

TRAINING REPORT RAPPORT DE STAGE

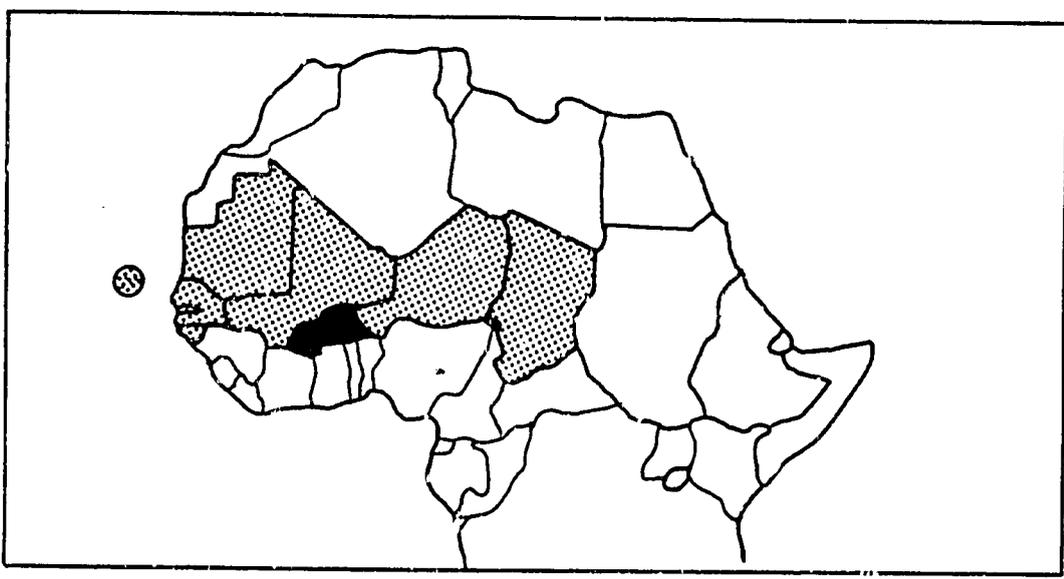
SPECIAL CLIMATIC IMPACT ASSESSMENT FOR CROPS AND RANGELANDS

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 BURKINA FASO EXEMPLES POUR LE BURKINA FASO



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

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

SANOUSI FOFANA

ADAMA ALHASSANE DIALLO



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 BURKINA FASO: RAPPORT DE STAGE ¹

à

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

et

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

préparé par
Sanoussi Fofana et Adama Alhassane Diallo

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 Agronome, Ministère Agriculture et Ingénieur Météorologie, Chef Service Agromet, Direction Météorologie Nationale, Ouagadougou, Burkina Faso.

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.

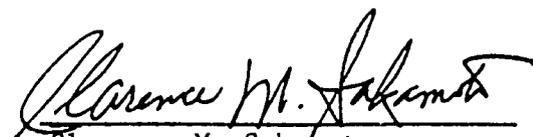
Le rapport de stage présente l'essentiel des techniques apprises et des résultats obtenus en suivant le programme du cours. Une contribution majeure des représentants de chaque pays a été l'amélioration du recueil des documents de base. Il est prévu que ce recueil soit utilisé dans chaque pays comme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

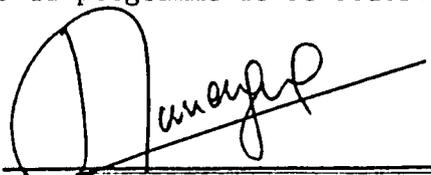
Ce cours aura été l'occasion pour un agrométéorologiste et un agroéconomiste du même pays de travailler ensemble sur les mêmes problèmes: ceux liés au processus unique mais multidisciplinaire devant conduire à l'évaluation de l'impact du temps sur l'agriculture et les pâturages.

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 il ont répondu avec intérêt. Ils ont fait l'effort nécessaire pour satisfaire à toutes les exigences du programme de ce cours.


Clarence M. Sakamoto
AISC/NOAA Coordinator


Jean-Louis Domergue
Coordonnateur pour AGRHYMET

REMERCIEMENTS

Ce cours que nous avons eu la chance de suivre du 11 mars au 18 avril 1986 à Missouri est l'expression d'une collaboration étroite entre la NOAA par ses services spécialisés, l'Université de Missouri et le Centre AGRHYMET. Il reste un exemple de tentative de transfert de technologie et procède de la volonté des différentes parties de mettre à la disposition des pays du Sahel en particulier les outils nécessaires à une meilleure approche de leur agriculture. Ce cours vient à point nommé eu égard à la situation difficile dans laquelle se trouve notre agriculture. De par son contenu et la qualité des conférenciers il a été sans conteste d'un grand apport pour nous.

Il nous plaît ici de remercier les autorités de la NOAA qui ont fait montre d'une grande compréhension des problèmes du Sahel en organisant ce cours, traduisant ainsi une des préoccupations majeures de nos états, qui est la maîtrise rapide et complète de notre environnement pour un meilleur bien être de nos concitoyens.

Nos remerciements s'adressent à toutes les autorités américaines qui à quelque niveau que ce soit ont contribué à l'organisation et au déroulement de ce cours. Eu particulier les autorités de la NOAA, de l'Université de Missouri qui, nonobstant leur calendrier que nous savons chargé, n'ont pas ménagé leurs efforts pour, soit assurer des conférences, soit résoudre tout problème survenu inévitablement par le regroupement de personnes d'horizons divers. Nous voudrions entre autres remercier le Dr. Clarence Sakamoto pour la disponibilité, la force de patience et de communication dont il a fait preuve pendant ce court et agréable séjour à notre endroit.

Nous pensons également au Dr. Wayne Decker, dont la présence témoigne de l'intérêt que rencontrent nos états en matière d'agriculture. Nous l'en remercions et souhaitons qu'il soit notre porte-parole auprès de l'Université de

Missouri pour l'assurer de notre disponibilité et notre reconnaissance en cette collaboration établie.

Nous remercions le Dr. Sharon LeDuc et l'ensemble de l'équipe NOAA/Université de Missouri qui ont établi les bases de cette collaboration entre les pays membres du CILSS par l'entremise de l'AGRHYMET et la NOAA/Université de Missouri. Nous voudrions particulièrement remercier Dr. Sharon LeDuc pour le dynamisme, la chaleur humaine et la confiance en cette coopération qui nous ont permis d'acquérir des outils de travail combien utiles.

Enfin, nos remerciements vont à l'ensemble du personnel du CIAM dont l'accueil chaleureux nous a permis de passer un agréable séjour. Nous sommes particulièrement reconnaissants à l'endroit de Mike Benzinger, Judy Trujillo et Anne-Marie Kaylen pour la disponibilité sans faille dont ils ont fait preuve à notre égard. Nous nous excusons auprès de tous ceux dont les noms n'ont pu être cités.

TABLE DES MATIERES

	<u>Page</u>
AVANT-PROPOS.....	i
REMERCIEMENTS.....	iii
TABLE DES MATIERES.....	v
LISTE DES TABLEAUX.....	ix
LISTE DES FIGURES.....	x
I. INTRODUCTION.....	1
II. TECHNIQUES D'EVALUATION DE L'ETAT DES CULTURES.....	3
A. La méthode FAO.....	4
1. Description et données requises.....	4
2. Les limites de la méthode.....	4
3. Les produits obtenus.....	6
B. La méthode NOAA.....	6
1. Description et données requises.....	6
2. Les limites de la méthode.....	6
3. Les produits obtenus.....	6
C. La chaîne de suivi AGRHYMET.....	7
1. Description et données requises.....	7
2. Les étapes suivies.....	7
3. Les limites de la méthode.....	8
4. Les produits obtenus.....	8
D. Méthodes agroclimatiques.....	9
1. Les données de précipitation.....	9
a. La moyenne ou la normale pluviométrique.....	11
b. Détermination des valeurs percentiles.....	11
c. Détermination de la médiane théorique par la formule gamma.....	12

TABLE DES MATIERES
(suivie)

	<u>Page</u>
2. L'indice FAO de bilan hydrique.....	16
a. Faiblesse de l'indice.....	17
E. Méthodes de télédétection.....	17
1. Caractéristiques des satellites.....	18
a. Satellites NOAA-9 et ses caractéristiques orbitales.....	22
b. Les caractéristiques du capteur AVHRR.....	22
2. Les images ACCS (Ambroziak Color Coordinate System).....	23
a. Les relation entre le canal 1, le canal 2 et l'indice de végétation (NVI).....	25
b. L'interprétation des images ACCS.....	28
c. Effets des propriétés du sol et du développement de la végétation sur ACCS.....	30
d. Effets dès pratiques culturales et des conditions climatiques sur ACCS.....	30
F. Approches de la description et de l'analyse de l'Etat des cultures et des pâturages à l'aide du Système d'Information Géographique (GIS).....	30
G. Techniques de prévision des rendements.....	38
1. Analyse des statistiques agricoles.....	38
a. Description des méthodes de collecte des statistiques agricoles au Burkina Faso.....	38
b. Techniques utilisées par le ministère américain de l'agriculture pour évaluer la production agricole du maïs.....	40
i) Estimation de la superficie emblavée en maïs.....	40
ii) Classification des terres.....	41
iii) Stratification.....	41
iv) Estimation des récoltes.....	41
v) Modèles de prévisions objectives des récoltes.....	41

TABLE DES MATIERES
(suivie)

	<u>Page</u>
2. Analyse de modèles de rendement/précipitation.....	43
a. Utilisation de pluviométrie pondérée.....	43
b. Le triangle de la matrice de corrélation.....	44
c. Les modèles de régression rendement/pluviométrie.....	48
d. Mécanismes de développement des modèles.....	48
e. Comment tester les modèles.....	50
f. Les facteurs qui affectent les rendements agricoles.....	53
i) La vraisemblance des données culturelles et météorologiques.....	53
ii) Technologie et tendances climatiques.....	55
iii) Quantité de données requises pour un modèle.....	57
iv) Validité des données.....	57
v) Les vraisemblances agronomiques.....	57
vi) Les statistiques.....	62
vii) Résumé.....	62
3. L'indice de végétation normalisé.....	62
4. L'analyse des modèles statistiques entre l'indice de végétation normalisé (NVI) et le rendement.....	64
III. EVALUATION DE LA CAMPAGNE AGRICOLE 1985 AU BURKINA FASO.....	71
A. Vue générale.....	82
B. La végétation et les parcours en 1985.....	82
C. Situation des cultures.....	89
D. Analyse de conditions météorologiques.....	89
IV. ANNEXES	
1. Le G.T.P. au Burkina Faso.....	99
A. Le G.T.P. - son fonctionnement.....	99

TABLE DES MATIERES
(suivie)

	<u>Page</u>
B. Le G.T.P. - ses difficultés.....	102
C. Recommandations.....	103
2. Données de rendements.....	104
REFERENCES.....	111

LISTE DES TABLEAUX

		<u>Page</u>
1	L'indice de bilan hydrique FAO.....	5
2	Série chronologique de la pluviométrie de Dédougou pour la période de juillet.....	13
3	Etude statistique de la pluviométrie de la région de Dédougou pour le mois d'août.....	14
4	Effet de la végétation sur le canal 1 et le canal 2 dans deux zones.....	32
5	Influence des maladies ou du stress sur la réflectance des cultures.....	32
6	Cumul progressif de la pluviométrie (1979-1983) de la station de Gaoua pour la région agricole de Bougouriba.....	45
7	Triangle de corrélation.....	46
8	Calcul du coefficient de Spearman.....	49
9	Test de jackknife.....	51
10	Test de bootstrap.....	52
11	Coefficient de corrélation du sorgho au Tchad.....	61
12	Calendrier cultural pour le Soudan.....	63
13	Rendement de sorgho (kg/ha) par région agricole en 1985 déterminé par NVI.....	85
14	Rendement de mil (kg/ha) par région agricole en 1985 déterminé par NVI.....	86
15	Capacité de charge (UBT/ha) des pâturages par région agricole en 1985 déterminé par NVI.....	87
16	Production de biomasse (kg/ha) par région agricole déterminée par NVI (deuxième semaine d'août 1985).....	90
17	Rendement d'arachide (kg/ha) par région agricole déterminé par NVI (deuxième semaine d'août).....	91

LISTE DES FIGURES

		<u>Page</u>
1	Spectre électromagnétique.....	19
2	Illustration du concept de signature spectrale.....	20
3	Satellites opérationnels d'observation terrestre.....	21
4	Sensibilité spectrale.....	24
5	Présentation des objets en fonction de canal 1, canal 2 et NVI.....	27
6	La relation d'intensité, de teinte et de saturation avec le NVI.....	27
7	Cartographie des valeurs de NVI avec le système de coloration ACCS.....	29
8	Effet du développement de la végétation sur les canaux 1 et 2.....	31
9	Structure conceptuelle d'un Système d'Information Géographique (GIS)....	34
10	Compilation des composantes du manuel GIS.....	35
11	Version simplifiée de la procédure GIS.....	37
12	Série chronologique des rendements de maïs en Somalie.....	54
13	Coupe chronologique du rendement de maïs dans l'état d'Iowa.....	56
14	Les rendements de sorgho au Tchad.....	58
15	Les stations pluviométriques au Tchad.....	59
16	La distribution de sorgho en cinq régions au Tchad.....	60
17	Comparaison de trois indices de végétation.....	65
18	Le DVI standardisé (SDVI) contre le et NVI standardisé (SNVI).....	66
19	Le RVI standardisé (SRVI) contre le NVI standardisé (SNVI).....	67
20	Coupes chronologiques du RVI au Soudan.....	68
21	Le RVI lissé avec la procédure 42534.....	69
22	Le RVI lissé avec les séries de Fourier.....	70
23	Le NVI contre le rendement de mil et de sorgho.....	72
24	Le NVI contre le rendement de mil et de sorgho au Sahel.....	73

LISTE DES FIGURES
(suivie)

	<u>Page</u>
25 Analyse de régression du rendement contre le pour les arachides au Sahel, 1983 et 1984 NVI.....	74
26 Analyse de régression du rendement contre le NVI pour le mil au Sahel, 1983 et 1984.....	75
27 Indice de végétation du satellite NOAA contre biomasse.....	76
28 Relation entre biomasse et capacité de charge.....	77
29 Relation entre biomasse et charge des parcours.....	78
30 Relation entre les classe d'indice de végétation et la biomasse.....	79
31 Echelle de l'indice de végétation normalisé.....	80
32 Indice de végétation normalisé régional.....	81
33 Pluviométrie cumulée mai-octobre 1985.....	83
34 Données de l'indice de végétation/biomasse normalisé (deuxième semaine d'août).....	84
35 Comparaison des données de l'indice de végétation/biomasse normalisé (deuxième semaine d'août).....	88
36 Evolution des cultures mil/sorgho: indice de satisfaction en eau à la maturité (1984).....	92
37 Evolution des cultures mil/sorgho: indice de satisfaction en eau à la maturité (1985).....	93
38 Dates de semis mil/sorgho 1984 numéro de la décade dans.....	94
39 Dates de semis mil/sorgho 1985 (numéro de la décade dans l'année).....	95
40 Pluviométrie cumulée pourcentage par rapport à la normale (mai-octobre).....	97
41 Organigramme du Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage.....	100
42 Organigramme du Ministère des Transports et des Communications.....	101

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

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 des 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 agrostaticien 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 en 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 de base complète le rapport.

II. TECHNIQUES D'EVALUATION DE L'ETAT DES CULTURES

Au niveau du Burkina Faso, comme dans tous les pays du Sahel, plusieurs méthodes développées sont utilisées pour l'évaluation de la campagne agricole dont la méthode FAO, NOAA et la chaîne de suivi AGRHYMET.

A. La méthode FAO

1. Description et données requises

La méthode FAO est basée sur l'établissement d'un bilan hydrique simplifié: la pluviométrie décadaire, l'ETP, les coefficients culturaux, la réserve maximale et actuelle du sol en eau, les pertes par drainage ou ruissellement (surplus ou déficit) et l'indice sont les différents paramètres entrant dans son établissement. Le modèle est lancé quand la pluviométrie décadaire atteint un certain seuil et l'indice est alors égal à 100 (I_0). Cet indice (I_1) est diminué d'autant de points égaux à la part des besoins en eau des plantes non satisfaite (BE_p) divisée par les besoins globaux en eau des plantes (BE_g) et multipliée par 100.

$$I_0 = \frac{BE_p}{BE_g} \times 100$$

$$I_1 = I_0 - \Delta I$$

Quand le surplus dépasse 100 mm l'indice est diminué de trois.

$$\text{RES max} = 60 \text{ mm}$$

$$\text{soit } BE = 450 \text{ mm}$$

$$I_0 = \frac{6}{450} \times 100 = 1,3$$

$$I_1 = 100 - 1 = 99$$

Tableau 1 montre les résultats de la méthode FAO.

2. Les limites de la méthode

- La méthode ne donne qu'une appréciation qualitative.
- Elle ne rend pas compte des reprises chez les plantes après un stress hydrique aux premiers stades de croissance.
- La série historique de I est difficile à utiliser pour les études statistiques, car les I ne prennent pas en compte l'adoption des techniques culturales.

Tableau 1
L'indice de bilan hydrique FAO

Décades	1	2	3	4	5	6
Pa	40	15	45	20	0	5
ETP	60	62	60	58	55	50
Kc	,3	,3	,4	,4	,4	,5
BE	18	19	24	23	22	25
Pa-BE	22	-4	21	-3	-22	-6
RES	22	18	39	36	14	0
S/D	0	0	0	0	0	0
I	100	100	100	100	100	99

3. Les produits obtenus

- Un tableau de suivi du bilan hydrique et un histogramme.
- Une carte des indices FAO.

B. La méthode NOAA

1. Description et données requises

La méthode NOAA est basé sur le calcul de percentiles de la pluviométrie mensuelle et cumulée. Les valeurs rapportées sur une carte déterminent différents types de zones auxquelles correspondent des situations de la campagne agricole.

Les pluviométries mensuelles et les cumuls mensuels progressifs sont multipliés par un coefficient cultural. Les produits obtenus sont ordonnés et les rangs percentiles respectifs calculés. Ces valeurs sont pointées sur des cartes. On joint par des isolignes les points d'égale valeur. On détermine ainsi les zones à plus ou moins forts percentiles. Les aires délimitées par les forts percentiles correspondent soit aux zones humides ou soit sèches selon que le classement est par ordre croissant ou par ordre décroissant.

2. Les limites de la méthode

- Le pas de temps adopté (un mois) n'est pas très approprié pour les régions sahéliennes.
- La méthode ne donne qu'une appréciation qualitative.

3. Les produits obtenus

- Une carte de la distribution des percentiles.
- Une coupe chronologique des percentiles par station et pour plusieurs stations à la fois.

C. La chaîne de suivi AGRHYMET

1. Description et données requises

La chaîne de "suivi AGRHYMET" est une des méthodes d'évaluation de l'état de cultures utilisée au Sahel. Elle combine la méthode FAO, la méthode de bilan hydrique Forest en partie, et des observations agrométéorologiques. Elle comporte deux (2) parties:

- Une première partie concerne l'analyse de différents paramètres météorologiques.
- Une deuxième partie décrit l'état des cultures.

Les paramètres météorologiques suivants sont nécessaires à la confection de la première partie.

- La pluviométrie décadaire, l'évaporation la vitesse du vent, le rayonnement global, la durée d'insolation, l'humidité de l'air, les températures moyennes et les extrêmes dans l'abri au sol et dans le sol à des profondeurs données.

Les données concernant la deuxième partie sont collectées sur des fiches (fiches 01) conçues à cet effet. Elles rendent compte du type de culture, de son stade de développement, de son état hydrique et phytosanitaire et de l'aspect général du champ.

2. Les étapes suivies

Les données météorologiques sont collectées par radio ou par voiture. Elle sont portées dans des tableaux appropriés et les différents calculs de pourcentage sont effectués.

L'ETP est calculée et un bilan hydrique simplifié est établi. L'indice FAO est déterminé de même que la probabilité de satisfaction des besoins en eau des plantes pour la décade suivante. Les différents cartes d'isohyètes et de pourcentage de la pluviométrie (comparée à la moyenne ou normale) sont tracées de même que celles relatives au nombre de jours de pluie.

Les fiches O1 sont dépouillées. Un commentaire est rédigé. Il situe de façon générale la période considérée d'abord, ensuite il fait ressortir les situations particulières, et enfin le commentaire rend compte de l'état des cultures en relation avec les conditions hydriques. Des remarques ou avis sont émis sur ce que pourrait être la décade prochaine. En fin de saison une synthèse est rédigée qui présente l'évolution chronologique de la campagne. Elle s'enrichit de graphiques tels que la coupe chronologique de la pluviométrie saisonnière en comparaison avec les situations moyennes ou normales et l'année précédente, la courbe de distribution de la pluviométrie décadaire, de l'ETP et de l'ETP/3.

3. Les limites de la méthode

- Requiert beaucoup de données.
- La méthode est astreignante: les bulletins décadaires agrométéorologiques doivent paraître impérativement au plus tard trois (3) jours après la fin de la décade.
- Ne donne qu'une appréciation qualitative de la campagne.
- La difficulté de concentrer à temps les données requises.

4. Les produits obtenus

Les différentes cartes sont établies:

- Les cartes de pluviométrie décadaires et mensuelles.
- Les cartes de pourcentage par rapport à la moyenne ou normale ou encore à une année particulière des pluviométries décadaires, mensuelles et saisonnières.
- La carte de pluviométrie cumulée mensuelle progressive du nombre de jours de pluie.
- Les courbes chronologiques des cumuls pluviométriques.
- La courbe de la distribution chronologique décadaire de la pluviométrie, de l'ETP et de l'ETP/3.
- Un bulletin décadaire agrométéorologique.
- Une synthèse de la campagne agricole.

D. Méthodes agroclimatiques

1. Les données de précipitation

Les données de précipitation sont les données les plus disponibles dans nos pays et constituent des séries de longues durées. A cela, il faut ajouter qu'il est apparu de façon claire que l'eau est le facteur limitant premier de notre agriculture dont la quasi-totalité est pluviale. Aussi, afin de suivre la situation de la production agricole plusieurs techniques sont utilisées. Les unes rendent le comportement qualitatif des cultures en décrivant et en comparant une situation donnée avec une situation dite moyenne ou normale. D'autres techniques rendent l'aspect quantitatif de la production grâce à des estimations (modèles) plus ou moins complexes.

La production agricole dans les régions tropicales semi-arides en général et au Sahel en particulier est tributaire de la pluviométrie. La pluviométrie de par son comportement spatio-temporel détermine le niveau de production. Ainsi la compréhension de cette variation et sa prise en compte peut permettre de saisir les variations de la production agricole et plus singulièrement des rendements. Aussi depuis quelques années plusieurs auteurs tentent de développer différents modèles de production. Certains modèles développés offrent une comparaison et une appréciation qualitative, et d'autres quantitative. Situer une saison pluvieuse par rapport à des éléments de comparaison dont les plus utilisés sont la moyenne, les normales permet alors par simple comparaison de qualifier une saison agricole.

L'une des méthodes utilisées pour apprécier qualitativement la production agricole est celle appelée "suivi de campagne agricole." Elle consiste, utilisant des variables telles que la pluviométrie, l'évapotranspiration potentielle, ETP, les conditions édaphiques (réserve en eau du sol) et les stades de croissance et de développement des plantes exprimés par les coefficients

cultureaux de faire une comparaison d'une saison donnée par rapport à une saison moyenne ou normale.

Le suivi de la campagne est basée sur des données décadaires. Chaque décade est comparée avec la situation moyenne ou normale. Les cartes de pourcentage pluviométrique de pluies décadaires sont tracées permettant ainsi de faire ressortir les différents types de zones. Une échelle de cinq (5) niveaux (de très déficitaire, <50%, à très excédentaire, >150%) est utilisée. Cette carte rend compte des conditions d'humidité dans lesquelles sont les différentes régions du pays. Une synthèse mensuelle est faite tous les mois de la même manière. Et par voie de conséquence, l'état des cultures devra être celui de la zone plus ou moins déficitaire ou plus ou moins excédentaire dans laquelle elle se trouve.

L'utilisation du suivi du bilan hydrique par la méthode FAO est en fait une façon de s'assurer que les premiers résultats obtenus par les précédentes méthodes sont bons. Des perspectives pour estimer les chances de voir que les besoins en eau des plantes dans la décade suivante sont faites à partir du bilan hydrique de Forest. On cherche la probabilité que pour la décade suivante les besoins en eau des plantes représentant la quantité de pluie nécessaire soient satisfaits.

Il serait sans doute fastidieux et de peu d'intérêt de décrire ici les étapes de collectes et de concentration des données.

La méthode quantitative utilisée pour le suivi des cultures est celle qui consiste en la pose de carré de densité (10 m x 10 m) et l'établissement de la structure des récoltes pour aboutir à l'évaluation de la production. Le rendement moyen de différents carrés est calculé comme la moyenne des rendements individuels des carrés divisée par 100 et rapportée à la tonne par hectare.

a. La moyenne ou la normale pluviométrique

La moyenne ou la normale pluviométrique est déterminée en faisant le rapport de la somme des valeurs annuelles P_i de la pluviométrie par le nombre d'années N .

$$P_M = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{N} \quad \text{ou} \quad P_N = \frac{P_i}{N} .$$

La normale est une moyenne pour une période de 30 années consécutives conventionnellement déterminée par l'O.M.M.

Le pourcentage par rapport à la normale ou moyenne est alors obtenu en faisant le rapport de la valeur P_i d'une année i par la normale P_N ou la moyenne P_M pour une station donnée et multipliée par 100. Soit:

$$\frac{P_i}{P_M} \times 100 \quad \text{ou} \quad \frac{P_i}{P_N} \times 100.$$

Par exemple, si pour une station A, $P_{1985} = 170$ et $P_M = 150$, alors on a

$$\frac{170}{150} \times 100 = 113.$$

b. Détermination des valeurs percentiles

On utilise une série chronologique de données pluviométriques d'une station donnée. Il faut s'assurer de l'homogénéité de la série en faisant un test simple d'homogénéité qui consiste à déterminer la valeur médiane des données et à affecter respectivement des lettres A et B les valeurs supérieures et inférieures à cette valeur médiane. Des séries séquentielles seront ainsi définies. On appellera N_A et N_B les nombres de valeurs respectivement supérieures et inférieures à la médiane. U est égal à la somme des séquences A et B. La valeur de U obtenue doit être comprise entre deux (2) valeurs qui correspondent aux probabilités 0,1 et 0,9.

Si la valeur de U obtenue est inférieure à celle correspondant à la probabilité 0,1 alors la série chronologique n'est pas climatologique et il faut

rechercher les raisons. Dans le cas où U obtenue est supérieure à la valeur de U pour la probabilité 0,9, ceci n'est pas un handicap.

Si la série chronologique à étudier est climatologique, alors on établit un tableau comme le Tableau 2.

Une fois la série est classée par ordre croissant, on détermine la fréquence empirique $f_i = \frac{R_i}{N+1}$ où,

R_i = le rang i

N = nombre d'années de données.

Cette fréquence donne la probabilité qu'une valeur soit au plus atteinte.

$$P(x \leq t) = f_i$$

Le rang percentile est obtenu en multipliant f_i par 100, soit

$$Rp_i = f_i \times 100$$

Pour illustrer la démonstration de la méthodologie, prenons la station de Dédougou avec ses précipitations au mois d'août de 1922 à 1984 (Tableau 3). La valeur de la médiane obtenue à partir du Tableau 3 est 260, d'où NA = 31 et NB = 22.

La somme des séquences A et B, c'est-à-dire U, est égale à 25. Pour les probabilités $P = 0,1$ et $P = 0,9$ U devrait être compris entre les valeurs 27 et 37, donc $27 \leq U \leq 37$. Cela indique que la série chronologique n'est pas une série climatologique.

c. Détermination de la médiane théorique par la formule gamma

$F(x \leq X) = 0,5$ où F est la probabilité correspondant à la médiane.

$X = t\hat{\beta}$ où x est la médiane théorique. $\hat{\beta}$ est calculé en fonction de x et $\hat{\delta}$;

$\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\delta}}$ où \bar{x} est la moyenne et $\hat{\delta}$ est estimé par la formule suivante.

$$\hat{\delta} = \frac{1 + (1 + 4A/3)^{\frac{1}{2}}}{4A}$$

Calculons d'abord A. $A = \ln \bar{x} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln \bar{x}_i$.

Tableau 2

Série chronologique de la pluviométrie de Dédougou
pour la période de juillet

Années	Pluviométrie (mm)	Rang	Fréquence empirique $f = R/n + 1$	Rang percentile $f \times 100$
1922	150	1	--	--
1923	210	4	--	--
--	310	5	--	--
--	185	3	--	--
--	--	--	--	--
--	--	--	--	--
--	--	--	--	--
--	--	--	--	--
1984	160	2	--	--

Tableau 3

Etude statistique de la pluviométrie de la région
de Dédougou pour le mois d'août

Années	Données Observées	Rang R	Valeurs ordonnées	Fréquence $F(x \geq X)$ $1-R/N-1$	Fréquence $F(x \leq X)$ $R/N-1$	Ln x	ln x
1922	161	1	114	0,98	,02	5,081	5,081
1923	209	2	128	0,97	,03	5,342	10,423
1924	416	3	136	0,95	,05	6,031	16,454
1925	290	4	150	0,94	,06	5,570	22,024
1926	150	5	157	0,92	,08	5,011	27,035
1927	329	6	161	0,91	,09	5,796	32,831
1928	320	7	167	0,89	,11	5,768	38,599
1929	229	8	171	0,88	,12	5,334	43,933
1930	268	9	173	0,86	,14	5,591	49,524
1931	152	10	173	0,84	,16	5,056	55,084
1932	288	11	173	0,83	,17	5,663	60,747
1933	258	12	179	0,81	,19	5,553	66,300
1934	306	13	184	0,80	,20	5,724	72,024
1935	322	14	184	0,78	,22	5,775	79,799
1936	388	15	186	0,77	,23	5,961	83,760
1937	194	16	189	0,75	,25	5,268	89,028
1938	173	17	193	0,73	,27	5,153	94,181
1939	636	18	194	0,72	,28	6,465	100,646
1940	424	19	201	0,70	,30	6,161	106,807
1941	263	20	208	0,69	,31	5,572	112,379
1942	336	21	209	0,67	,33	5,817	118,196
1943	265	22	212	0,66	,34	5,580	123,776
1944	234	23	219	0,64	,36	5,455	129,231
1945	269	24	225	0,63	,37	5,595	134,826
1946	314	25	229	0,61	,39	5,769	140,575
1947	279	26	234	0,59	,41	5,215	146,206
1948	184	27	234	0,58	,42	5,635	151,421
1949	280	28	241	0,56	,44	5,919	157,056
1950	372	29	247	0,55	,45	5,838	162,975
1951	343	30	254	0,53	,47	5,838	162,975
1952	333	31	258	0,52	,48	5,808	168,813
1953	201	31	260	0,50	,50	5,455	179,924
1954	241	33	263	,48	,52	5,485	185,409
1955	234	34	265	,42	,53	5,455	190,866
1956	212	35	268	,45	,55	5,352	196,221
1957	294	36	269	,44	,56	5,684	201,905
1958	359	37	270	,42	,58	5,888	207,793
1959	373	38	276	,41	,59	5,922	213,715
1960	254	39	279	,39	,61	5,532	219,252
1961	225	40	280	,38	,62	6,198	224,668
1962	492	41	288	,36	,64	6,198	230,866
1963	302	42	290	,34	,66	5,710	236,576
1964	276	43	294	,33	,67	5,620	242,196
1965	305	44	302	,31	,69	5,817	247,916

Tableau 3
(suivie)

Années	Données Observées	Rang R	Valeurs ordonnées	Fréquence $F(x \geq X)$ $1-R/N-1$	Fréquence $F(x \leq X)$ $R/N-1$	Ln x	ln x
1966	336	45	305	,30	,70	5,560	253,733
1967	236	46	306	,28	,72	5,242	259,293
1968	189	47	314	,27	,73	5,389	264,535
1969	219	48	320	,25	,75	5,263	269,924
1970	193	49	322	,23	,77	5,598	275,187
1971	270	50	329	,22	,78	5,183	280,785
1972	173	51	333	,20	,80	5,226	285,785
1973	186	52	336	,19	,81	5,996	291,194
1974	402	53	336	,17	,83	4,913	297,190
1975	136	54	343	,16	,84	5,118	302,103
1976	167	55	359	,14	,86	5,187	307,221
1977	179	56	372	,13	,87	5,142	312,408
1978	171	57	373	,11	,89	5,215	317,550
1979	186	58	388	,09	,91	5,509	322,765
1980	247	59	402	,08	,92	5,153	328,274
1981	173	60	416	,06	,94	4,252	333,427
1982	128	67	474	,05	,95	4,252	337,679
1983	208	62	492	,03	,97	5,338	343,017
1984	114	63	636	,02	,98	4,736	347,753

Avec $\bar{x} = 266$ et $\ln \bar{x} = 5,583$ on obtient $A = 0,062$. Ainsi $\hat{\gamma} = 5,115$ et

$$\hat{\beta} = 52,005$$

On a :

1) Pour $\gamma = 5,0$ et pour $F = 0,5$ compris entre $0,4679$ et $0,5595$ correspondant respectivement à $t = 4,5$ et $t = 5,0$.

2) Pour $\gamma = 5,5$ alors $F = -0,0898$.

$$\text{Alors pour } t = 4,5 \text{ et } \hat{\gamma} = 5,115, F = 0,4679 - \frac{0,0898 \times 0,115}{0,5} = 0,4672.$$

$$\text{Pour } t = 5,0 \text{ et } \hat{\gamma} = 5,115, F = 0,5595 - \frac{0,0898 \times 0,115}{0,5} = 0,5388.$$

$$\text{Pour } F = 0,5 \text{ et } \hat{\gamma} = 5,115, t = 4,5 + \frac{0,5 \times 0,0528}{0,1116} = 4,746.$$

où $0,5 = \Delta t = 5,0 - 4,5$.

$$0,528 = F_{\text{médiane}} - F(\gamma_{5,115}, t_{4,5}) = 0,5 - 0,4472 = 0,0528.$$

$$0,1116 = F(\gamma_{5,115}, t_{5,0}) - F(\gamma_{5,115}, t_{4,5}) = 0,5388 - 0,4472 = 0,1116.$$

En appliquant la formule $X_{\text{médiane théorique}} = t\hat{\beta}$, on a :

$$X_{\text{médiane théorique}} = 4,74 \times 52,005 = 246$$

La médiane observée égale à 260 et la moyenne calculée est 266 . L'écart entre la moyenne calculée et la médiane théorique est :

$$266 \text{ mm} - 246 \text{ mm} = 20 \text{ mm}.$$

L'écart entre la médiane observée et la médiane théorique est :

$$260 \text{ mm} - 246 \text{ mm} = 14 \text{ mm}$$

En conclusion, la médiane théorique reste plus proche de la médiane observée que de la moyenne calculée, aussi la médiane reste-t-elle un meilleur indicateur de la pluviométrie pour cette station.

2. L'indice FAO de bilan hydrique

L'indice de bilan hydrique (I), est un indice qui qualifie les conditions hydriques dans lesquelles se trouvent les cultures. En début de campagne agricole,

au semis, il est égal à 100 (les semis ont lieu quand la pluie observée est égale ou supérieure à ETP/2).

Chaque fois que le surplus est supérieur à 100 mm pour une décade donnée, l'indice est diminué de 3. Quand il y a un déficit, l'indice est également diminué d'une quantité:

$$\Delta I = \frac{D_i}{\sum_{i=1}^n WR_i}$$

où D_i = déficit d'une décade i

WR_i = besoins en eau pour la décade i

n = durée du cycle des cultures en décades.

Tant qu'il n'y a pas de déficit, l'indice I reste toujours égal à 100. Quand l'indice est inférieur à 100, il le demeure même si les conditions redevennent favorables.

Les indices historiques permettent de comparer les années entre elles. L'objectif à terme, c'est d'arriver à établir une relation entre les rendements des cultures et les indices. Toutefois, les tentatives jusque là effectuées n'ont pas permis de conclure de façon tranchée si oui ou non une relation quelconque existait entre les indices I et les rendements.

a. Faiblesse de l'indice

La soustraction arbitraire de 3 quand le surplus en eau pour une décade est supérieur à 100 mm ne répond à aucune justification objective clairement établie (la baisse de rendement due à l'inondation n'est pas maîtrisée).

E. Les méthodes de télédétection

La télédétection se définit comme étant la détection, la reconnaissance et l'évaluation des objets au moyen d'un mécanisme d'enregistrement à distance. Le système de télédétection se compose de:

- Un capteur pour trouver et enregistrer les données,
- Une plate-forme portant le capteur et établissant la distance à l'objet.

A titre de comparaison il est donné ci-dessous un résumé des différents capteurs et leurs plate-formes typique:

<u>Capteurs</u>	<u>Plate-forme typique</u>
- oeil	- corps humain, échelle, arbre
- longue-vue	- trépied, sommet d'une montagne
- appareil photo	- trépied, bâtiment, avion, vaisseau spatial
- radar	- tour, avion, vaisseau spatial
- caméra à balayage multispectral	- avion, vaisseau spatial

La source de rayonnement (le rayonnement solaire), l'objet d'intérêt (la terre), le capteur et la voie de transmission (l'atmosphère) constituent les quatre composantes dans un modèle de télédétection. Les ondes électromagnétiques sont caractérisées par leurs longueurs d'ondes exprimées en micromètres ou par leur fréquence qui est le nombre de pics observés en un point fixé par unité de temps à la vitesse de la lumière.

Le rayonnement électromagnétique est une suite continue de longueurs d'ondes et constitue ce qu'il est convenu d'appeler le spectre électromagnétique; le spectre électromagnétique comprend les rayons cosmiques, les rayons gamma, les rayons X, les rayons ultra-violet, le rayonnement visible, les ondes micro et les ondes radio. Toutefois, seulement une petite partie du spectre est utilisée en télédétection. Il s'agit des rayonnements visibles, du proche-infrarouge et de l'infrarouge thermique (Figures 1 et 2).

1. Caractéristiques des satellites

Les satellites orbitaux sont caractérisés par le type d'orbite. Il existe deux catégories de satellites d'observation terrestre et météorologique (Figure 3):

Figure 1
Spectre électromagnétique

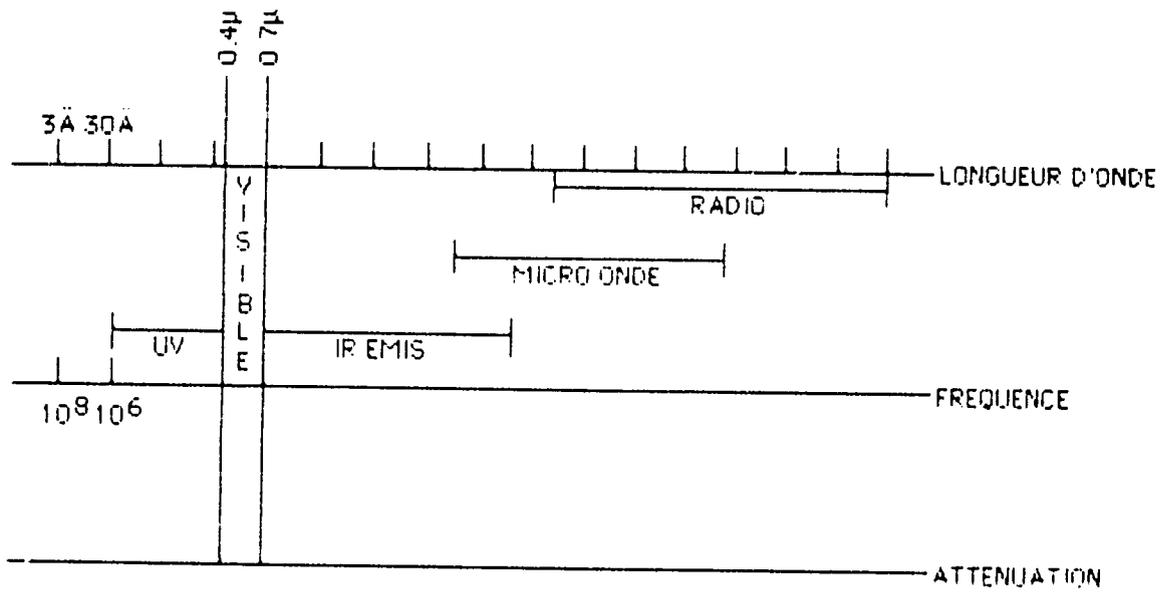


Figure 2

Illustration du concept de signature spectrale

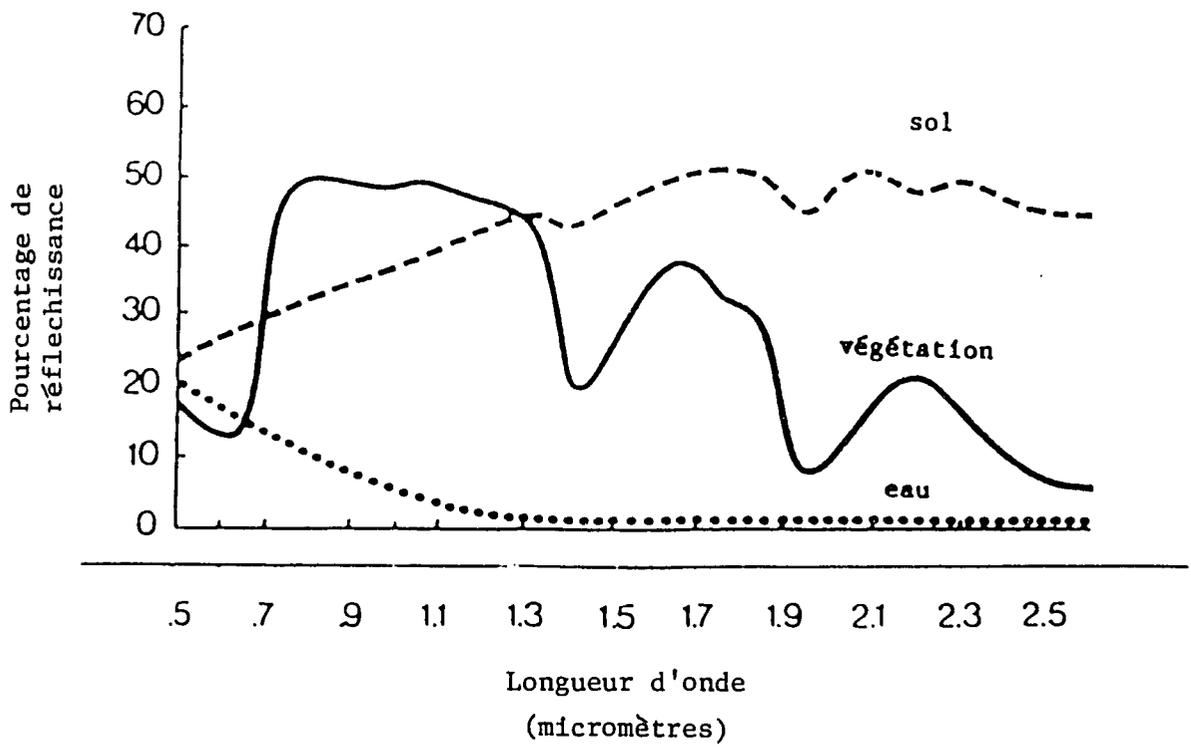
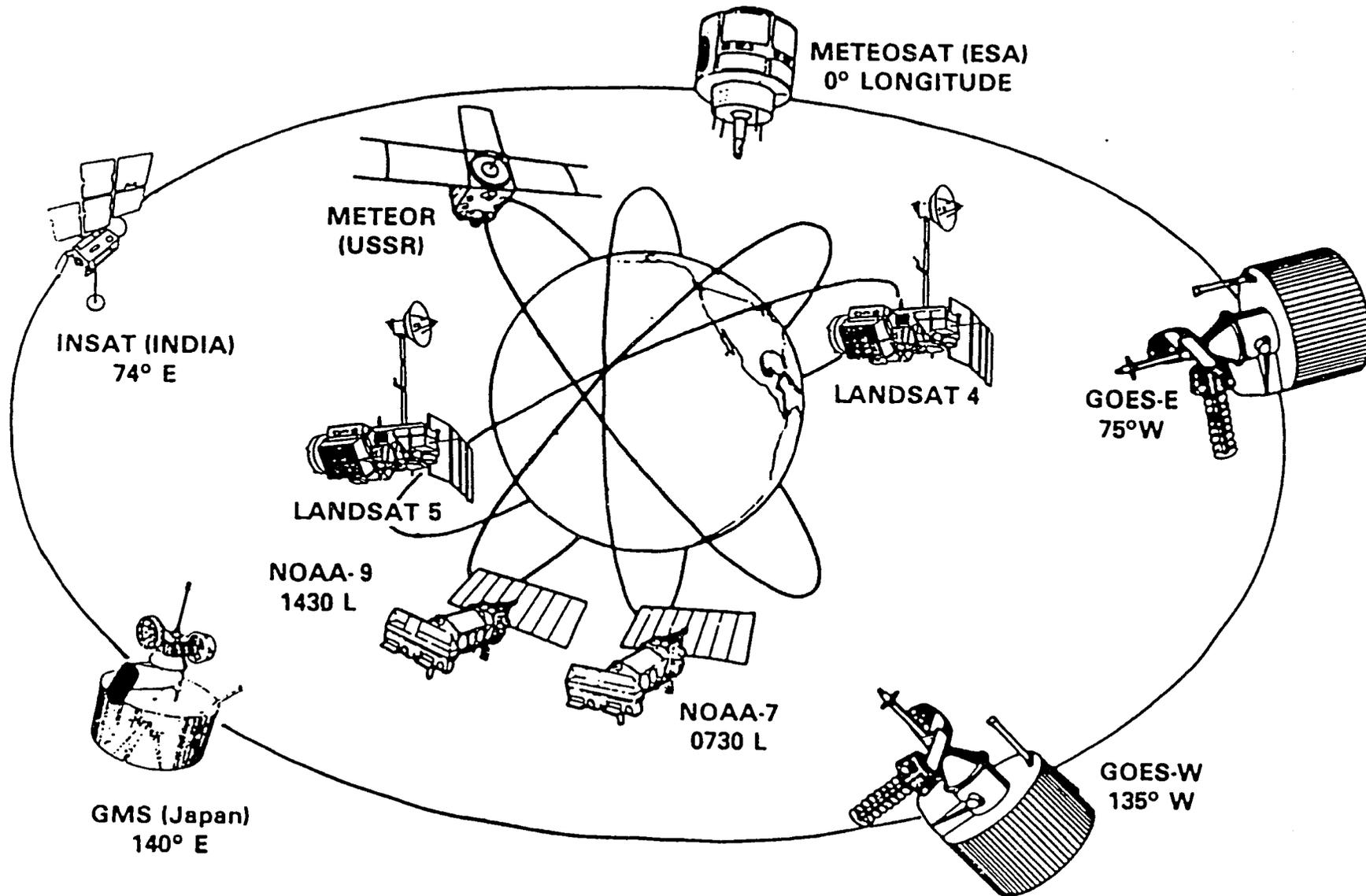


Figure 3

Satellites opérationnels d'observation terrestre



- les satellites polaires, et
- les satellites géostationnaires.

Les satellites polaires sont hélio-synchrones et tournent sur un orbite à basse altitude (entre 500 km et 1500 km de la terre). Ils permettent de faire des observations répétitives de la terre le même jour; leur période orbitale est égale à 102 minutes et le nombre d'orbites est 14,2.

Les capteurs de ces satellites possèdent six champs de visée qui déterminent le temps nécessaire pour faire des observations de toute la terre (1 à 16 jours).

Les satellites géostationnaires sont lancés en orbite à 35000 km de la terre, au dessus de l'équateur. Leur période orbitale est de 24 heures et ils tournent à la même vitesse et dans le même sens que la terre; aussi observent-ils toujours la même point sur la terre.

a. Satellite NOAA-9 et ses caractéristiques orbitales

Le satellite NOAA-9 est un satellite polaire à 850 km de la terre. Il traverse l'équateur à 14^h30 et à 02^h30. Son orbite est ascendant (orienté sud-nord). Sa période orbitale est de 102 minutes et la durée de cycle un jour (fait le tour de la terre en un jour) en ayant assuré 14,2 orbites. La largeur de la bande couverte du sol est 3000 km avec un champ de visée de 56°.

b. Les caractéristiques du capteur AVHRR

Le satellite NOAA-9 est muni de balayeurs multispectraux, c'est-à-dire que les balayeurs opèrent à l'intérieur de plusieurs bandes spectrales grâce à un miroir qui tourne autant de fois que le capteur passe au-dessus d'un objet.

Le capteur AVHRR (Radiomètre Avancé à Très Haute Résolution) du satellite NOAA-9 est capable de réaliser des images dans cinq canaux: la bande

du visible (Canal 1), le proche-infrarouge (Canal 2), l'infrarouge moyen (Canal 4) et deux bandes dans l'infrarouge thermique (Canal 4 et 5) (Figure 4).

D'autre part il a une résolution spatiale de 1,1 km au nadir.

2. Les images ACCS (Ambroziak Color Coordinate System)

La compréhension des principes d'interprétation d'image est essentielle.

L'interprétation de l'image répond aux principes généraux suivants:

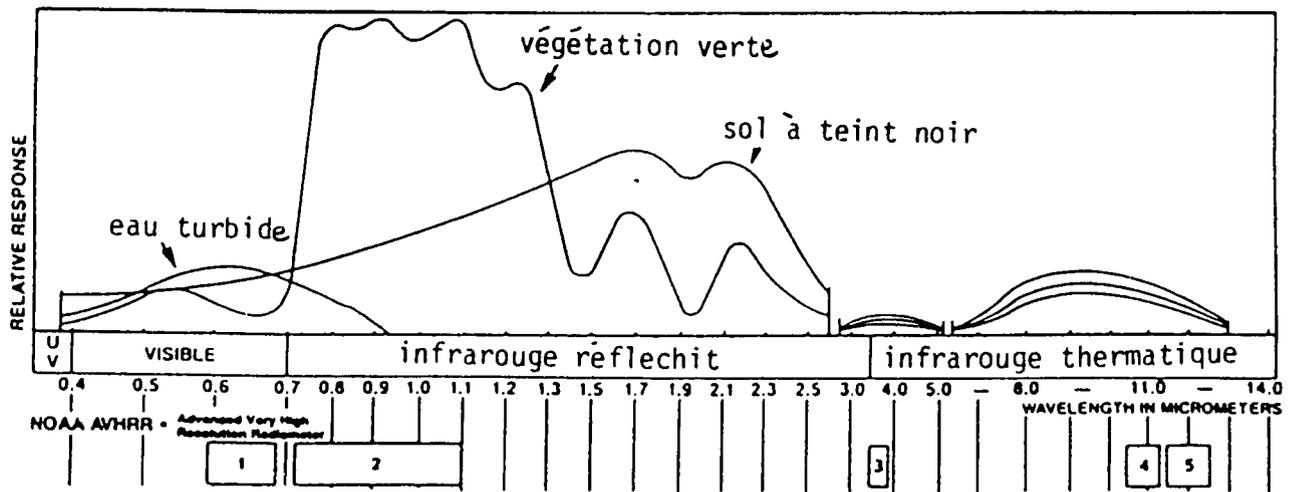
- Une image est une représentation illustrée de détails trouvés dans un paysage.
- Une image est composée d'éléments qui servent comme indicateurs des matériaux, des conditions et des événements qui sont en rapport avec les composantes physiques, biologiques, culturelles et climatiques du paysage.
- Les matériaux, les conditions et les événements semblables dans des environnements semblables produisent des modèles semblables et des matériaux, des conditions et des événements différents produisent des modèles différents.
- La quantité et la qualité de l'information obtenue par l'interprétation de l'image sont liées à la connaissance, à l'expérience, à la compétence et à l'objectif visé par l'analyste.

En plus de ces principes généraux, d'autres critères à observer dans l'interprétation de l'image sont indispensables. Il est nécessaire de savoir:

- Les caractéristiques de sensibilité spectrale du capteur (caméra, film, filtre, balayeur multispectral).
- Les techniques de traitement de l'image utilisées (exposition, rehaussement).
- La saison pendant laquelle l'image a été enregistrée.
- La période de la journée à laquelle l'image a été enregistrée (c'est-à-dire l'heure).
- Les effets de l'atmosphère.
- L'échelle de l'image.
- Le pouvoir de résolution du système du capteur.
- L'effet de parallaxe stéréoscopique.

Figure 4

Sensibilité Spectrale



- L'acuité visuelle de l'analyste.
- Les outils d'interprétation disponibles.

Interpréter une image c'est détecter, identifier un détail ou les conditions des images et évaluer leur signification. Pour ce faire l'analyste s'appuie sur les caractéristiques suivantes de l'image: la couleur, la forme, la taille, la texture, l'ombre, le modèle, la localisation ou l'association, et le parallaxe.

En fait, l'interpréteur doit avoir une compréhension complète de comment l'image est développée, ce que l'image représente, et les processus et phénomènes représentés.

a. Les relations entre le canal 1, le canal 2 et l'indice de végétation normalisé (NVI)

L'imagérie AVHRR, utilisée pour évaluer les conditions agroclimatiques est rehaussée par un modèle développé par Ambroziak (ACCS). Ce modèle traite du comportement de la couleur dans l'espace par son intensité, sa teinte et sa saturation. L'intensité est la perception d'un objet comme étant terne ou brillant, la teinte étant l'attribut de couleur bleu, vert, jaune, rouge, etc.) et la saturation indique la présence ou non de couleur.

Le système de couleur coordonnée d'Ambroziak (ACCS) est une méthode rationnelle d'ordonner et de spécifier les couleurs. Il se divise en deux parties:

- Une partie basée sur les principes physiques de la création de la couleur (mélanges de couleurs par addition ou soustraction dont un exemple est la formation du jaune par le mélange du rouge et du vert).
- Une deuxième partie basée sur le principe de la perception des couleurs. Le système RGB (rouge, vert, bleu) est basé sur le principe physique de la création de la couleur par addition; dans des conditions variables, des couleurs différentes seront obtenues par addition de couleurs primaires qui sont le rouge, le vert et le bleu.

Le système ACCS reprend les données multispectrales d'AVHRR dans le système de la perception de couleur ITS (intensité, teinte, saturation). Les paramètres dérivés d'AVHRR utiles au contrôle de la végétation et à la détection de l'influence de l'atmosphère sont l'indice de végétation normalisé, et la réflectance maximale des canaux visible, proche-infrarouge et thermique.

Ces paramètres sont retracés dans l'espace de couleur ITS:

- L'indice de végétation apparaît sous forme de teinte.
- Les réflectances maximales du visible et du proche-infrarouge informent sur l'intensité.
- La température est exprimée par la saturation.

La Figure 5 montre la relation entre le Canal 1 et le Canal 2. Sur un axecartésien X (Canal 1) et Y (Canal 2) des lignes d'égal NVI sont tracées et donnent des teintes différentes selon les détails terrestres qu'ils représentent. Ainsi un sol nu est rouge, une végétation maigre est jaune et une végétation luxuriante est bleue ou verte. La Figure 6 montre que les teintes et les saturations varient en fonction de la réflectance dans les canaux 1 et 2.

La saturation est utilisée pour filtrer les images. Quand les données thermiques des canaux 4 et 5 ne sont pas disponibles (Figure 3), alors les valeurs de réflectance dans le visible donnent une plus basse saturation. Dans le visible, les pixels brillants (nuages, sable) sont beaucoup plus blancs, alors que les pixels noirs (eau, végétation) ont une teinte riche.

De même dans la bande thermique les températures les plus basses ont une basse saturation alors que les températures les plus élevées ont une saturation élevée; les nuages froids sont blancs et les hauteurs et les nuages chauds ont une couleur pâle.

L'intensité sert à faire la différence entre les pixels qui ont le même NVI. Plus l'image est brillante, plus l'intensité est élevée dans le visible et le proche-infrarouge. Si par exemple un objet quelconque ayant un

Figure 5

Présentation des objets en fonction de canal 1, canal 2 et NVI

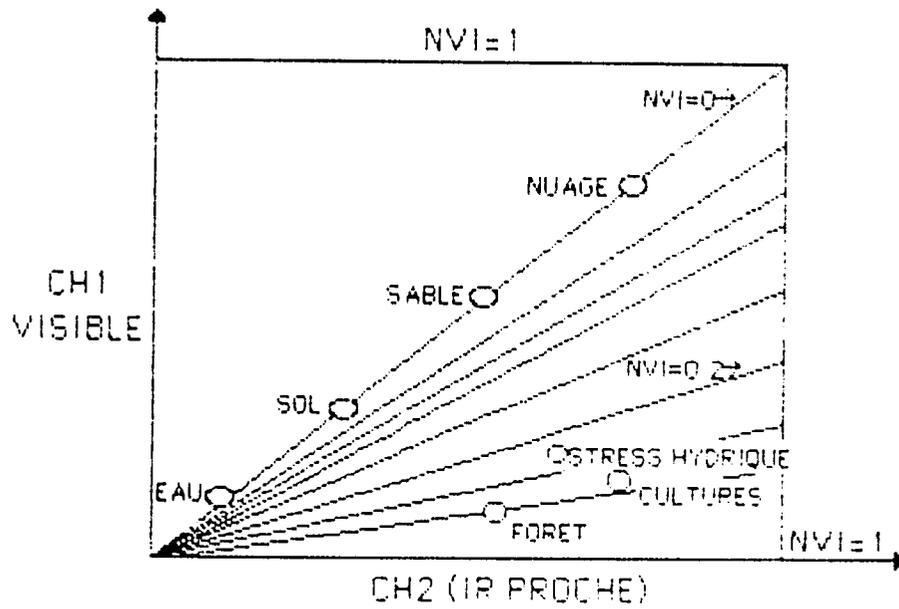
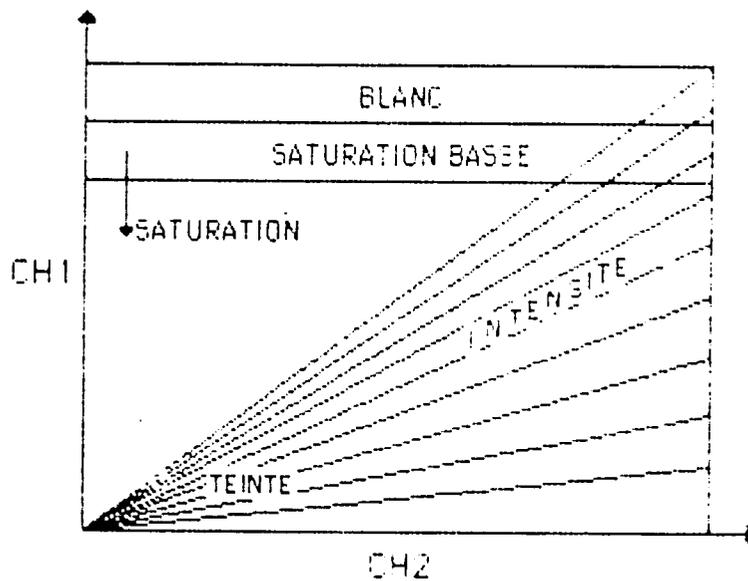


Figure 6

La relation d'intensité, de teinte et de saturation avec le NVI



NVI = 0 est rouge, les différentes objets à NVI = 0 seront de couleur rouge avec des intensités différentes. C'est ainsi que par exemple l'eau a un NVI = 0, le sol humide a un NVI = 0, le sol sec et le sable ont un NVI = 0, mais les valeurs de réflectance sont différentes (ici elles sont basses pour l'eau, plus élevées pour le sol humide et encore plus élevées pour le sol sec et le sable). La Figure 7 montre la cartographie des valeurs de NVI avec le système de coloration ACCS. Il existe un programme pour le traitement et l'analyse de l'imagerie satellitaire.

b. L'interprétation des images ACCS

Le système ACCS est utilisé afin de donner des images satellitaires qui montrent l'état de santé de la végétation par l'emploi de couleur destinée à maximaliser l'information contenue dans les images et à minimiser le temps d'analyse de l'interpréteur. L'emploi des couleurs est basé sur un système d'intensité (I), de teinte (T) et de saturation (S) (ITS). Ces différents paramètres sont indépendants aussi n'importe lequel des paramètres peut changer sans affecter de façon significative notre perception (Buchanan, 1979). L'ACCS assigne la couleur aux objets de la façon suivante:

- L'indice de végétation est cartographié par la teinte. Des pixels ayant des indices de végétations différents ont une teinte différente. Ainsi donc une végétation saine est verte, une végétation ayant subi un stress hydrique est jaune et les nuages sont blancs.
- L'intensité est contrôlée par la valeur maximale du proche-infrarouge et du visible. On peut distinguer des pixels de même indice de végétation avec des valeurs différentes de réflectance dans les canaux 1 et 2. Les cultures sont vert-claires et la forêt est vert-sombre.

Figure 7

Cartographie des valeurs de NVI avec le système de coloration ACCS



<u>TEINTE</u>		<u>INTENSITE</u>
	<u>Foncé</u>	<u>Brillant</u>
rouge	sol humide ou noir	sable ou nuages bas
jaune	levée ou plantes dispersées sur un sol humide ou noir	levée ou plantes dispersées sur sol sableux
vert	plantes saines, combinées avec retenue d'eau ou une	nuages dispersée cultures saines ou plants
cyan	forêt dense	forêt dense, maïs ou riz couvert

c. Effets des propriétés du sol et du développement de la végétation sur ACCS

La Figure 8 montre les courbes de réflectance pour une végétation à différents stades de développement et à différentes longueurs d'onde. Le développement de la végétation est indiqué par l'indice de surface foliaire (LAI).

En début de saison le sol est nu et la réflectance dans le canal 1 est plus basse que dans le canal 2. Au fur et à mesure que les plantes se développent, la réflectance devient plus faible dans le canal 1 et s'accroît dans le canal 2. Pour LAI-2 elle est au minimum dans canal 1 et pour LAI-8 elle est au plafond dans canal 2.

d. Effets des pratiques culturelles et des conditions climatiques sur ACCS

Les pratiques culturelles affectent les conditions des cultures pour une saison donnée. Leurs effets sur la réflectance dans le canal 1 et canal 2 sont indiqués sur le Tableau 4. De même une maladie ou un stress influence la réflectance des cultures (Tableau 5).

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

Un Système d'Information Géographique peut être conçu comme un système manuel ou informatisé. Il doit permettre d'acquérir, d'organiser, d'analyser

Figure 8

Effet du développement de la végétation sur les canaux 1 et 2

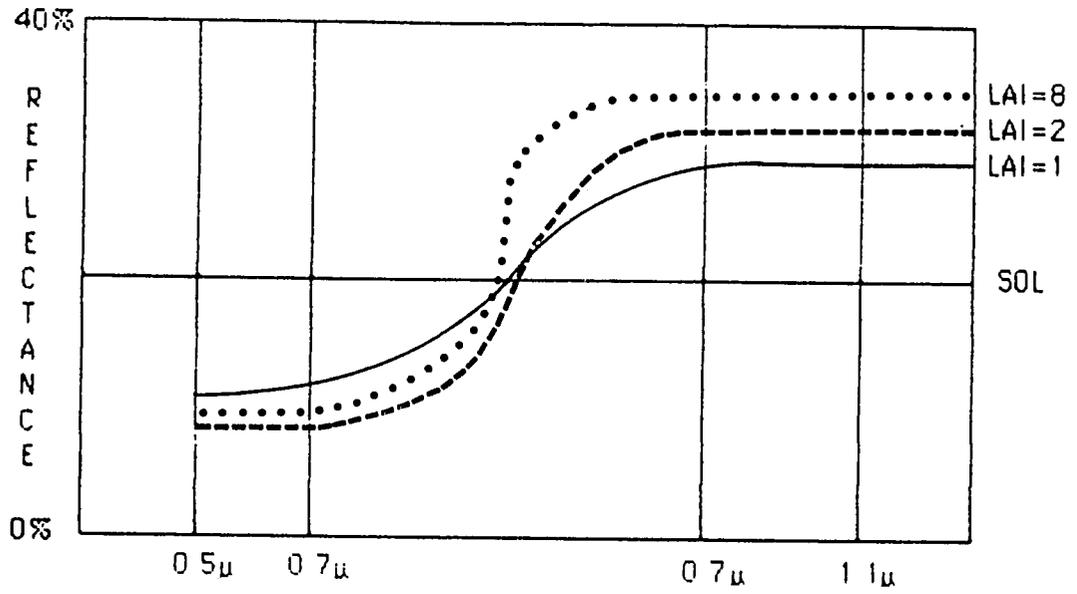


Tableau 4

Effet de la végétation sur le canal 1 et le canal 2 dans deux zones

<u>STADE</u>	<u>AFRIQUE SUB-SAHELIENNE</u>		<u>MISSOURI</u>	
	<u>Ch1</u>	<u>Ch2</u>	<u>Ch1</u>	<u>Ch2</u>
Sol nu	44	44	30	37
Levée	42	48	28	42
LAI-2	35	50	26	49
LAI-max	30	50	21	57
Maturité	30	45	18	50
Récolte	35	37	24	36

Tableau 5

Influence des maladies ou du stress sur la réflectance des cultures

Pratiques Culturelles	Canal 1	Canal 2	Couleur
Augmentation en fertilisant	-	+	Cyan brillant
Date de semis tardive	-	+	Cyan brillant
Accroissement de la population	-	+	Cyan brillant

+ augmentation - diminution

statistiquement et de montrer plusieurs types d'informations spatiales qui sont cartographiées à la même échelle et selon la même projection. La Figure 9 illustre la structure conceptuelle d'un tel système.

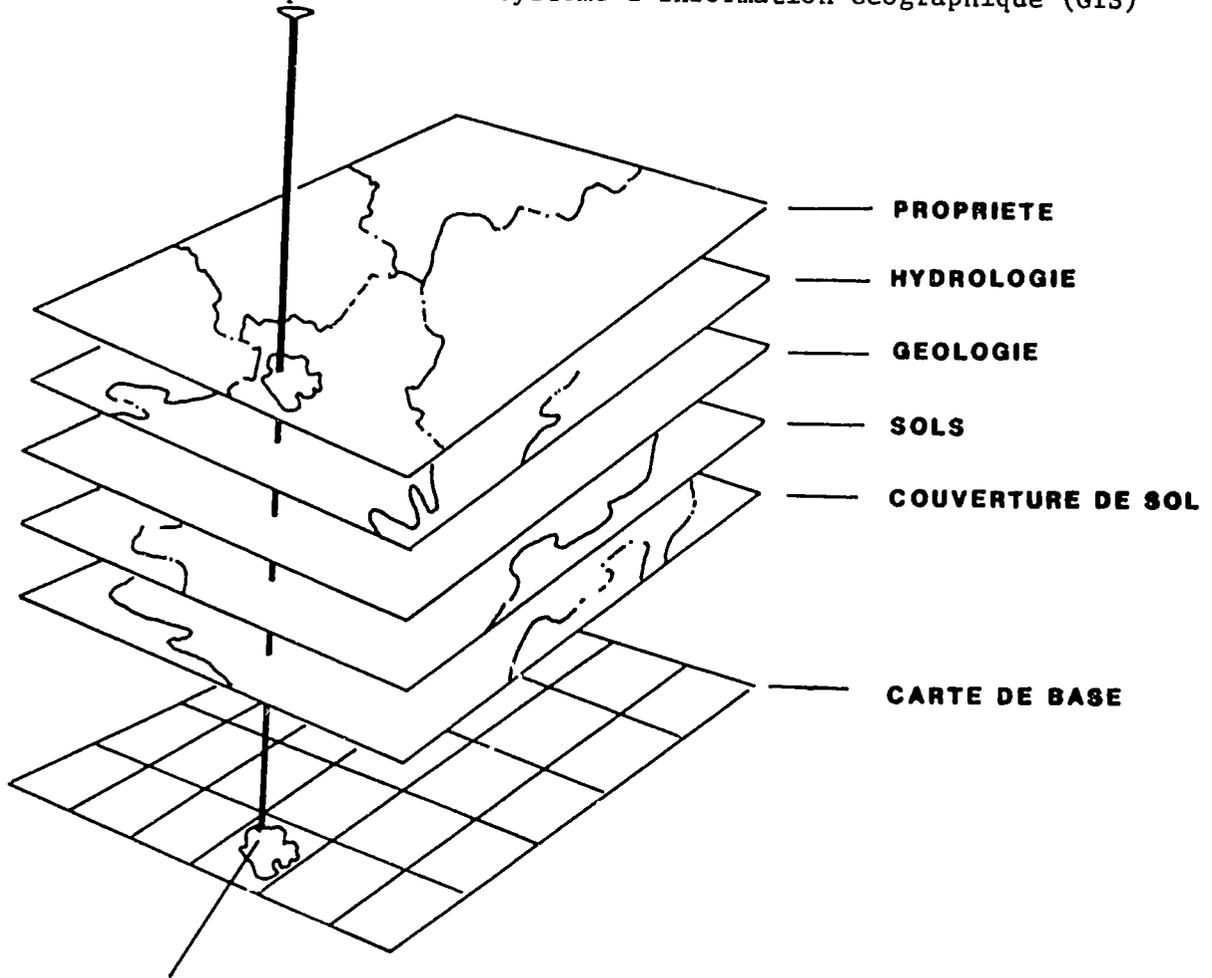
La superposition manuelle préconisée par le CIAD, appelée aussi "technique de la table lumineuse" du Système d'Information Géographique (GIS), consiste d'abord en la préparation de l'information sur des fonds de carte et ensuite en la superposition manuelle des "couches" élémentaires qui sont des composantes 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 10 qui servira également à une base 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 11 qui illustre les résultats d'une évaluation spéciale d'une situation au Mali en 1984. Les principales informations utilisées y 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

Figure 9

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



**UN POINT OU UNE REGION REFERENCE(E)
GEOGRAPHIQUEMENT**

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 10

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 10
(sufvie)

Modèles Régionaux des Récoltes

- _____ Mil
- _____ Sorgho
- _____ Mais
- _____ Arachides
- _____ Niébés
- _____ Coton
- _____ Autre (_____)
- _____ Autre (_____)
- _____ Autre (_____)

Imagerie Satellitaire de NOAA

- _____ Image Composite Actuelle
- _____ Images Composites Précédentes

Données de l'Indice Normalisé de Végétation (NVI)

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

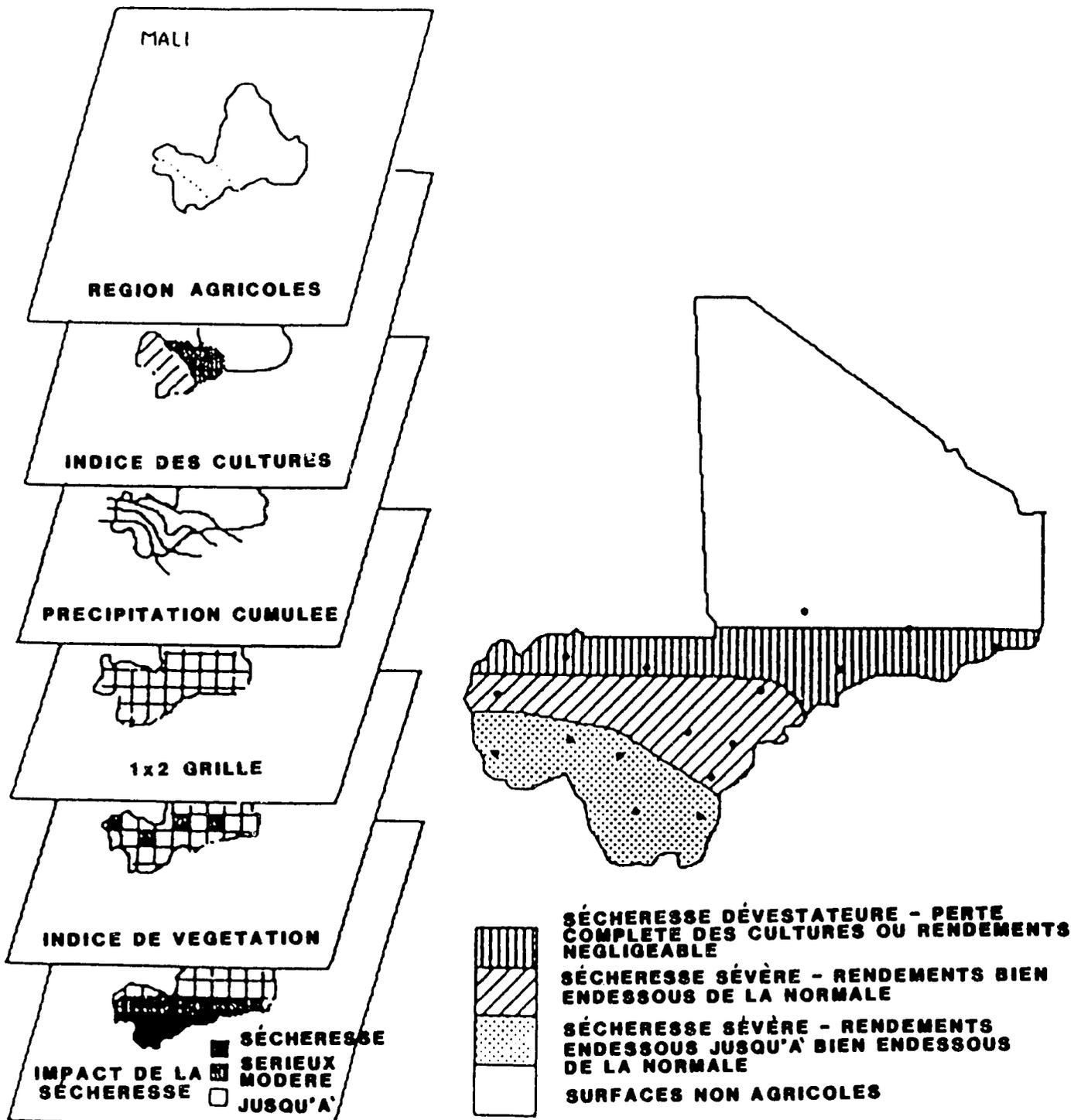
Autres Données

- _____ Données des Evénements Episodiques
- _____ Autres Données Ancillaires

Figure 11

Version simplifiée de la procédure GIS

GIS: MALI (SAHEL)



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.

G. Techniques de prévision des rendements

1. Analyse des statistiques agricoles

a. Description des méthodes de collecte des statistiques agricoles au Burkina Faso

Les méthodes d'estimation de la production agricole consistent essentiellement à la détermination des superficies emblavées et des rendements au cours de la campagne agricole.

Le territoire est divisé en onze (11) Organismes Régionaux de Développement (ORD). Chaque ORD est animé par un effectif d'encadreurs très hiérarchisé. Le plus bas niveau de l'échelle, l'unité d'encadrement, a le plus de contact avec les paysans.

L'estimation des superficies à emblaver se fait en se basant sur les données historiques dès le mois de mai. Mais auparavant un plan de campagne est établi avec les prévisions des superficies, des rendements et de la production à atteindre en se référant aux données des campagnes précédentes. Les superficies réellement emblavées ne peuvent être connues que vers le mois de juillet-août, car le calendrier cultural est très dépendant des saisons. Leur estimation est faite à partir des unités d'encadrement où des champs de paysans choisis de façon aléatoire.

Ensuite il est fait une extrapolation des résultats obtenus en prenant en compte les données historiques et celles obtenues par observation pour trouver les superficies emblavées totales de cette unité d'encadrement. Le taux d'extrapolation varie suivant les régions.

L'estimation des rendements quant à elle est faite suivant la méthode des carrés de densité qui consiste à poser des carrés de 10 m x 10 m dans les champs. Par la suite on calcule le rendement moyen des différents carrés et la moyenne des rendements individuels de ces carrés que l'on rapporte à la tonne par hectare.

Toutes ces données sont envoyées au niveau du sous-secteur pour l'estimation de la production, puis acheminées au secteur. L'ensemble de la production estimée de tous les secteurs sera la production nationale.

La première estimation de la production est faite en septembre. Des estimations ultérieures sont fournies tous les mois jusqu'à la récolte.

Cette méthode, naturellement, a beaucoup de limites notamment l'impossibilité de vérifier la fiabilité des données obtenues, le choix souvent subjectif des paysans-types et aussi celui des champs pour la pose des carrés de densité.

Pour la campagne 1986-1987, afin d'obtenir des données de statistiques agricoles fiables, une fiche dite Fiche 02 sera vulgarisée. Cette fiche est basée sur les carrés de rendement. Dans trois (3) à quatre (4) champs choisis par unité géographique agricole (village), deux à trois carrés de 10 m de côté seront posés dans chaque exploitation.

Les carrés sont placés au stade de la levée des cultures de façon à ce qu'ils soient représentatifs des champs. Les paramètres suivants seront mesurés:

- le nombre total de poquets,
- le nombre de plantes,
- le nombres d'épis (pour les céréales),
- le poids des épis avec graines et le poids moyen d'un épi,
- le poids total des grains de tous les épis d'un carré et le poids moyen des grains d'un épi,

- le rendement en épis grains et le rendement moyen en grain,
- le rendement en grain par carré et le rendement moyen en grain,
- le poids de la biomasse par carré et le poids moyen de biomasse, et
- le rendement en biomasse par carré et le rendement moyen en biomasse.

Tous ces résultats sont obtenus au niveau du champs dont une extrapolation sera faite pour tout le village. Dans le processus d'évaluation de la production, la deuxième phase consiste à l'estimation des superficies reste la plus difficile à réaliser car les champs sont petits et de formes quelconques. De plus, les paysans eux-mêmes ne peuvent pas fournir de données suffisamment bonnes. Aussi, l'expérience de l'agent d'Agriculture jouera beaucoup pour estimer les superficies emblavées dans son secteur.

La production d'un secteur sera donc calculée à partir des rendements déterminés et des surfacesensemencées estimées à l'oeil; la production nationale étant la somme de toutes les productions calculées par secteur agricole.

b. Techniques utilisées par le ministère américain de l'Agriculture pour évaluer la production agricole du maïs

1) Estimation de la superficie emblavée en maïs

Le domaine d'estimation des superficies semées en maïs est le Cornbelt.

Trois voies de collecte d'information travaillent quasiment ensemble:

- la voie postale (un questionnaire est envoyé aux exploitants agricoles sélectionnés),
- l'envoi d'enquêteurs sur le terrain, et
- le téléphone (les exploitants agricoles sélectionnés sont saisis par téléphone).

Les autres sources d'information telles que les archives des services des impôts sont utilisées pour avoir les données sur la superficie en maïs.

ii) Classification des terres

Les terres sont classées selon leur usage (terres agricoles et non agricoles). Les terres agricoles sont classées en niveaux d'exploitation et par type d'exploitation (agriculture intensive et extensive). Deux niveaux sont retenus par type d'exploitation, un type avec plus de 50% des terres cultivées, et un type avec moins de 50% des terres cultivées.

iii) Stratification

Les terres sont stratifiées et correspondent aux comtés (county) avec des limites pérennes (routes, cours d'eau). Pour ce faire, toutes les données disponibles sont utilisées (cartes routières, géographie, enquête, photo aériennes, etc.). Les "county" sont subdivisés en unités élémentaires de 200 hectares.

Par état on choisit un certain nombre d'unités élémentaires. Ce choix tient compte de l'importance de la culture dans chaque état. Dans les états les plus producteurs, le nombre d'unités élémentaires choisi sera plus grand, le facteur d'extrapolation étant égal à 200.

iv) Estimation des récoltes

Parmi les unités élémentaires retenues dans la stratification, des champs sont choisis avec le même facteur d'extrapolation.

Un carré de 20 m² est placé dans ces champs de façon aléatoire; le comptage du nombre de tiges et d'épis et la mesure du poids de l'épi rapportés au champ entiers, puis au "county" permettent d'estimer la production.

$$\text{Récolte} = (\text{nombre de tiges}) \times (\text{nombre d'épis/tige}) \times (\text{poids/épi}) \quad (1)$$

v) Modèles de prévisions objectives des récoltes

L'esprit de la prévision des récoltes, c'est d'estimer assez tôt la production pendant la saison. Plusieurs stades (7) de maturité sont considérés. Les données suivantes sont requises:

- stade de maturité,
- nombre de plantes,
- nombre de plantes porteuses d'épis,
- nombre d'épis,
- longueur de l'épi (pour le maïs) avec ou sans les spaths,
- poids de l'épi à la récolte, et
- teneur en eau des graines.

A la dernière estimation, le rendement est obtenu de la façon suivante:

$$R = (\text{nombre d'épis}) \times (\text{poids estimé des épis}) \quad (2)$$

Pour les buts prévisionnels, la formule suivante est utilisée:

$$R = (\text{nombre d'épis estimé}) \times (\text{poids moyen estimé d'un épis}) \quad (3)$$

Estimation du poids de l'épi

L'estimation du poids de l'épi est faite à partir des équations suivantes:

$$M_1 = A + B (\text{longueur d'une rangée de graines sur l'épi})$$

$$M_2 = A + B (\text{longueur des spaths})$$

où M_1 et M_2 sont des poids de graines sur un épi. Le poids estimé de l'épi est alors obtenu comme suit:

$$P_{\text{estimé}} = W_1 \times M_1 + W_2 \times M_2 \quad (4)$$

où W_1 et W_2 sont des coefficients avec $W_1 + W_2 = 1$.

Estimation du nombre d'épis

Au stade situé entre le stade "blister" et le stade laiteux, l'équation du rendement est:

$$R_{\text{estimé}} = (\text{nombre d'épis estimé}) \times (\text{poids estimé des épis}) \quad (5)$$

Le nombre d'épis estimé est tiré des équations suivantes:

$$M_1 = A + B (\text{nombre de tiges}) \quad (6)$$

$$M_2 = \frac{\text{nombre d'épis} + \text{nombre de bourgeons}}{A + B} \frac{\text{nombre de tiges avec épis}}{\text{nombre total de tiges}} \quad (7)$$

$$\text{Le nombre d'épis estimé} = W_1 M_1 + W_2 M_2. \quad (8)$$

En début de saison le rendement prévu est obtenu par la formule suivante:

$$R = (\text{nombre d'épis estimé}) \times (\text{poids de l'épi})^* \quad (9)$$

A ce stade, l'estimation du nombre d'épis est obtenue par:

$$M_1 = A + B(\text{nombre de tiges})^{**} \quad (10)$$

$$\text{le nombre d'épis estimé} = M_1$$

* Le poids estimé de l'épi à ce stade est le poids moyen historique.

** Le nombre de tiges est mesuré par enquête.

2. Analyse de modèles de rendement/précipitation

a. Utilisation de pluviométrie pondérée

Dans la région du Sahel, la pluviométrie reste le facteur limitant le plus important de la production agricole. Les données historiques de la pluviométrie sont utilisées dans des modèles statistiques de prévision des rendements.

De façon générale les données agricoles (données de rendement) sont disponibles pour des entités agricoles dans lesquelles sont situées les stations météorologiques pour les relevés pluviométriques. Afin d'avoir une valeur unique de la pluviométrie, les différentes valeurs aux différentes stations sont pondérées. La pondération doit tenir compte de l'importance de la sous-région agricole où est située la station dans la production globale agricole (pour une spéculation donnée) de l'entité agricole. La somme des coefficients de pondération égale à un (1).

Les coefficients de pondération peuvent être la proportion relative de la production agricole de chaque-sous région par rapport à la production globale de l'entité agricole.

D'autres méthodes de pondération existent. C'est par exemple la méthode de Thiessen qui affecte une surface représentative à chaque station pluviométrique. Ces surfaces sont déterminées par les intersections des médianes de droites qui joignent deux stations. Le rapport entre chaque surface ainsi déterminée et la surface globale de l'entité agricole donne le coefficient de pondération respectif.

La pluviométrie représentative de la région agricole est donc :

$$P = \sum_{i=1}^n a_i P_i \quad \text{où } a_i = \frac{b_i}{\sum_{i=1}^n b_i}$$

b_i = surface représentative de la station pluviométrique ou la production agricole de la station i

b. Le triangle de la matrice de corrélation

Un tableau à double entrée donnant des valeurs cumulées progressives de la pluviométrie est construit. Seules les valeurs situées dans le triangle droit sont utilisées pour rechercher la meilleure valeur pluviométrique (cumul), qui est la plus déterminante dans le rendement.

Des coefficients de corrélation respectifs sont calculés pour les valeurs cumulées respectives de pluviométrie et à la plus forte valeurs des coefficients de corrélation correspond la période qui détermine le mieux le rendement agricole. Tableau 6 est la cumul progressif de la pluviométrie sur lequel on établit le triangle de corrélation de Tableau 7.

Dans Tableau 7 0,7690 est la plus forte valeur de coefficient de corrélation entre la pluviométrie de cette station et le rendement de maïs dans la Bougouriba correspondant à la pluviométrie cumulée juin-août.

Une analyse de regression est faite alors pour déterminer les différents coefficients de l'équation du rendement.

Tableau 6

Cumul progressif de la pluviométrie (1979-1983) de la station
de Gaoua pour la région agricole de Bougouriba

	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre
mai	110	213	367	558	724	798
juin	213	103	257	448	614	688
juillet	367	257	154	345	511	585
août	558	448	345	191	357	431
septembre	724	614	511	357	166	240
octobre	798	688	585	431	240	74

Tableau 7

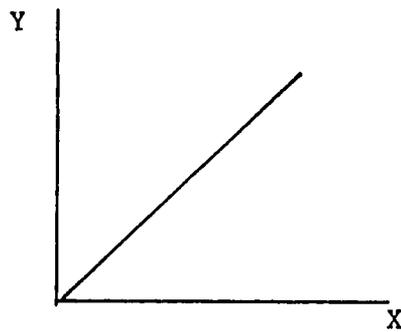
Triangle de corrélation

	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre
mai	-0,2870	-0,3328	-0,0841	-0,0454	0,1823	0,4193
juin		-0,1363	0,1430	0,7690	0,4282	0,4837
juillet			0,5054	0,4031	0,3459	0,4459
août				0,0579	0,1911	0,3651
septembre					0,2720	0,4298
octobre						0,4089

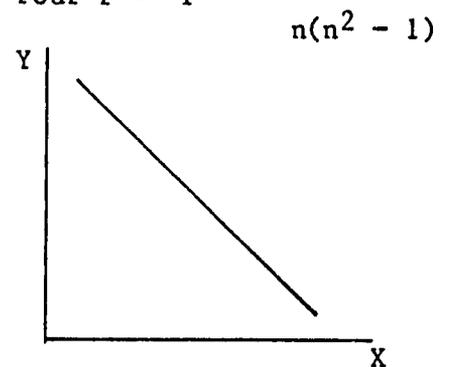
Le triangle de corrélation est un ensemble d'éléments qui sont des coefficients de corrélation (r) mesurant une relation linéaire entre deux variables: le rendement (Y) et la pluviométrie.

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

Pour $r = 1$



Pour $r = -1$



Etant donné que la pluviométrie est le facteur limitant le plus important dans la production agricole au Sahel, alors $r > 0$. Si l'on trouvait $r < 0$, ceci nous oblige à rechercher les raisons.

- Le diagramme de dispersion,
- le coupe chronologique, et
- l'information à la source des données

sont autant de moyens qu'il est bon d'utiliser pour la recherche de la raison pour laquelle r est négatif.

Si des valeurs extrêmes aberrantes ou une relation non-linéaire apparaissent, alors il est mieux d'utiliser le coefficient de Spearman.

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

où S_i est le rang de la première observation en abscisse x , X , X_i et t_i , celui de la première observation sur l'ordonnée Y , Y_i . Les classements sont dans le sens croissant.

Le Tableau 8 est un exemple de l'emploi du coefficient de Spearman où $n = 5$. Son triangle de corrélation est alors établi de la même manière que plus haute.

Remarque: Si des données sont douteuses il est préférable de les éliminer et si le diagramme de dispersion des rendements présente une tendance contraire à celui de la pluviométrie, le rendement peut néanmoins être bas.

c. Les modèles de régression rendement/pluviométrie

L'exemple ici traité concerne la Bougouriba, et la pluviométrie de Gaoua de 1979 à 1983 constitue les données pluviométriques (la serre est courte par manque de données agricoles).

d. Mécanismes de développement des modèles

Les étapes suivantes ont été suivies:

- A partir des données de base on établit le triangle de corrélation dont les éléments sont des coefficients de corrélation r .
- Le r le plus élevé dans le triangle de corrélation nous a fixé sur la période influençant le plus le rendement (ici le cumul pluviométrique juin-août).
- Une analyse de régression a permis d'obtenir: $\sigma^2_{1979-1983}$, les coefficients \hat{a} et \hat{b} de la droite de régression, les probabilités (probabilité $\gg F$ et probabilité $\gg |T|$) qui donnent une indication qualitative de la corrélation. Probabilité $\gg F$ doit être inférieure à 0,15 de même que

$$\frac{\text{Prob } \gg |T|}{2}$$

pour une bonne corrélation.

Tableau 8
Calcul coefficient de Spearman

n	x	y	s	t	Si-ti	(Si-ti) ²
1	50	3.0	3	2.5	0.5	0.25
2	45	2.5	1	1	0	0
3	47	3.0	2	2.5	-0.5	0.25
4	60	3.5	4	4	0	0
5	70	3.6	5	5	0	0

$$r = 1 - \frac{0.25 + 0 + 0.25 + 0 + 0}{5^3 - 5} = 1 - \frac{0.50}{120} = 1 - 0.0042 = 0.9958$$

e. Comment tester les modèles

Les données de rendement d'une année sont omises et l'on calcule le rendement estimé pour l'année omise. De nouveaux coefficients \hat{a} et \hat{b} sont calculés:

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

La valeur estimée de rendement (\hat{Y}_i) est comparée avec Y_i , la valeur observée de rendement:

$$Y_i - \hat{Y}_i.$$

Le même processus se répète en omettant l'année suivante, mais incluant l'année précédemment omise. De ce fait une seule année est omise à la fois. C'est le test de jackknife ou test quasi-indépendant. On établit le Tableau 9.

Une autre méthode semblable à celle de jackknife dite test de bootstrap est aussi utilisée pour tester les modèles de régression. Toutefois elle demande beaucoup plus de données. Le cheminement est le même, seulement on omet plusieurs années consécutives à la fois et un tableau similaire au Tableau 9 est établi. Le Tableau 10 présente un exemple où on veut tester le modèle pour les cinq dernières années et que nos données commencent en 1970 (test de bootstrap).

D'abord on omet les données de 1981 à 1985 et on estime les coefficients de régression \hat{a} et \hat{b} et ensuite \hat{Y}_{1981} . Puis on inclut 1981 et les coefficients de régression sont réestimés de même qui \hat{Y}_{1982} . Le processus continue jusqu'en 1985. Si le modèle est bon les coefficients \hat{a} et \hat{b} doivent être stables pour toute la série (Tableau 10).

L'intervalle de confiance pour les nouvelles observations Y_{1986} et X_{1986} :

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

Tableau 9
Test de jackknife

	\hat{a}	\hat{b}	Y_i	\hat{Y}_i	$Y_i - \hat{Y}_i$	$(Y_i - \hat{Y}_i)^2$	X_i	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$
1979	-2,501587	0,007608	0,7480	0,7089	0,0391	0,0015288	422,0	+3,0	9,0
1980	-2,732300	0,00812	0,7660	0,6455	0,1205	0,0145203	416,0	-3,0	9,0
1981	-2,516296	0,007614	0,7810	0,6817	0,0993	0,0098605	420,0	+1,0	1,0
1982	-5,418091	0,014737	0,7440	1,0516	-0,3076	0,0946178	439,0	+20,0	400,0
1983	+1,237793	-0,001127	0,4230	0,7905	-0,3675	0,1350563	397,0	-22,0	484,0
1985							626,0	+207,0	
TOTAL			3,4620			0,2555837	2094,0		903,0

$$\bar{X} = 419,0$$

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

$$\bar{Y} = 0,6924$$

Exemple:

$$\hat{b}_{1979-83} = 0,007866$$

$$\hat{Y}_{1980} = -2,7323 + 0,00812 \times 416,0 = 0,6455$$

$$\hat{a}_{1979-83} = -2,601929$$

$$t_3 = 4,176$$

Tableau 10
 Test de bootstrap

	Y	X	\hat{a}	\hat{b}
1970				
1971				
1972				
1973				
1974				
1975				
1976				
1977			s	s
1978			e	e
1979			m	m
1980			b	b
1981			l	l
1982			a	a
1983			b	b
1984			l	l
1985			e	e
1986			s	s

Pour une regression linéaire alors,

$$Y_{1986} = \hat{Y} + \hat{\sigma} t_{n-2} \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(\bar{X} - X_{1986})^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}}$$

$$X_{1986} = \begin{pmatrix} 1 \\ X_{1986} \end{pmatrix}; \quad \hat{\sigma} = \begin{pmatrix} \hat{a} \\ \hat{b} \end{pmatrix}$$

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

le degré de liberté du t student = n - p. Pour une regression linéaire p = 2.

Remarques: En divisant $\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$ par n - 2 on a $\hat{\sigma}^2$.

L'équation:

$$q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\hat{\sigma}^2_{1979-1983}}}$$

nous fixe l'important de $\hat{\sigma}$ par rapport à $\hat{\sigma}_{1979-1983}$. Si l'on utilise plusieurs modèles, celui dont q sera le plus faible sera le meilleur.

f. Les facteurs qui affectent les rendements agricoles

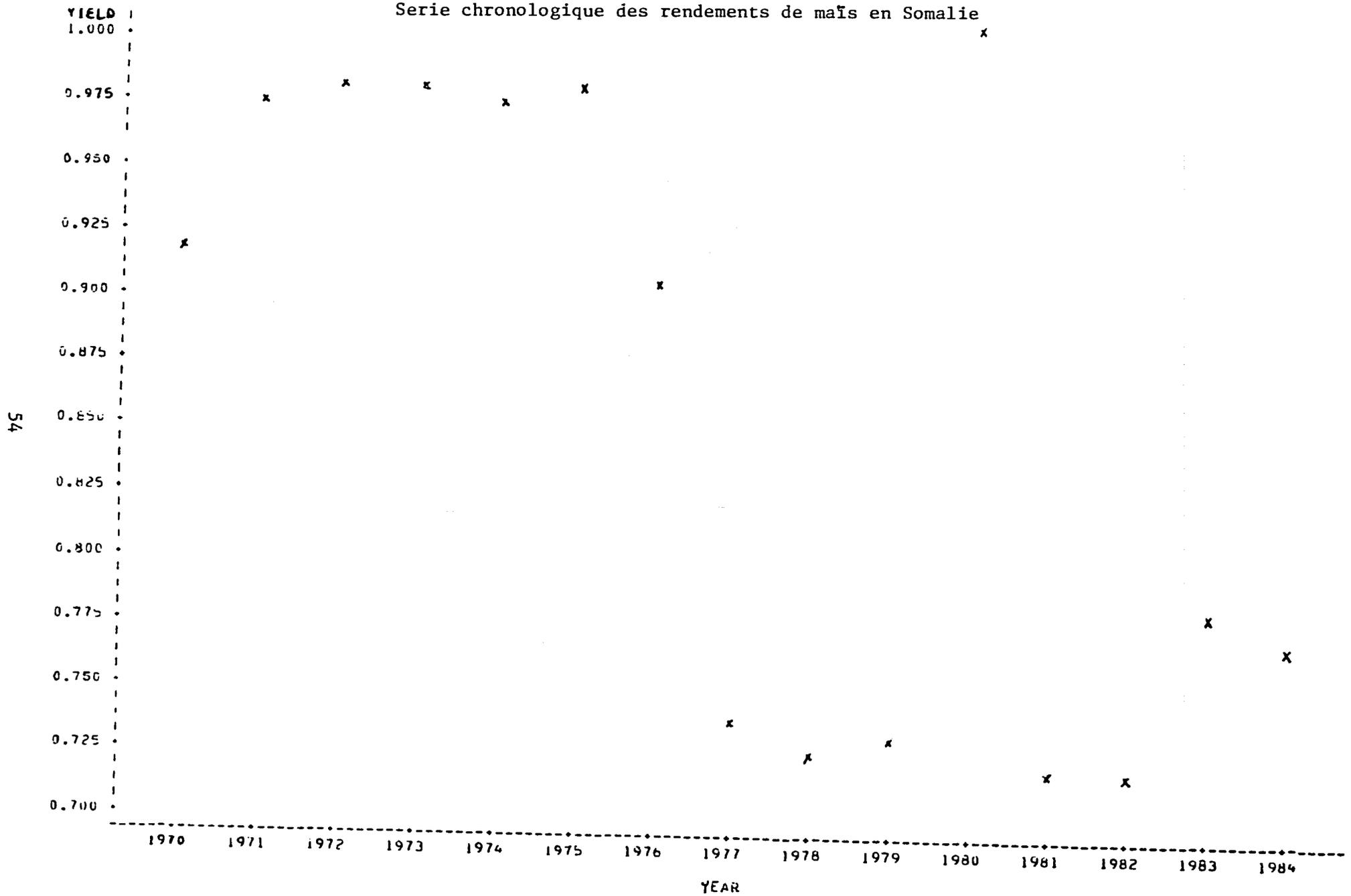
i) La vraisemblance des données culturelles et météorologiques

Les coupes chronologiques des données de base peuvent montrer des tendances, des ensembles et des incohérences. Les points aberrants devront être supprimés dans un souci de fiabilité.

Par exemple, la Figure 12 qui représente une série chronologique des rendements de maïs en Somalie laisse voir deux (2) ensembles distincts de points: un premier avant 1977 et le deuxième après 1977. En 1980 il y a un

Figure 12

Serie chronologique des rendements de maïs en Somalie



pic de rendement (le plus élevé). Une légère variabilité se dessine à travers les intervalles d'années 1971-1975 et 1977-1985. La fiabilité de ces ensembles devra être testée en comparant les rendements avec la pluviométrie. Cette coupe chronologique soulève plusieurs questions:

- La pluviométrie, a-t-elle été plus faible après 1977?
- Le pic de rendement en 1980, est-il dû à une pluviométrie exceptionnellement élevée?
- Y-a-t-il une similitude entre les ensembles de rendement de maïs en Somalie avec des ensembles de rendement d'autres cultures?
- Y-a-t-il d'autres explications que celles de la pluviométrie qui justifient ces ensembles de rendements?

Il faut chercher une réponse à ces questions dans l'utilisation d'un modèle de prévision. Il doit refléter les variations en omettant les valeurs extrêmes minimales et maximales. La Figure 13, représentant une coupe chronologique du rendement de maïs aux Etats-Unis dans l'état d'Iowa, laisse paraître clairement une tendance à la hausse.

ii) Technologie et tendances climatiques

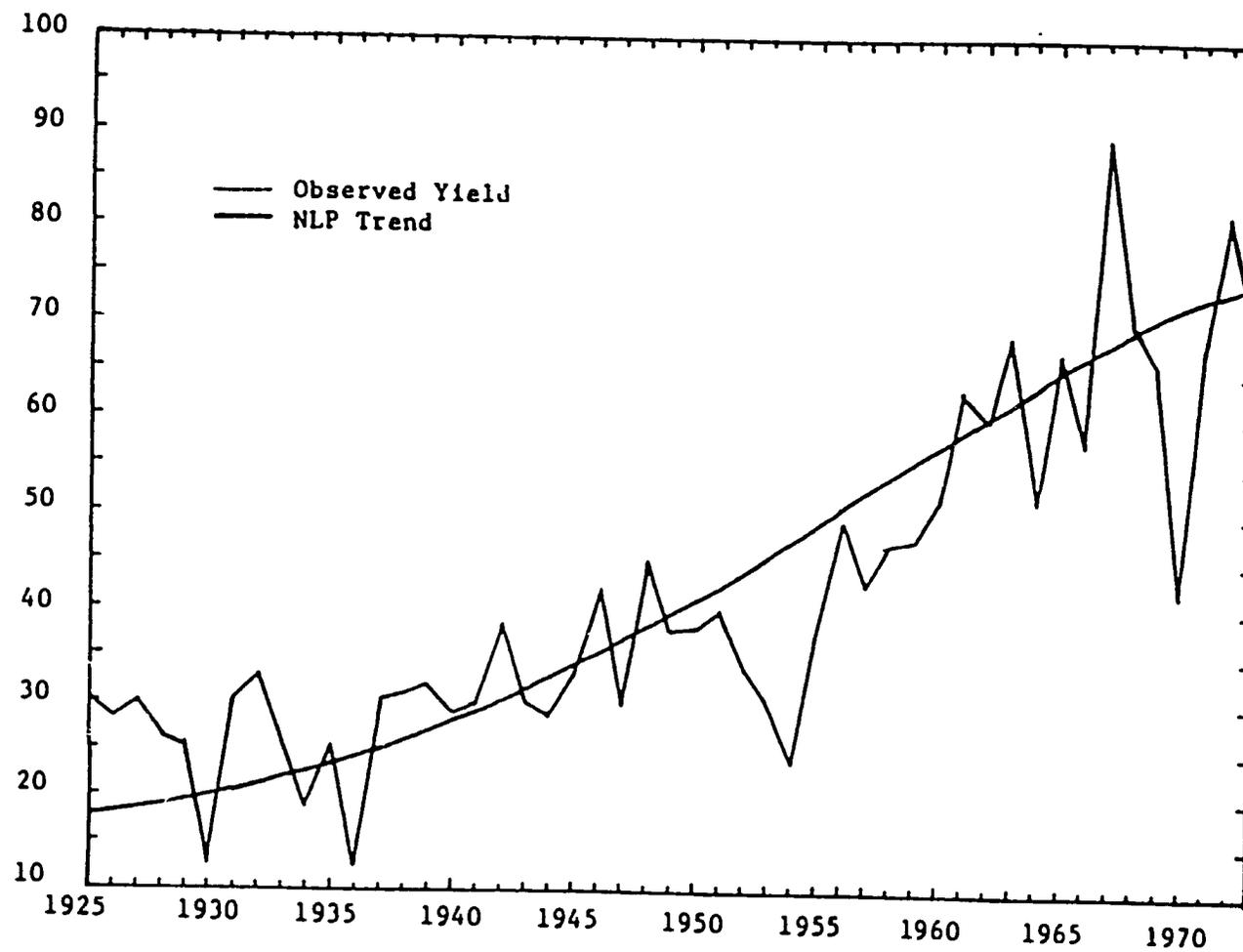
Le mot "tendance" décrit l'allure des rendements à travers les années (un accroissement ou une diminution). L'existence d'une tendance dans une coupe chronologique indique qu'il existe un effet à long terme responsable de la baisse ou de l'augmentation des rendements d'année en année.

Les techniques culturales (emploi d'engrais, variétés performantes, irrigation) sont les variables responsables de l'augmentation des rendements en dehors des bonnes pluviométries, alors que la baisse de la pluviométrie, une forte démographie, les insectes nuisibles, les prédateurs et autres maladies sont les variables susceptibles de causer des baisses de rendements.

Afin de ne pas faire des interprétations ne correspondant pas à la réalité, il faut s'assurer de la fiabilité des données. On recherche les causes qui expliquent la tendance.

Figure 13

Coupe chronologique du rendement de maïs dans l'état d'Iowa



iii) Quantité de données requises pour un modèle

Il faut au moins vingt (20) années de données. Toutefois pour plusieurs raisons on ne peut disposer que de moins de données, alors moins il y a de données plus la fiabilité du modèle sera faible et il faudrait reconnaître les limites du modèle quand on l'utilise. Toutefois pour pallier à ce manque de données, plusieurs régions à régime pluviométrique et pratiques culturales semblables peuvent être regroupées en poules, offrant ainsi beaucoup plus d'informations que si les données étaient utilisées séparément par régime (Figures 14 et 15).

L'exemple de la Figure 16 représente la distribution de quatre (4) années de données au Tchad pour cinq (5) régions. Prises seules à seules, les données de chaque régions étaient insuffisantes pour établir une relation statistique.

iv) Validité des données

Dans le cas de manque de données de pluviométrie de quelques stations, on est amené à choisir les stations dont les données pluviométriques sont les plus raisonnables. L'exemple du Tchad ci-dessus cité illustre bien cette situation. A partir des Figures 14 et 16, on se pose la question de savoir s'il faut éliminer les stations les plus au nord.

Le triangle de corrélation établi indique que la pluviométrie cumulée de mai-juin a le coefficient de corrélation le plus élevé (Tableau 11). Le choix des stations ne doit pas nous faire oublier qu'un modèle opérationnel exige des données en temps réel. Seules les stations capables de fournir des informations à temps réel, donc de respecter cette exigence, seront retenues.

v) Les vraisemblances agronomiques

Après le choix des stations, il importe de savoir quelles variables météorologiques sont agronomiquement raisonnables. Le calendrier agricole

Figure 14

Les rendements de sorgho au Tchad

CHAD SORGHUM (SORGHO)

- Logone Occidental
- ▲ Logone Oriental
- ▼ Mayo Kebbi
- Moyen Chari
- ◆ Tandjile

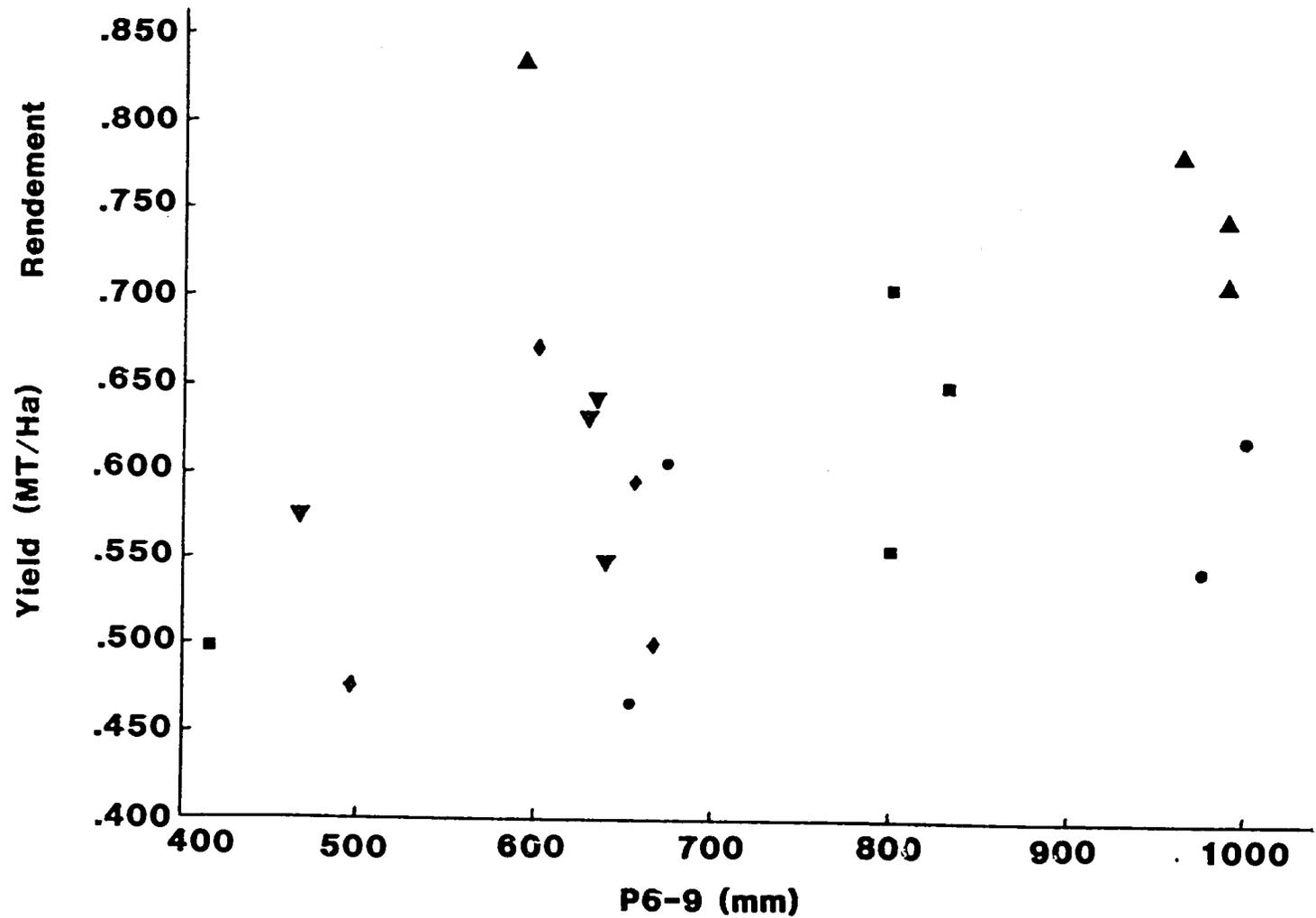


Figure 15

Les stations pluviométriques au Tchad

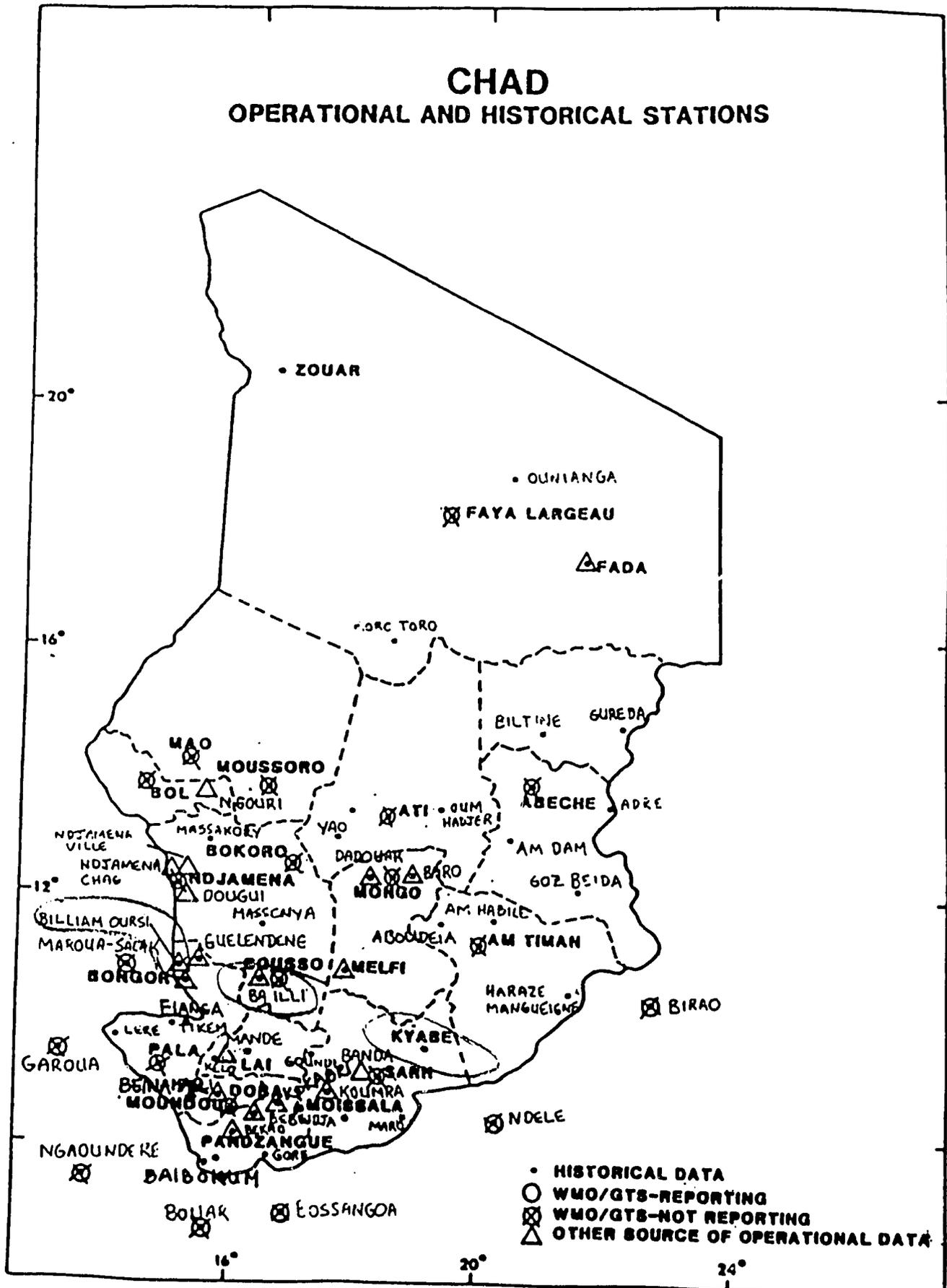


Figure 16
La distribution de sorgho en cinq régions au Tchad
CHAD SORGHUM (SORGHO)

- Logone Occidental
- ▲ Logone Oriental
- ▼ Mayo Kebbi
- Moyen Chari
- ◆ Tandjile

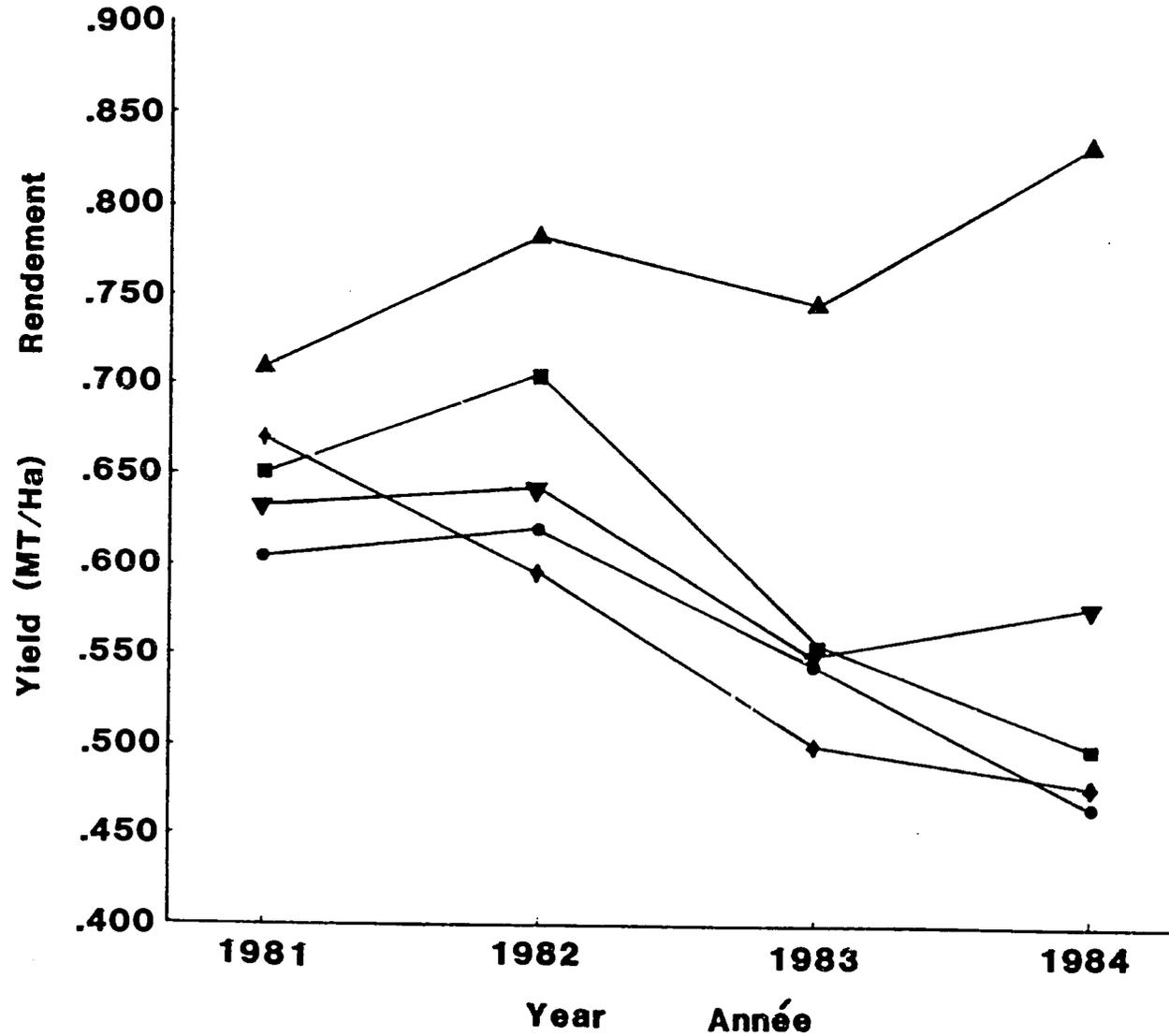


Tableau 11

Coefficient de corrélation du sorgho au Tchad

		Précipitation cumulée contre rendement					
		mai	juin	juillet	août	septembre	octobre
mai	0,67	0,68	0,65	0,68	0,70	0,73	
juin		0,25	0,43	0,43	0,51	0,57	
juillet			0,36	0,45	0,54	0,59	
août				0,18	0,40	0,48	
septembre					0,53	0,62	
octobre						0,39	

Pays: Tchad Région: Nationale Culture: Sorgho Source: GOC/ONDR

peut aider à la détermination des mois de semis et de récolte (Tableau 12). On en extrapole donc les mois des phases critiques.

vi) Les statistiques

Dans l'établissement des modèles de rendement, on recherche souvent les variables météorologiques qui sont les plus corrélées avec les rendements. Cependant il faut avoir à l'esprit que les variables qui sont les plus agronomiquement vraisemblables ne sont pas toujours les plus corrélées. Dans le cas où la variable agronomiquement vraisemblable ne donne pas le coefficient de corrélation le plus élevé il faut rechercher la raison. Elle peut être par exemple des données manquantes.

vii) Résumé

En résumé, la sélection de modèle est le résultat d'investigation et d'expérience. Des recherches personnelles nous révèlent quels résultats sont acceptables et notre expérience nous indique les variables qui les produisent.

3. L'indice de végétation normalisé

L'indice de végétation est étroitement lié au LAI d'une zone donnée; le LAI rend compte du développement phénologique des cultures. C'est ainsi que si une végétation a subi un stress hydrique son développement en sera affecté donc son LAI sera affecté. Des valeurs d'indice de végétation sont calculées chaque jour pour chaque pixel. Les pixels sans nuages d'une semaine sont moyennés pour donner un indice moyen de végétation hebdomadaire. Les différents indices de végétation sont calculés par les équations suivantes:

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

$$DVI = Ch_2 - Ch_1$$

$$RVI = \frac{Ch_2}{Ch_1}$$

Tableau 12

Calendrier cultural pour le Soudan

CROP	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
MILLET						///	///			000	000	
SORGHUM						///	///			000	000	
MAIZE						///	///			000	000	
GROUNDNUT						///	///			000	000	
SESAME						///	///			000	000	
WHEAT		000	000							///	///	
COTTON						///	///	///		000	000	000

/// = SOWING

000 = HARVEST

Pour une région semi-aride au Sénégal, différentes valeurs ont été calculées et pointées sur la Figure 17. Des coefficients multiplicateurs ont été utilisés pour écarter les courbes afin de faciliter la comparaison.

A première vue, il n'existe pas de différence entre ces courbes. Pour obtenir une comparaison plus précise il a été nécessaire de les standardiser; de chaque valeur d'indice de végétation on soustrait la moyenne puis on divise par l'écart-type. Le DVI standardisé (SDVI) est pointé contre le NVI standardisé (SNVI) (Figure 18) et le SNVI est pointé contre le RVI standardisé (SRVI) (Figure 19) et on note forte corrélation entre les différents indices de végétation.

Les coupes chronologiques des indices de végétation telles que l'indique la Figure 20 permettent une bonne interprétation du développement de la végétation, et le calendrier agricole (Tableau 12) aide en faisant cette interprétation.

4. L'analyse des modèles statistiques entre l'indice de végétation normalisé (NVI) et le rendement

Le NVI, l'indice de végétation normalisé, est le rapport obtenu par la formule suivante:

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

où Ch_1 et Ch_2 sont les valeurs de réflectance dans les canaux Ch_1 et Ch_2 qui sont respectivement les bandes $0.58 \mu\text{m} - 0.68 \mu\text{m}$ et $0.725 \mu\text{m} - 1.1 \mu\text{m}$.

La réflectance mesurée au-dessus d'une végétation est d'autant plus élevée dans le canal 2 et plus faible dans le canal 1 si elle est saine et ne souffre pas de stress hydrique.

La coupe chronologique de NVI permet de suivre l'évolution de la saison. Plusieurs formules ont été développées pour l'ajustement de la coupe chronologique (Figures 21 et 22).

Figure 17

Comparaison de trois indices de végétation

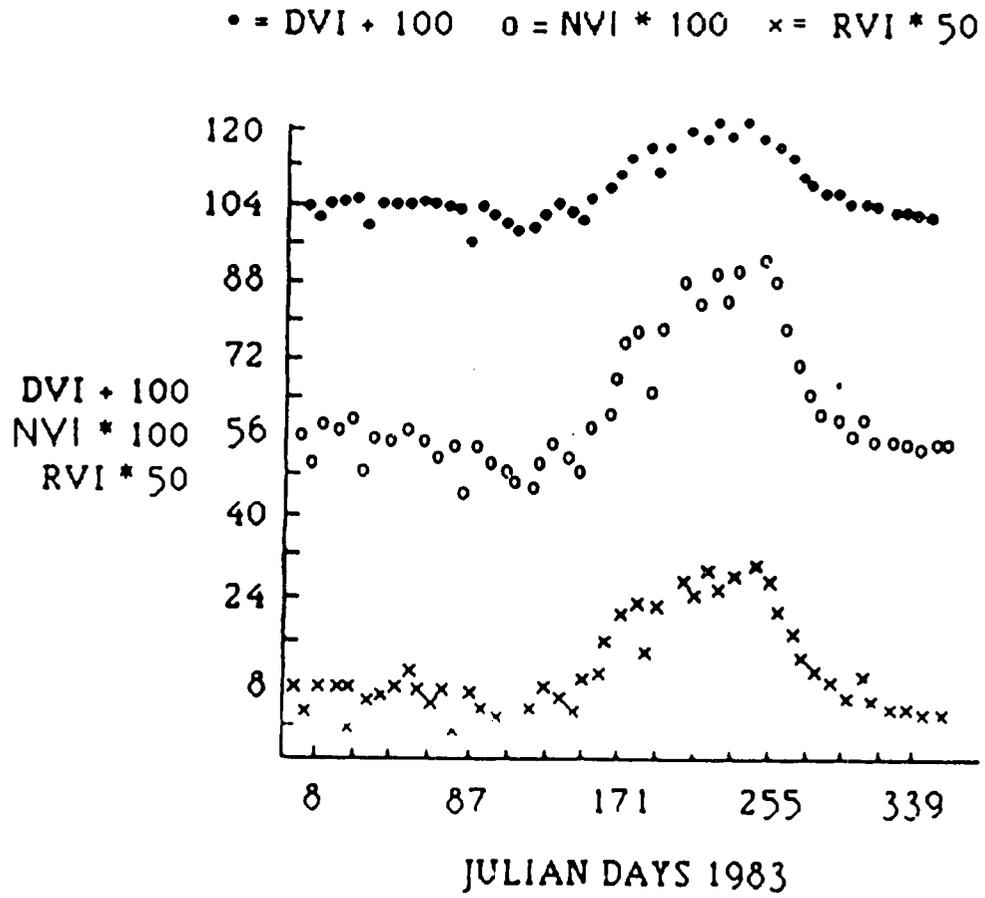


Figure 18

Le DVI standardisé (SDVI) contre le NVI standardisé (SNVI)

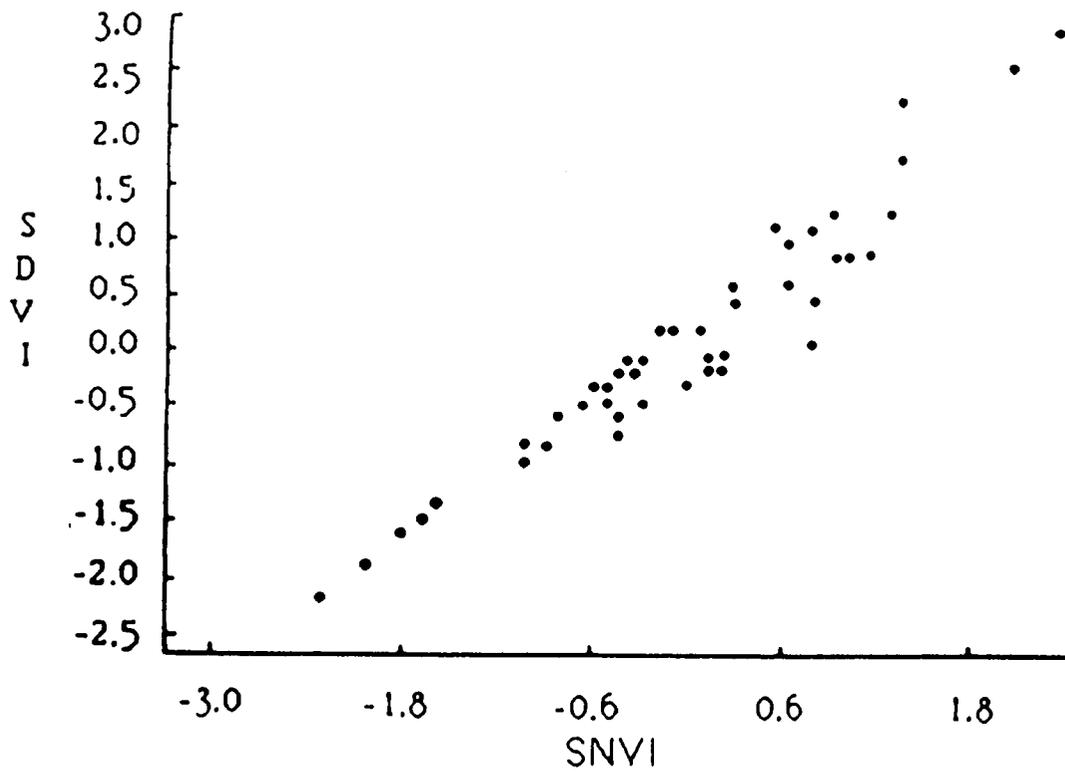


Figure 19

Le RVI standardisé (SRVI) contre le NVI standardisé (SNVI)

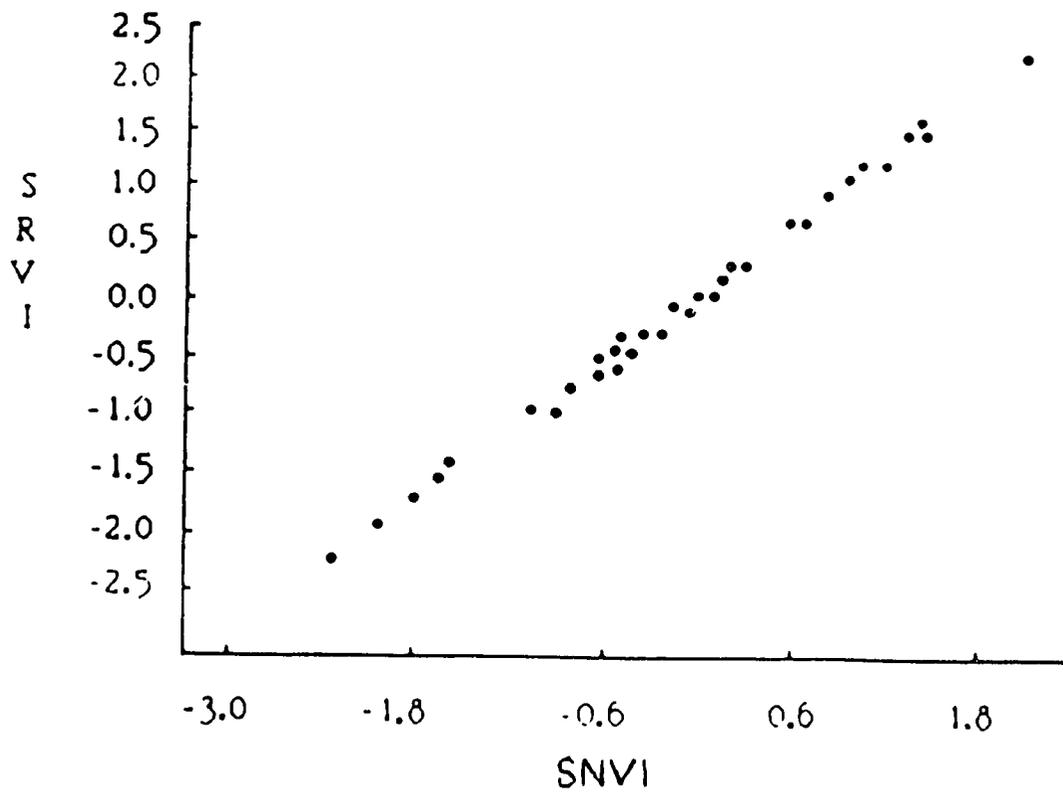


Figure 20

Coupes chronologiques du RVI au Soudan

* = 1983
 0 = 1994

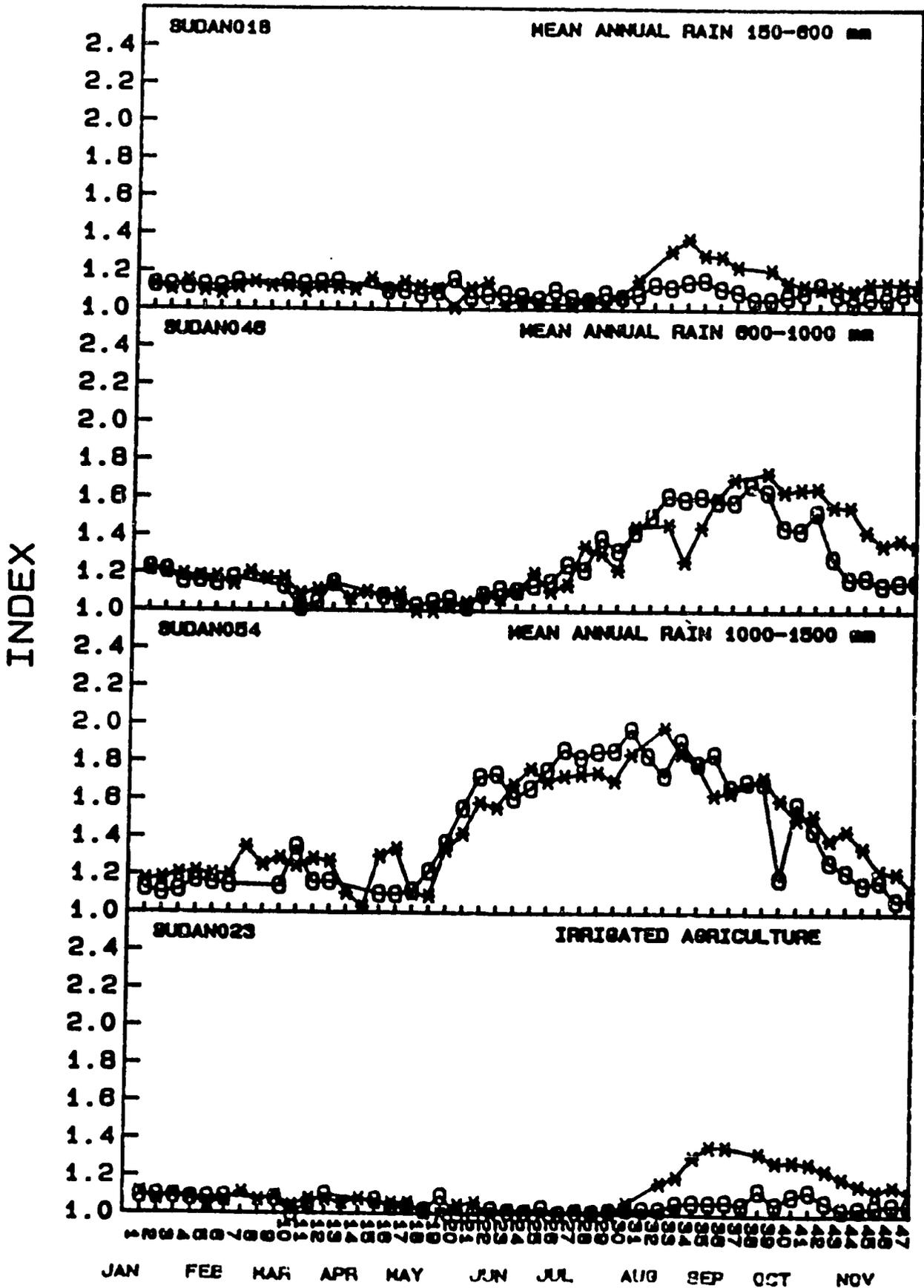


Figure 21

Le RVI lissé avec la procédure 4253H

V.I SMOOTHED WITH 4253H FOR G8 1983

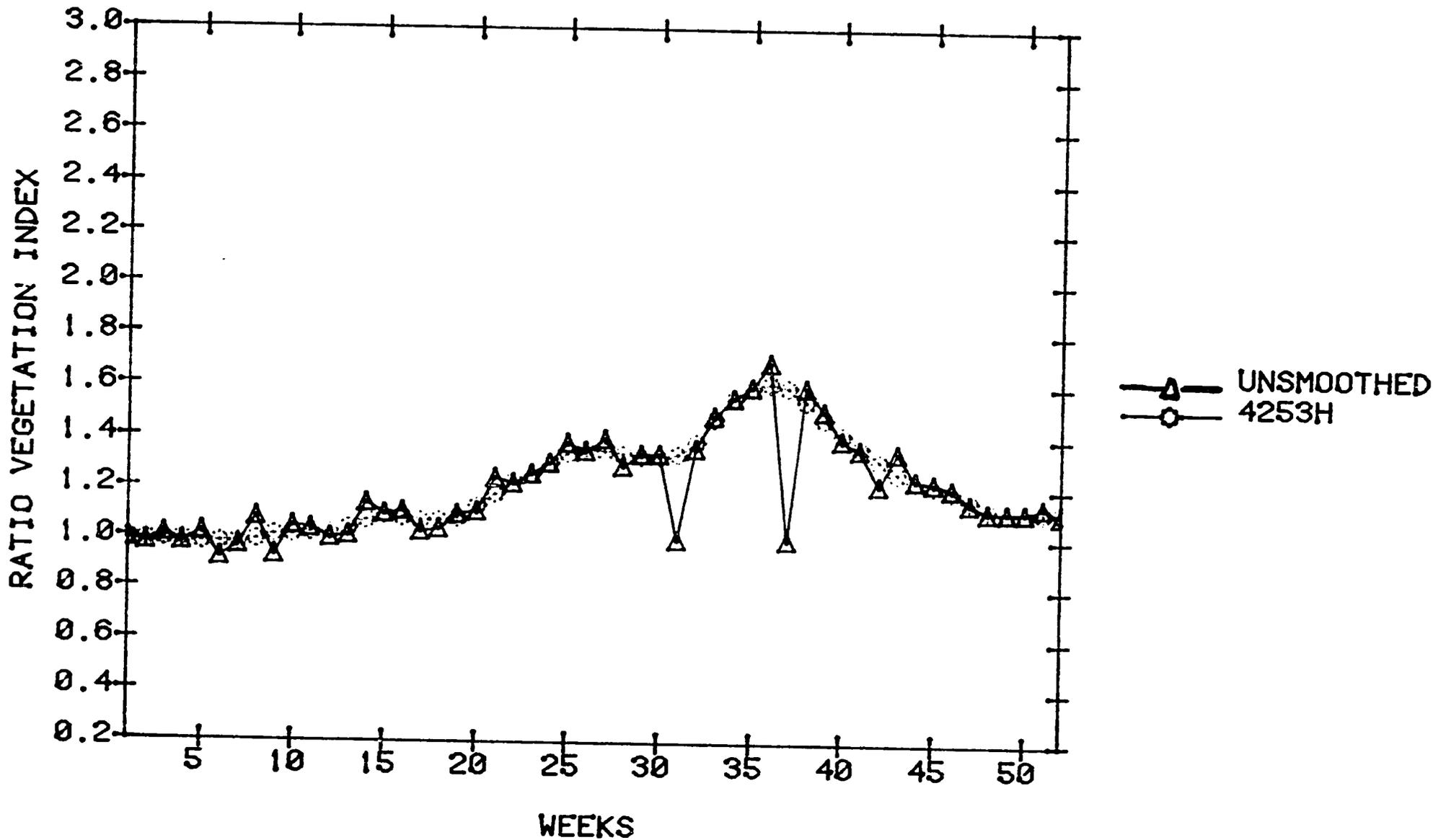
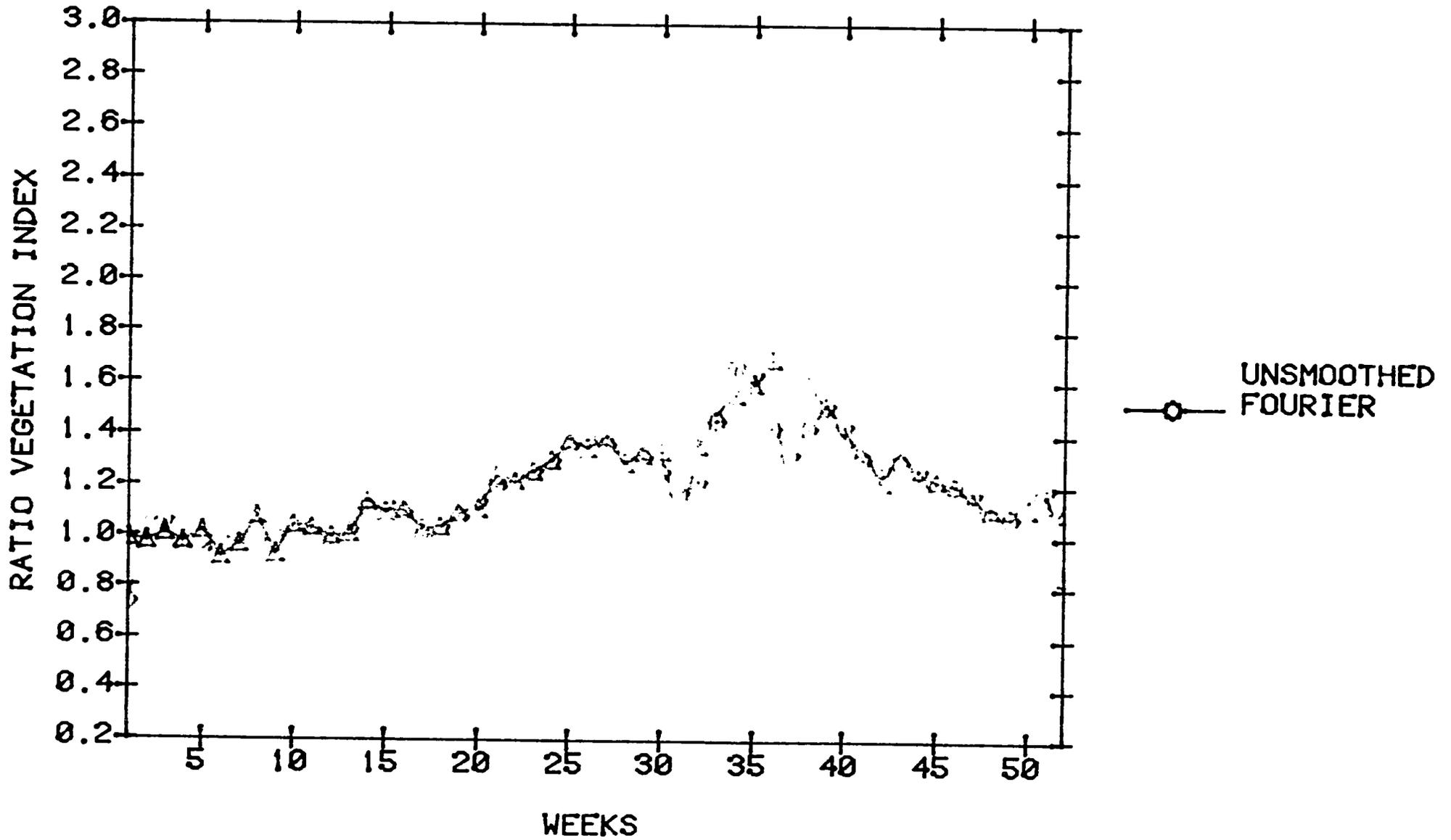


Figure 22

Le RVI lissé avec les séries de Fourier

V.I SMOOTHED WITH FOURIER SERIES FOR G8 1983



En représentant sur un axe cartésien le rendement (sur X) et le NVI (sur Y) on peut aisément tracer une droite de régression (Figures 23, 24, 25, et 26).

Un exemple de l'utilisation du NVI pour la prévision de la production se trouve en Annexe 1.

De même avec la production de la biomasse et NVI, on établit une courbe qui montre le rapport entre la biomasse et le NVI (Figure 27).

Boudet (1975) a établi une droite de régression entre la production de biomasse et la capacité de charge des champs exprimée en UBT (unité bovin tropical) (Figure 28). On peut à partir de deux (2) abaques (NVI/charge des parcours et NVI/production de la biomasse) déterminer la capacité de charge d'un parcours (Figure 29).

En définissant des classes de NVI (Figure 30) rapportées à une échelle couleur (Figure 31) en parallèle avec la production de la biomasse et la capacité de charge, on détermine sur une carte maillée (ici 1° sur 2°) des plages d'égal NVI; et donc la comparaison des situations entre années en est facilitée (Figure 32).

III. EVALUATION DE LA CAMPAGNE AGRICOLE 1985 AU BURKINA FASO

De plus en plus, la connaissance à l'avance de ce que sera la production agricole plus ou moins longtemps avant la récolte est devenue une nécessité et une obligation afin que les décideurs définissent les stratégies en matière alimentaire (importation/exportation).

Chaque état par ses services techniques tente donc de faire une approche le plus précocement possible de l'évaluation de la production agricole. C'est ainsi qu'au Burkina Faso le GTP (groupe de travail pluridisciplinaire) mis en place a pour tâches essentiels l'évaluation de la campagne agricole.

Figure 23

Le NVI contre le rendement de mil et de sorgho

BURKINA FASO, 1983

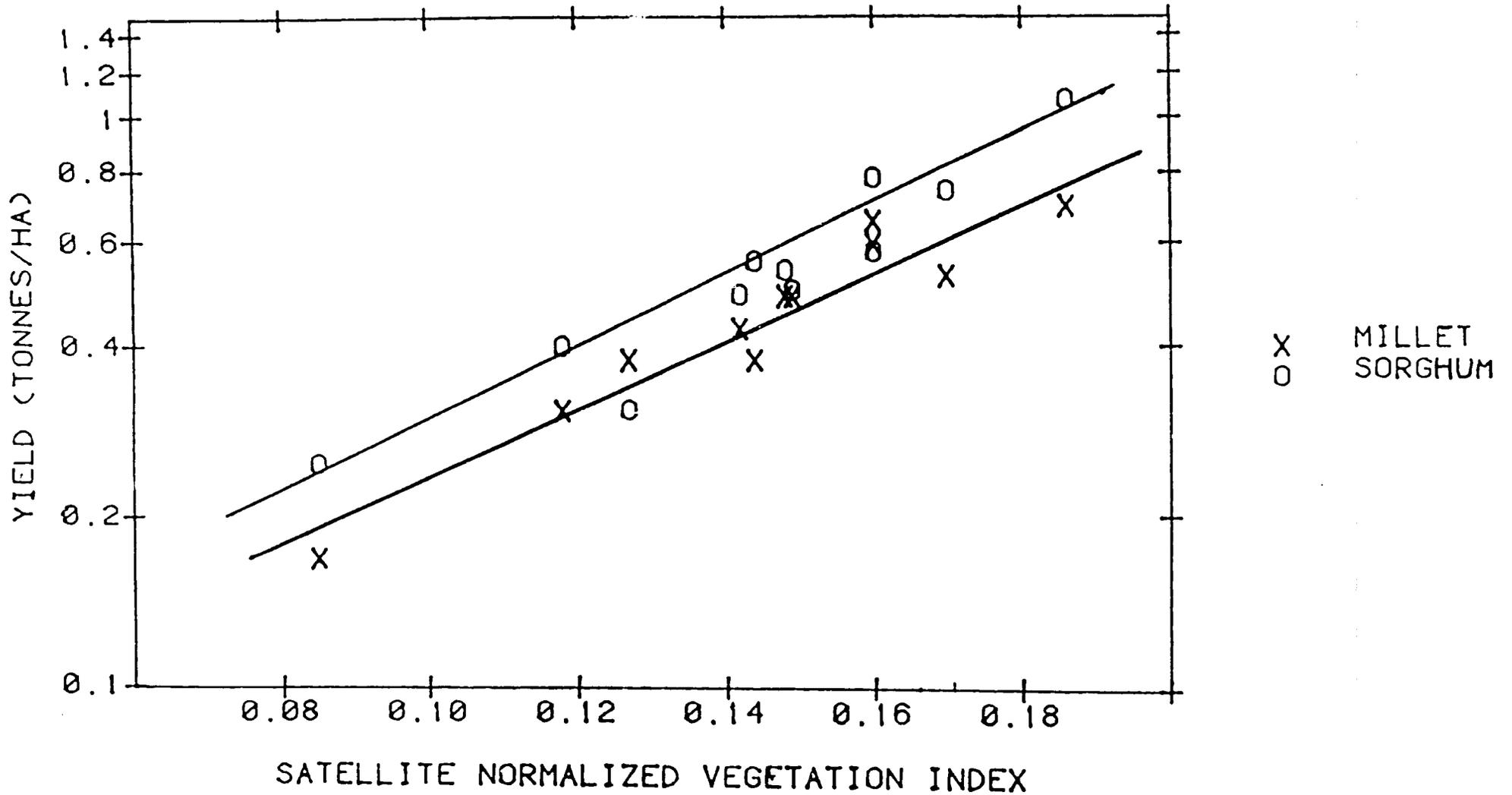


Figure 24

Le NVI contre le rendement de mil et de sorgho au Sahel

NIGER, CHAD, SUDAN, BURKINA FASO, SENEGAL AND MALI
1983 AND 1984

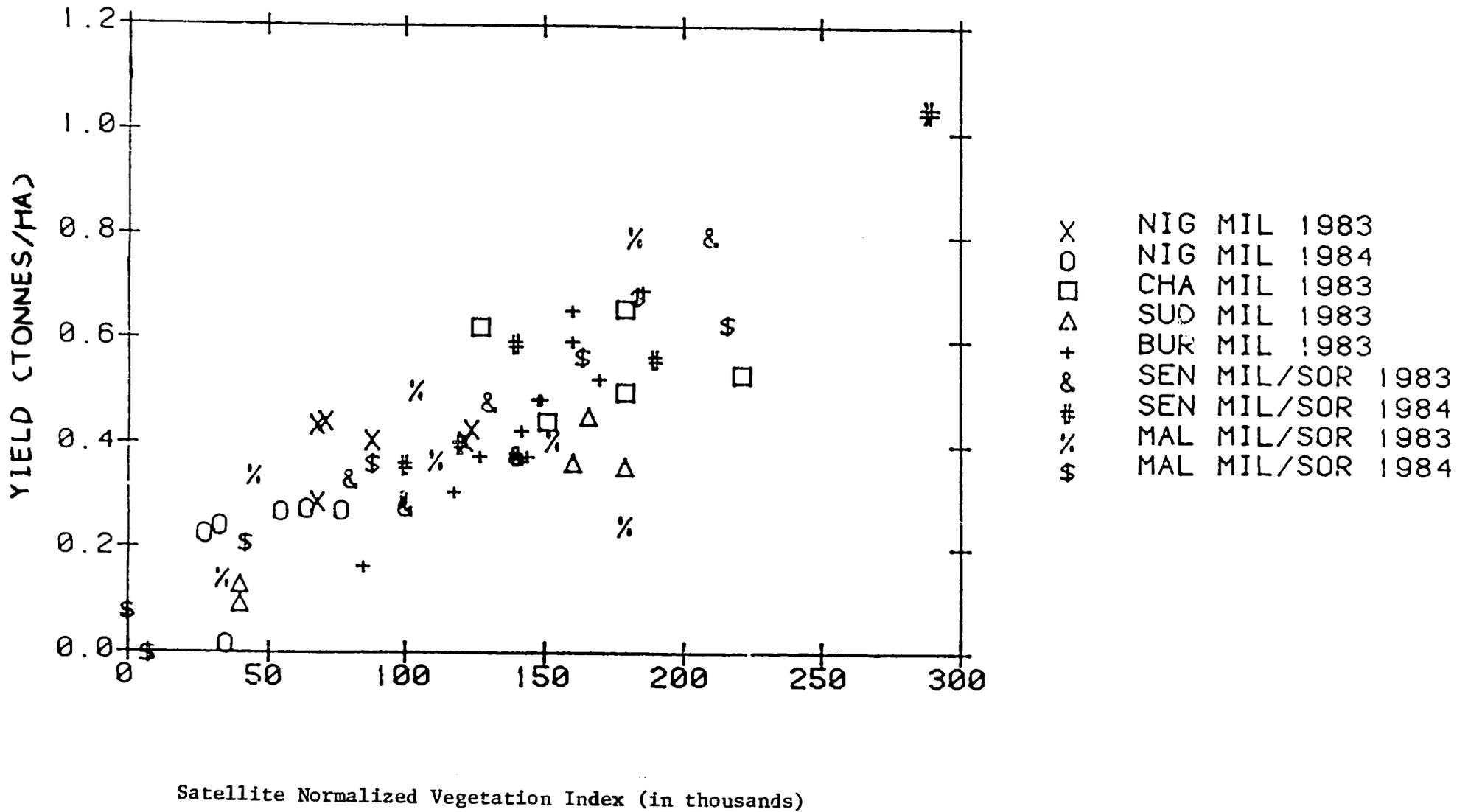


Figure 25

Analyse de régression du rendement contre le NVI pour les arachides au Sahel, 1983 et 1984

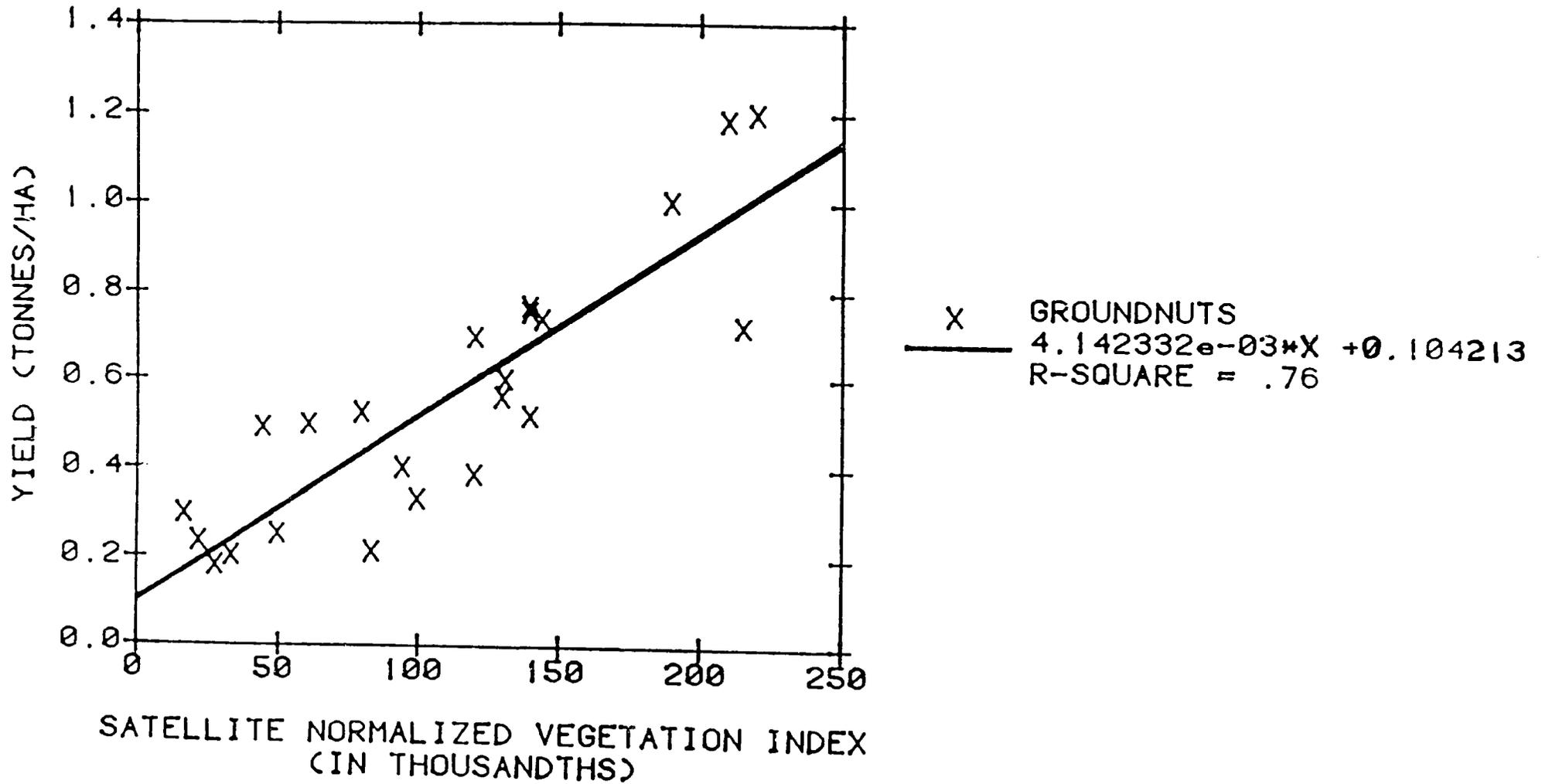


Figure 20

Analyse de régression du rendement contre le NVI pour le mil au Sahel, 1983 et 1984

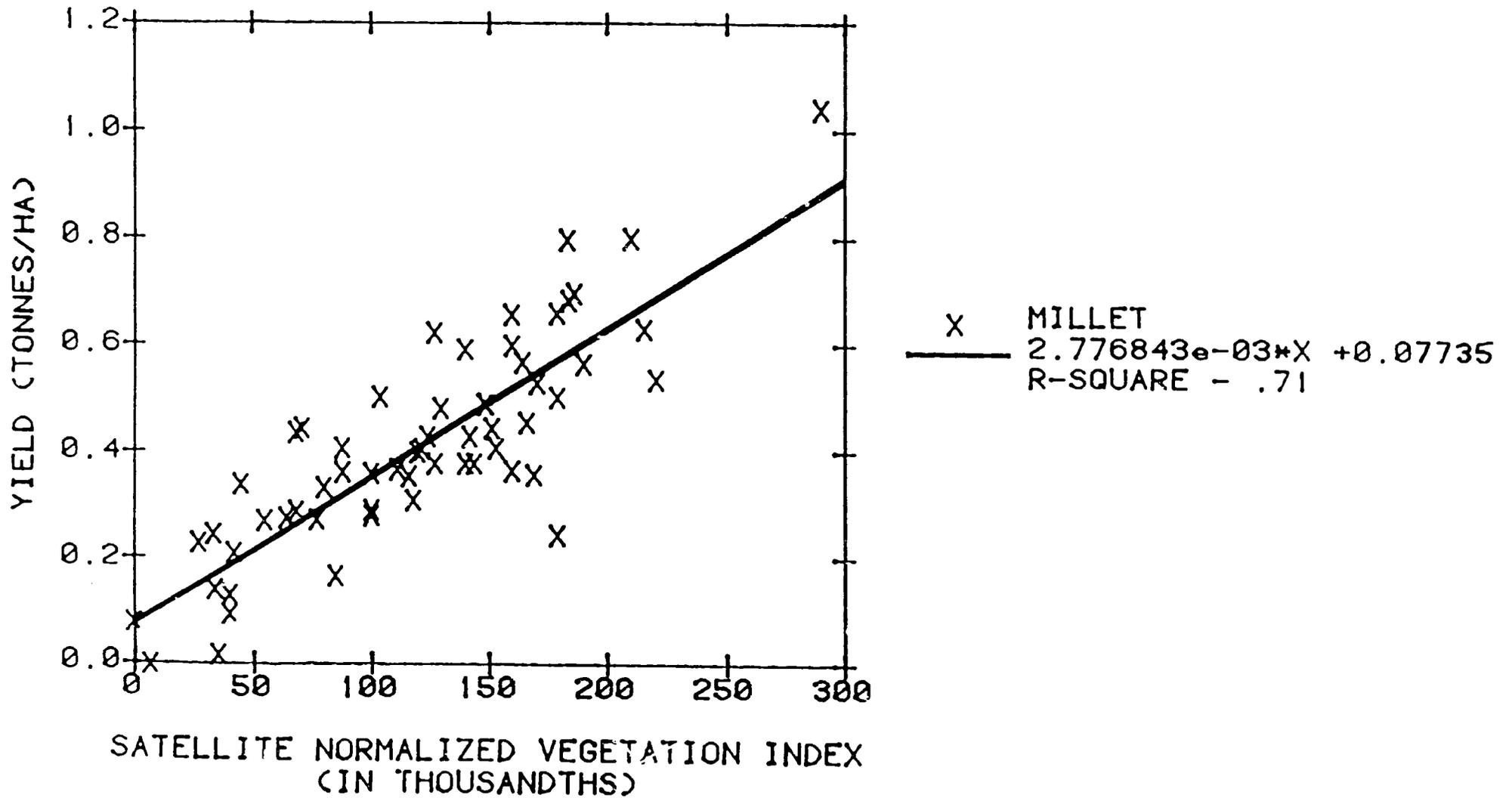


Figure 27

INDICE DE VEGETATION DU SATELLITE NOAA VS BIOMASSE
1983 ET 1984
SENEGAL ET MALI

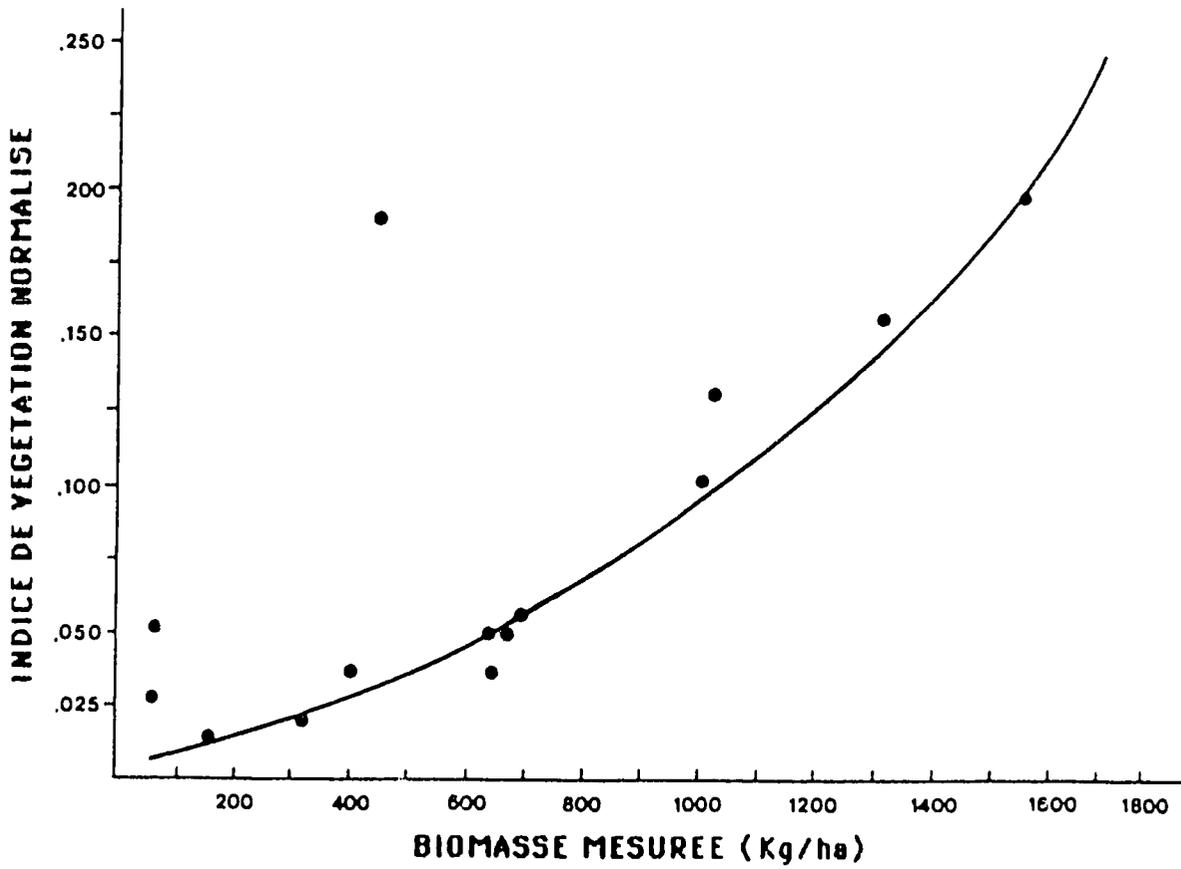


Figure 28

Relation entre biomasse et capacité de charge

(D'APRES BOUDET, 1975)

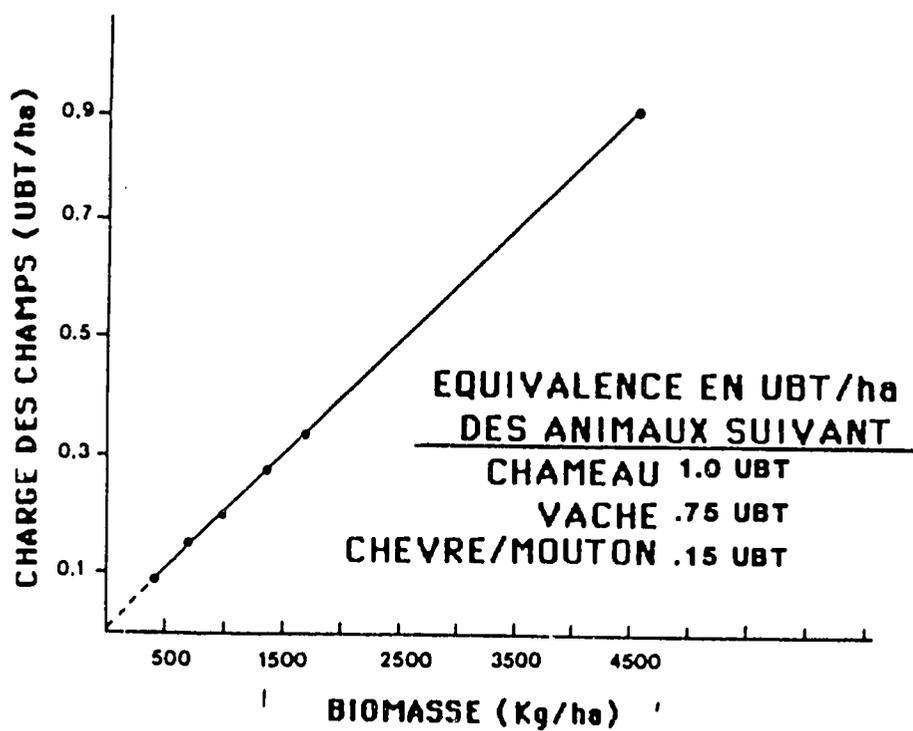


Figure 29

RELATION ENTRE BIOMASSE ET CHARGE DES PARCOURS

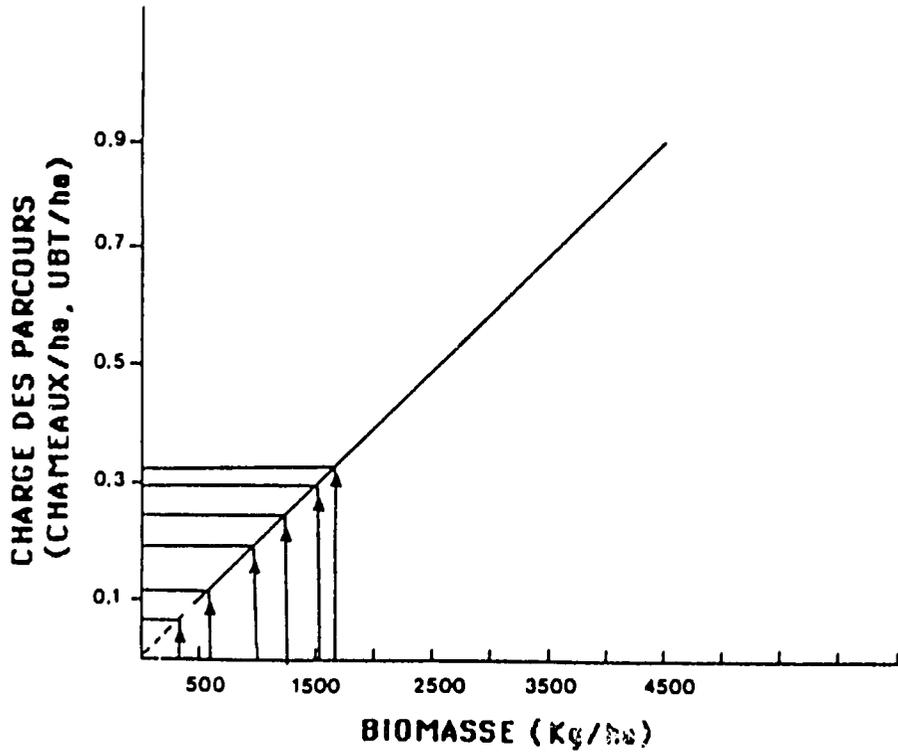


Figure 30

Relation entre les classes d'indice de végétation et la biomasse

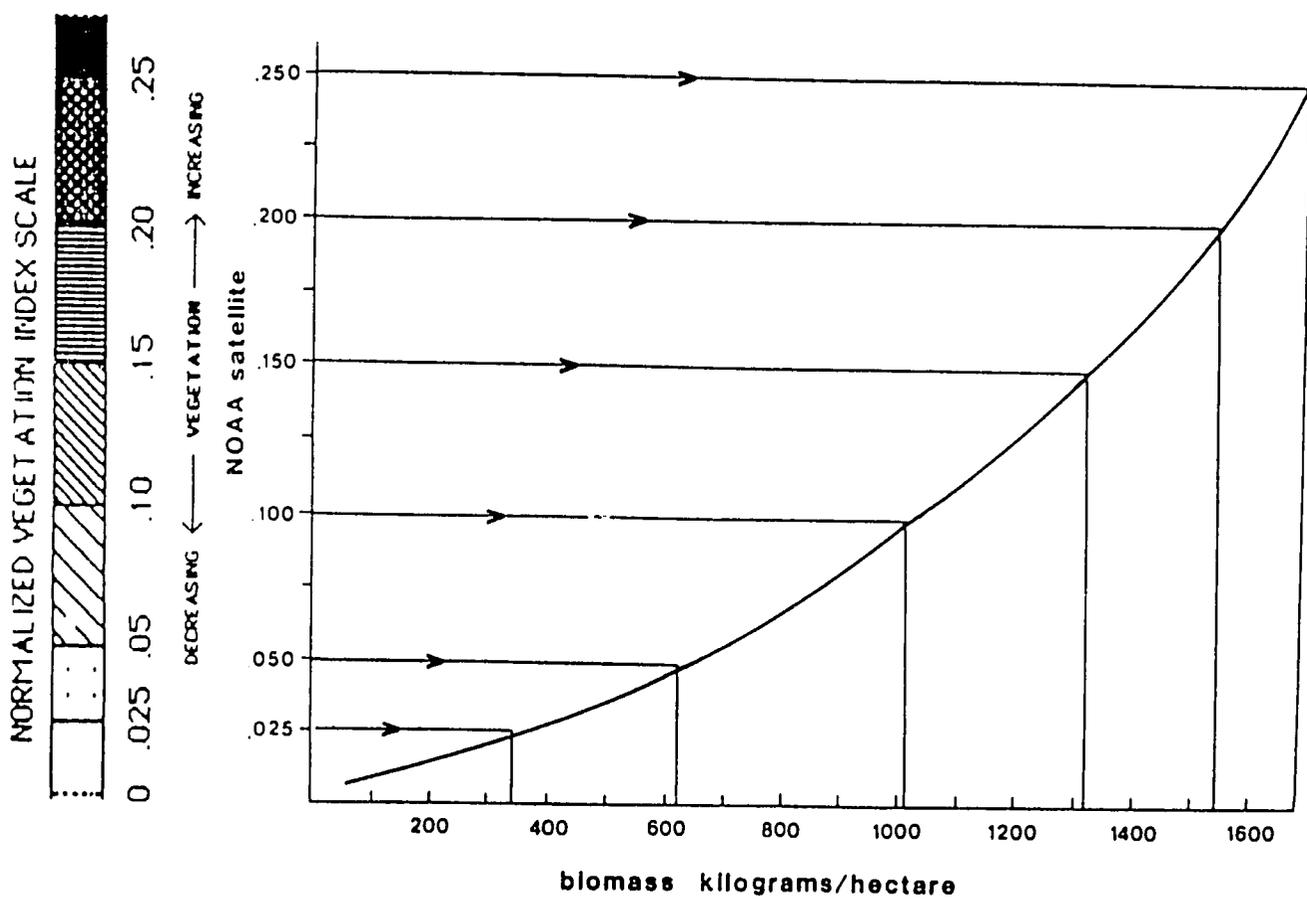


Figure 31

Echelle de l'indice de végétation normalisé

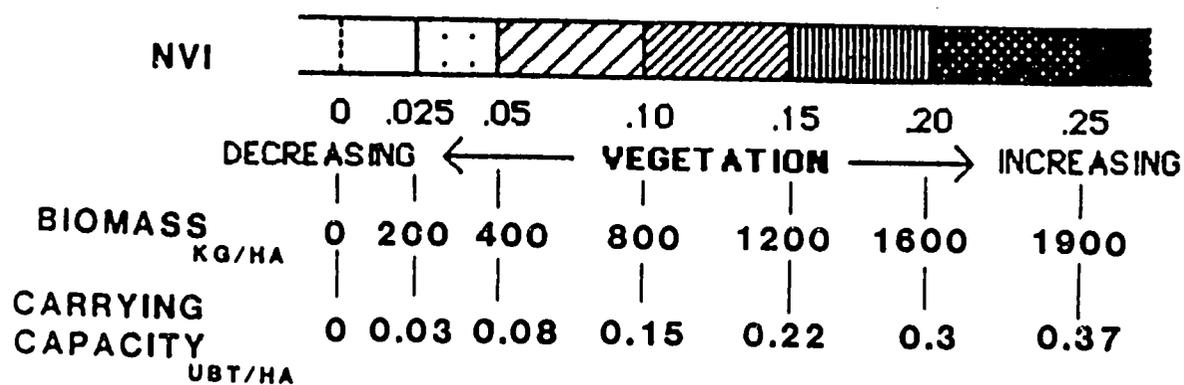
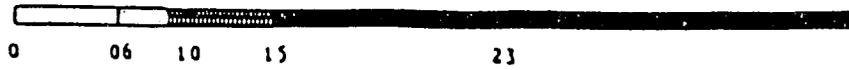
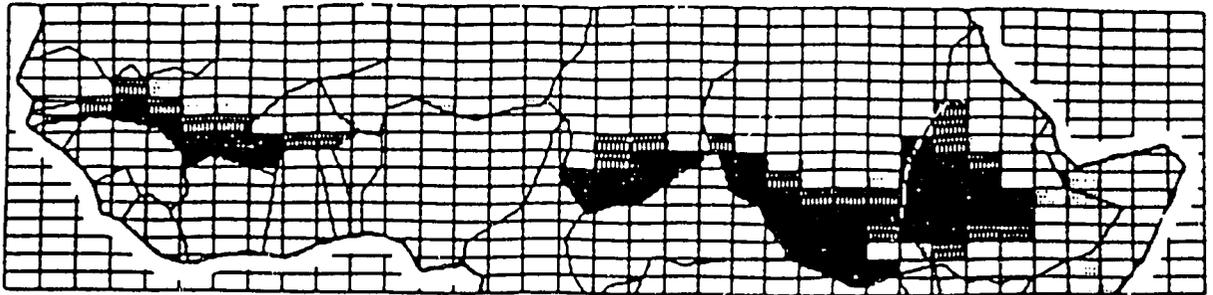


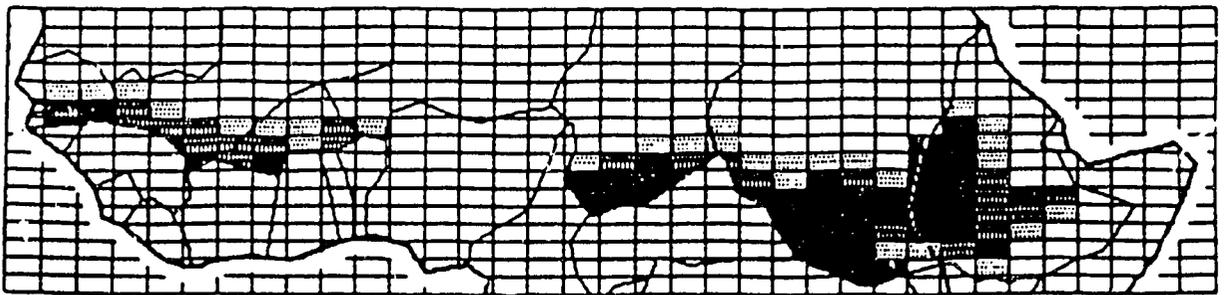
Figure 32

Indice de végétation normalisé régional

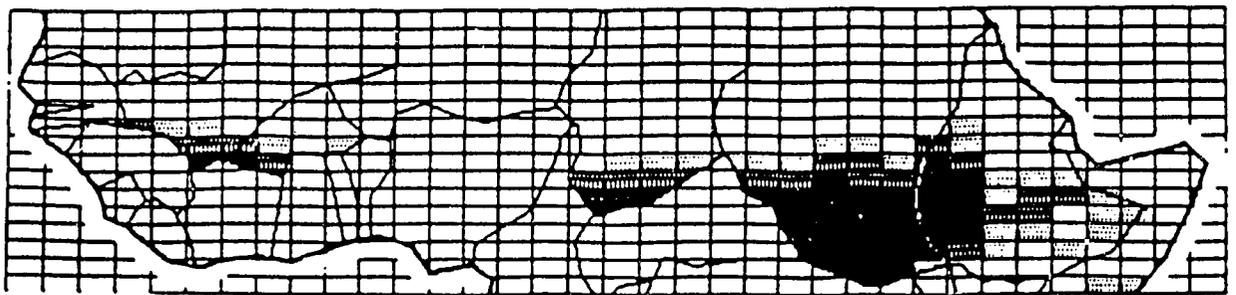
1983



1984



1985



NORMALIZED VEGETATION INDEX SCALE

NVI



0 .025 .05 .10 .15 .20 .25
 DECREASING ← VEGETATION → INCREASING

BIOMASS	0	350	620	1020	1320	1540	1700
CARRYING CAPACITY	0	0.06	0.12	0.2	0.25	0.3	0.33

A. Vue générale

L'année 1985 apparaît comme une année relativement humide avec stratification quasi-zonale des isohyètes (Figure 33) et par voie de conséquence une orientation zonale également de la végétation (Figure 34). La production céréalière a été de l'ordre de 800 kg/ha à 250 kg/ha respectivement au sud et au nord du pays (Tableaux 13 et 14) et ceci reste une relative meilleure performance depuis quelques années. On prévoit donc une augmentation de la production céréalière nationale.

La situation des parcours est à l'image de celle des cultures et la bonne production de biomasse (Tableau 15) devrait soulager les difficultés alimentaires du bétail.

B. La végétation et les parcours en 1985

La carte d'indice de végétation de la deuxième semaine d'août 1985 montre que l'indice a varié entre 0,05 et 0,25 du nord au sud. Les valeurs les plus élevées indiquent une végétation plus abondante et plus saine. Quatre (4) zones ont ainsi été mises en évidence (Figure 35):

- Une zone avec NVI compris entre 0,20 et 0,25 couvre les régions agricoles de la Comoé, des Hauts Bassins, du Sud, de la Volta Noire et du Centre Ouest.
- Une zone avec NVI compris entre 0,15 et 0,20 occupe le sud du Centre Est, l'Est et la Bougouriba.
- Le nord du Centre, le nord de la Volta Noire, le nord du Centre Est et le sud du Centre Nord constituent la zone avec NVI compris entre 0,10 et 0,15.
- Une zone couvrant les régions agricoles du Yatenga, le Sahel et le nord du Centre Nord avec NVI compris entre 0,05 et 0,10.

A ces différentes zones déterminées par des différentes classes de NVI correspondent différentes conditions d'état de végétation, de parcours et de cultures. Ainsi donc, aux quatre zones correspondent des productions de

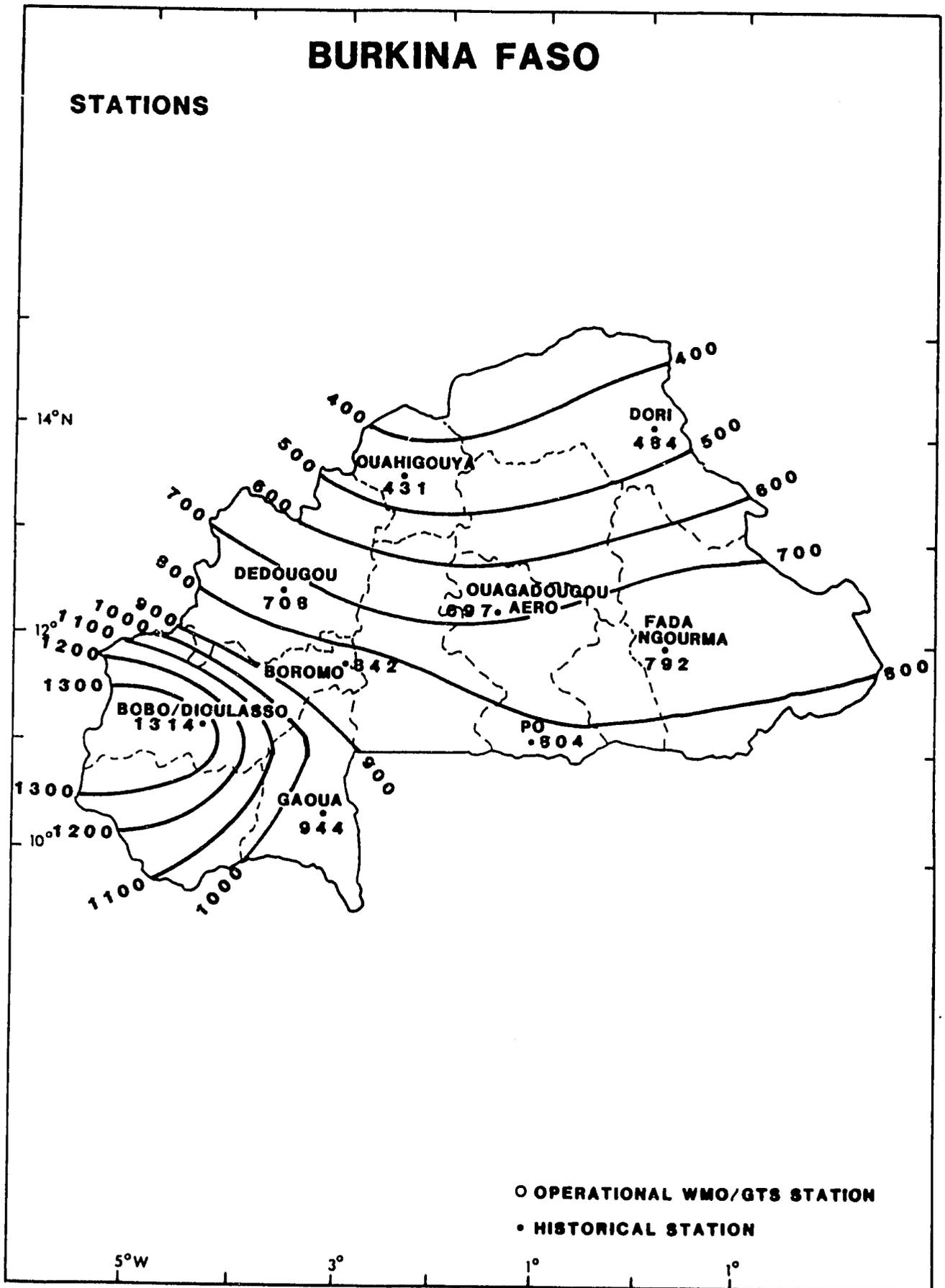


FIGURE 33 - Pluviométrie cumulée Mai-Octobre 1985

Figure 34

Données de l'indice de végétation/biomasse normalisé (deuxième semaine d'août)

BURKINA FASO

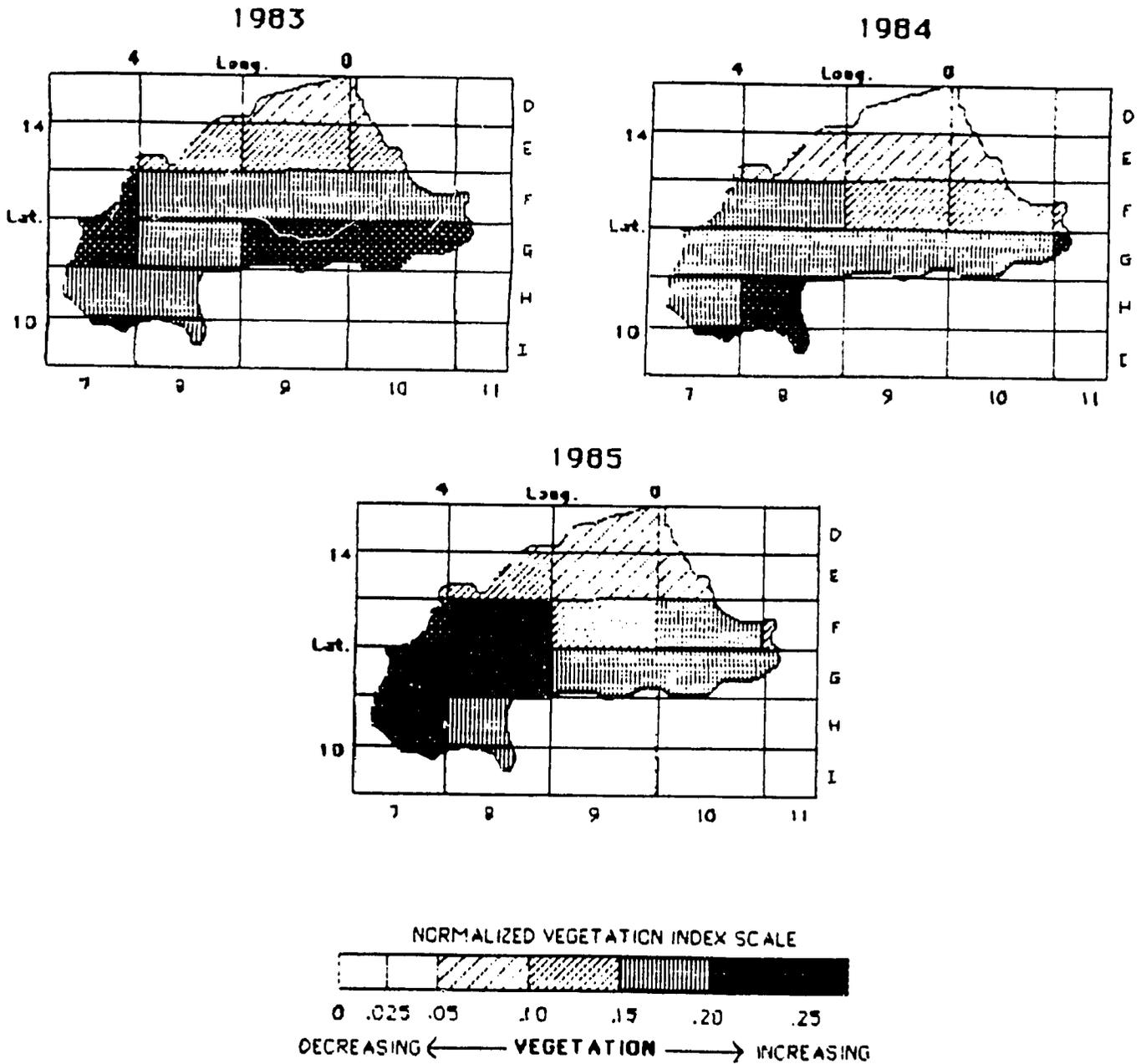


Tableau 13

Rendement de sorgho (kg/ha) par région agricole en 1985 déterminé par NVI

Régions agricoles	C L A S S E S D E N V I			
	0.05 _____ 0.10	0.10 _____ 0.15	0.15 _____ 0.20	0.20 _____ 0.25
Bougouriba			550 à 700	
Comoé				700 à 850
Hauts Bassins				700 à 850
Volta Noire		400 à 550		700 à 850
Centre Ouest				700 à 850
Centre		400 à 550	550 à 700	
Centre Est			550 à 700	
Est			550 à 700	
Centre Nord	225 à 400	400 à 550		
Yatenga	225 à 400			
Sahel	225 à 400			

Tableau 14

Rendement de mil (kg/ha) par région agricole en 1985 déterminé par NVI

Régions agricoles	C L A S S E S D E N V I			
	0.05 _____ 0.10	0.10 _____ 0.15	0.15 _____ 0.20	0.20 _____ 0.25
Bougouriba				
Comoé				600 à 750
Hauts Bassins				600 à 750
Volta Noire		350 à 500		600 à 750
Centre Ouest				600 à 750
Centre	200 à 350	350 à 500		
Centre Est			500 à 600	
Est			500 à 600	
Centre Nord	200 à 350	350 à 500		
Yatenga	200 à 350			
Sahel	200 à 350			

Tableau 15

Capacité de charge (UBT/ha) des pâturages par région agricole en 1985
déterminée par NVI

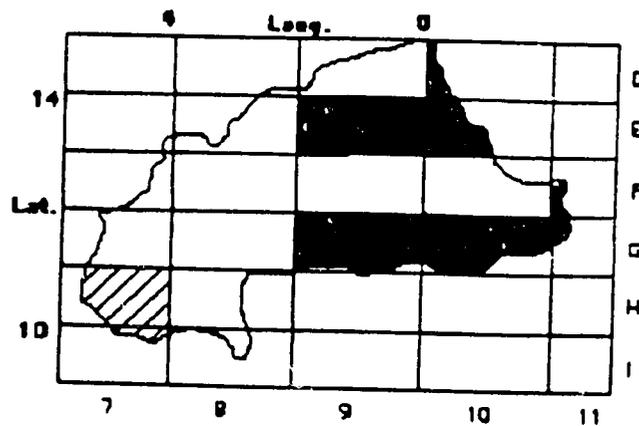
Régions agricoles	C L A S S E S D E N V I			
	0.05 _____ 0.10	0.10 _____ 0.15	0.15 _____ 0.20	0.20 _____ 0.25
Bougouriba			1250 à 1650	
Comoé				1650 à 2050
Hauts Bassins				1650 à 2050
Volta Noire		850 à 1250		1650 à 2050
Centre Ouest				1650 à 2050
Centre		850 à 1250	1250 à 1650	
Centre Est			1250 à 1650	
Est			1250 à 1650	
Centre Nord	400 à 850	850 à 1250		
Yatenga	400 à 850			
Sahel	450 à 850			

Figure 35

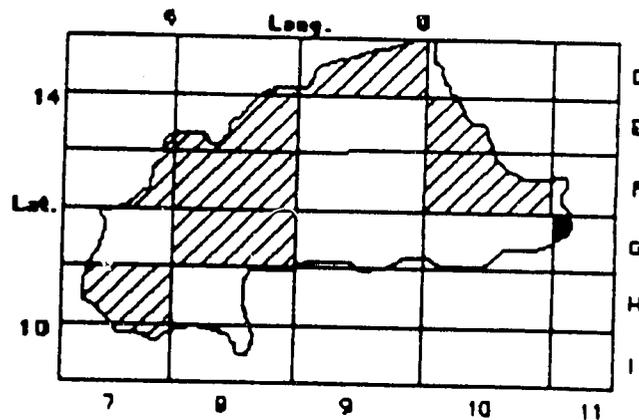
Comparaison des données de l'indice de végétation/biomasse normalisé
(deuxième semaine d'août)

BURKINA FASO

1985 VS. 1983



1985 VS. 1984



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

biomasse respectives (Tableau 16). Elles varient entre 400 kg/ha au Nord (NVI compris entre 0,05 et 0,10) et plus de 2000 kg/ha au Sud (NVI compris entre 0,20 et 0,25). Il s'en suit également une variation de la capacité de charge: 0,09 UBT/ha dans la zone à $0,05 \leq \text{NVI} \leq 0,10$ et 0,40 UBT/ha dans la zone à $0,20 \leq \text{NVI} \leq 0,25$ (Tableau 17).

En général, la configuration de la carte d'indice de végétation normalisé en 1985 a un aspect homogène.

L'année 1984 a été une année relativement sèche; la comparaison des cartes d'indice de végétation normalisé de 1985 et de 1984 montre que 1985 a été en général meilleur à 1984 mais elle a été comparable à 1984 à la Bougouriba, au Centre, au Centre Est, au Centre Nord, dans L'Ouest de la Volta Noire et au sud de L'Est (Figure 35).

C. Situation des cultures

La comparaison des cartes d'indice de végétation normalisé en 1985 et en 1984 laisse augurer de meilleures perspectives pour 1985 par rapport à 1984 sauf à la pointe est du pays. Les rendements en sorgho, mil et arachide prévus à partir des NVI vont respectivement de 300 kg/ha à 750 kg/ha pour le sorgho, de 250 kg/ha à 650 kg/ha pour le mil et de 400 kg/ha à 1200 kg/ha pour l'arachide, respectivement pour les zones à $0,05 \leq \text{NVI} \leq 0,10$ et celles à $0,05 \leq \text{NVI} \leq 0,25$ (Tableaux 13 et 14). On s'attend donc à une augmentation en production de ces spéculations sur la quasi-totalité du pays. Ceci est bien exprimé par l'indice FAO qui est partout supérieur à celui de 1984 l'année précédente (Figures 36 et 37).

D. Analyse de conditions météorologiques

La saison des pluies 1985 a été caractérisée par un début relativement tardif et une assez bonne répartition spatio-temporelle des pluies (Figures 38 et 39). Toutefois il convient de considérer 1985 comme une année

Tableau 16

Production de biomasse (kg/ha) par région agricole déterminé par NVI
(deuxième semaine d'août 1965)

Régions agricoles	C L A S S E S D E N V I			
	0.05 _____ 0.10	0.10 _____ 0.15	0.15 _____ 0.20	0.20 _____ 0.25
Bougouriba			0.26 à 0.34	
Comoé				0.34 à 0.40
Hauts Bassins				0.34 à 0.40
Volta Noire		0.18 à 0.26		0.34 à 0.40
Centre Ouest				0.34 à 0.40
Centre		0.18 à 0.26	0.26 à 0.34	
Centre Est			0.26 à 0.34	
Est			0.26 à 0.34	
Centre Nord	0.09 à 0.18			
Yatenga	0.09 à 0.18			
Sahel	0.09 à 0.18			

Tableau 17

Rendement d'arachide (kg/ha) par région agricole déterminé par NVI
(deuxième semaine d'août 1985)

Régions agricoles	C L A S S E S D E N V I			
	0.05 _____ 0.10	0.10 _____ 0.15	0.15 _____ 0.20	0.20 _____ 0.25
Bougouriba			750 à 900	
Comoé				900 à 1400
Hauts Bassins				900 à 1400
Volta Noire		500 à 750		900 à 1400
Centre Ouest				900 à 1400
Centre		500 à 750	750 à 900	
Centre Est			750 à 900	
Est			750 à 900	
Centre Nord	300 à 500	500 à 750		
Yatenga	300 à 500			
Sahel	300 à 500			

BURKINA FASO

STATIONS

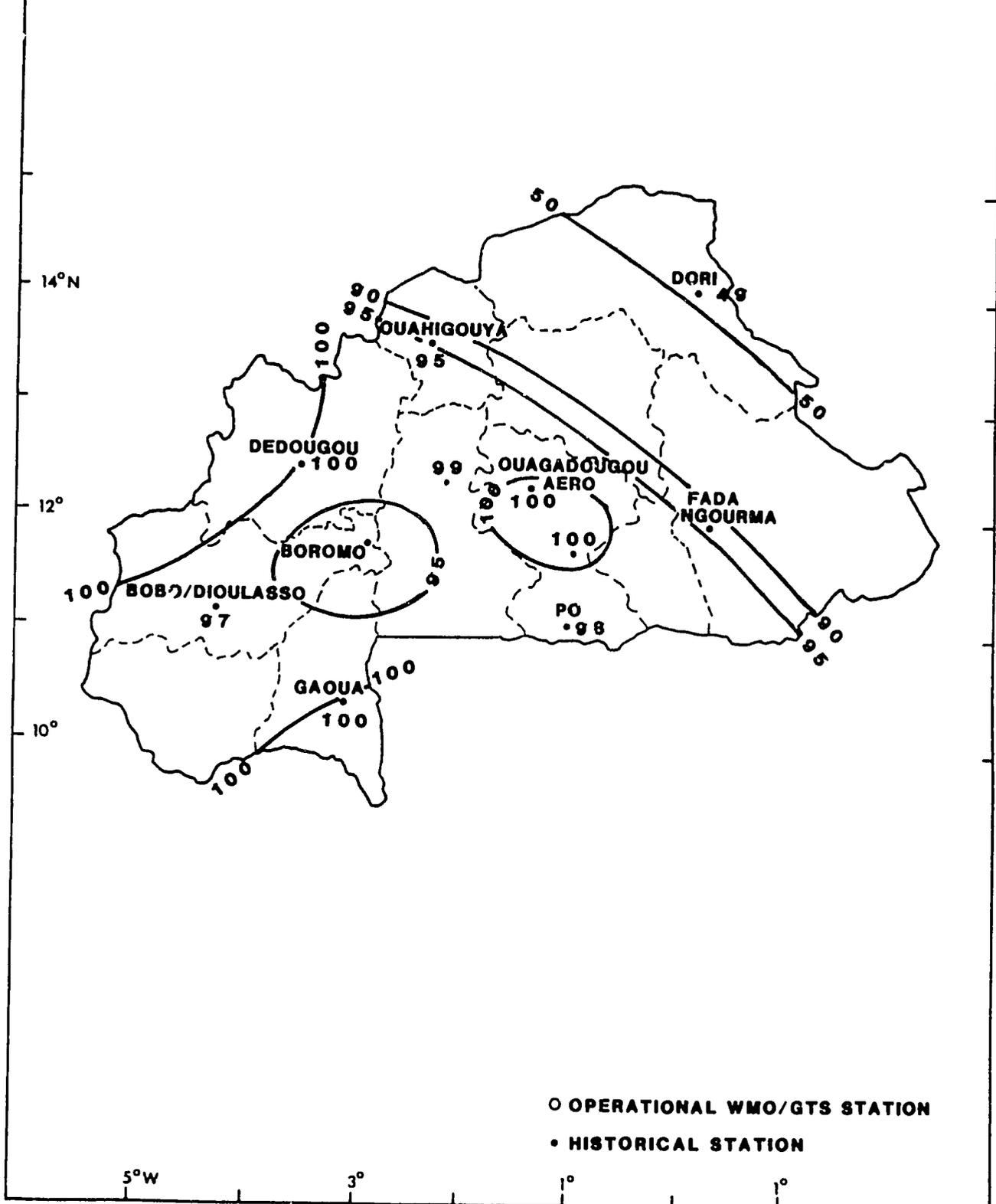


FIGURE 36 Evolution des cultures Mli/Sorgho: indice de satisfaction en eau à la maturité (1984).

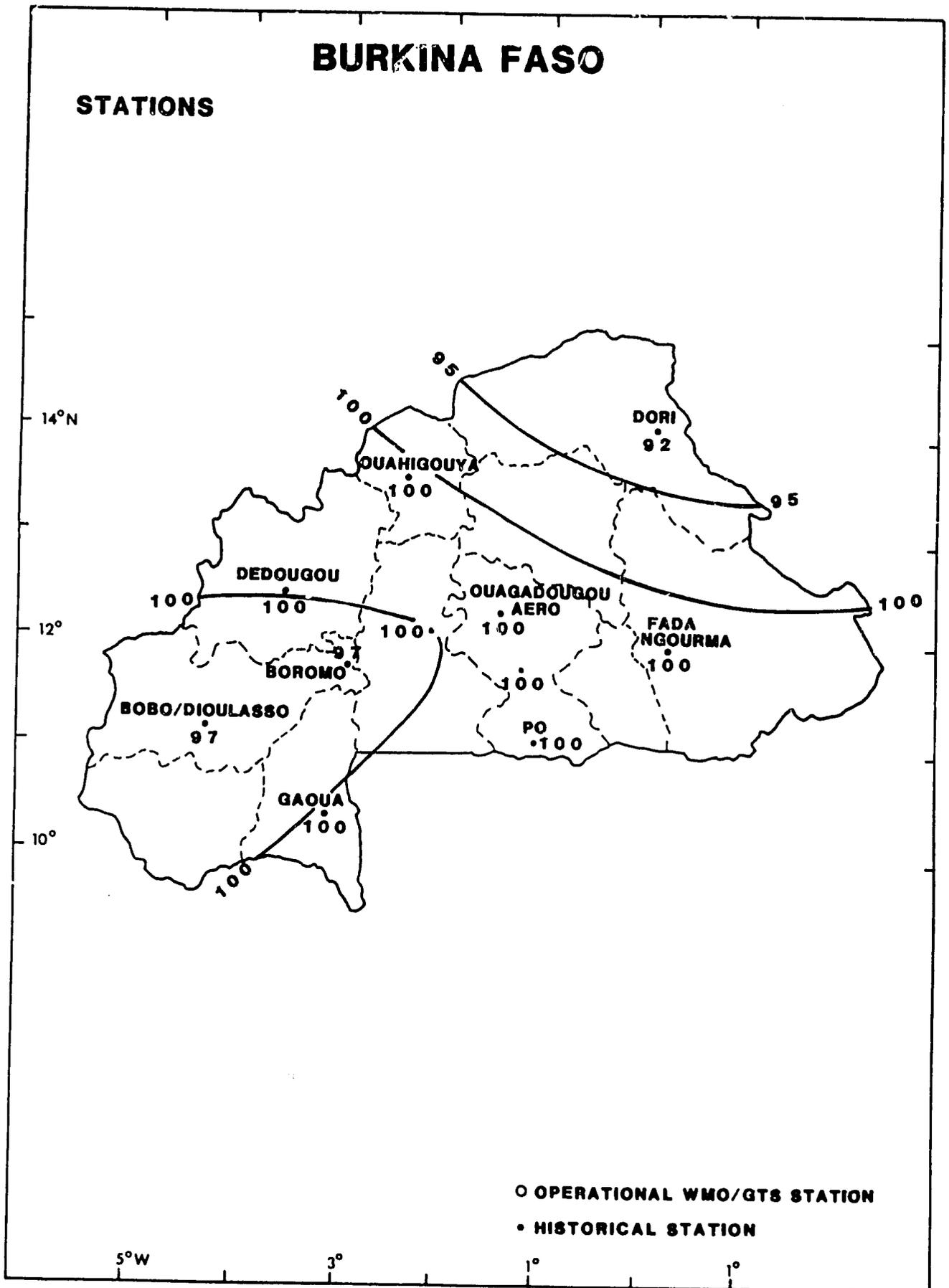


FIGURE 37 - Evolution des cultures Mil/Sorgho: Indice de satisfaction en eau à la maturité (1985).

BURKINA FASO

STATIONS

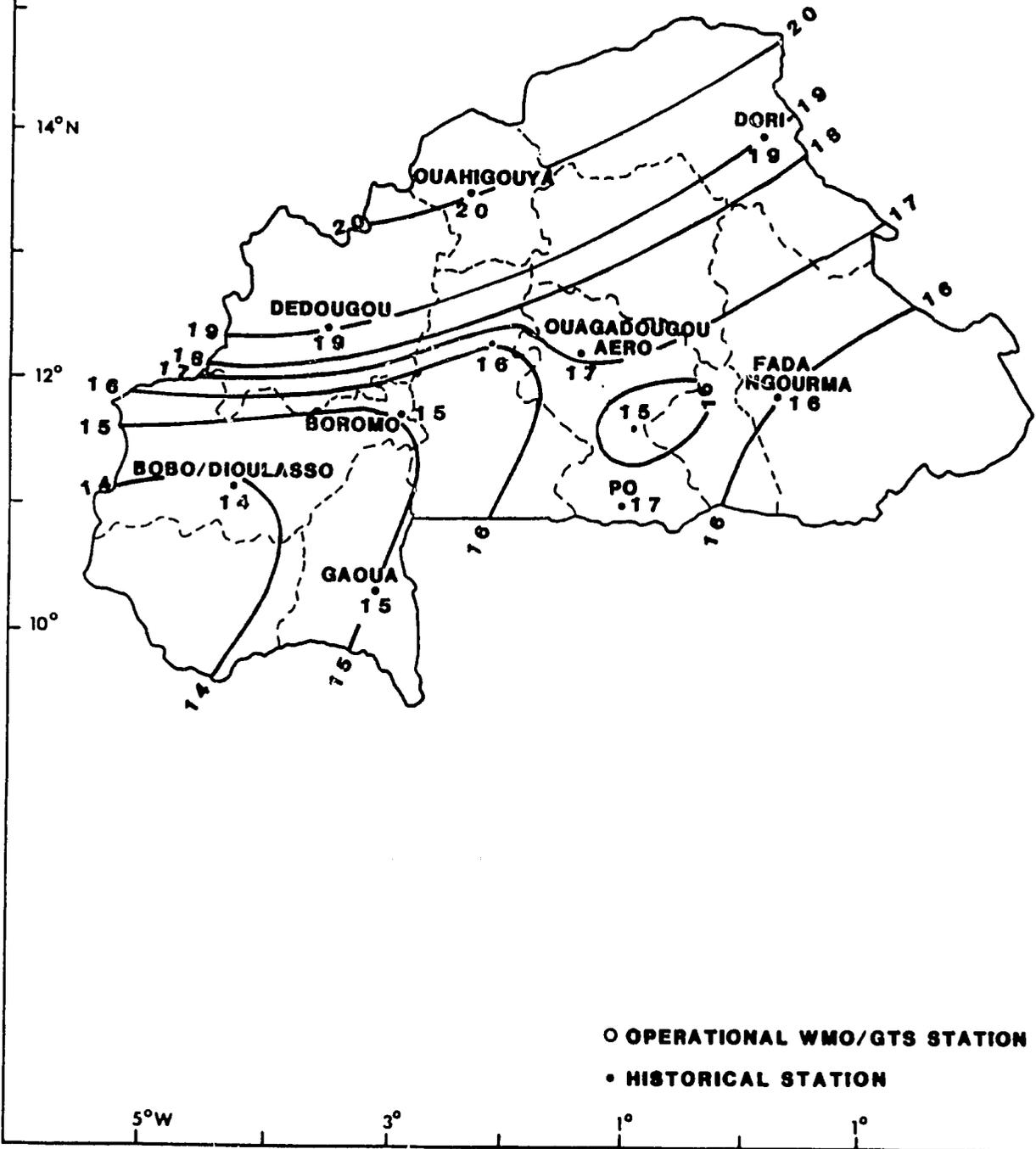


FIGURE 38 - Dates de semis Mili/Sorgho 1984 (No. décade dans l'année).

BURKINA FASO

STATIONS

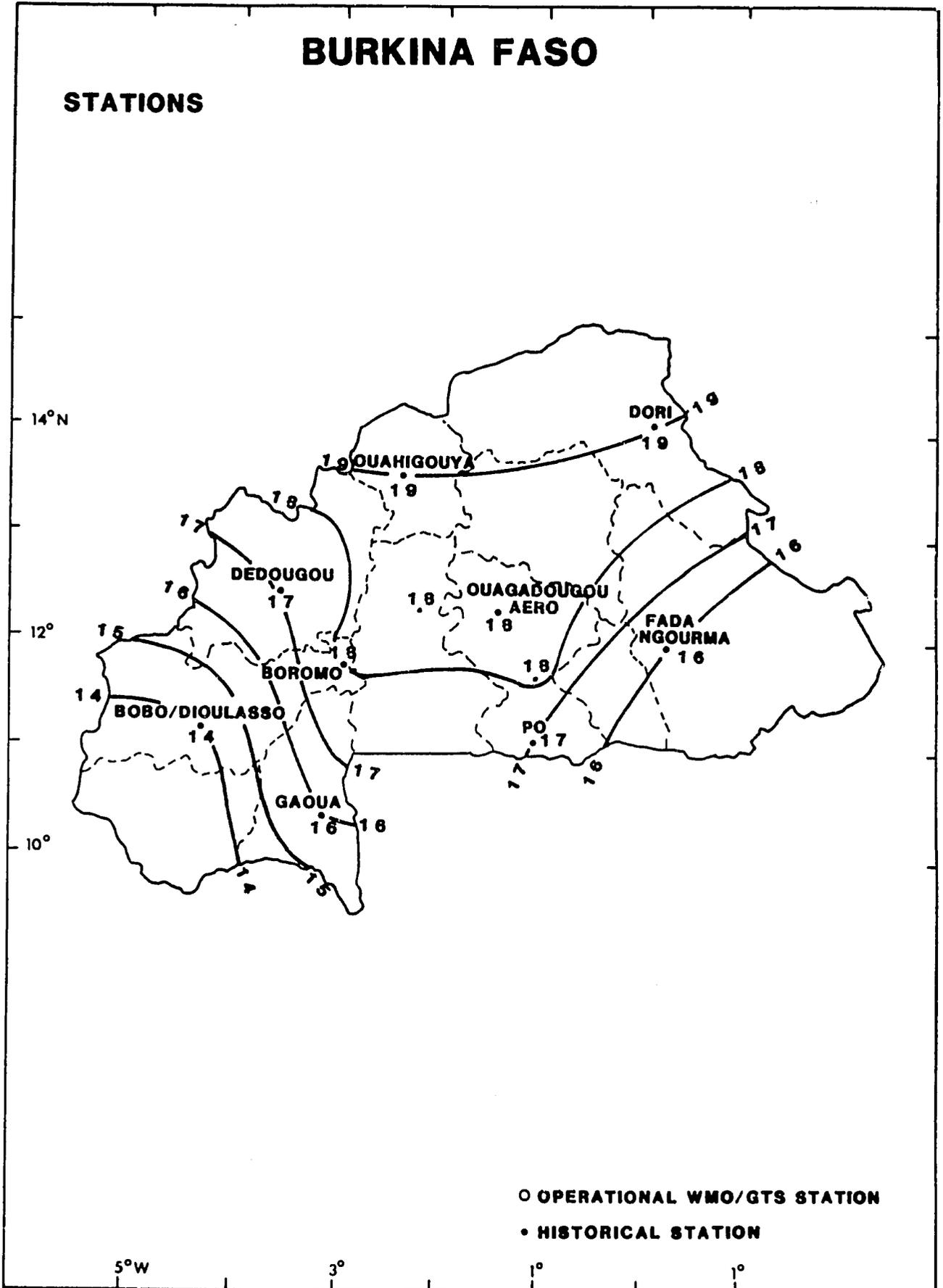


FIGURE 39 - Dates de semis Mil/Sorgho 1985 (No. de la décade dans l'année).

assez bonne, plus par sa répartition temporelle et spatiale que par la hauteur d'eau recueillie sauf pour les régions de la Comoé, des Hauts Bassins et de la Bougouriba (Figure 40).

BURKINA FASO

STATIONS

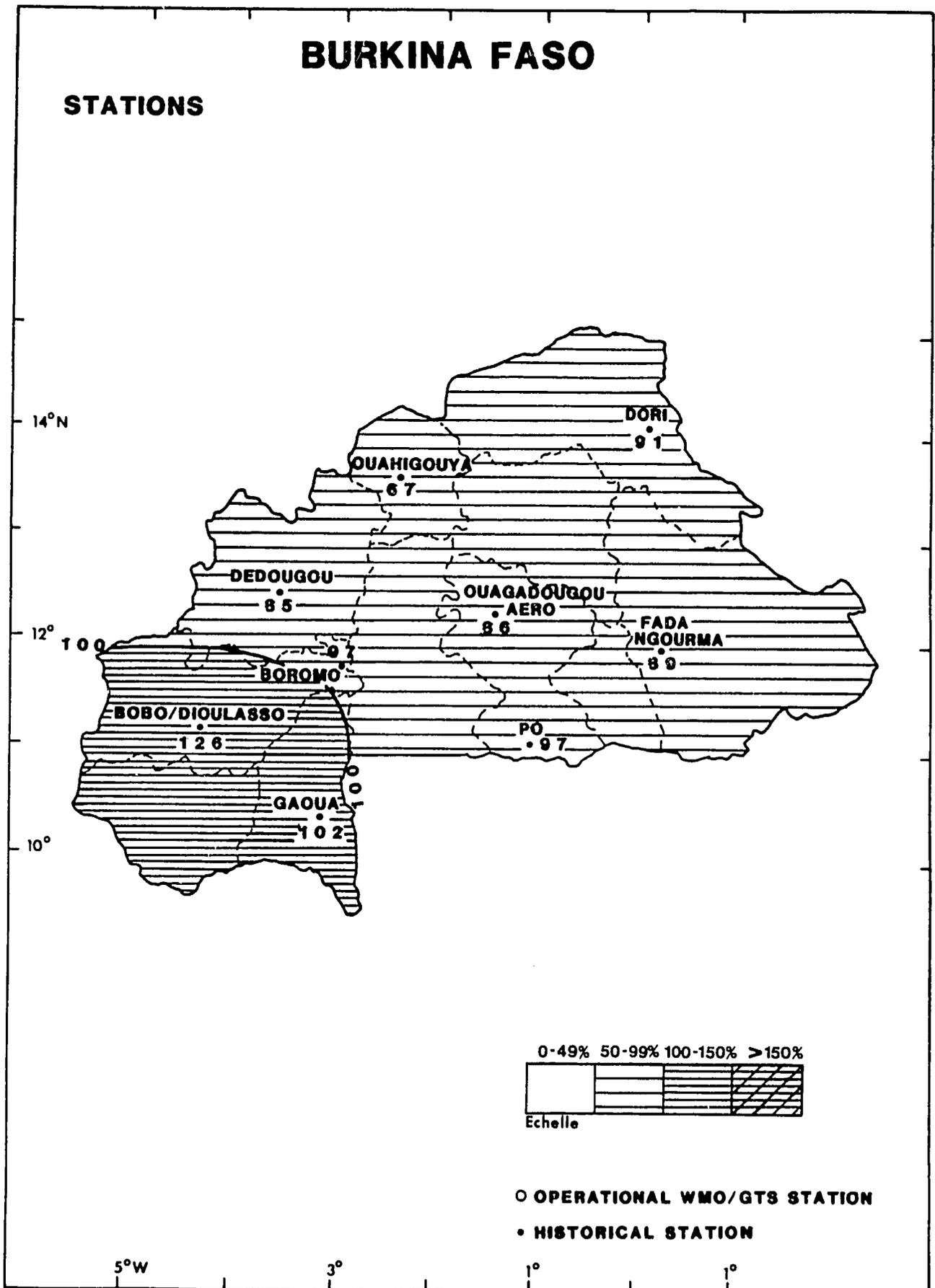


FIGURE 40 - Pluviométrie Cumulée - pourcentage par rapport à la normale (Mai-Oct.).

ANNEXES

ANNEXE 1

LE G.T.P. AU BURKINA FASO

A. Le G.T.P. - son fonctionnement

Le groupe de travail pluridisciplinaire (G.T.P.) a été constitué dans les états membres du C.I.L.S.S. suite à une recommandation du Conseil Exécutif (C.E.) de l'AGRHYMET.

Le G.T.P. au Burkina Faso est constitué d'un noyau permanent dont les membres sont constitués par les techniciens des services techniques du Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage (Figure 41), du Ministère de l'Eau et du Ministère des Transports et des Communications (Figure 42). Les services de la Météorologie, de l'Hydrologie et de la Production Végétale assurent son fonctionnement technique.

Le G.T.P. élargi comprend d'autres services tels que les services de l'Information, du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique et tout autre service selon l'ordre du jour.

Les membres du G.T.P. se réunissent tous les 15 jours. Le G.T.P. assure le suivi de la campagne agricole, prodigue des conseils au monde rural; les séances de réunions sont essentiellement consacrées à l'évolution de la campagne, à l'organisation matérielle et technique des tournées à l'intérieur du pays, à la rédaction de documents-conseils à diffuser sur les ondes de la radio nationale.

Trois équipes sortent à la fin de chaque mois dans trois directions différentes, couvrant ainsi la totalité du pays.

Chaque équipe se compose de cinq personnes:

- un agrométéorologiste
- un technicien de l'Elevage
- un technicien de la Production Végétale

FIGURE 41. Organigramme du Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage.

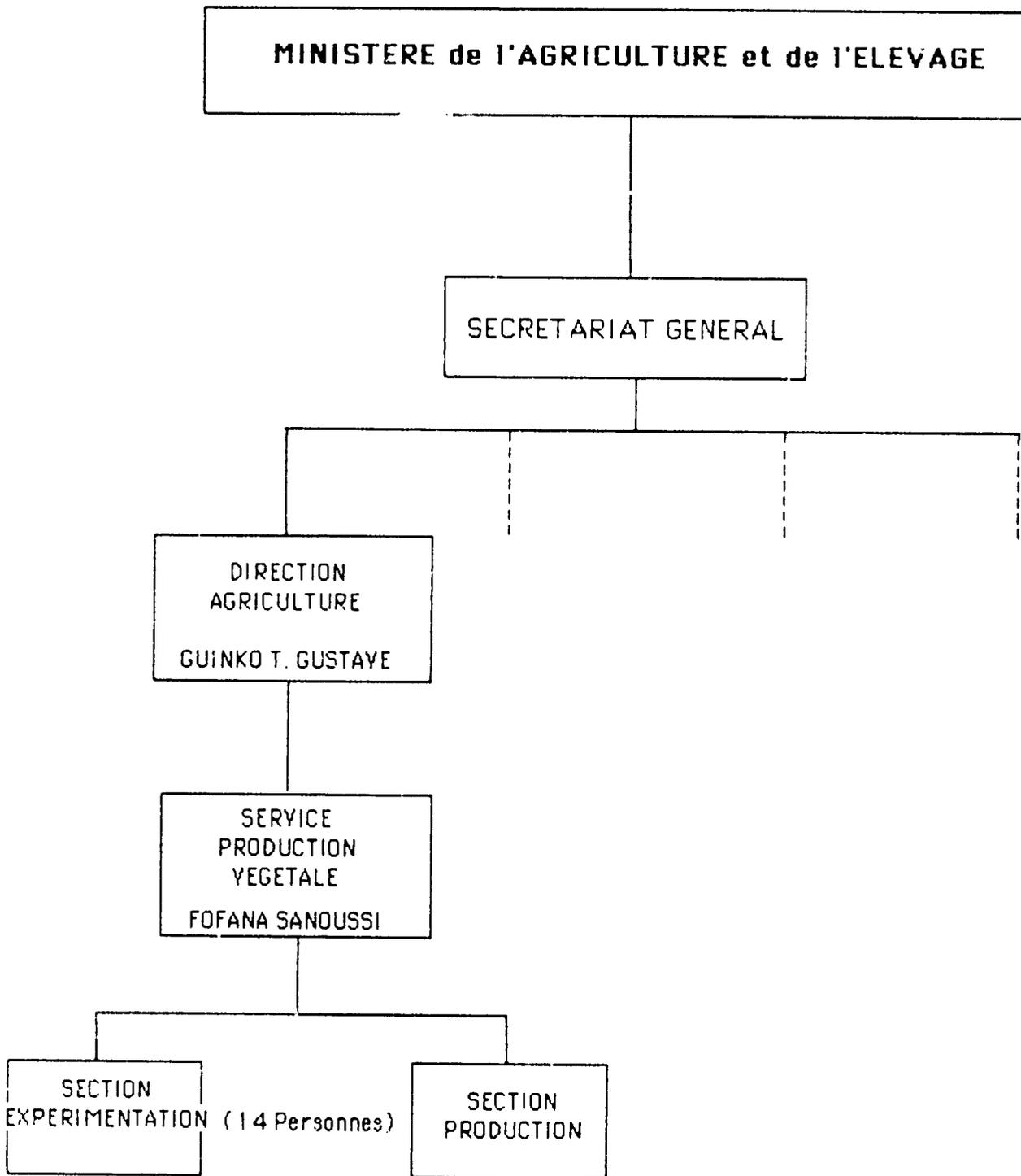
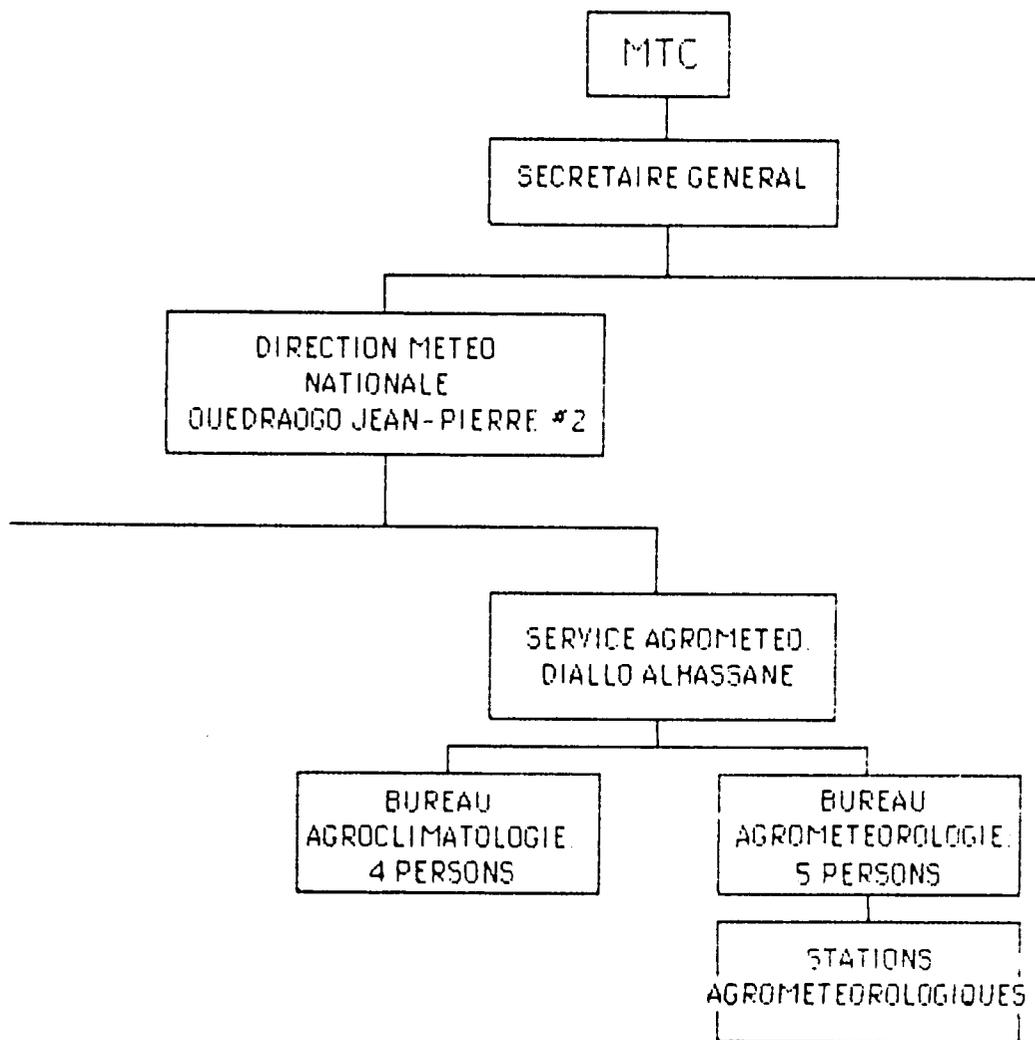


Figure 42

Organigramme du Ministère des Transports et des Communications



- un technicien de la Protection des Végétaux, ou de la Vulgarisation Agricole ou du Service des Semences
- un chauffeur.

Chacune des trois directions couvre respectivement les régions agricoles suivantes:

- direction Ouest: Comoé, Bougouriba, Hauts Bassins, Volta Noire
- direction Centre: Centre Ouest, Centre, Centre Est, Est
- direction Nord: Centre Nord, Yatenga, Sahel.

Les différentes tournées mensuelles font l'objet de rapports mensuelles du suivi de la campagne agricole.

Les données relatives au suivi de la campagne agricole sont fournies par la fiche 0.1 remplie dans les différentes régions agricoles. Chaque région fournit pour six (6) postes d'observation répartis sur trois niveaux avec deux (2) postes par niveau du Nord au Sud. Les fiches sont convoyées par voiture à la fin de chaque décade à Ouagadougou. La gendarmerie assure la transmission via le Système R.A.C. des données grâce à des fiches spécialement élaborées par le G.T.P. pour lui permettre de transmettre les données portées sur la fiche 0,1 et les fiches de relevées pluviométriques décadaires.

Pour les Services de l'Elevage la fiche 0.1 a été modifiée pour répondre aux besoins spécifiques de ces services, en remplaçant la colonne "cultures" par une colonne "pâturage et cultures fourragères" introduites dans les différentes structures des services d'encadrement du monde paysan.

B. Le G.T.P. - ses difficultés

Le G.T.P. n'étant pas institutionnalisé, les membres se retrouvent dans une multiplicité de tâches qui leur sont confiées au niveau de leur services et du G.T.P.

- La collecte des données tant météorologiques (essentiellement la pluviométrie) qu'agricoles (stades et état des cultures) reste le premier problème à résoudre.
- Le manque de logistiques (moyens de transports, etc.)
- La difficulté de faire la part des choses entre les jours non pluvieux et les jours pluvieux à cause de la non systématisation de cet envoi.

C. Recommandations

- Institutionnalisation du G.T.P. avec affectation officielle des membres.
- Installation de B.L.U. à panneaux solaires dans les stations agrométéorologiques disposant d'un local afin de faciliter la concentration des données serait d'un grand apport pour le G.T.P.
- Fourniture des moyens logistiques.
- Envoie systématique des télégrammes pluviométriques par les autorités locales.

Nous pensons que la résolution rapide des problèmes suivants est important:

- a) les télécommunications (intra-état et inter-état),
- b) la fourniture de moyens de traitement rapide des données recueillies (logiciels, etc.) avec formation de personnel qualifié, et
- c) la formation de personnel qualifié aux techniques audiovisuel (les confection d'émission, vulgarisation de l'information agro-hydro-météorologiques) devraient permettre rapidement de maîtriser en terme d'évaluation, de description et d'augmentation de la production agricole au sens large du mot.

ANNEXE 2
DONNEES DE RENDEMENT

CROP DATA FOR THE COUNTRY OF BURKINA FASO
MILLET

0	1 YEAR	2 AREA	3 PRODUCTION	4 YIELD	5 SOURCE
1	1979	767891	377734	0.492	GOB
2	1980	719947	350718	0.487	GOB
3	1981	900000	442771	0.492	GOB
4	1982	858161	395401	0.461	GOB
5	1983	923850	391886	0.424	GOB

REGIONAL CROP DATA FOR BURKINA FASO
BOUGOU RIBA REGION
MILLET

0	1 YEAR	2 AREA	3 PRODUCTION	4 YIELD	5 SOURCE
1	1979	31667	16783	0.530	GOB
2	1980	38679	20176	0.522	GOB
3	1981	45054	22165	0.492	GOB
4	1982	42422	21154	0.499	GOB
5	1983	49997	19164	0.383	GOB

REGIONAL CROP DATA FOR BURKINA FASO
CENTRE REGION
MILLET

0	1 YEAR	2 AREA	3 PRODUCTION	4 YIELD	5 SOURCE
1	1979	167584	83176	0.496	GOB
2	1980	163920	74561	0.455	GOB
3	1981	161206	83120	0.516	GOB
4	1982	161623	77476	0.479	GOB
5	1983	167012	72513	0.434	GOB

REGIONAL CROP DATA FOR BURKINA FASO
CENTRE EST REGION
MILLET

	1 YEAR	2 AREA	3 PRODUCTION	4 YIELD	5 SOURCE
	1979	64400	24681	0.383	GOB
	1980	69620	33559	0.482	GOB
	1981	71050	33772	0.475	GOB
	1982	71800	36290	0.505	GOB
	1983	72800	38255	0.526	GOB

REGIONAL CROP DATA FOR BURKINA FASO
CENTRE NORD REGION
MILLET

1 YEAR	2 AREA	3 PRODUCTION	4 YIELD	5 SOURCE
1979	98336	46513	0.473	GOB
1980	99146	36935	0.373	GOB
1981	98247	54206	0.552	GOB
1982	93349	36838	0.395	GOB
1983	119462	45873	0.384	GOB

REGIONAL CROP DATA FOR BURKINA FASO
CENTRE OUEST REGION
MILLET

0	1 YEAR	2 AREA	3 PRODUCTION	4 YIELD	5 SOURCE
1	1979	75665	37159	0.491	GOB
2	1980	88047	35660	0.405	GOB
3	1981	85028	45142	0.531	GOB
4	1982	95446	37728	0.395	GOB
5	1983	101867	50044	0.491	GOB

REGIONAL CROP DATA FOR BURKINA FASO
COMOE REGION
MILLET

0	1 YEAR	2 AREA	3 PRODUCTION	4 YIELD	5 SOURCE
1	1979	21740	12340	0.568	GOB
2	1980	24100	16025	0.665	GOB
3	1981	26800	18390	0.686	GOB
4	1982	18975	12876	0.679	GOB
5	1983	18870	9309	0.493	GOB

REGIONAL CROP DATA FOR BURKINA FASO
EST REGION
MILLET

0	1 YEAR	2 AREA	3 PRODUCTION	4 YIELD	5 SOURCE
1	1979	48909	30079	0.615	GOB
2	1980	60000	27875	0.465	GOB
3	1981	85620	36016	0.421	GOB
4	1982	60000	32110	0.535	GOB
5	1983	54869	32684	0.596	GOB

REGIONAL CROP DATA FOR BURKINA FASO
HAUTS BASSINS REGION
MILLET

0	1 YEAR	2 AREA	3 PRODUCTION	4 YIELD	5 SOURCE
1	1979	18413	13979	0.759	GOB
2	1980	19702	15121	0.768	GOB
3	1981	22098	16800	0.760	GOB
4	1982	19609	15371	0.784	GOB
5	1983	21800	15280	0.701	GOB

REGIONAL CROP DATA FOR BURKINA FASO
SAHEL REGION
MILLET

0	1 YEAR	2 AREA	3 PRODUCTION	4 YIELD	5 SOURCE
1	1979	73200	26340	0.360	GOB
2	1980	127555	30455	0.239	GOB
3	1981	148000	43212	0.292	GOB
4	1982	137000	41100	0.300	GOB
5	1983	149540	25840	0.173	GOB

REGIONAL CROP DATA FOR BURKINA FASO
VOLTA NOIRE REGION
MILLET

	1 YEAR	2 AREA	3 PRODUCTION	4 YIELD	5 SOURCE
	1979	78800	56800	0.721	GOB
	1980	64830	42759	0.660	GOB
	1981	81370	54493	0.670	GOB
	1982	94940	62250	0.656	GOB
	1983	86370	57330	0.664	GOB

REGIONAL CROP DATA FOR BURKINA FASO
YATENGA REGION
MILLET

)	1 YEAR	2 AREA	3 PRODUCTION	4 YIELD	5 SOURCE
:	1979	89010	29884	0.336	GOB
!	1980	23976	17592	0.734	GOB
}	1981	75099	35455	0.472	GOB
	1982	62997	22217	0.353	GOB
i	1983	80348	25092	0.312	GOB

CROP DATA FOR THE COUNTRY OF BURKINA FASO
SORGHUM

1	1 YEAR	2 AREA	3 PRODUCTION	4 YIELD	5 SOURCE
.	1979	1106329	653199	0.590	GOB
:	1980	956710	546881	0.572	GOB
:	1981	1084051	658786	0.608	GOB
.	1982	1091324	614818	0.563	GOB
:	1983	1074965	610924	0.568	GOB

REGIONAL CROP DATA FOR BURKINA FASO
BOUGOU RIBA REGION
SORGHUM

0	1 YEAR	2 AREA	3 PRODUCTION	4 YIELD	5 SOURCE
1	1979	78843	50642	0.642	GOB
2	1980	97320	56386	0.579	GOB
3	1981	92044	57804	0.628	GOB
4	1982	95338	58802	0.617	GOB
5	1983	88294	48985	0.555	GOB

REGIONAL CROP DATA FOR BURKINA FASO
CENTRE REGION
SORGHUM

0	1 YEAR	2 AREA	3 PRODUCTION	4 YIELD	5 SOURCE
1	1979	190637	93292	0.489	GOB
2	1980	178020	71873	0.404	GOB
3	1981	174142	106342	0.611	GOB
4	1982	175660	102810	0.585	GOB
5	1983	181472	88692	0.489	GOB

REGIONAL CROP DATA FOR BURKINA FASO
CENTRE EST REGION
SORGHUM

0	1 YEAR	2 AREA	3 PRODUCTION	4 YIELD	5 SOURCE
1	1979	56200	26432	0.470	GOB
2	1980	62190	34444	0.554	GOB
3	1981	63500	35835	0.564	GOB
4	1982	68000	20045	0.295	GOB
5	1983	68520	50506	0.737	GOB

REGIONAL CROP DATA FOR BURKINA FASO
CENTRE NORD REGION
SORGHUM

	1 YEAR	2 AREA	3 PRODUCTION	4 YIELD	5 SOURCE
1	1979	112618	52818	0.469	GOB
2	1980	109036	33821	0.310	GOB
3	1981	112690	64848	0.576	GOB
4	1982	109901	44451	0.405	GOB
5	1983	124440	38684	0.311	GOB

REGIONAL CROP DATA FOR BURKINA FASO
CENTRE OUEST REGION
SORGHUM

	1 YEAR	2 AREA	3 PRODUCTION	4 YIELD	5 SOURCE
1	1979	186522	91541	0.491	GOB
2	1980	188750	80220	0.425	GOB
3	1981	171026	99752	0.583	GOB
4	1982	167010	68141	0.408	GOB
5	1983	184900	99787	0.540	GOB

REGIONAL CROP DATA FOR BURKINA FASO
COMOE REGION
SORGHUM

	1 YEAR	2 AREA	3 PRODUCTION	4 YIELD	5 SOURCE
1	1979	25650	20755	0.809	GOB
2	1980	30900	28610	0.926	GOB
3	1981	32700	14655	0.448	GOB
4	1982	19650	17182	0.874	GOB
5	1983	19500	9765	0.501	GOB

REGIONAL CROP DATA FOR BURKINA FASO
EST REGION
SORGHUM

	1 YEAR	2 AREA	3 PRODUCTION	4 YIELD	5 SOURCE
--	--------	--------	--------------	---------	----------

	1979	90831	72080	0.794	GOB
	1980	90000	53185	0.591	GOB
	1981	104646	44019	0.421	GOB
	1982	90000	47700	0.530	GOB
	1983	82303	47836	0.581	GOB

REGIONAL CROP DATA FOR BURKINA FASO
HAUTS BASSINS REGION
SORGHUM

0	1 YEAR	2 AREA	3 PRODUCTION	4 YIELD	5 SOURCE
1	1979	66362	73554	1.108	GOB
2	1980	68384	75417	1.103	GOB
3	1981	74521	80203	1.076	GOB
4	1982	67948	82854	1.219	GOB
5	1983	69050	74640	1.081	GOB

REGIONAL CROP DATA FOR BURKINA FASO
SAHEL REGION
SORGHUM

0	1 YEAR	2 AREA	3 PRODUCTION	4 YIELD	5 SOURCE
1	1979	48800	17560	0.360	GOB
2	1980	58710	14105	0.240	GOB
3	1981	69735	24077	0.345	GOB
4	1982	40000	15750	0.394	GOB
5	1983	42810	10530	0.246	GOB

REGIONAL CROP DATA FOR BURKINA FASO
VOLTA NOIRE REGION
SORGHUM

0	1 YEAR	2 AREA	3 PRODUCTION	4 YIELD	5 SOURCE
1	1979	137500	118000	0.858	GOB
2	1980	129600	96433	0.744	GOB
3	1981	135850	103882	0.765	GOB
4	1982	167195	127670	0.764	GOB
5	1983	140000	109060	0.779	GOB

REGIONAL CROP DATA FOR BURKINA FASO
YATENGA REGION
SORGHUM

0	1 YEAR	2 AREA	3 PRODUCTION	4 YIELD	5 SOURCE
1	1979	108790	35525	0.327	GOB
2	1980	29304	21502	0.734	GOB
3	1981	47867	27369	0.572	GOB
4	1982	85186	29413	0.345	GOB
5	1983	68003	27331	0.402	GOB

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 at the Environment, Paris, France.
- 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 Nation, 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.