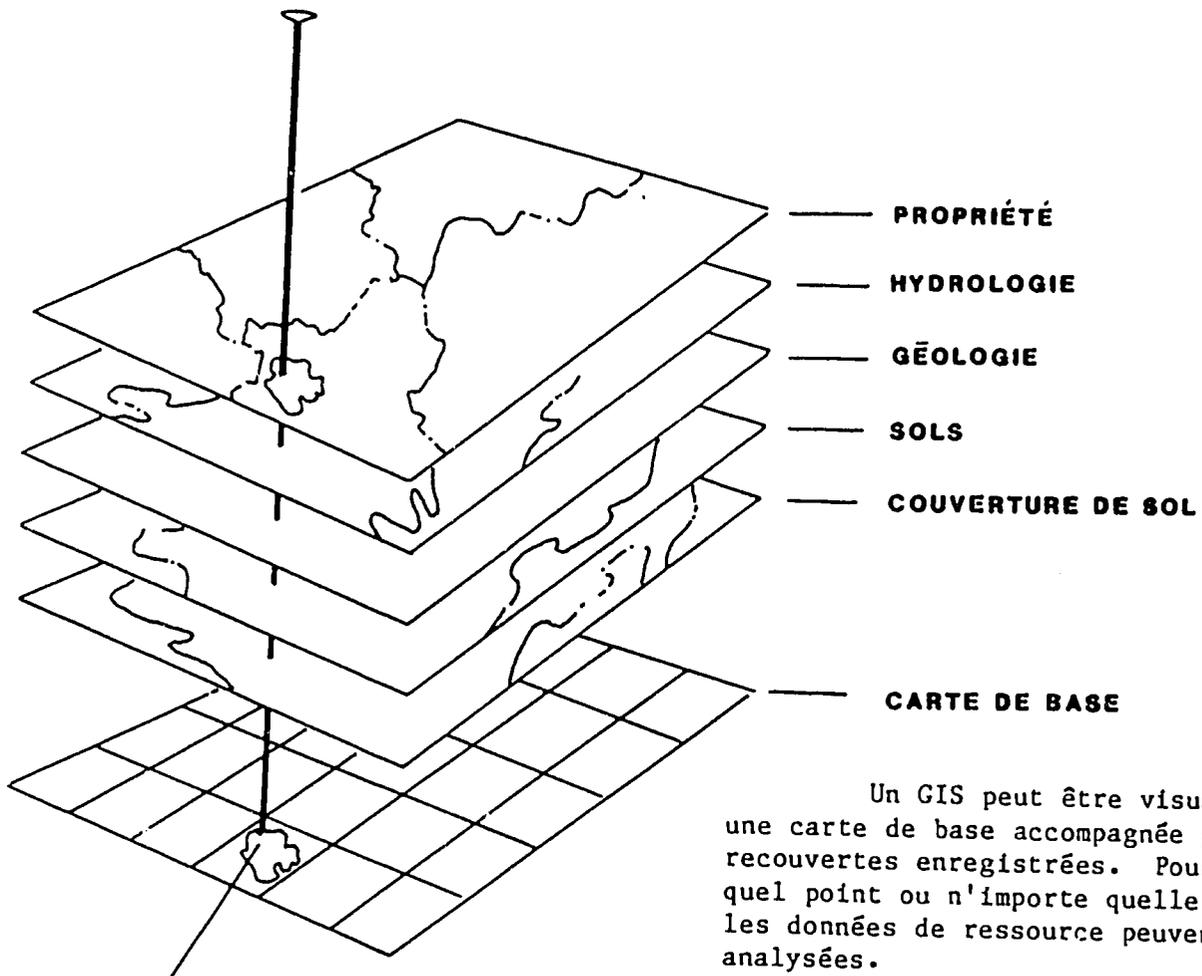


Figure 10. Le système de couleurs coordonnées d'Ambroziak



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

Figure 11. Système d'Information Géographique

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

Une version simplifiée de la procédure GIS est montrée à la Figure 13 qui illustre les résultats d'une évaluation spéciale d'une situation au Mali en 1984. Les principales informations utilisées sont aussi montrées. Des évaluations similaires ont été faites pour le Soudan où on a considéré la densité de la population comme une information additionnelle complémentaire dans la procédure GIS. Ainsi dans le cas du Soudan, les problèmes liés à la sécheresse ont été analysés en terme d'impact sur la population des régions affectées.

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

La production céréalière nationale est essentiellement réalisée dans la partie sud du pays qui jouit d'un climat Sahélien. En 1985, la production

FIGURE 12

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
- \_\_\_\_\_ Autres ( \_\_\_\_\_ )

Données Pluviométriques

- \_\_\_\_\_ Pluviométrie Décadaire Actuelle
- \_\_\_\_\_ Pluviométrie Mensuelle Actuelle
- \_\_\_\_\_ Pluviométrie Mensuelle Cumulative

Indices des Conditions Culturelles

- \_\_\_\_\_ Indice Décadaire du Bilan Hydrique
- \_\_\_\_\_ Autres ( \_\_\_\_\_ )

Modèles Régionaux des Récoltes

- \_\_\_\_\_ Mil
- \_\_\_\_\_ Sorgho
- \_\_\_\_\_ Mais

FIGURE 12  
(suivie)

- \_\_\_\_\_ Arachides
- \_\_\_\_\_ Niébés
- \_\_\_\_\_ Coton
- \_\_\_\_\_ Autre ( \_\_\_\_\_ )
- \_\_\_\_\_ Autre ( \_\_\_\_\_ )
- \_\_\_\_\_ Autre ( \_\_\_\_\_ )

Imagerie Satellitaire de NOAA

- \_\_\_\_\_ Image Composite Actuelle
- \_\_\_\_\_ Images Composites Précédantes

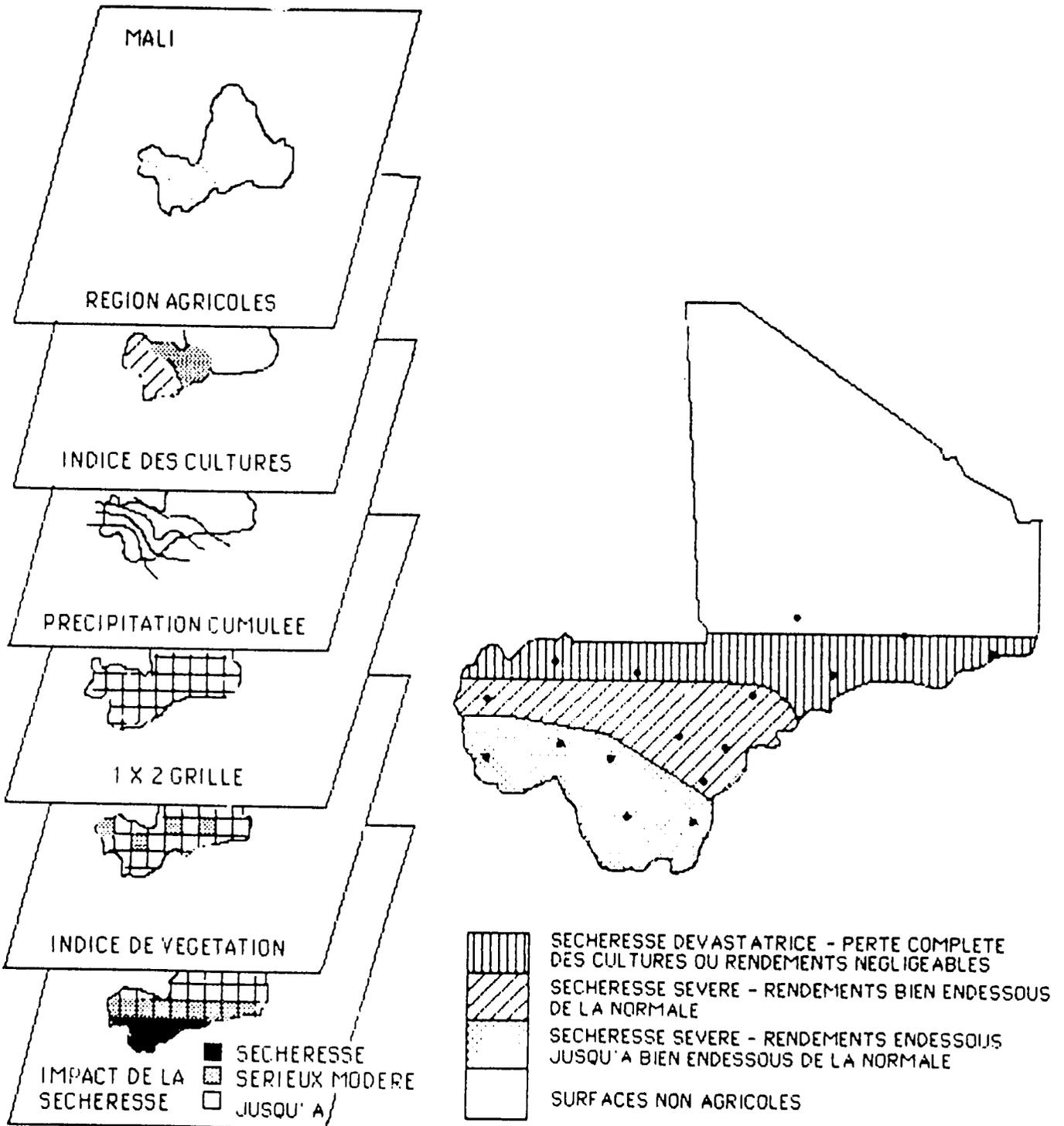
Données de l'Indice Normalisé de Végétation (NVI)

- \_\_\_\_\_ Séries Statistiques Hebdomadaires Lissées (Série Chronologique)
- \_\_\_\_\_ Carte Hebdomadaire Régionale de NVI
- \_\_\_\_\_ Carte Hebdomadaire Nationale de NVI

Autres Données

- \_\_\_\_\_ Données des Evénements Episodiques
- \_\_\_\_\_ Autres Données Ancillaires

Figure 13 GIS: MALI (SAHEL)



était estimée à 70.000 tonnes de céréales pour des besoins évalués à 120 kg par habitant et par an.

L'évaluation de la production agricole s'appuyait essentiellement sur les estimations annuelles des sociétés 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 régions et des départements, chargés de l'encadrement technique des paysans. Plusieurs méthodes d'enquête statistique sont en général utilisées: la méthode de recensement et celle de l'enquête par sondage suivant les services utilisateurs. Le sondage se porte sur les villages, les exploitations et les champs. 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 le calendrier ci-après:

janvier-fevrier	= mission de programmation dans toutes les régions agricoles,
mars-avril-mai	= mise en place des facteurs de production dans les zones à vocation agricole,
juin-juillet-août	= évaluation du déroulement de la campagne avec des missions d'appui aux inspections régionales,
septembre	= préestimation des récoltes,
octobre	= estimation des récoltes, et
novembre	= évaluation finale de la campagne.

Les principales cultures sont le sorgho, le mil, le maïs, le riz et le niébé. Il y a quatre catégories de cultures en Mauritanie qui sont:

- les cultures pluviales,
- les cultures de décrue,
- les cultures de barrage et de bas-fond, et
- les cultures irriguées.

Les rendements des cultures sous pluie sont en général faibles. Les cultures traditionnelles (mil, sorgho) ont des rendements se situant entre 200 à 350 kg/ha, tandis que les cultures des bas-fonds et sous barrages ont des rendements un peu supérieurs variant entre 350 à 400 kg/ha. Les cultures irriguées, malgré leur récente introduction, ont fait des progrès remarquables; ainsi le maïs enregistre 2600 kg/ha tandis que le riz irrigué obtient des rendements compris entre 3,5 à 5 tonnes de paddy/ha.

Il faut signaler qu'en dehors des techniques traditionnelles d'estimation des rendements, le Ministère du Développement Rural à créé un Service des Statistiques Agricoles qui, conjointement avec le Projet Diagnostic Permanent du CILSS, met en place différentes méthodes statistiques pour la production céréalière et animale.

## 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 conclusions statistiques peuvent être communiquées à la population.

Selon la stratification, on peut distinguer de différents usages des terres:

- une culture extensive qui met en valeur plus de 80% des terres,
- une culture extensive,
- les villes et les villages,
- les pâturages,
- les terres non-exploitées, et
- les plans d'eau.

a. Procédure de la stratification suivant les étapes

1) Identifier les strates sur les cartes des unités administratives (district, département, sous-préfectures ou conté aux Etats-Unis). On peut utiliser les cartes disponibles (routières, enquêtes géographiques, enquêtes pédologiques), les données antérieures à l'enquête et les photos aériennes.

2) Diviser en unités primaires d'échantillonnage chaque unité administrative, le taille variant de 500 km<sup>2</sup> et 2500 km<sup>2</sup> et les routes vont servir de limite sous forme de repère permanent.

3) Subdivision des unités primaires d'échantillonnage en segments de taille finale de 1 mil carré, c'est-à-dire 2,59 km<sup>2</sup> chacun. Ces segments sont tracés sur des photos aériennes et identifiés (numérotés).

4) Procédure de sélection des échantillons à étudier. Il faut d'abord faire l'échantillonnage des unités primaires d'échantillonnage et ensuite choisir les segments dans les unités primaires d'échantillonnage déjà sélectionnées.

5) Synthèse de la construction d'un plan d'occupation des terres.

b. Estimation des superficies cultivées par culture

D'abord, on doit mettre sous forme de liste les numéros des segments sélectionnés. Il faut identifier tous les champs et toutes les cultures sur la photo contenant le segment sélectionné et ensuite rassembler les données relatives au bétail.

La superficie de chaque étape de culture identifiée avec les segments sélectionnés est extrapolée afin de fournir une estimation de la superficie de ces cultures au niveau de l'état. Le facteur d'extrapolation, permettant de passer des superficies estimées dans les échantillons aux surfaces totales dans l'état, est calculé à partir du procédé de sélection des segments. L'erreur relative est de 2% au niveau national (USA) et 6% au niveau de chaque état.

c. Estimation des rendements objectifs

Sur l'ensemble des champs identifiés pour l'estimation de la surface cultivée, on sélectionne (avec une probabilité proportionnelle aux estimations de superficie) la fréquence et les moyens à partir de ce procédé d'échantillonnage fournissant les estimations au niveau de l'état.

Avec les modèles de prévision de récolte employant les carrés de rendement, la récolte est fonction du nombre de plantes, des épis par plantes et le poids des graines.

la récolte = (nombre de tiges) x (nombre d'épis/tige) x (poids/épi).  
A la fin de la saison, il y a l'échantillonnage et la mesure et ces trois composantes peuvent être mesurées; donc, il n'est pas nécessaire d'estimer la variable indépendante.

L'objectif du modèle de prévision des récoltes objectives 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 les semis), 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, la quantité d'épis et le poids des graines de l'épis. Quand il n'y a pas de données exploitables, on suppose que les mesures sur les plantes rendent compte de l'impact 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 et en ce moment le poids des épis est égal à la moyenne des données théoriques. A la maturité moyenne, les épis sont mesurables et sont en fonction des plantes et de la production des plantes avec ou sans épis, tandis que le poids de l'épi, la longueur de l'écorce (maïs) et la longueur des rangées des graines sur le noyau.

d. Recherche sur la stratification et l'usage potentiel des données

Il y a des catégories de stratification alternative. Actuellement, il y a les strates de maturité, l'irrigation, les cultures associées (soja et maïs), le niveau d'application des engrais, les méthodes de labour et le niveau de contrôle des sondages.

Avec l'emploi des données environnementales et/ou technologiques dans le modèle de télédétection, on remarque que le poids de l'épi est fonction de la date de semis, de la précipitation, de la température, des engrais azotés, de la classe des hybrides, etc. Le rendement est fonction du nombre de plantes, de la date de semis, de la précipitation, de la température, de l'engrais azoté, de la classe des hybrides, des stades de maturité, etc. Le calcul des variables technologiques permet de remplacer l'année dans une étude de tendance.

3. Plan d'Occupation des terres (Area Frame Construction)

Un facteur important dans le succès de l'agriculture américaine est l'information. La mesure continue, le comptage permanent et l'analyse du Service des Enquêtes du Ministère de l'Agriculture des Etats-Unis permettent de diffuser des rapports aux utilisateurs spécifiques dans le pays. Ces rapports contiennent des informations très rentables relatives aux productions agricoles et pastorales, aux marchés et aux cours des denrées et des animaux.

Plus de 300 fois par an, le comité permanent chargé de rendre compte de l'état des récoltes diffuse des informations officielles sur l'estimation de l'état:

- des récoltes,
- du bétail,
- de l'élevage des volailles,
- de la production laitière,

- des prix,
- du marché du travail agricole,

et sur tout ce qui touche, de près ou de loin, l'agriculture.

Certaines de ces informations sont obtenues par la surveillance continue d'échantillons aléatoires du domaine agricole des Etats-Unis. Ces enquêtes sont le résultat final d'un processus complexe qui commence avec l'exploitation d'un plan d'occupation des terres (Area Frame Construction) et qui se termine par la fourniture de cartes ou de photographies aériennes que celui/celle qui fait l'évaluation utilise en particulier lorsqu'il/elle parle avec un fermier.

La première étape de ce processus de construction du plan d'occupation des sols est la stratification; il s'agit d'un classement des terres selon leur usage. Les principales catégories sont:

- les terres utilisées par les cultures,
- les terres occupées par la végétation naturelle et les pâturages utilisés pour la nourriture du bétail,
- les villes utilisées pour les usines, les affaires et l'habitation, et
- les terres non-agricoles, par exemple les parcs et les terrains militaires.

Prenons l'exemple du Colorado. La stratification de 105.000 miles carrés conduit à la répartition suivante de l'occupation des terres:

- 24.000 miles carrés cultivés,
- 74.000 miles carrés en pâturages,
- 5.000 miles carrés en surface urbanisée, et
- 2.000 miles carrés non utilisés

Concentrons notre attention sur les terres cultivées et divisons les 24.000 miles carrés de terres cultivées dans l'ensemble des "contés" en unités primaires d'échantillonnage de 8 à 12 miles de côté. Celles-ci sont divisées en

segments d'environ un mile carré. Un nombre limité de segments est sélectionné pour y enquêter. La surface totale ainsi sélectionnée de façon aléatoire représente moins de 1% du territoire continental des Etats-Unis.

A chaque étape le processus statistique est soigneusement contrôlé par des interviews des paysans. Ceci assure une grande précision et une fiabilité aux estimations des récoltes et des productions animales.

La stratification est un processus compliqué qui utilise des photos aériennes et des photos satellitaires pour déterminer les surfaces de chaque catégorie de culture. On utilise aussi les cartes routières et les cartes topographiques. On obtient des cartes d'utilisation des sols qui sont des cartes colorées et sur lesquelles les segments retenus sont numérotés. Si on considère le temps passé à créer les cartes et à les coder, il est normal qu'on procède à une double vérification. On fait aussi systématiquement des copies de sauvegarde. Ceci constitue la fin de la seconde étape.

L'étape suivante est la digitalisation qui consiste à rentrer dans un ordinateur les données obtenues à l'étape précédente. La digitalisation c'est tout d'abord la planimétrisation digitale des surfaces sur les cartes précédemment préparées. Toutes les informations sont mises dans des fichiers au niveau de chaque état et ceux-ci sont envoyés sur un ordinateur central au niveau national pour sauvegarder. Cette information permet aussi de connaître la surface totale de chaque culture sur l'ensemble des Etats-Unis (lorsque toutes les informations de tous les états sont parvenues).

L'étape suivante consiste à connaître le nombre d'unités élémentaires qu'il faut suivre pour procéder aux enquêtes sur le terrain et leur distribution sur l'ensemble du pays.

Un listing est sorti par un programme pour connaître l'ensemble des unités primaires d'échantillonnage. C'est dans les segments de ce listing que l'on sélectionne de façon aléatoire les parcelles qui seront suivies.

Les parcelles retenues sont localisées sur les cartes locales.

L'extrait ainsi constitué est appelé index photographique et il contient tous les segments retenus. Ceux-ci sont soigneusement numérotés sur une photographie aérienne en noir et blanc. Sur celles-ci, les segments repérés sont entourés de rouge. Là aussi on procède à une double vérification. Une copie de l'original est faite et l'original est envoyé au bureau du Service des Statistiques qui fait l'évaluation.

La construction du plan d'occupation des terres est un travail sans fin. On renouvelle l'échantillonnage de façon permanente à raison de 20% par an. Ce processus d'échantillonnage est une condition nécessaire au succès de l'agriculture américaine.

#### 4. Enquête pour obtenir le rendement objectif du maïs

Des enquêtes permettent d'obtenir une évaluation objective des rendements du maïs. Ces enquêtes utilisent des échantillons aléatoires de parcelles sur lesquels on fait le suivi. Cette méthode est utilisée dans les dix états qui sont les principaux producteurs de maïs:

Indiana  
Illinois  
Iowa  
Michigan  
Minnesota  
Missouri  
Nebraska  
Ohio  
South Dakota  
Wisconsin

Chaque champ contient deux surfaces d'observation de 2,15 pieds de côté (carrés de rendement). Celles-ci sont choisies de façon aléatoire. Une de premières tâches de l'enquêteur est de rendre visite aux paysans. L'enquêteur (aussi appelé le numérateur) rend visite aux paysans et aux parcelles suivies plusieurs fois pendant la saison. La première visite a lieu fin juillet et la dernière fin octobre/début novembre (après la récolte). Il explique aux paysans

la finalité de l'enquête, c'est-à-dire l'estimation des rendements. Leur participation est en effet facultative. On vérifie bien entendu sur les photos aériennes que les parcelles sélectionnées font partie des surfaces précédemment identifiées comme faisant partie des surfaces consacrées à cette culture. Pendant cette interview initiale les informations sont recueillies sur un questionnaire, notamment les informations sur les dates de semis, l'irrigation et l'utilisation de pesticides et d'engrais.

Ensuite l'enquêteur identifie sur le terrain la parcelle à suivre. Il y a pour cela une procédure standard (on l'a vu parcourir le champ d'une façon précise). Il utilise des repères rouges.

Durant la première visite au champ (et aux carrés de rendements), il procède à un comptage des plantes (des tiges). Il en est de même pour les visites suivantes.

il observe aussi l'état des épis. A la dernière visite avant la récolte (fin octobre/début novembre) il procède à une récolte très partielle. Les échantillons sont envoyés au laboratoire d'analyse.

La visite finale de l'enquêteur a lieu trois jours après la récolte. Celle-ci permet de vérifier les estimations et de déterminer les quantités de pertes pendant la récolte (ramassage des épis laissés par les machines). Des échantillons des résidus (pailles) sont aussi envoyés au laboratoire d'analyse. Chaque état des Etats-Unis a un tel laboratoire.

Toutes les informations recueillies permettent de faire des prévisions de récoltes. Pour plus d'informations, il faut regarder les conférences du Dr. Merritt.

De telles enquêtes pour obtenir des rendements objectifs sont menées aux Etats-Unis pour la plupart des cultures. Celles-ci sont précises et fournissent des informations essentielles aux paysans, aux agro-économistes et aux décideurs politiques.

## 5. L'index de végétation normalisé (NVI)

L'index de végétation normalisé est défini comme le rapport de la différence du canal 1 et canal 2 sur leurs sommes

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

L'indice de végétation est désigné sous forme de condensation spectrale qui nous permet de faire la distinction entre un couvert végétal et un sol nu et de voir les conditions des cultures dans une région agricole à partir des conditions météorologiques présentes. En général l'index de végétation est un rapport ou une différence de réflectance dans le proche-infrarouge et la région visible du spectre. Les objets qui ont une même réflectance dans le visible et le proche-infrarouge représentent un couvert végétal très bas. La valeur de l'index est proche de zéro quand ces objets présentent en général une différence de réflectance dans le visible est du proche-infrarouge. La valeur de l'indice est supérieure à zéro et l'indice de végétation peut être observé au fur et à mesure que le couvert végétal augmente. Dès que l'index de végétation est calculé, en utilisant les données de plus d'un canal, la valeur représente une biomasse importante. Annexe B contient de l'information supplémentaire concernant le NVI.

## 6. Analyse des modèles statistiques entre index de végétation (NVI) et les rendements

Quelques chercheurs ont estimé les rendements aux Etats-Unis en employant les données satellitaires. Ils ont obtenus les résultats mixtes. CIAM a développé une méthode pour estimer les rendements à partir des données de satellite. Les résultats semblent très intéressants dans le Sahel parce que les méthodes en Afrique sont assez simples. La mode de récolte est basée sur les données satellitaires. Les prédictions des récoltes de grande superficie impliquent qu'on doit travailler avec les unités de 75000 km<sup>2</sup> (plus ou moins la

moitié de la superficie de Missouri). Avec cette unité de 75000 km<sup>2</sup> on fait l'estimation de la récolte d'une culture. Il est possible de faire une estimation plus précise pour les grandes superficies en employant 300 pixels de PSG avec une résolution de 418 km<sup>2</sup>, ou 4500 pixels de GAC avec une résolution de 418 km<sup>2</sup>, ou 62500 pixels de LAC avec une résolution de 1,1 km<sup>2</sup>, ou 10<sup>7</sup> pixels de LANDSAT balayeur multispectral. L'utilisation des données satellitaires à haute résolution en présumant qu'elles sont disponibles tous les sept jours augmentera le temps d'évaluer les données à l'ordinateur.

#### 7. Analyse de la relation statistique: pluviométrie et rendement

L'objectif est d'utiliser une multiple régression linéaire pour déterminer le rapport entre le climat et les rendements. Pour cette technique il faut faire:

- une série chronologique des rendements pour pouvoir détecter la tendance (Figure 14),
- un triangle de corrélation pour déterminer la meilleure ou la plus grande collaboration des variables prédictibles (Tableau 1),
- un diagramme de dispersion qui met en évidence les rendements et les précipitations cumulées (Figure 15),
- la structure de la covariance, et
- l'évolution de la régression (Tableau 2).

Le coefficient de corrélation calculé calcule le rapport linéaire, mais n'identifie pas la cause et effet.

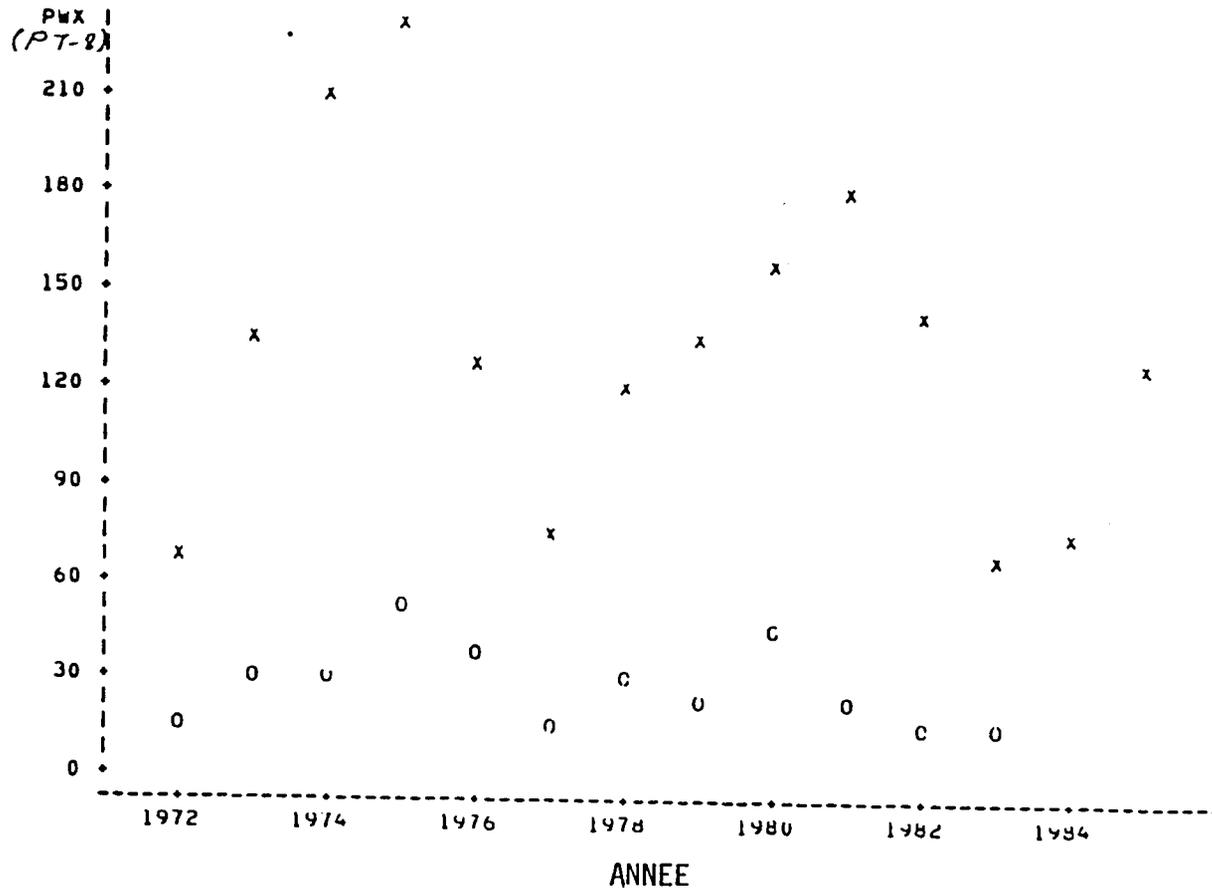
Ayant les récoltes et la pluviométrie pour les années récentes on peut à l'ordinateur formuler le triangle de corrélation et déterminer la période la plus corrélée avec les récoltes.

La formule de modèle d'estimation des rendements se trouve aux Tableaux 3 et 4.

FIGURE 14. SERIES CHRONOLOGIQUES DES RENDEMENTS ET DES PRECIPITATIONS

TIME SERIES OF YIELD AND SUMMED PRECIPITATION

COUNTRY=MAURITANIA REGION=NATIONAL CROP=MILLET SOURCE=ERS  
 SOMME DES PRECIP\*ANNEE SYMBOL UTILISE X  
 RENDEMENT\*YEAR SYMBOL UTILISE O



NOTE: 2 OBS SONT MANQUANTE

TABLEAU 1. COEFFICIENT DE CORRELATION POUR LE MIL EN MAURITANIE

COUNTRY: MAURITANIA REGION: NATIONAL CROP: MILLET SOURCE: ERS

CORRELATION COEFFICIENTS (COEFFICIENT DE CORRELATION)

CUMULATIVE PRECIPITATION VS YIELD (RENDEMENT CONTRE PRECIPITATION CUMULEE)

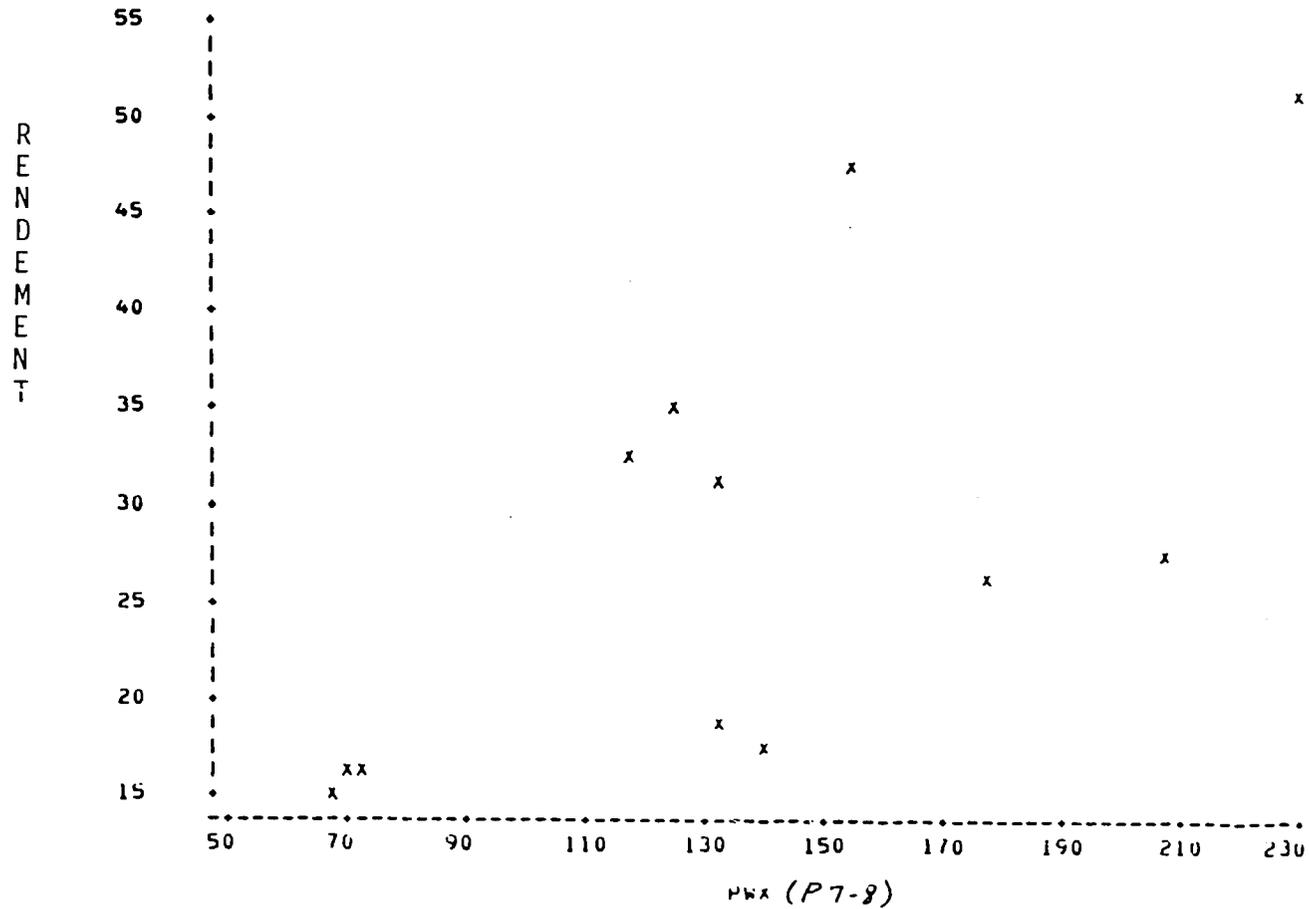
	MAY	JUIN	JUILLET	AOUT	SEPTEMBRE	OCTOBRE
MAY	-0.19	-0.32	0.46	0.67	0.63	0.64
JUIN		-0.32	0.46	0.67	0.63	0.64
JUILLET			0.51	0.67	0.64	0.65
AOUT				0.61	0.55	0.57
SEPTEMBRE					0.11	0.17
OCTOBRE						0.40

FIGURE 15. GRAPHIQUE MONTRANT LES RENDEMENTS CONTRE LES PRECIPITATIONS  
(DIAGRAMME DE DISPERSION)

PLOTS OF YIELD VERSUS SUMMED PRECIPITATION (SCATTER DIAGRAM)

COUNTRY=MAURITANIA REGION=NATIONAL (CRCP=MILLE) SOURCE=ERS

PLOT OF YIELD\*PWX SYMBOL USED IS X



NOTE: 2 OBS SONT MANQUANTE

TABLEAU 2. STATISTIQUES DE REGRESSION

REGRESSION STATISTICS FROM PROC REG

COUNTRY=MAURITANIA REGION=NATIONAL CRCP=MILLET SOURCE=ERS

DEP VARIABLE:

SOURCE	DL	SOMME DES CARREES	MOYENNE CARREE	VALEUR F	PROB>F
MODEL	1	0.074863	0.074863	8.164	0.0170
ERROR	10	0.091704	0.009170361		
C TOTAL	11	0.166567			
RACINE MSE		0.095762	R-CARRE	0.4494	
DEP MOY.		0.278333	ADJ R-CRR	0.3944	
C.V.		34.40551			

VARIABLE	DL	PARAMETERES ESTIMATION	STANDARD ERREUR	T POUR HO: PARAMETRE	PROB >  T
INTERCEP	1	0.063668	0.080056	0.795	0.4449
PWX (P7-8)	1	0.001586194	0.0005551568	2.857	0.0170

Tableau 3

Modèle de rendement

Formule de l'Analyse de Regression

---

$$\bar{Y} + B (X_{1985}) \pm \hat{\sigma}_{t_{n-2}} \quad \frac{1}{n} + \frac{(\bar{X} - X_{1985})^2}{\sum_{i=1}^n X_i^2 - n\bar{X}^2}$$

$$X_{1985} = \begin{pmatrix} 1 \\ X_{1985} \end{pmatrix}; \quad \sigma = \begin{pmatrix} \hat{a} \\ \hat{b} \end{pmatrix}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-p} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}$$

$$Y = 01286 \pm 0,00217$$

Tableau 4. Les Données Statistiques

Année	$\hat{a}$	$\hat{b}$	X	$\hat{Y}$	Y	$Y-\hat{Y}$	$(Y-\hat{Y})^2$
1974	0,166	0,0015	138,5	0,369	0,413	0,0066	0,00196
1975	0,1333	0,0019	136,2	0,3970	0,3270	-0,07	0,0049
1976	0,1377	0,0017	81,2	0,2789	0,3501	0,0712	0,00507
1977	0,1365	0,0018	58,5	0,2399	0,2860	0,0661	0,00196
1978	0,1752	0,0015	81,5	0,2998	0,1930	-0,1068	0,01141
1979	0,0928	0,0021	59,2	0,2193	0,3660	0,1467	0,002152
1980	0,1855	0,0012	132,7	0,3600	0,6780	0,132	0,001162
1981	0,1665	0,0018	115,5	0,3536	0,2860	0,0676	0,00657
1982	0,1720	0,0016	86,2	0,3033	0,2000	-0,1033	0,01067
1983	0,11854	0,0016	80,5	0,2550	0,1880	-0,067	0,00669
			93,8 $\bar{X}$		0,3079 $\bar{Y}$	0,1189	

## 8. L'indice du bilan hydrique

Les indices agroclimatologiques permettent de s'informer en temps utile sur la situation évolutive des cultures. Plusieurs méthodes sont mises en application dans le Sahel, plus particulièrement la méthode Frère et Popov appelée méthode FAO. Cette méthode est basée sur les données climatologiques et les données en temps réel de la pluviométrie.

### a. Description de la méthode

Les éléments permettant de déterminer l'indice sont montrés au Tableau 5. Ces éléments sont:

- la précipitation normale ( $P_n$ ): il s'agit de la précipitation normale décadaire calculée à partir des données climatologiques de la station.
- la précipitation actuelle ( $P_a$ ): c'est la quantité d'eau recueillie durant la décade à laquelle on veut calculer l'indice.
- le nombre de jours de pluie ( $J_a$ ): il permet de mieux comprendre la distribution spatio-temporelle des précipitations.
- l'évapotranspiration potentielle (ETP): elle est définie comme la quantité d'eau maximum qui peut être évaporée par un gazon uniforme maintenu court dont les réserves en eau du sol ne sont pas limitées.
- le coefficient culture ( $K_c$ ): à partir du stade de la levée à l'apparition des organes de reproduction au cours de laquelle l'évapotranspiration maximum réel de la culture représente une fraction de l'évapotranspiration potentielle, cette fraction qui varie de 0,3 - 0,6 au stade de levée à 0,9 - 1,0 au moment de l'épiaison est appelée coefficient cultural.
- les besoins en eau des cultures ( $B_e$ ): les besoins en eau des cultures s'obtiennent en multipliant ETP pour une décade donnée par le coefficient cultural pour cette même décade.
- la différence entre la précipitation actuelle et les besoins en eau ( $P_a - B_e$ ): cette différence exprime la quantité d'eau disponible pour les cultures sans toute fois tenir compte de l'eau disponible dans le sol.
- la réserve d'eau utile dans le sol ( $R_s$ ): ce chiffre exprime, en mm, la quantité d'eau présente dans le sol qui peut être directement utilisée par la culture; c'est la quantité d'eau qui se situe entre les capacités au champ et le point de flétrissement permanent.

	Juillet			Août			Septembre			Octobre		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Pn			36	60	62	66	35	28	20	11	5	
Pa			65	26	25	60	30	40	0	10	0	
ETP			68	56	53	56	52	52	52	53	52	
Kc			0,3	0,4	0,54	0,8	1,0	1,0	1,0	96	0,5	
Be			20	22	26	45	52	52	52	31	26	
Pa-Be			+25	2	-1	-5		-2,4	-28	-20	-22	
Rs			0	27	26	21	-17	-20	-48	--	--	
S/D			0	0	0	0	+6	-20	-48	-68	-89	
I			100%	100%	100%	100%	100%	96%	86%	79%	73%	

Tableau 5. Les éléments de l'indice du bilan hydrique: exemple de la station de Kaedi pour l'année 1985

- l'excès ou déficit d'eau (S/D): les excès se réfèrent aux quantités d'eau dépassant le seuil choisi pour la capacité de rétention en eau. Les déficits se réfèrent aux quantités d'eau n'ayant pu satisfaire les besoins en eau de la plante et la réserve d'eau utile dans le sol étant réduite à zéro.

b. L'index

L'index nous indique sous forme de pourcentage et cumulativement si les besoins en eau d'une culture annuelle ont été satisfaits et cette information jusqu'à un stade quelconque de son cycle végétatif.

III. RAPPORT D'EVALUATION

A. Introduction

La culture du sorgho et du mil semble être meilleure que l'année dernière dans l'ensemble de la partie agro-pastoral du pays à part quelques régions qui ont enregistré une sécheresse localisée (Tableau 6). Cette situation est liée surtout à la bonne répartition spatio-temporelle des précipitations.

B. Résumé d'évaluation 1985

Le campagne agricole 1985 a démarré relativement tard par rapport à l'année 1984. Cette année les premières pluies utiles sont tombées de la troisième décade de juin à la première décade de juillet sur toute la partie agro-pastorale du pays, alors qu'en 1984 les semis ont eu lieu dès la première décade de juin. La continuité des pluies dans le temps a permis un bon développement du couvert végétal et des cultures jusqu'à la troisième décade du mois de septembre. Avec l'arrêt brusque des précipitations en fin septembre, qui correspond à la période critique des cultures à cycle long, les cultures semblent souffire de manque d'eau. Les cultures à cycle court, ayant déjà dépassé la période critique au mois d'août, se sont développées dans les bonnes conditions jusqu'à la maturité complète, ce qui a permet d'avoir un rendement relativement bon.

Pixel	Index	Rendement		Pixel	Index	Rendement		Pixel	Index	Rendement	
Sorgho Mil				Sorgho Mil				Sorgho Mil			
C3	0.10	0.38	0.27	B2	0.09	0.35	0.26	A2	0.05	0.2	0.2
C4	0.15	0.40	0.66	B2	0.09	0.35	0.26	2	0.05	0.2	0.2
C4	0.15	0.40	0.66	B3	0.05	0.2	0.2	3	0.049	0.18	0.9
C5	0.17	0.39	0.66	B3	0.05	0.2	0.2	3	0.049	0.18	0.19
C5	0.17	0.39	0.66	B4	0.12	0.42	0.28	4	0.049	0.18	0.19
C6	0.10	0.38	0.27	B4	0.12	0.42	0.28	4	0.049	0.18	0.19
C6	0.10	0.38	0.27	B5	0.10	0.28	0.27	5	0.048	0.17	0.18
C6	0.10	0.38	0.27	B5	0.10	0.38	0.27	5	0.048	0.17	0.18
C7	0.05	0.2	0.2	B5	0.05	0.12	0.2	6	0.047	0.16	0.17
				B5	0.05	0.12	0.2	6	0.047	0.16	0.17
				B5	0.05	0.12	0.12	6	0.048	0.16	0.18
				B7	0.06	0.18	0.18	7	0.048	0.16	0.18

Tableau 6

Rendements et le NVI

### C. Les pâturages

En se basant sur des quantités de pluie tombées cette année sur toute la zone agro-pastoral du pays et la bonne répartition des précipitations jusqu'à fin septembre, on peut s'attendre à une abondance des pâturages. Le couvert végétal a suivi un développement normal (Tableau 7) jusqu'à la maturité complète et l'analyse des coupes chronologiques et les cartes de l'indice de végétation normalisé montre que la biomasse de 1985 est assez abondante (Figure 16).

L'analyse des indices de végétation nous montre que la biomasse décroît du sud vers le nord. La partie sud de la Mauritanie est beaucoup plus fournie en pâturages cette année que sa partie sud-est.

### D. Conditions des cultures

Les premières pluies tombées en fin juin-début juillet ont permis le semis du mil et du sorgho dans les zones de production, comme Kaedi 77% de la normale pluviométrique, Selibaby 113% de la normale pluviométrique, Si'oun 68% de la normale pluviométrique (Tableau 8) donne des numéros des conditions des semis du sorgho). L'indice de satisfaction en eau des cultures durant les périodes critiques (épiaison et floraison) est satisfaisant (Tableau 9 et 10) et avoisine les 100% dans la plupart des stations (exemples: Selibaby 100%, Kiffa 100%) (Tableau 11, Figures 17-21).

### E. Analyse du climat

La pluviométrie de 1985 reste déficitaire par rapport à la normale (Figure 22), mais le FIT (Front Intertropical), qui est resté presque stationnaire entre le 21 et le 22 parallèle, a permis la répartition normale de la pluviométrie (Figure 23). Ces pluies se sont arrêtées brusquement en fin septembre ce qui a provoqué des sécheresses en ce qui concerne les cultures à cycle long.

Tableau 7

La biomasse et UBT/ha

Pixel	Index	Biomass	UBT/ha	Pixel	Index	Biomass	UBT/ha	Pixel	Index	Biomass	UBT/ha
C3	0.10	800	0.17	B2	0.09	700	0.17	a2	0.05	400	0.08
C4	0.15	1200	0.22	B2	0.09	200	0.17	a2	0.05	400	0.08
C4	0.15	1200	0.22	B3	0.05	400	0.08	a3	0.04	350	0.06
C5	0.17	1400	0.25	B3	0.05	400	0.08	a3	0.04	350	0.06
C5	0.17	1400	0.25	B4	0.12	1000	0.20	a4	0.04	300	0.06
C6	0.10	800	0.18	B4	0.12	1000	0.20	a4	0.04	350	0.06
C6	0.10	800	0.18	B5	0.10	800	0.18	a5	0.04	300	0.06
C7	0.05	400	0.08	B5	0.10	800	0.18	a5	0.04	350	0.06
				B6	0.05	400	0.08	a6	0.04	350	0.06
				B6	0.05	400	0.08	a6	0.04	300	0.06
				B7	0.04	350	0.06	a7	0.04	300	0.06

FIGURE 16. Carte des indices de végétation normalisés

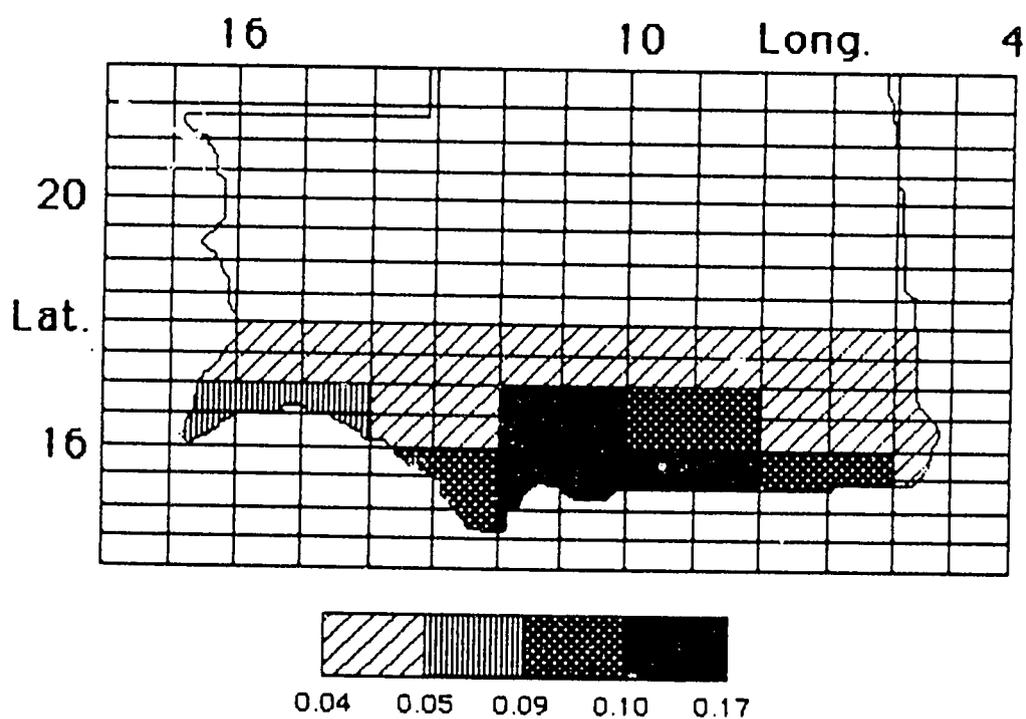


Tableau 8. Conditions de semis: pluviométrie et % à la normale du mois de juillet (sorgho)

Nom de la région Administrative	Nom de la station	Pluviométrie et % par rapport la normale	
		réel	% normale
Gorgol	Kaédi	61	77
Guidimakha	Selibaby	142	113
Hodh Gharbi	Nema	18	25
Hodh Charkhi	Si'oun	52	68
Brakna	Boghé	34	51
Assaba	Kiffa	46	62

Tableau 9. Conditions de Floraison: pluviométrie et % à la normale du mois de Septembre 85

Nom de la région Administrative	Nom de la station	Pluviométrie Septembre	
		red	% normale
Gorgol	Kaedi	38	63
Hodh Gharbi	Nema	37	63
Guidima Kha	Selibaby	91	63
Hodh Charkhi	Si'oun	30	63
Brakna	Boghé	57	73
Assaba	Kiffa	12	15

Tableau 10. L'Analyse de la pluviométrie de quelques stations pluviométrique cumulée et % fin rapport à la normale

Nom de la région Administrative	Nom de station	Précipitation Mai à Septembre	
		red	% normale
Gorgol	Keredi	1+2	53
Guidimakha	Selibaby	665	85
Hodh Gharbi	Nema	122	66
Hodh Charkhi	Si'oun	166	60
Brakna	Boghé	153	57
Assaba	Kiffa	155	51

Tableau 11. L'indice du bilan hydrique, Août et Septembre 1985

Nom de la région Administrative	Nom de la station	Indice de satisfaction en eau	
		Août	Septembre
Gorgol	Kaedi	95	66
Guidimakha	Selibaby	100%	94
Hodh Gharbi	--	-	-
Hodh Charkhi	Si'oun	29	51
Brakna	Boghé	-	-
Assaba	Kiffa	100%	65%

Figure 17

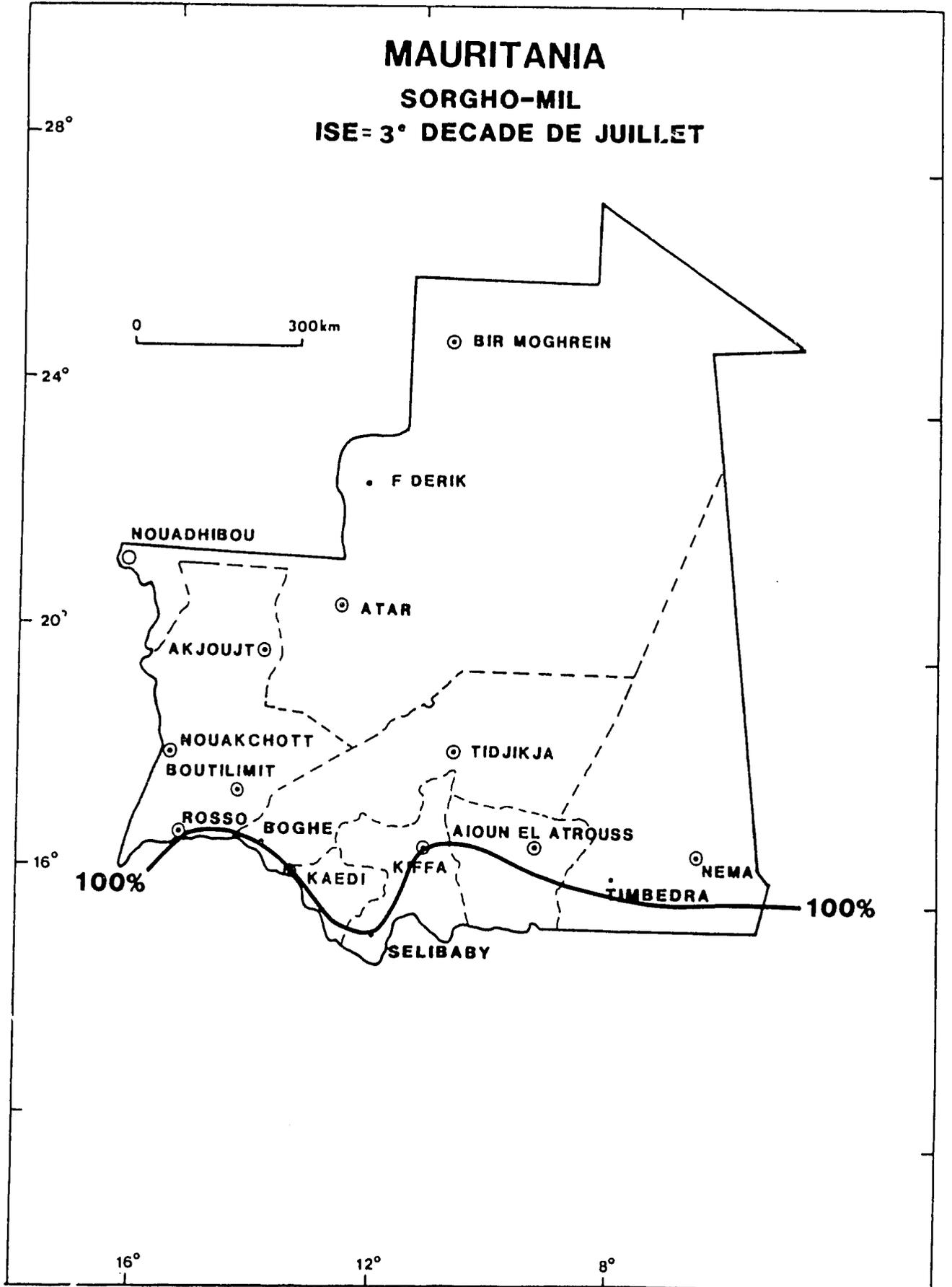


Figure 18

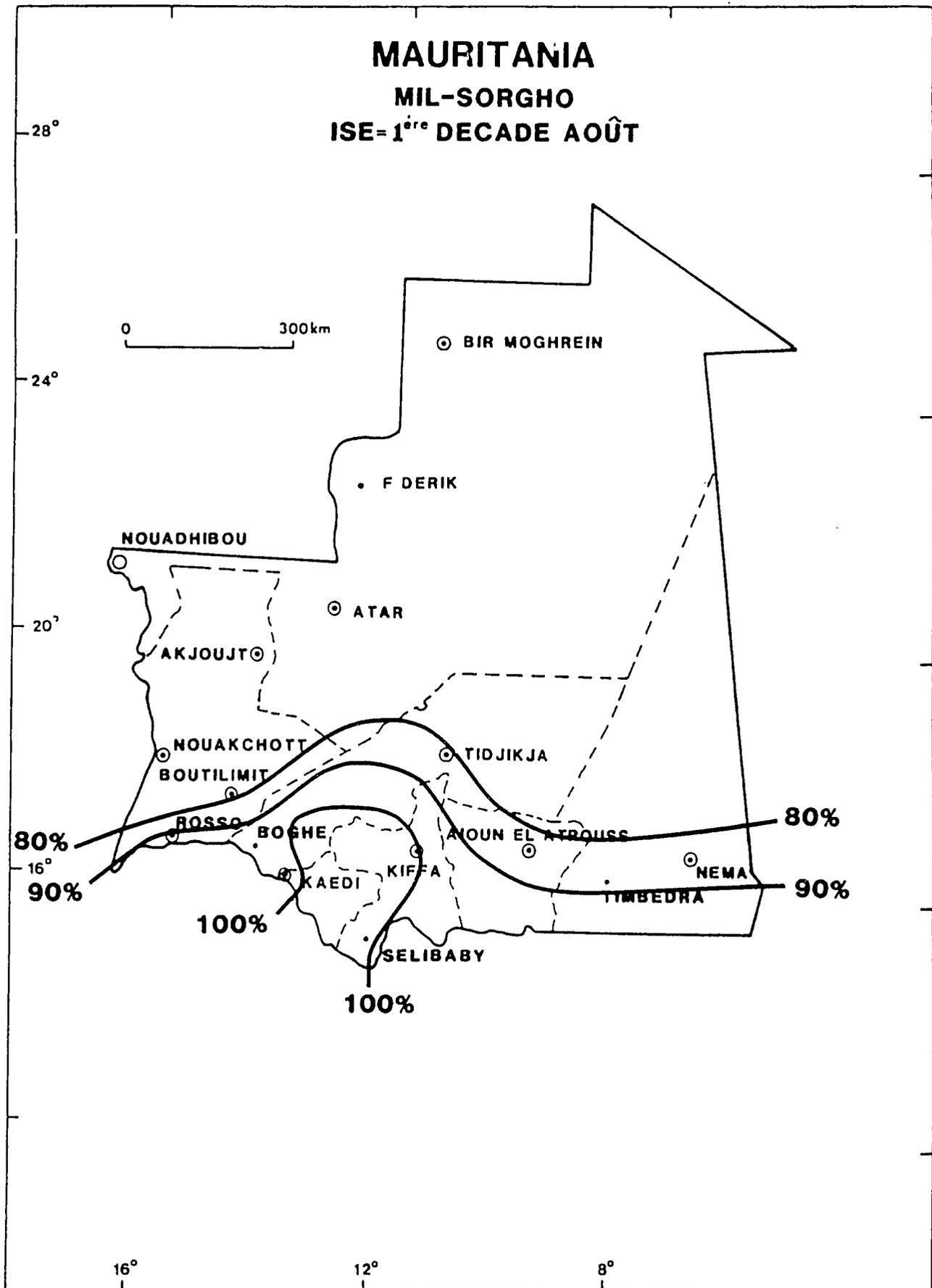


Figure 19

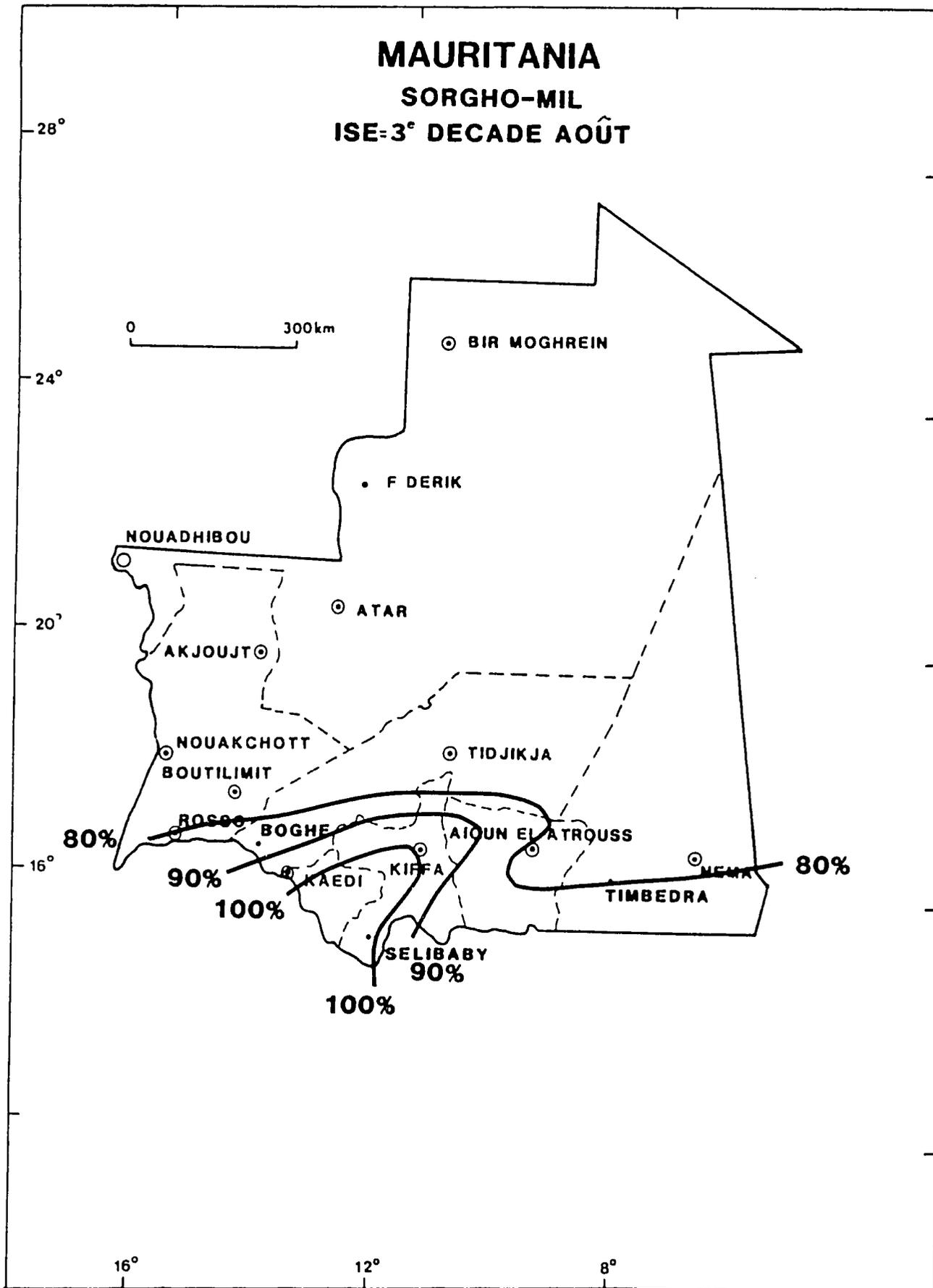


Figure 20

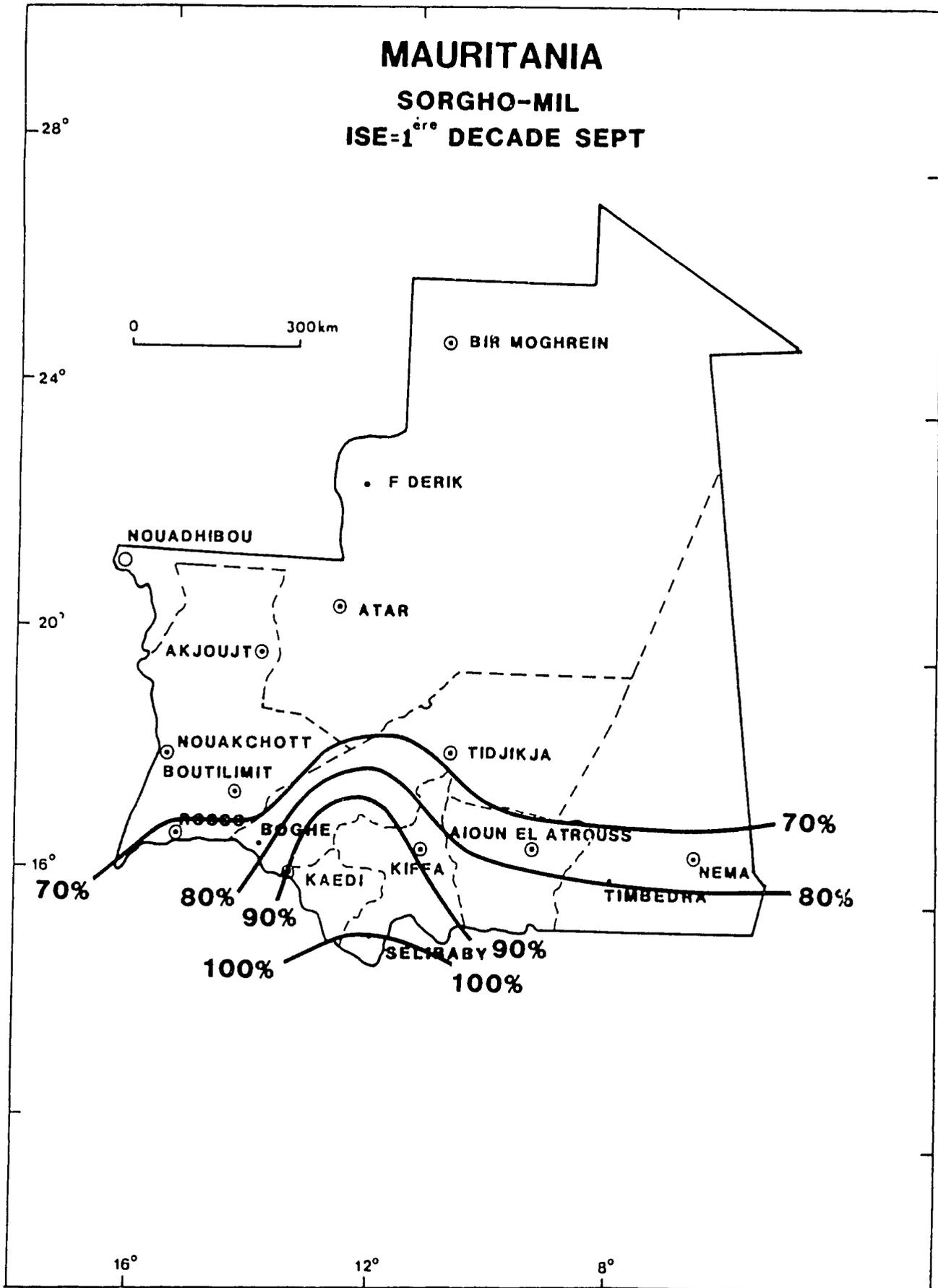


Figure 21

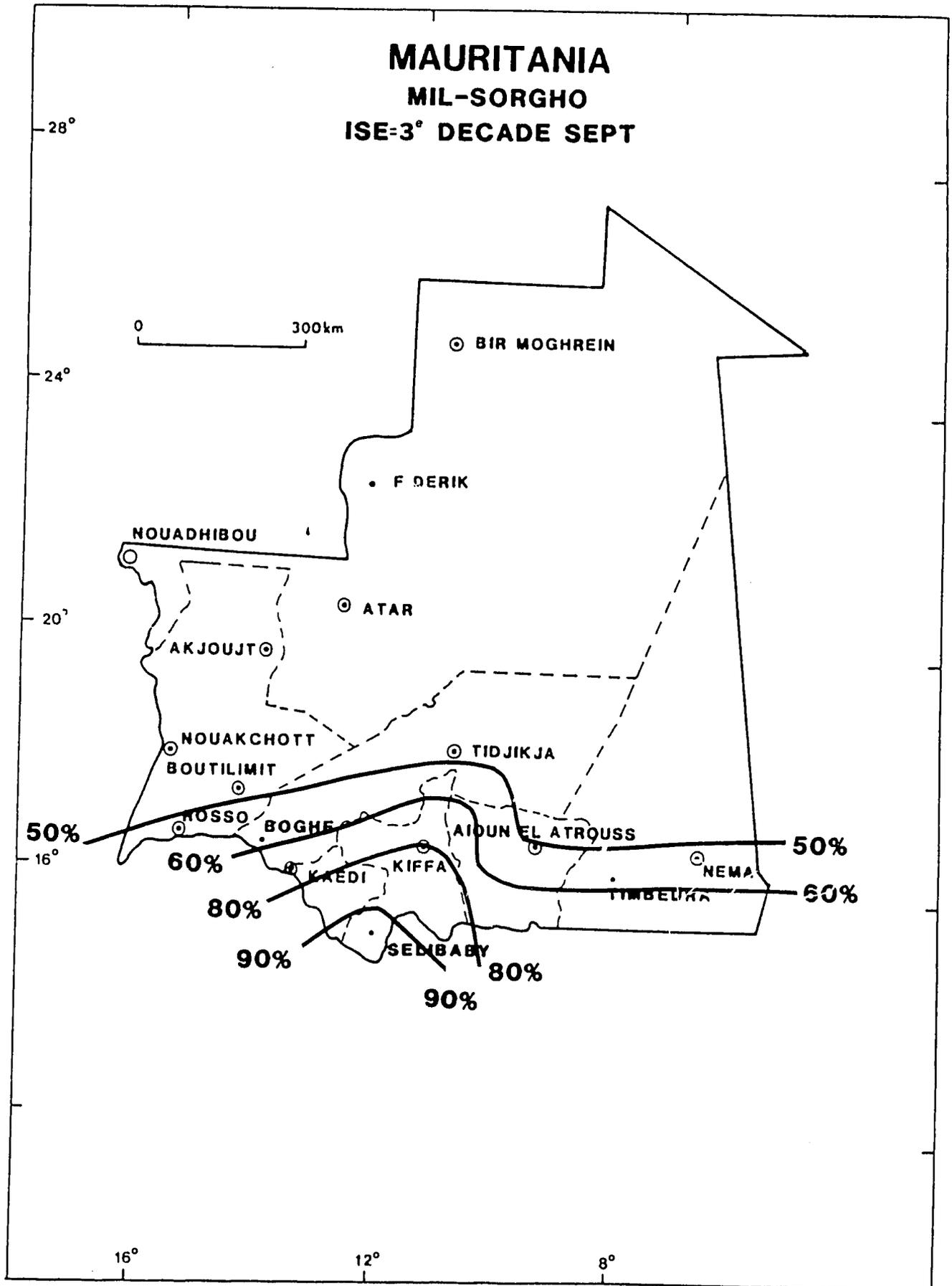


Figure 22

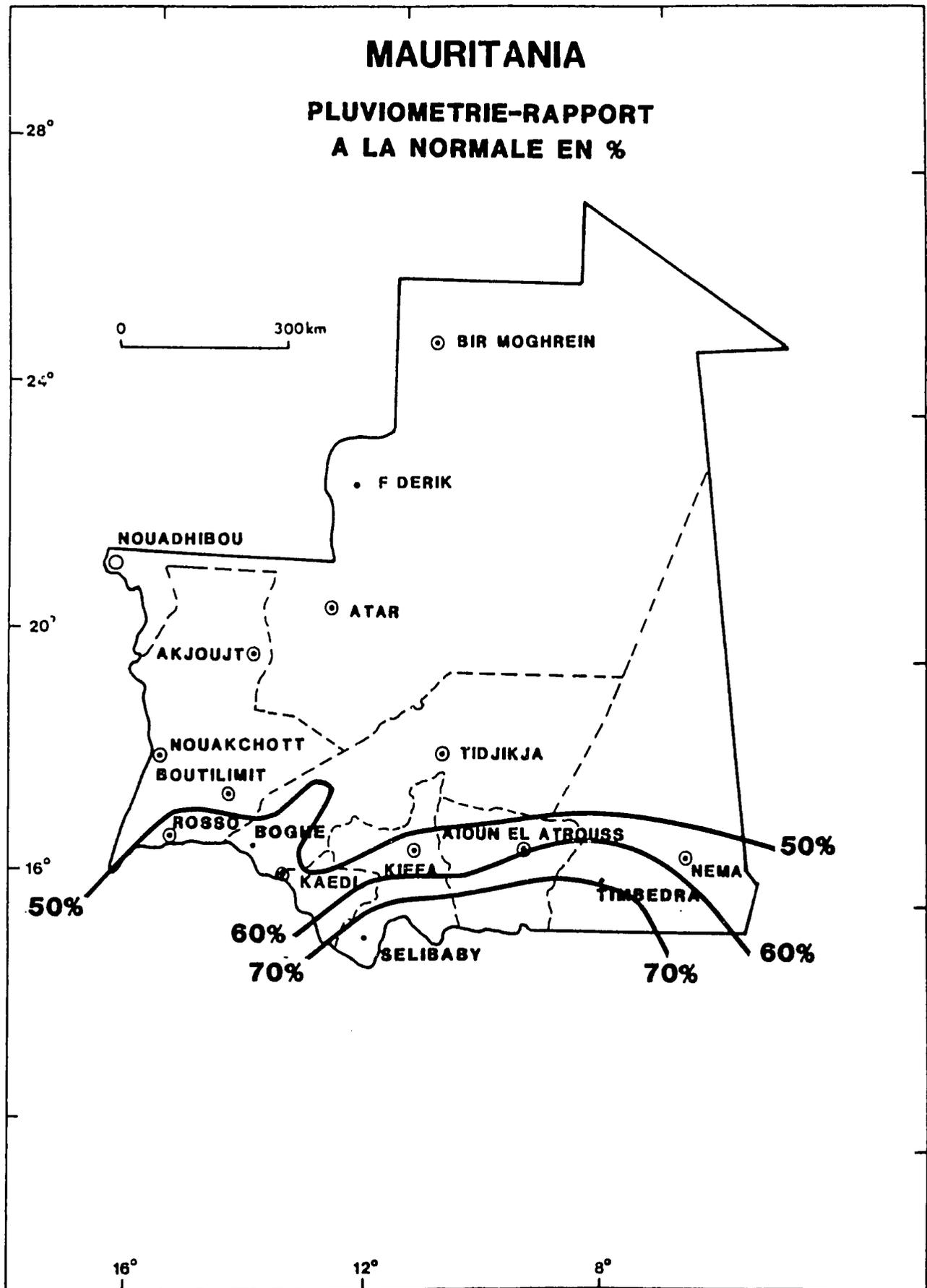
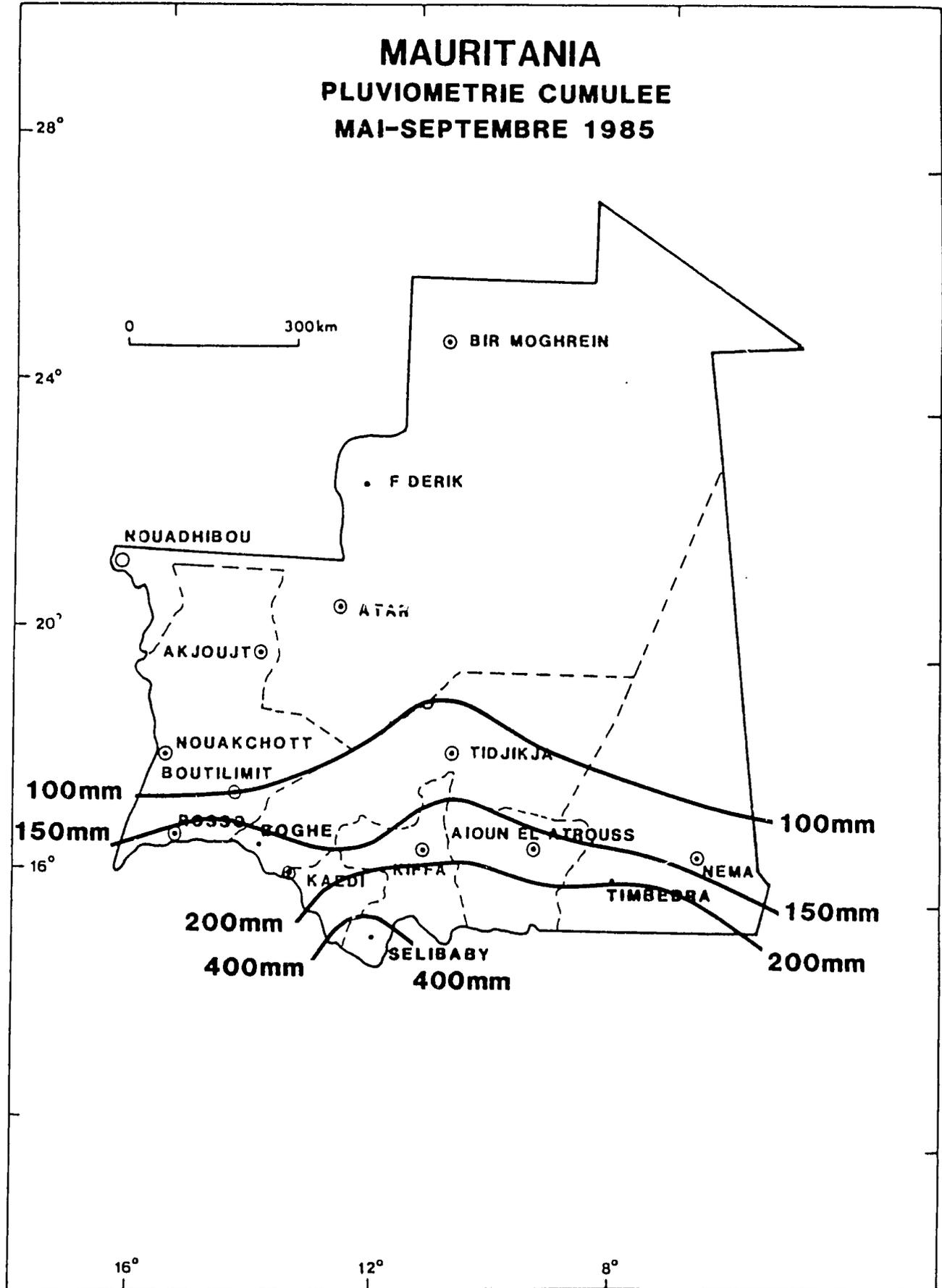


Figure 23



Quelques graphiques sont tracés pour faire ressortir l'importance de la pluviométrie et l'indice de satisfaction en eau des plantes de 1985 par rapport à 1984 (Figures 24-29).

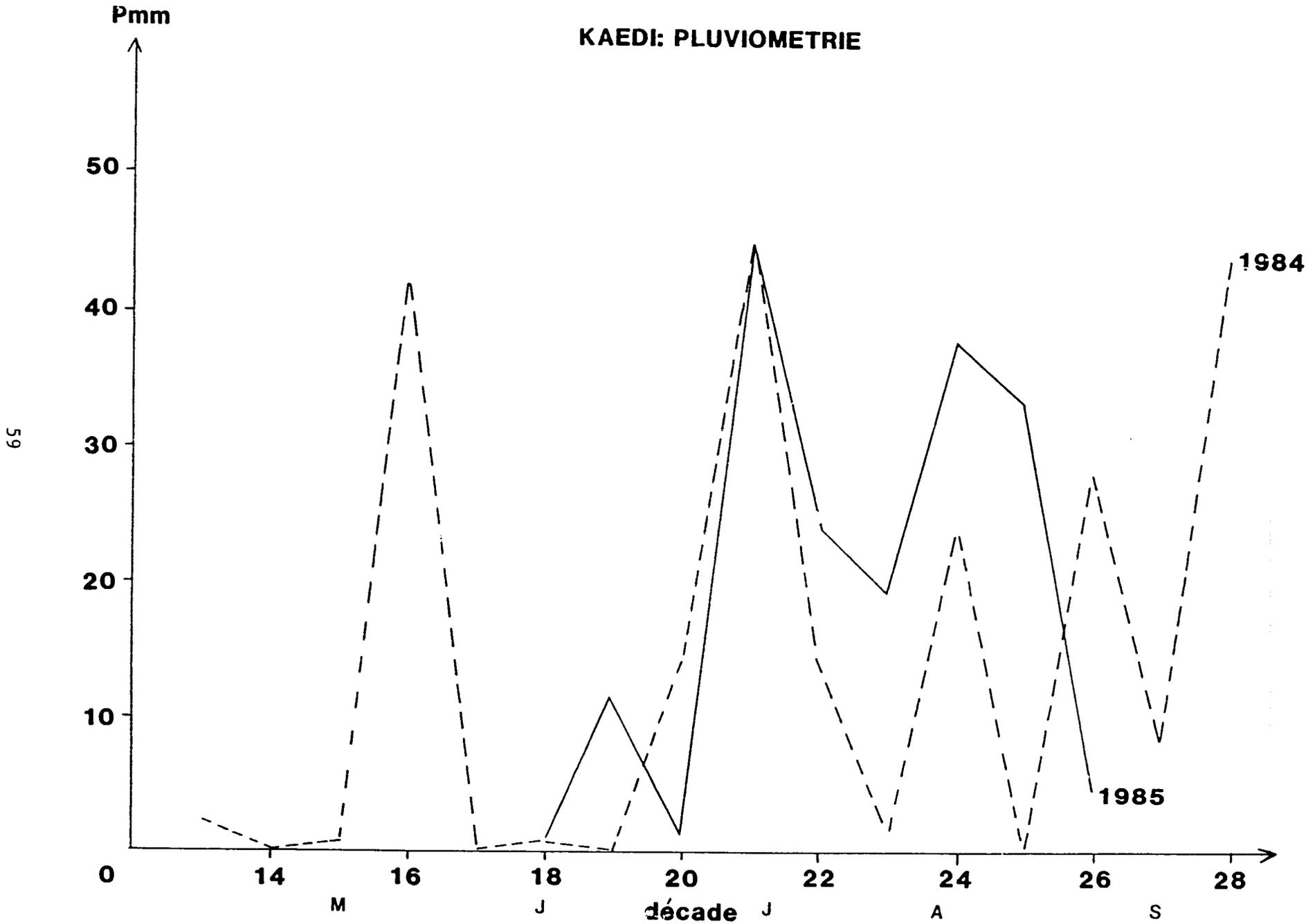


FIGURE 24

KAEDI: ISE

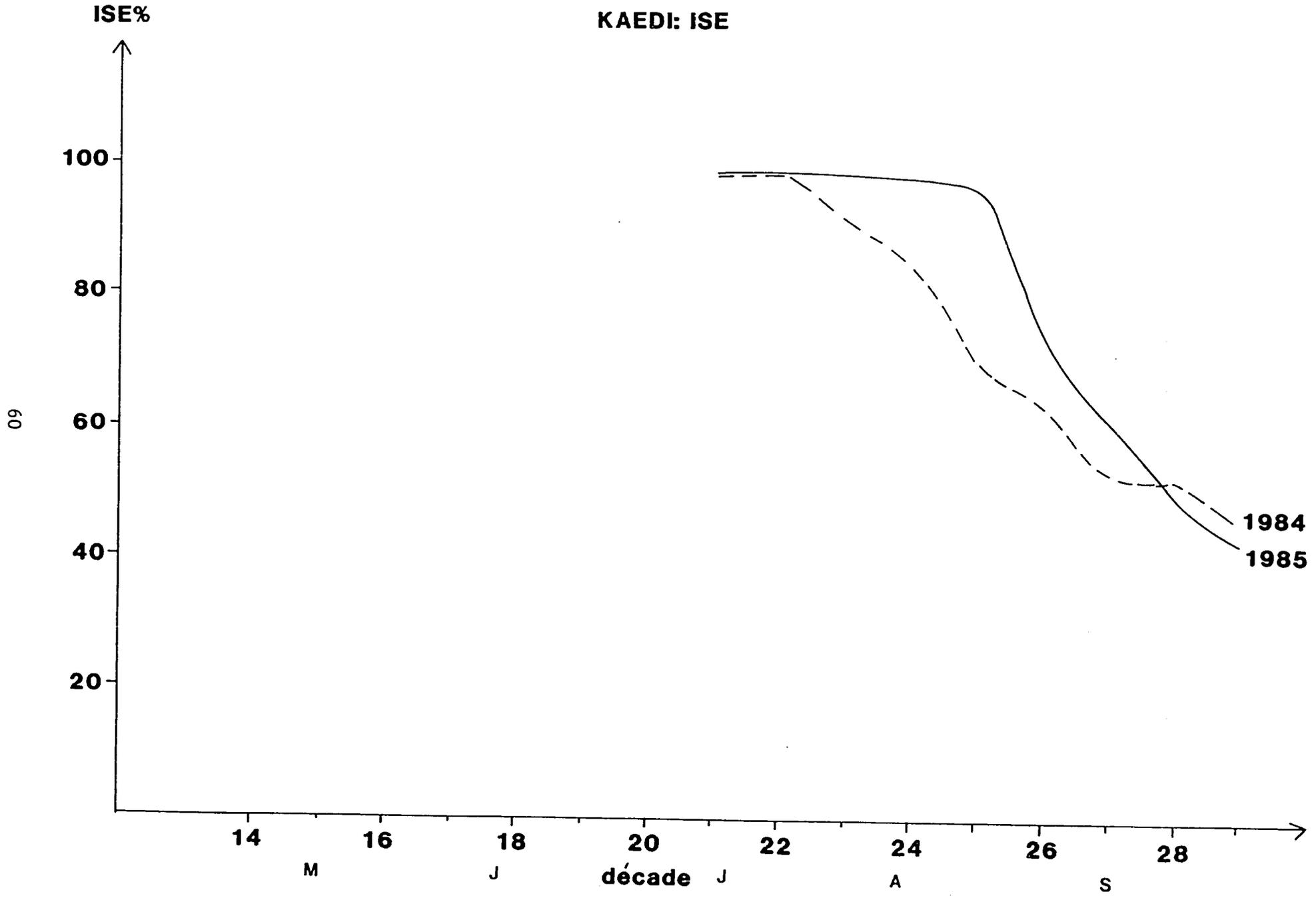


FIGURE 25

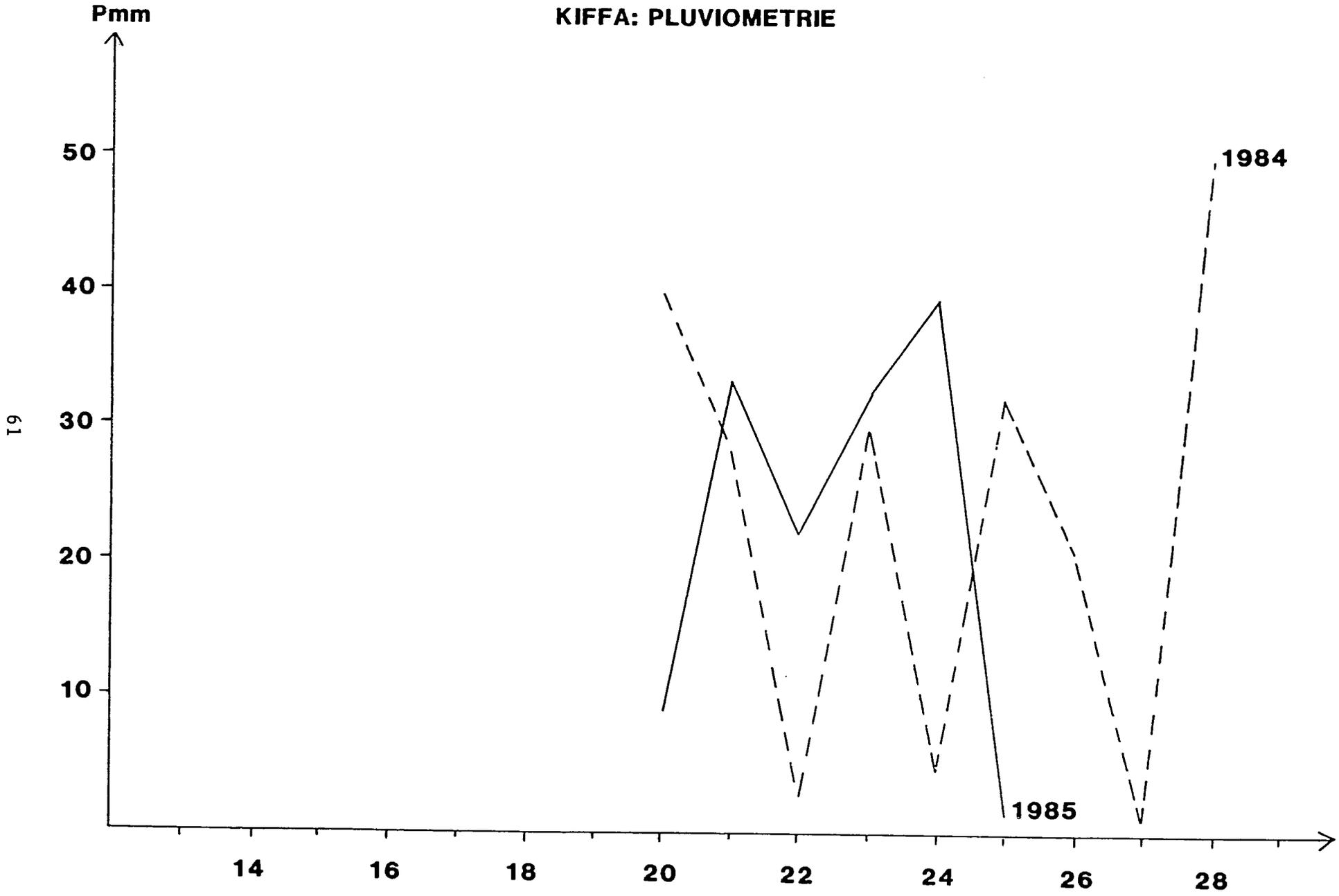


FIGURE 26

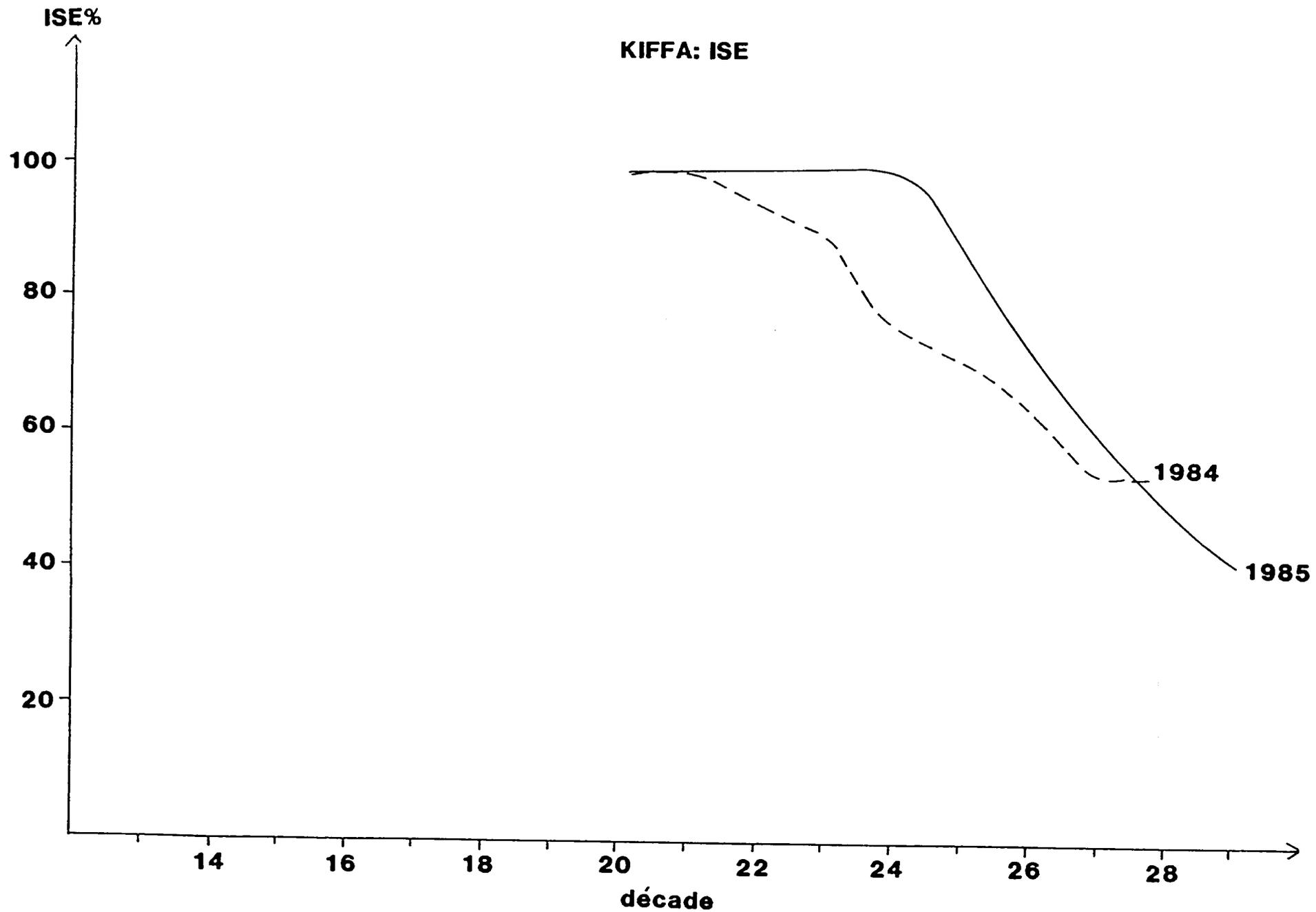
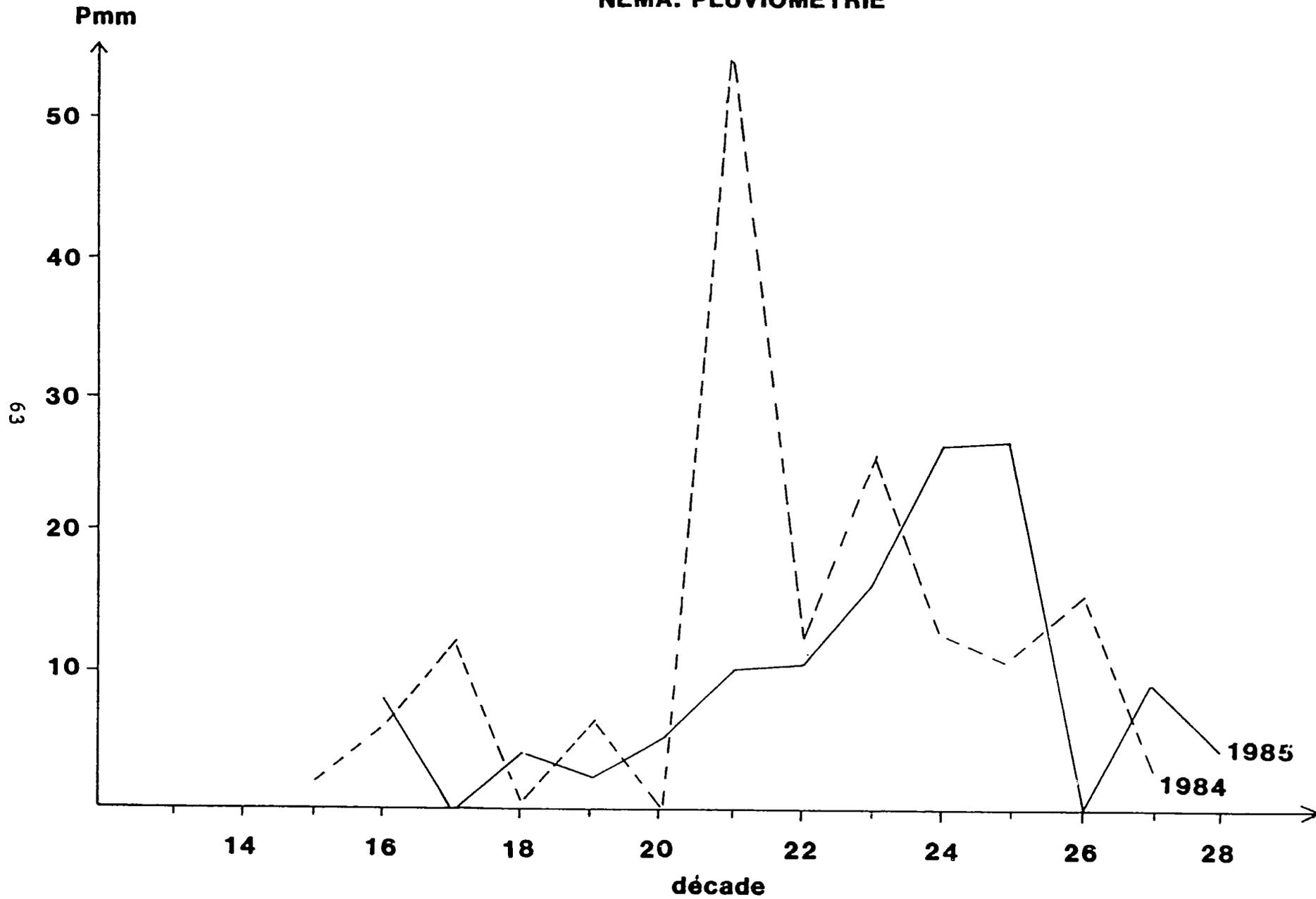
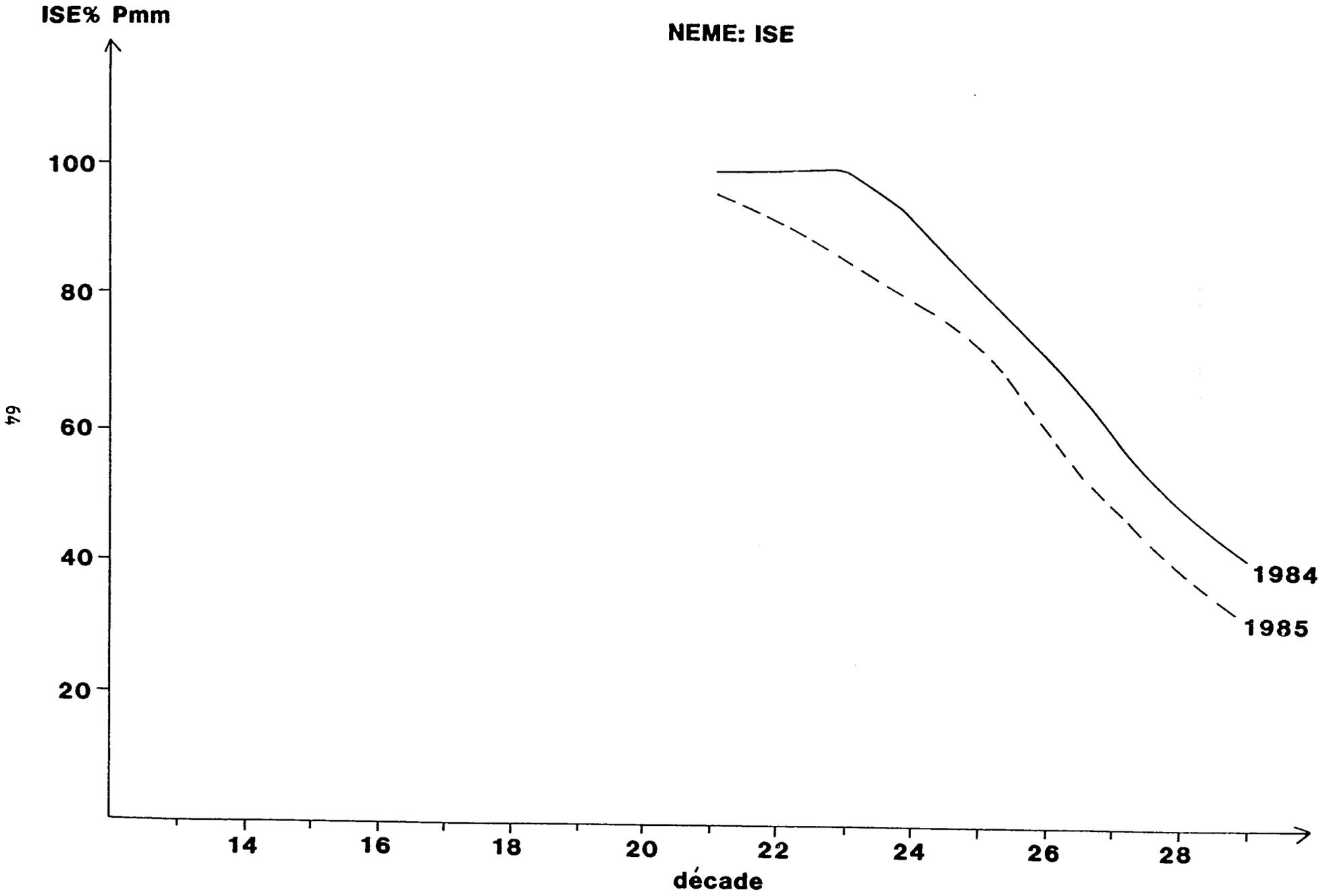


FIGURE 127

**NEMA: PLUVIOMETRIE**



**FIGURE 28**



**FIGURE .29**

## **ANNEXE A**

Groupe de Travail Pluridisciplinaire

L'initiative de création d'un Comité de Coordination AGRHYMET a été lancée lors de la réunion des experts du CILSS à Bamako (Mali).

Le comité Mauritanien de Coordination AGRHYMET est créé en avril 1983. La présidence est assurée par le chef de service de la Météorologie Nationale et le secrétariat général est confié aux services de l'Agrométéorologie et l'Hydrologie (Projet AGRHYMET). Toutes les directions techniques utilisateurs des produits AGRHYMET sont membres de ce comité à savoir: la Direction de l'Agriculture, la Direction du Génie Rural, la Direction de la Protection de la Nature, la Direction de l'Élevage, la Société Nationale du Développement Rural (SONADER), la Direction de la Planification et la Direction de la Météorologie Nationale (Figure 30). Les organismes membres observateurs de ce comité sont PNUD, FAO, PAM, USAID et CARITAS.

Le comité se réunit deux fois par an au niveau des directeurs. La première réunion se tient en début de campagne pour définir le programme à exécuter et la deuxième se tient en fin de campagne pour faire un constat de l'évaluation de la campagne agricole.

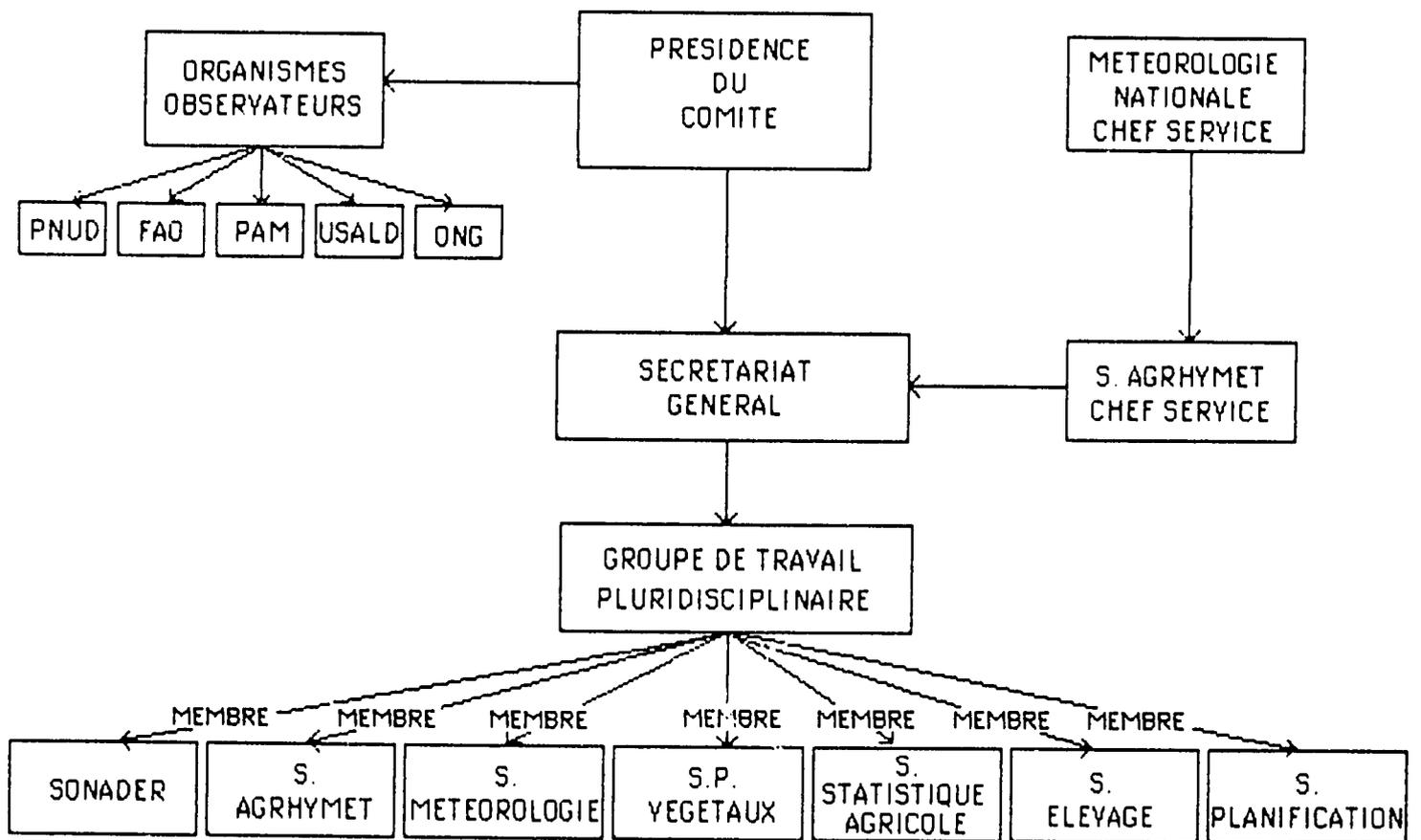
À l'issue de ce Comité de Coordination, un groupe de travail pluridisciplinaire est mis au pied pour exécuter les décisions prises par le Comité. Chaque Direction est représentée par un agent au niveau du GTP qui se réunit une fois par mois. Il peut y avoir des réunions extraordinaires si c'est nécessaire.

Le projet AGRHYMET ne possédant pas son propre réseau de télécommunication, la collecte des données se fait au niveau des autres services membres du GTP, et ensuite elles sont centralisées au Projet AGRHYMET pour l'élaboration des bulletins décennaires agrométéorologiques et mensuels. Ces bulletins sont ensuite tirés en plusieurs exemplaires et distribués aux utilisateurs.

Le premier problème majeur auquel le GTP fait face, c'est le manque de la transmission rapide de l'information. Avec l'installation du réseau de télécommunication du projet AGRHYMET, les problèmes seront amoindris pour la campagne 1986.

Le deuxième problème, c'est la communication avec la masse paysanne, car il faut trouver un langage facile et simple pour expliquer l'évaluation de la campagne et les méthodes agricoles aux paysans. Notre grand espoir se repose sur la radio rurale qui entrera en fonction bientôt.

FIGURE 30. ORGANIGRAMME DU COMITE DE COORDINATION



## **ANNEXE B**

Information supplémentaire concernant le NVI

Figure 31  
 REGIONAL AVERAGE SMOOTHED NVI

+ = 1983  
 \* = 1984  
 0 = 1985

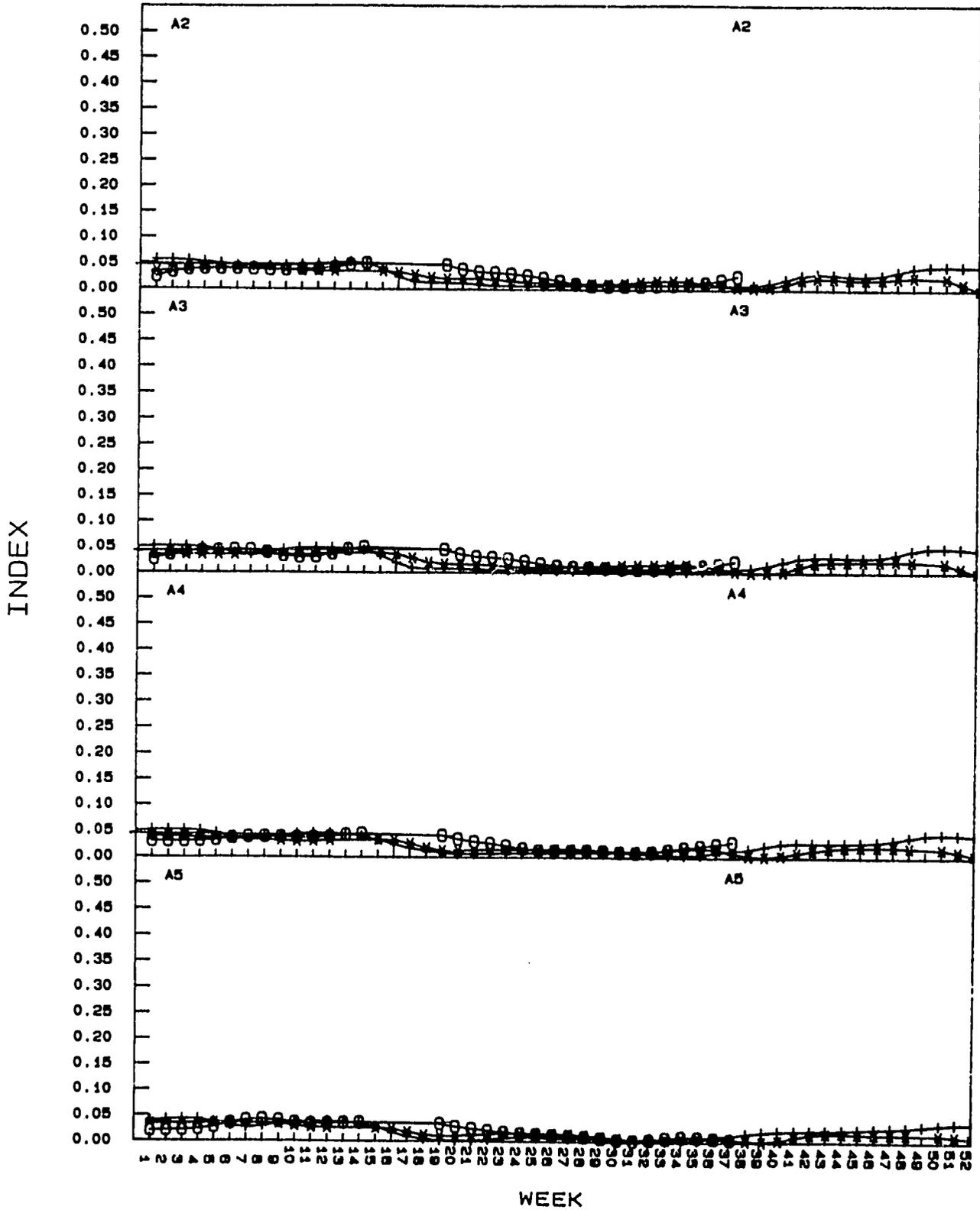


Figure 31  
 (sui vie)  
 REGIONAL AVERAGE SMOOTHED NVI

+ = 1983  
 x = 1984  
 0 = 1985

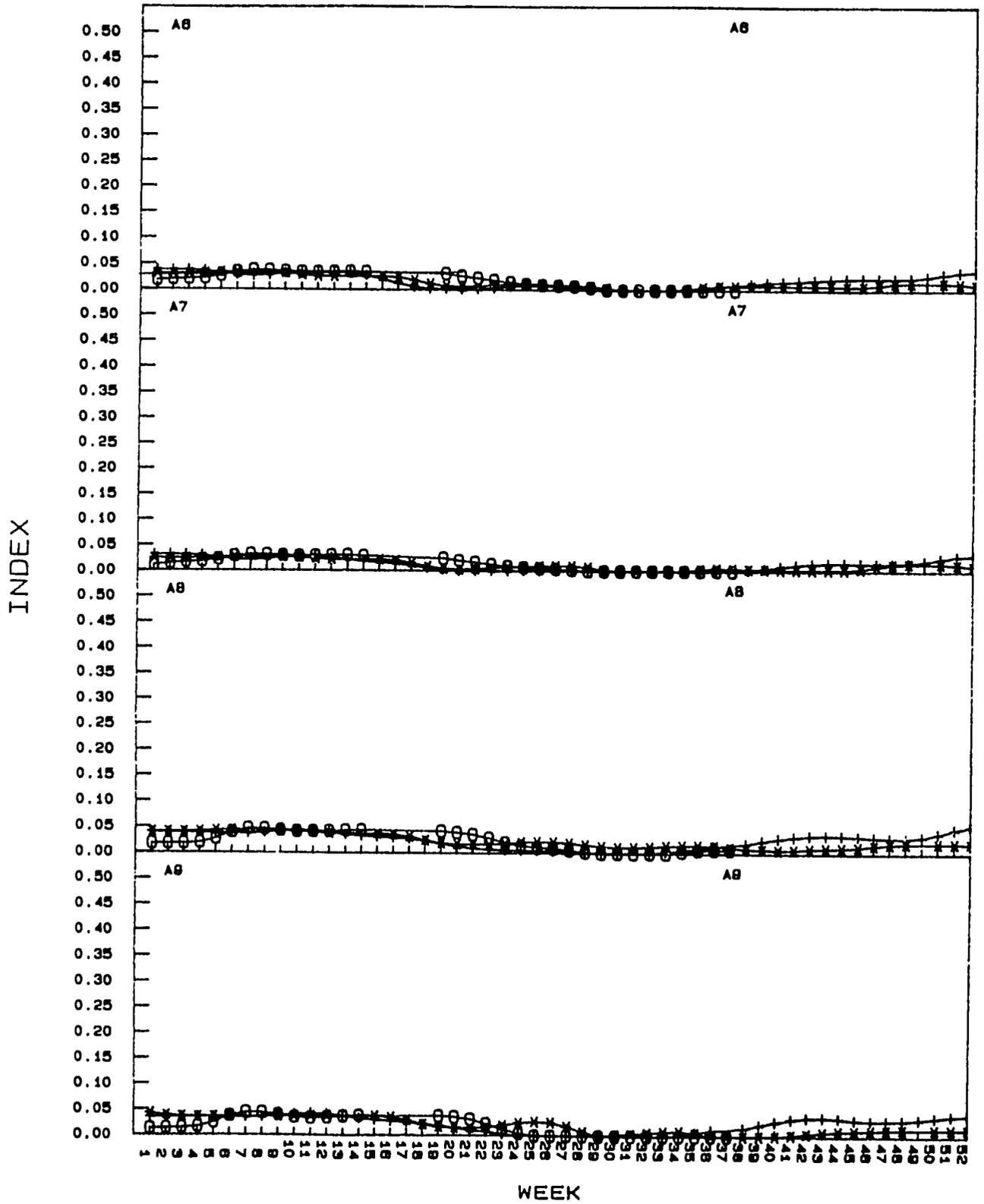


Figure 31  
 (suivie)  
 REGIONAL AVERAGE SMOOTHED NVI

+ = 1983  
 \* = 1984  
 0 = 1985

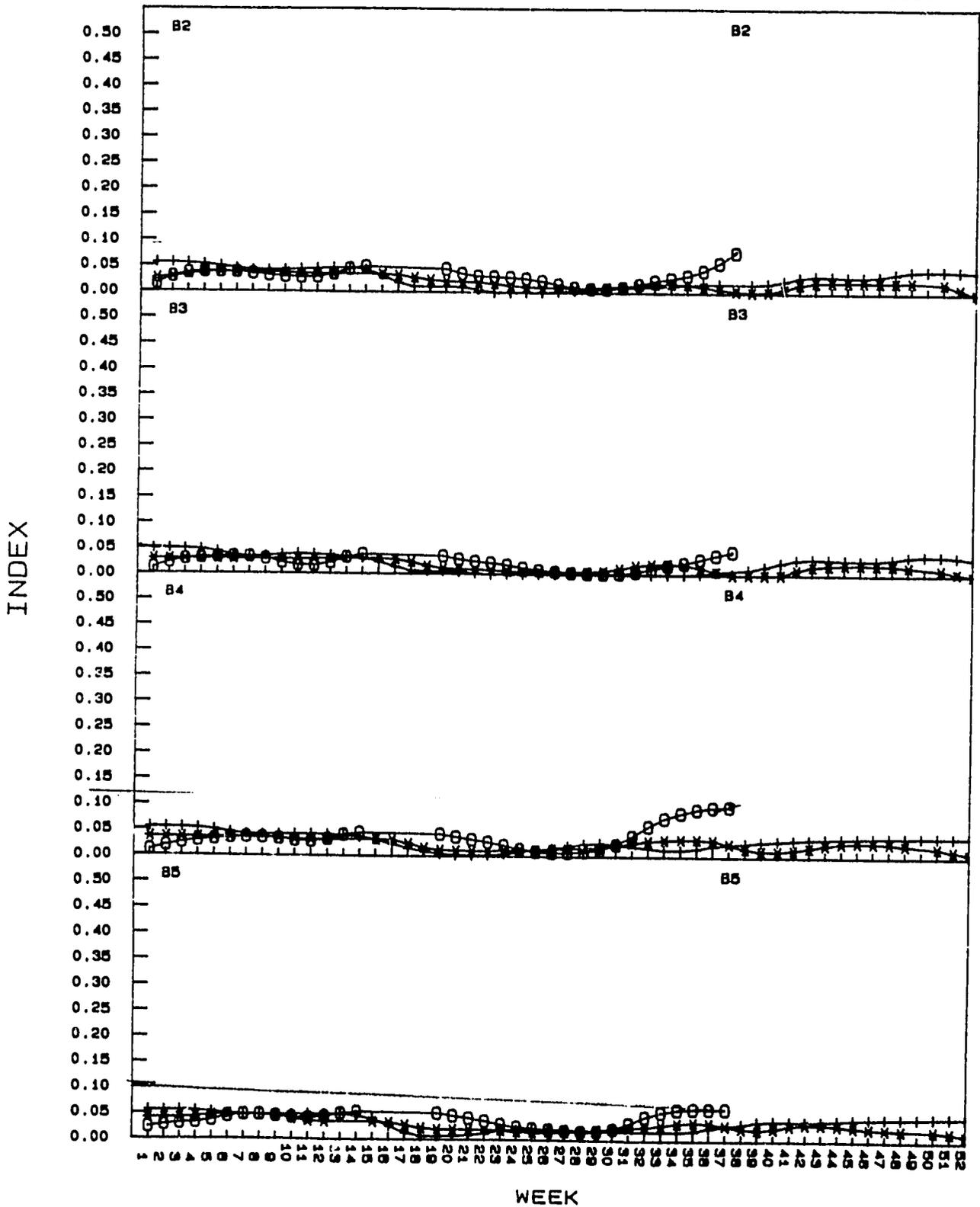


Figure 31  
(sui vie)

# REGIONAL AVERAGE SMOOTHED NVI

+ = 1983  
\* = 1984  
o = 1985

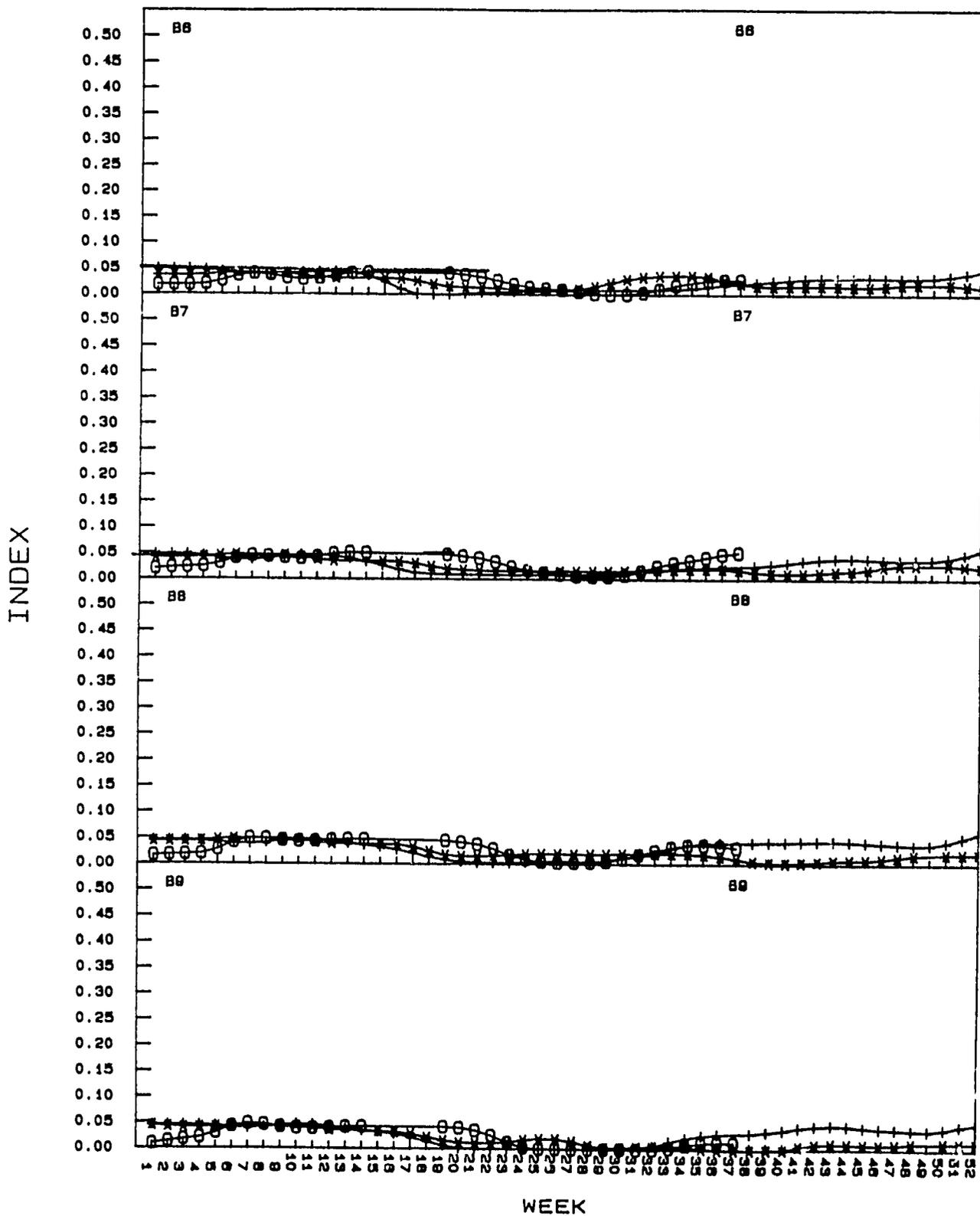


Figure 31  
(suiwie)

# REGIONAL AVERAGE SMOOTHED NVI

+ = 1983  
\* = 1984  
o = 1985

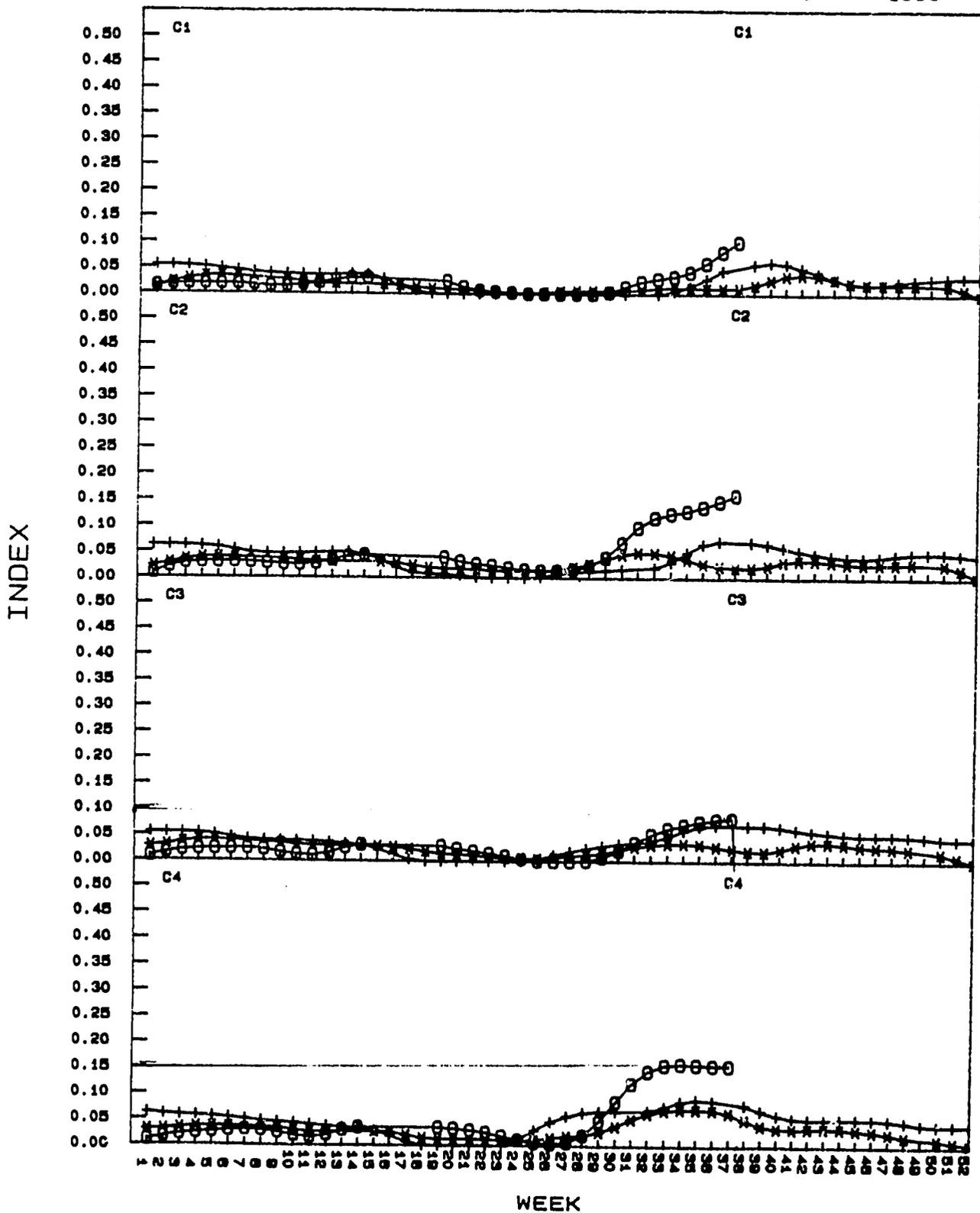


Figure 31  
 (suivie)  
 REGIONAL AVERAGE SMOOTHED NVI

+ = 1983  
 \* = 1984  
 0 = 1985

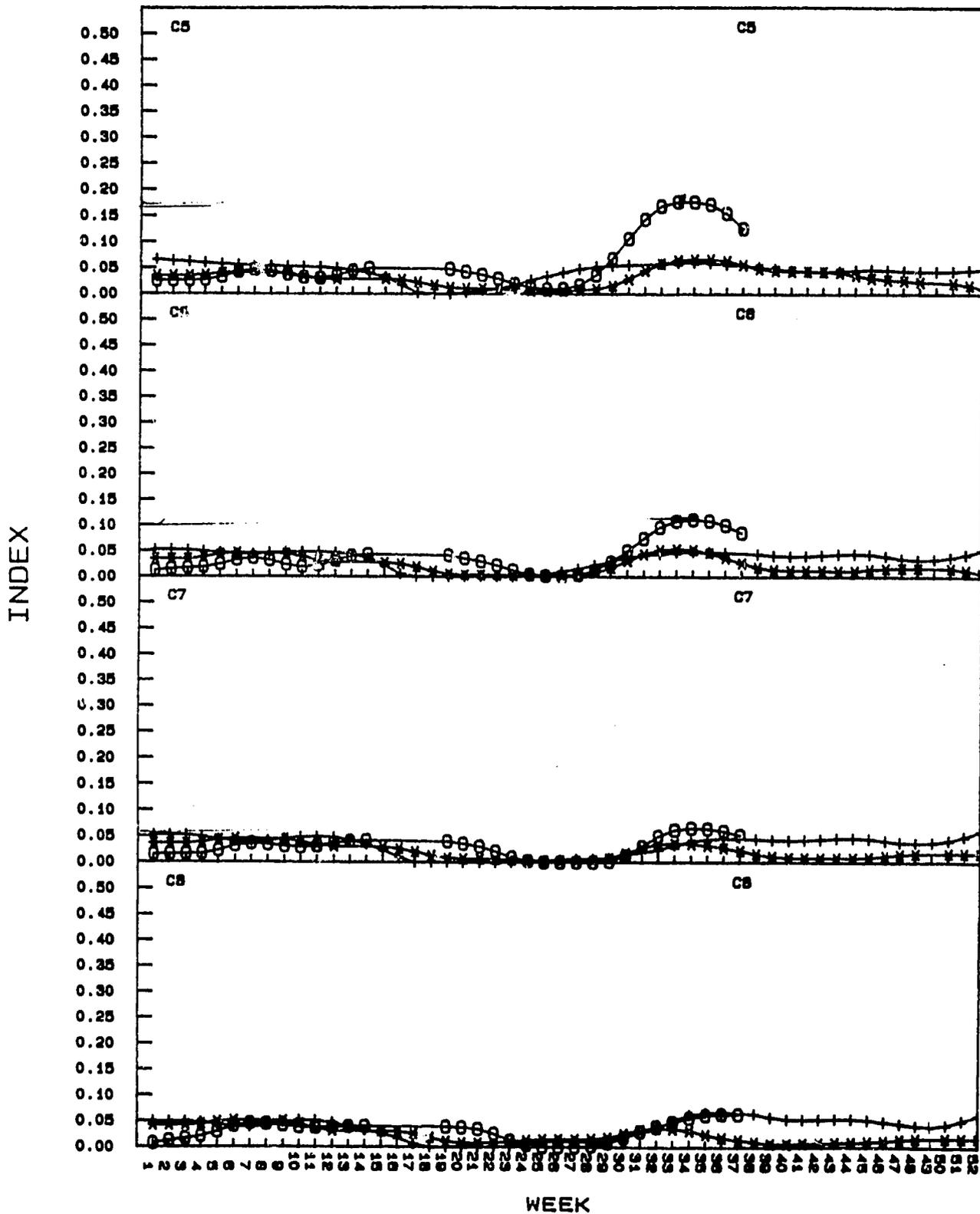


Figure 32

**ANALYSE DE REGRESSION DE  
LA RECOLTE CONTRE L'INDICE DE VEGETATION  
POUR LE SORGHU AU SAHEL, 1983 ET 1984**

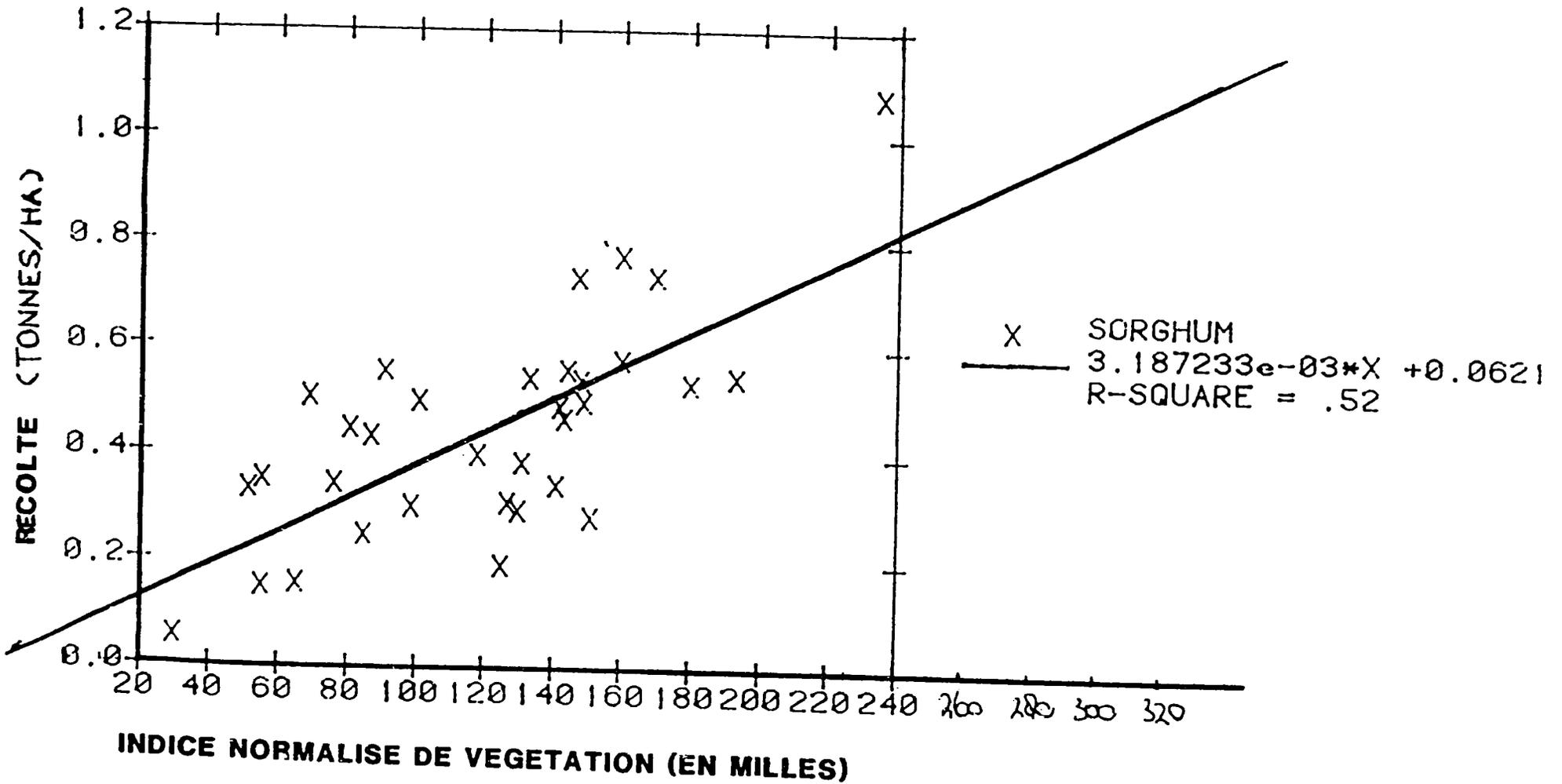


Figure 33

**ANALYSE DE REGRESSION DE  
LA RECOLTE CONTRE L'INDICE DE VEGETATION  
POUR LE MIL AU SAHEL, 1983 ET 1984**

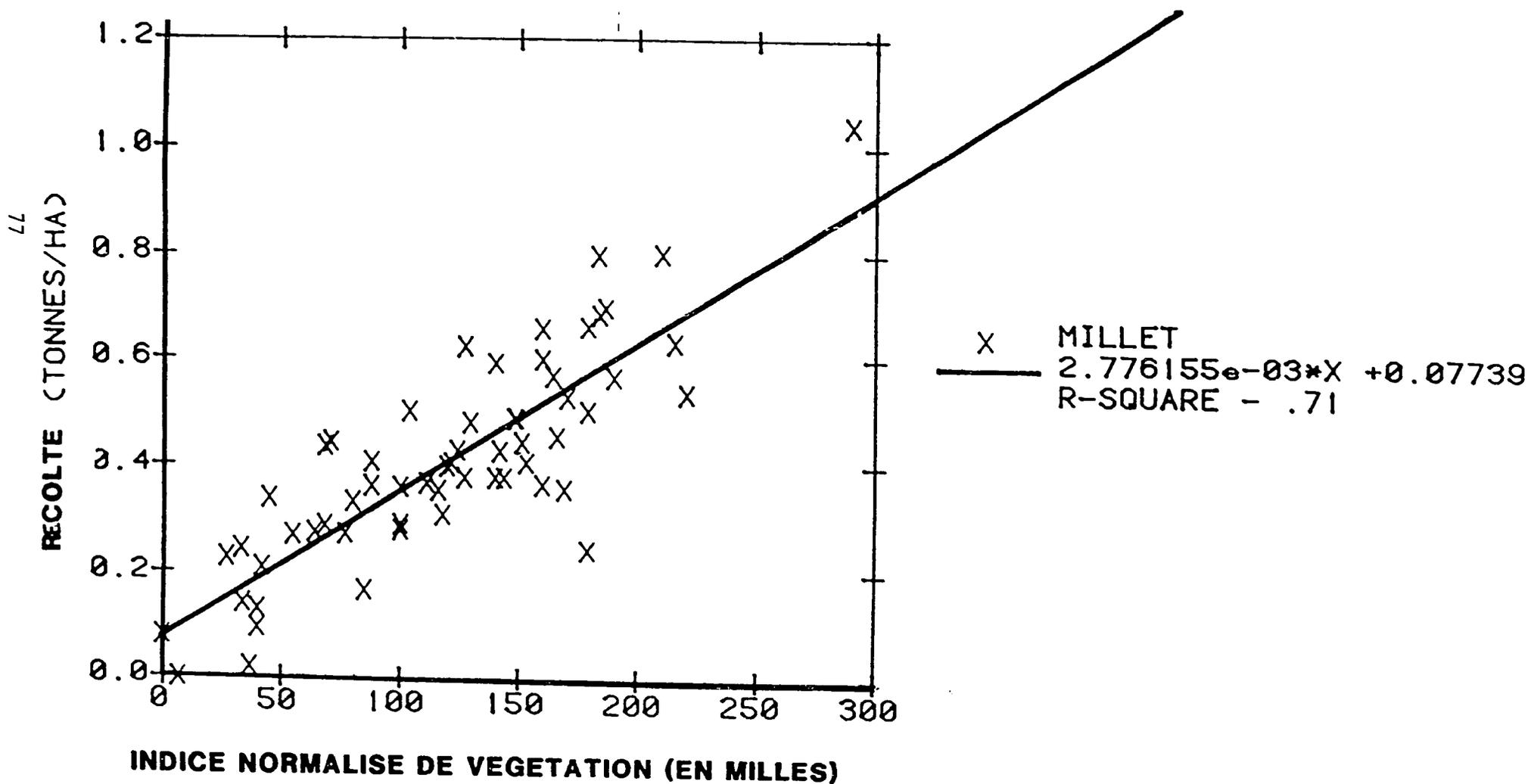


Figure 34

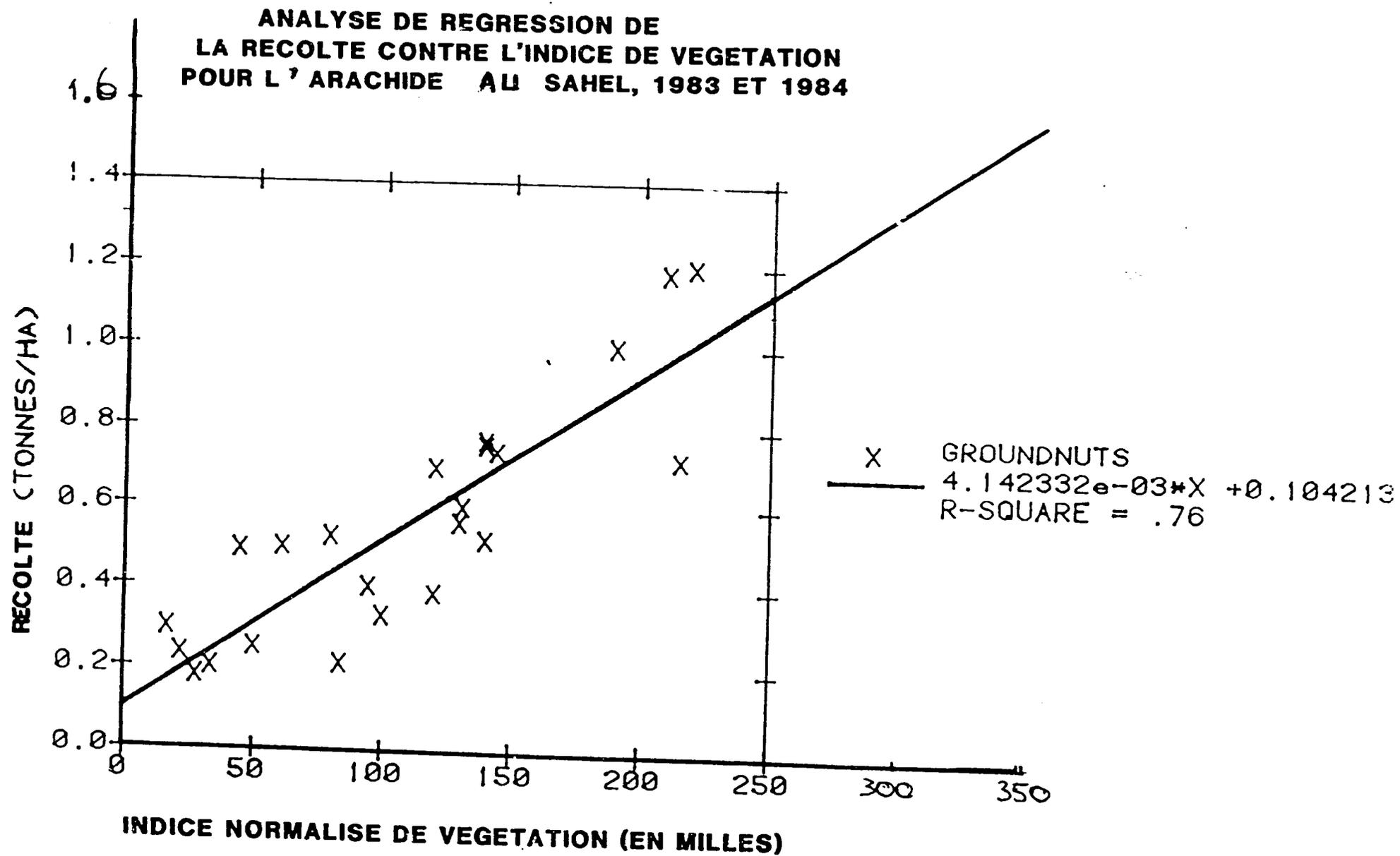


Figure 35

**BIOMASS VS NOAA AVHRR SATELLITE VEGETATION INDEX  
1983 AND 1984  
SENEGAL AND MALI**

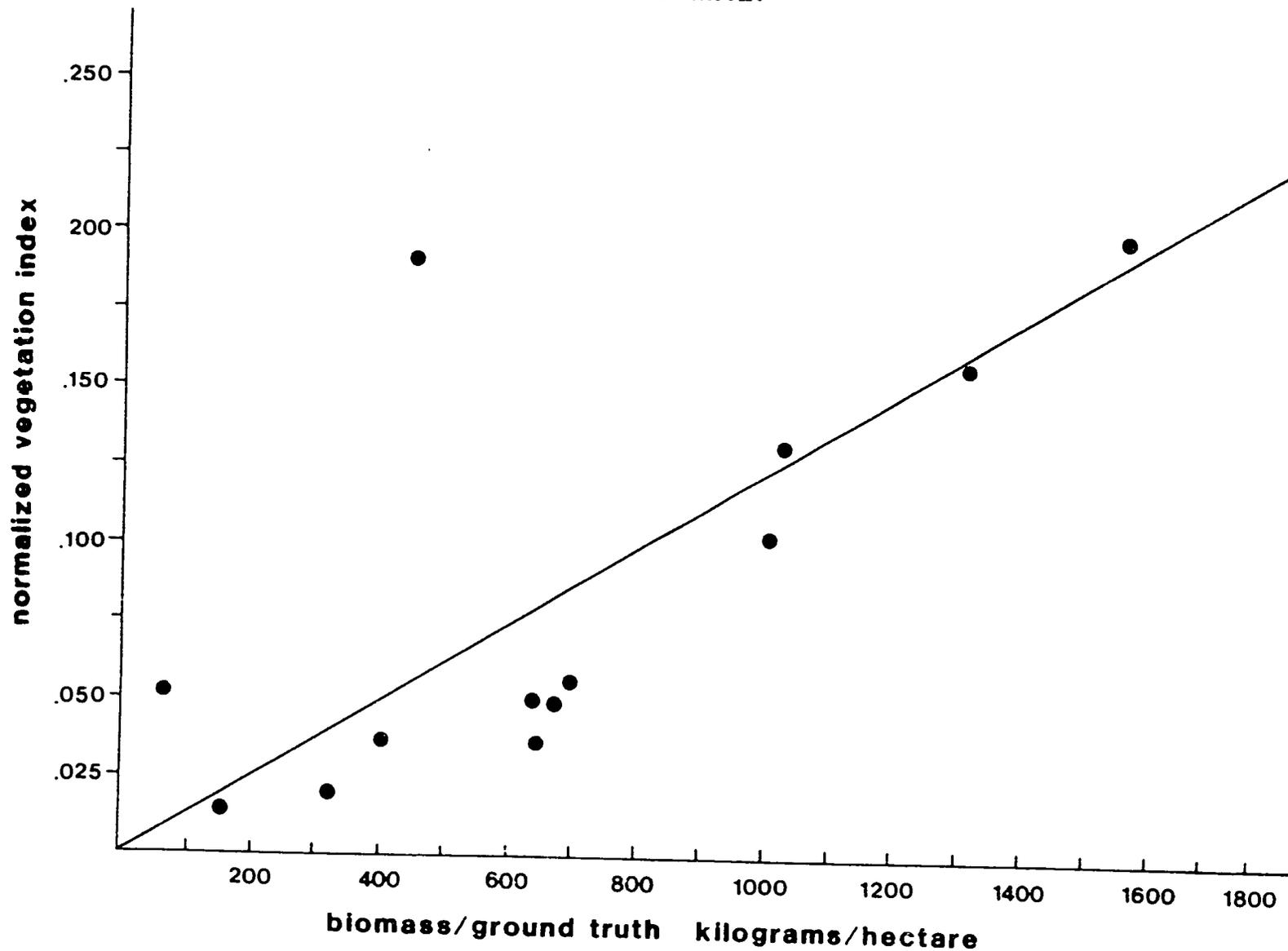
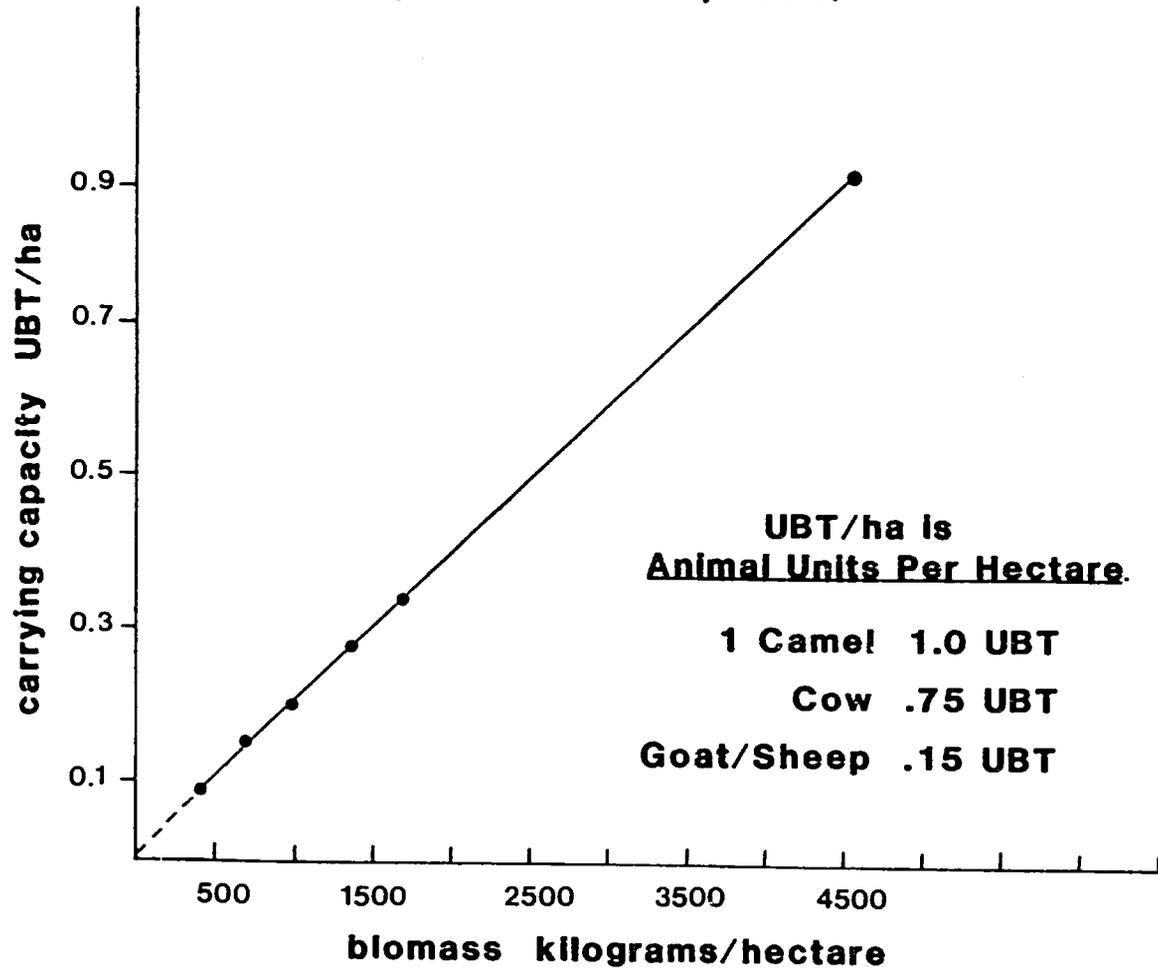


Figure 36

**RELATIONSHIP BIOMASS VS CARRYING CAPACITY  
(AFTER BOUDET, 1975)**



## **ANNEXE C**

Statistiques agricoles

Tableau 12. Mauritanie - Données de Sorgho/Mil

Année	Superficie	Production	Recolte
1969	250000	83000	0.332
1970	260000	50000	0.192
1971	200000	37500	0.188
1972	130000	25000	0.192
1973	160000	50000	0.313
1974	109000	45000	0.413
1975	110000	36000	0.327
1976	60000	21000	0.350
1977	109000	31000	0.284
1978	110000	21200	0.193
1979	100000	36600	0.366
1980	140000	66100	0.472
1981	140000	40000	0.286
1982	100000	20000	0.200
1983	55100	10379	0.188

## REFERENCES

- Ambroziak, R. A. 1984: A new method of incorporating meteorological satellite data into global crop monitoring. Proceedings at the XVIII Symposium on Remote Sensing of Environment, Paris, France, 1984.
- Boudet, G. 1975. Rapport sur la situation pastorale dans les pays du Sahel, FAO/EMASAR, IEMUT, 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.
- Sahel Course Lesson Plans. 1986. NOAA, AISC, CIAD, Models Branch, Columbia, MO.
- Van Dyk, Albert, C. Sakamoto and S. Callis. 1986. Crop Condition Assessment with NOAA Satellite Data, NOAA, Columbia, MO.