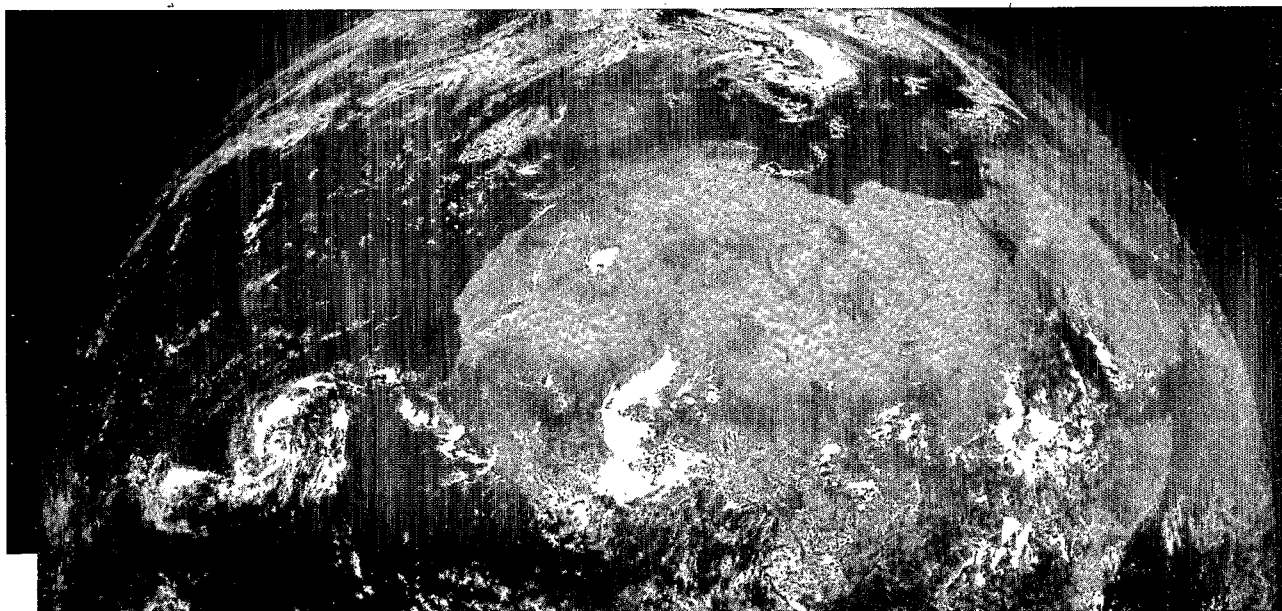


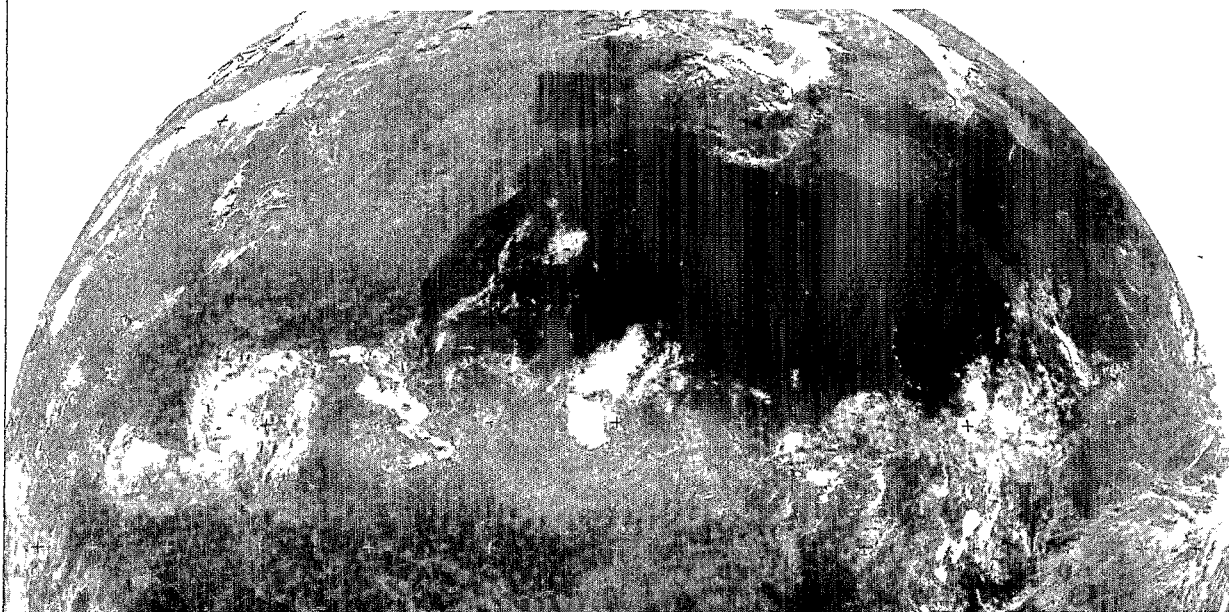
Ministère de la Coopération

VEILLE CLIMATIQUE SATELLITAIRE

METEOROLOGIE NATIONALE CMS LANNION - METEOSAT 4 - Canal VIS - 05/09/90 - 12 h 00 UTC



METEOROLOGIE NATIONALE CMS LANNION - METEOSAT 4 - Canal IR - 05/09/90 - 12 h 00 UTC



B*14432 à 434 ex 1

B*14432, 33, 34 ex 1

ESTIMATION DES PLUIES ET SUIVI DE L'HIVERNAGE 1990 EN AFRIQUE DE L'OUEST SOUDANO-SAHÉLIENNE A TRAVERS UN CATALOGUE D'IMAGES MENSUELLES

par M. CARN, D. DAGORNE, B. GUILLOT et J.P. LAHUEC

INTRODUCTION

Depuis plusieurs années, l'antenne ORSTOM de Lannion suit l'évolution de la zone de convergence intertropicale en Afrique et ses conséquences au niveau agricole à partir des champs de nuages froids pluviogènes et des champs thermiques de surface du sol. Parallèlement, des études ont été menées pour aboutir à des estimations de pluies, aussi fiables que possible, en utilisant les champs précédents et en tirant parti des relevés pluviométriques disponibles à l'échelle de l'Afrique de l'ouest soudano-sahélienne (pays du CILLS).

Les techniques utilisées sont maintenant suffisamment éprouvées pour justifier la présentation d'un dossier de suivi de l'hivernage 1990, dans cette région, sous forme d'un catalogue d'images présenté en seconde partie de cet article, la première décrivant la méthode d'estimation des pluies utilisée.

La période d'observation choisie reste le mois car il apparaît que l'échelle synoptique des pays du CILLS, adoptée ici, n'autorise pas la réalisation de cartes d'estimation des pluies suffisamment précises à un pas de temps plus court. Cependant, pour répondre aux besoins des utilisateurs, le plus souvent exprimés en période de temps décadaire, une nouvelle étape est à l'ordre du jour. Elle est envisagée à partir du passage à des observations et des estimations, non plus synoptiques, mais régionalisées. Des résultats fort encourageants ont été obtenus cette année à ce niveau d'espace et de temps pour le Sénégal. (Madiagne Diagne et Pape Sonko. Étude à paraître dans le prochain numéro de la Veille Climatique Satellitaire).

ESTIMATION DES CHAMPS PLUVIOMÉTRIQUES MENSUELS

Des champs pluviométriques sont estimés chaque mois, sur la zone des pays du CILSS à partir des deux produits de base issus de traitements de l'imagerie Météosat infrarouge : la fréquence d'apparition des nuages froids (Foc) et la température radiative maximum prise comme température de surface du sol (Ts) ; l'estimation est réalisée par régression linéaire à variables multiples, en utilisant la pluviométrie mesurée aux stations du réseau synoptique comme variable expliquée.

Relation entre la pluie mesurée et le champ thermique de surface

JACKSON et al. (1977) puis SEGUIN et al. (1982) ont établi des relations permettant d'obtenir une estimation simplifiée de l'Évapotranspiration journalière (ETj) à grande échelle, à partir de la température radiative maximale de la surface du sol (Ts), provenant de données satellitaires, et corrigée de la température de l'air (Ta) à 2 m de la surface :

$$ETj - Rnj = A + B (Ts - Ta)$$

avec Rnj = Rayonnement net journalier.

A l'échelle du pixel et pour une période de plusieurs jours, on peut écrire d'autre part, une relation approchée du bilan hydrique :

$$\Sigma Pj = \Sigma ETj + \Sigma Ej + \Sigma \delta Hj$$

avec :

ΣPj : Pluviométrie.

ΣEj : Écoulement (drainage + ruissellement).

$\Sigma \delta Hj$: Variation du stock d'eau dans le sol.

A partir de ces deux relations, NEGRE et al. (1988) ont imaginé une méthode d'estimation de la pluviométrie au Sénégal de la forme :

$$Pest = A + B (Ts - Ta)$$



Méthode d'estimation utilisée

Nous avons développé depuis deux ans un type d'estimation original qui repose sur une paramétrisation combinée de la *source* de pluie (les nuages précipitants : Foc) et de la signature de ces pluies sur la *cible* (la température radiative maximum de la surface : Ts), à partir de traitements appliqués aux images infrarouge.

Nous avons dans un premier type de produit introduit une correction en fonction de la *latitude*, ce qui nous permettait de prendre en compte l'importante dégradation du sud vers le nord de l'efficacité pluviogénique de la « machine convective ». Cette manière de faire, très empirique, bien qu'efficace, ne rendait pas vraiment compte des variations locales des paramètres d'environnement qui conditionnent l'efficacité des nuages.

Les résultats obtenus par NEGRE et al., par la méthode décrite au paragraphe précédent, nous ont amené à introduire dans notre algorithme une correction de la température radiative maximale du sol par la température de l'air en surface.

La méthode d'estimation utilisée pour dresser les cartes pluviométriques représentées peut donc se résumer en cette formule :

$$P \text{ est } = a.Foc + b. (Ts - Ta) + cte$$

Afin d'appliquer cette procédure en temps quasi-réel sur une échelle spatiale large (l'ensemble des pays du CILSS), et devant les difficultés rencontrées pour accéder rapidement aux mesures de Ta effectuées dans les stations de la zone, nous avons décidé de tester cette méthode en utilisant les données des champs analysés du Centre Européen des Prévisions à Moyen Terme de Reading (UK).

Ces champs construits sur une matrice carrée de 1.5° de côté (ce qui les rend bien entendu inutilisables pour des applications à des échelles plus réduites, régionales ou locales), sont établis deux fois par jour (à 00 h 00 et 12 h 00 TU), et transmis au Centre de Météorologie Spatiale de Lannion via la BDSS de Météofrance, dès le lendemain.

Après extraction d'une fenêtre correspondant à la zone étudiée, les champs de température maximum de l'air sont ensuite calculés pour chaque décade, puis éventuellement moyennés pour les périodes plus longues.

Tests de validation

Les premiers résultats obtenus par l'application de cette méthode sont encourageants et les tests de validation effectués au pas de temps mensuel pour un catalogue de 25 stations sur l'ensemble de la zone, montrent une amélioration significative des résultats.

MAI			
	Prec	Foc	(Ts - Ta)
Prec	1		
Foc	.78	1	
(Ts - Ta)	-.56	-.61	1
Corrélation multiple : r = 0.78			

JUIN			
	Prec	Foc	(Ts - Ta)
Prec	1		
Foc	.82	1	
(Ts - Ta)	-.59	-.56	1
Corrélation multiple : r = 0.832			

JUILLET			
	Prec	Foc	(Ts - Ta)
Prec	1		
Foc	.75	1	
(Ts - Ta)	-.79	-.63	1
Corrélation multiple : r = 0.85			

AOÛT			
	Prec	Foc	(Ts - Ta)
Prec	1		
Foc	.64	1	
(Ts - Ta)	-.80	-.72	1
Corrélation multiple : r = 0.79			

TABLEAU 1 : Matrices de corrélations par périodes mensuelles :

On constate à l'analyse des résultats figurant dans les matrices de corrélation jointes que l'apport du paramètre température radiative est non significatif pour les deux premiers mois de la saison des pluies 1990 ; nous avons déjà observé cela lors des saisons précédentes.

SUIVI DE L'HIVERNAGE 1990 A PARTIR D'UNE CATALOGUE D'IMAGES MENSUELLES

Les planches 1, 2, 3, 4, 5 et 6 regroupent par périodes mensuelles trois outils de suivi de l'hivernage 1990 en Afrique de l'ouest soudano-sahélienne.

Les deux premiers, champ mensuel d'occurrence de nuages froids pluviogènes (image Cunimb) et champ thermique moyen mensuel (image TMAX) permettent d'en apprécier le déroulement de manière qualitative. Le troisième, l'image mensuelle du champ pluviométrique, dérivée de l'application du logiciel PEPITES (méthode décrite ci-dessus), autorise une approche quantitative de l'intensité de l'hivernage, en termes de pluviométrie, sur l'ensemble de la zone soudano-sahélienne de l'Afrique de l'ouest, domaine d'application de la méthode (1).

L'échelle du nombre d'occurrences, des températures radiatives du sol et de la pluviométrie figurent sur les documents présentés.

D'autre part, les tables de couleur ont été établies en fonction de la symbolique habituelle de perception (par exemple, sur l'image du champ thermique, le rouge signifie le chaud et par conséquent le sec...). Tout cela facilite la lecture de ce catalogue. Nous n'en ferons donc qu'un bref commentaire limité aux principales caractéristiques de cet hivernage 90 :

- installation précoce des pluies en mai sur le sud-est du Mali et le sud du Burkina Faso, s'étendant à pratiquement l'ensemble de la boucle du Niger en juin,

- Absence de pluies au Sénégal, en Gambie et en Mauritanie en mai, se prolongeant en juin, voire début juillet au nord-ouest du Sénégal et certaines régions du sud de la Mauritanie,

- Démarrage très tardif de la saison des pluies sur la zone sahélienne du Tchad, comme on peut le constater sur les images TMAX de mai et de juin (blocage du front thermique, seulement 30 mm de pluie en mai et juin à N'Djamena, cf. article de J.P. Lahuec et M. Carn : Convergence Intertropicale et Intensité de la Convection dans ce même numéro),

- un mois de juillet plus riche en occurrences nuageuses et en pluies que le mois d'août sur presque tout l'ensemble de la zone soudanienne à l'exception du sud du Sénégal mieux arrosé en août,

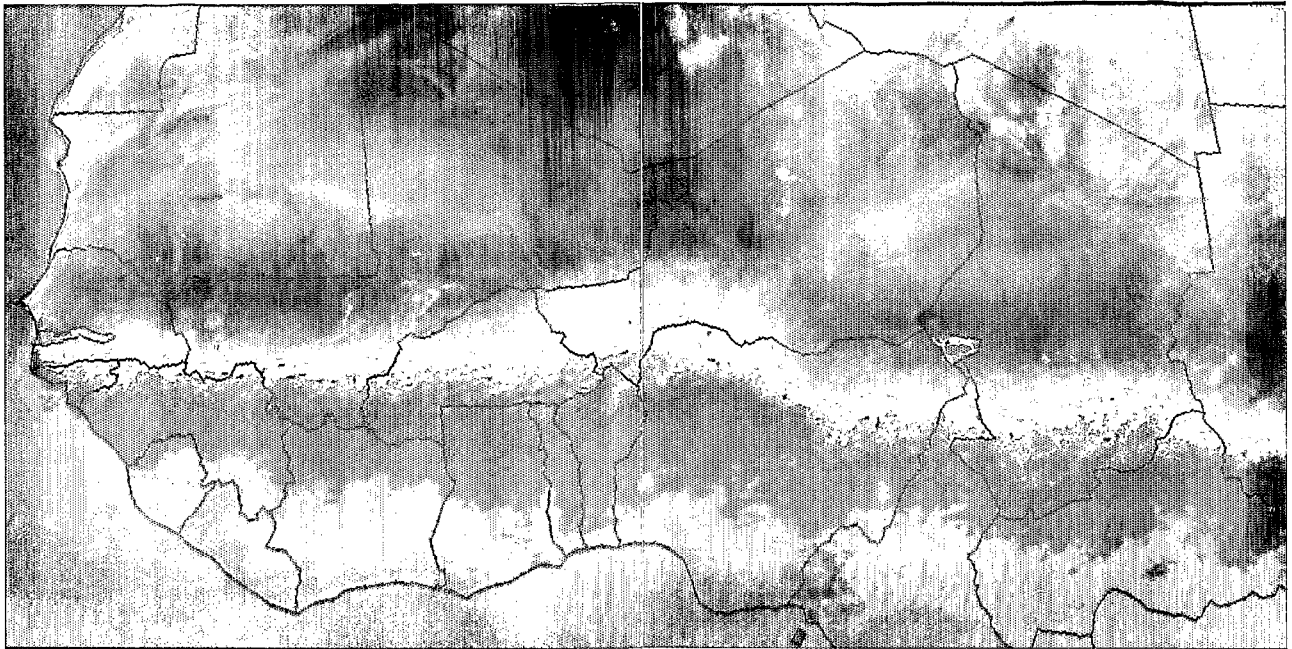
- un mois d'août anormalement sec avec très peu de régions présentant des pluies supérieures à 200 mm, et donc une pluviométrie insuffisante pour assurer le développement normal des cultures dans les nombreuses zones où l'installation de l'hivernage a été très tardif,

- une fin de saison qui n'est pas brutale, certes (le front de convection demeure dans une position relativement septentrionale pour l'époque : Centre Mauritanie/Centre Niger/nord du Lac Tchad), mais qui se caractérise par un faible nombre d'occurrences nuageuses associé à des pluies modestes. Ces pluies, que l'on peut qualifier de pluies d'« entretien du bilan hydrique » ont permis à certaines régions du Mali, du Burkina et du sud-ouest du Niger de « boucler » le calendrier agricole sans trop de dommages. Ailleurs, et notamment dans les régions où l'installation de l'hivernage a été plus tardive que la normale, elles n'ont pas suffi à empêcher le flétrissement des plantes cultivées et par conséquent le réchauffement des sols. Toutes ces régions sont donc facilement identifiables sur l'image du champ thermique moyen de septembre. En effet, certaines aires du sud de la Mauritanie, le sommet de la boucle du Niger, le nord-ouest du Niger (Ayorou), la quasi-totalité du territoire nigérien à l'est de Tahoua, le Tchad au nord de la latitude de N'Djamena présentent déjà des températures de surface qui s'apparentent à celles rencontrées en saison sèche. Il va de soi que toutes ces régions vont connaître des rendements catastrophiques et qu'elles ne pourront assurer leur autosuffisance alimentaire. Dès maintenant des compléments extérieurs sont à prévoir.

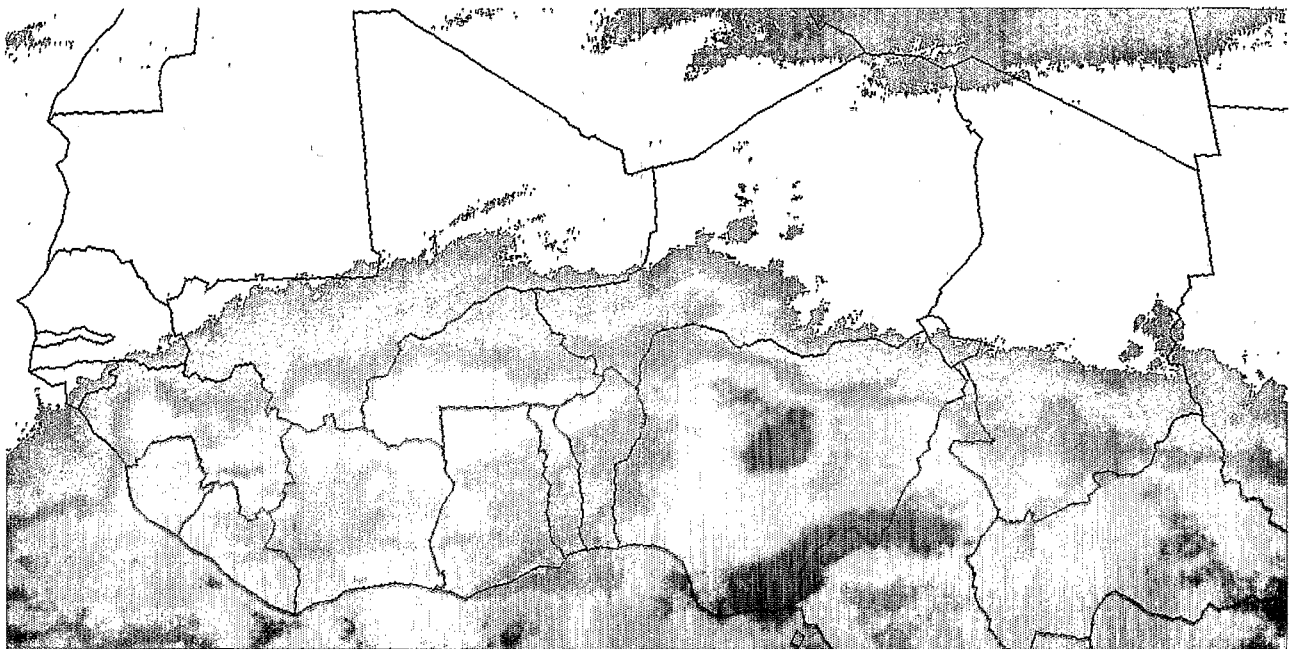
(1) *Le lecteur ne cherchera donc pas, en dehors de cette zone, une représentation exacte de la pluviométrie.*

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

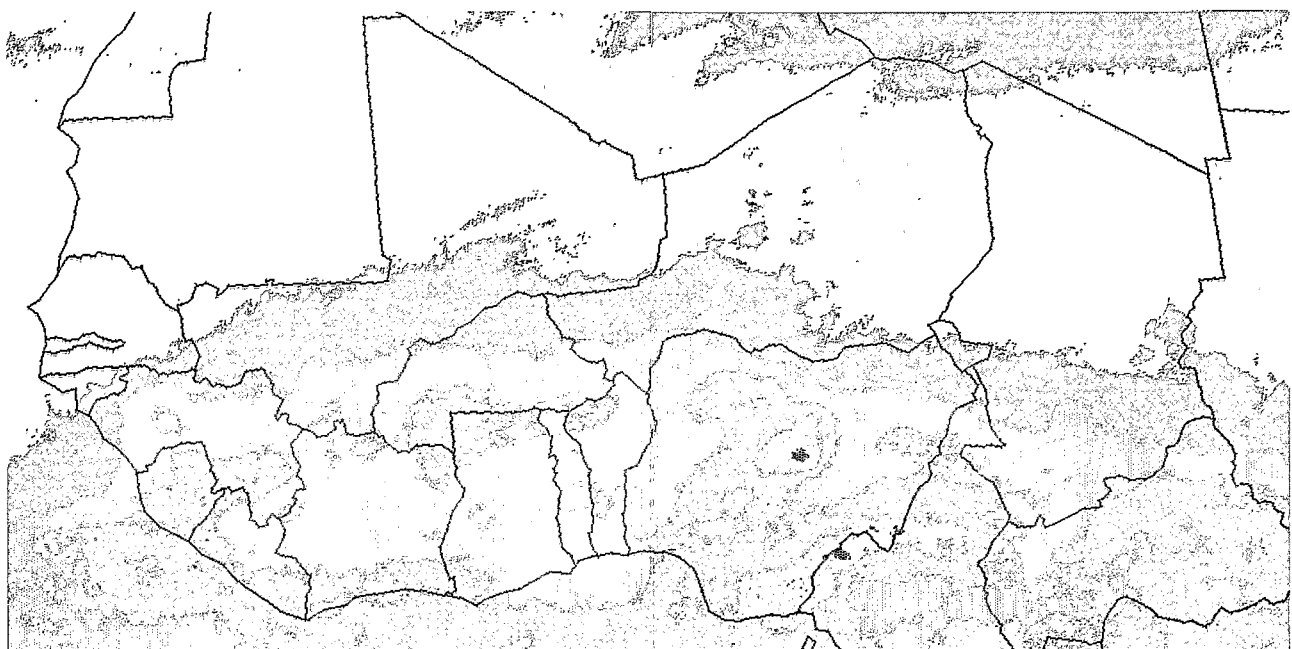
- NEGRE T., IMBERNON J., GUINOT J.P., SEGUIN B., BERGES C., GUILLOT B. (1988). – Estimation et suivi de la pluviométrie au Sénégal par Satellite Météosat. *L'Agronomie Tropicale* 43,4, pp.279-288.
- JACKSON R.D., REGINATOR J., IOSO S.B. (1977). – Wheat canopy temperature : a practical tool for evaluating water requirements. *Water Resources Research*, 13,3, pp. 651-656.



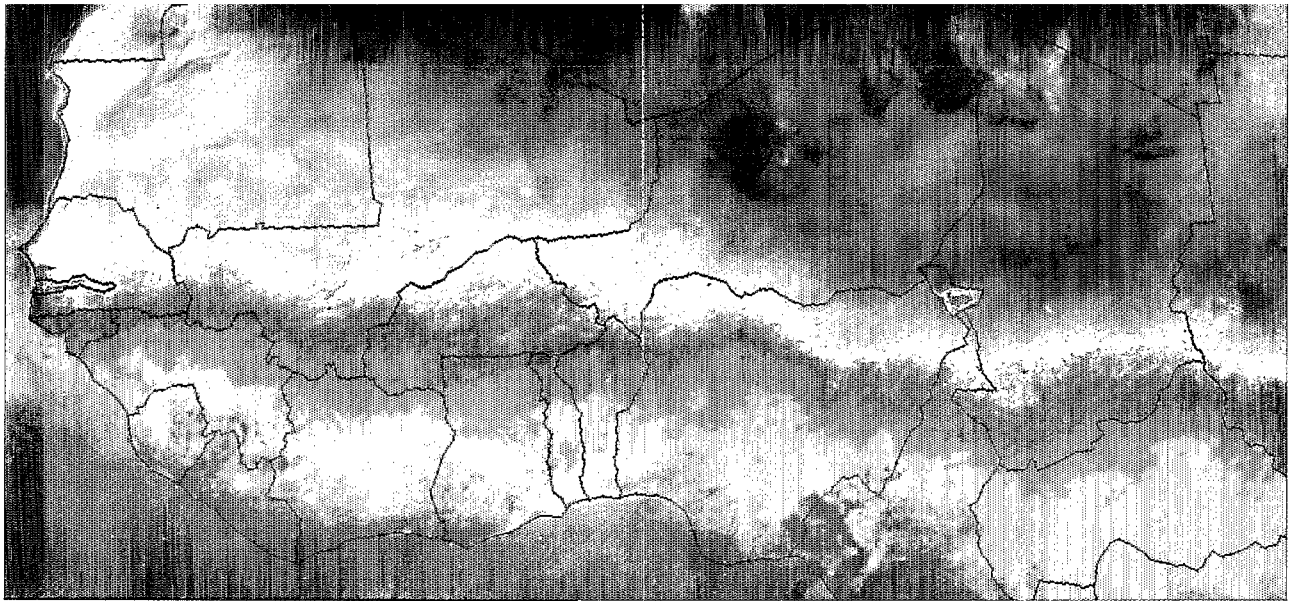
Tmax 20 30 50 MOIS MAI 1990 E.P.S.A.T. ORSTOM/CMS Lannion Logiciel TRISKEL



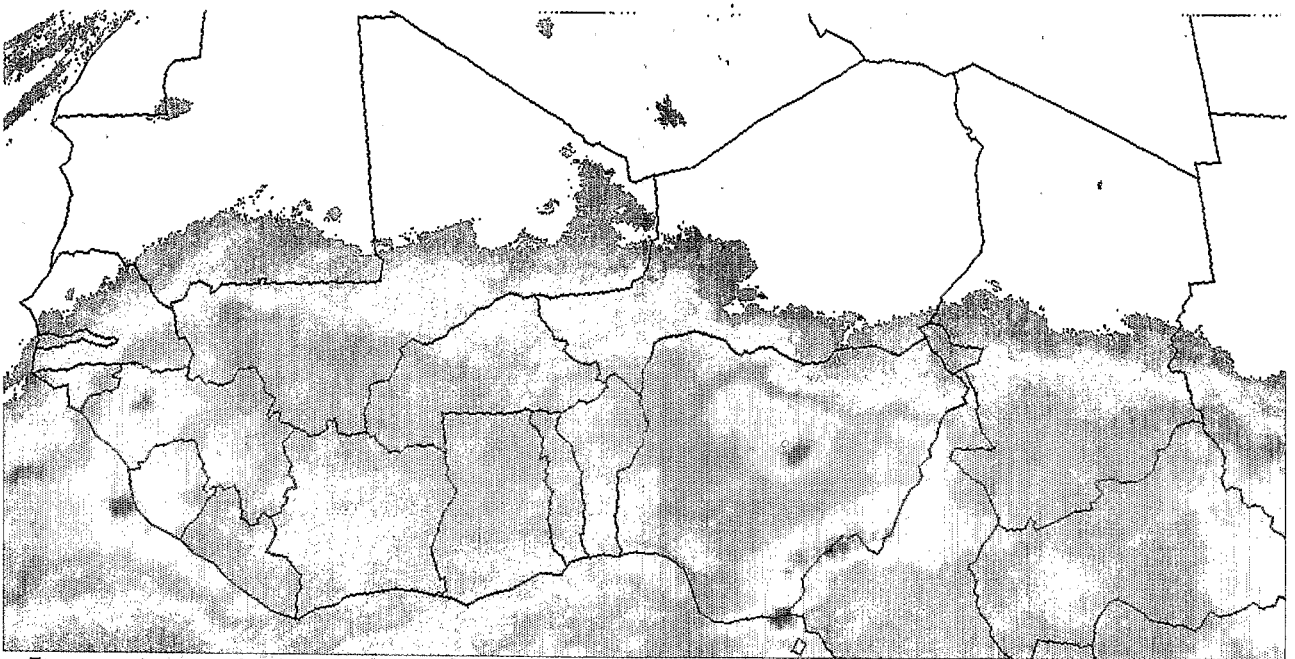
Cunimb 0 5 10 25 50% MOIS MAI 1990 E.P.S.A.T. ORSTOM/CMS Lannion Logiciel TRISKEL



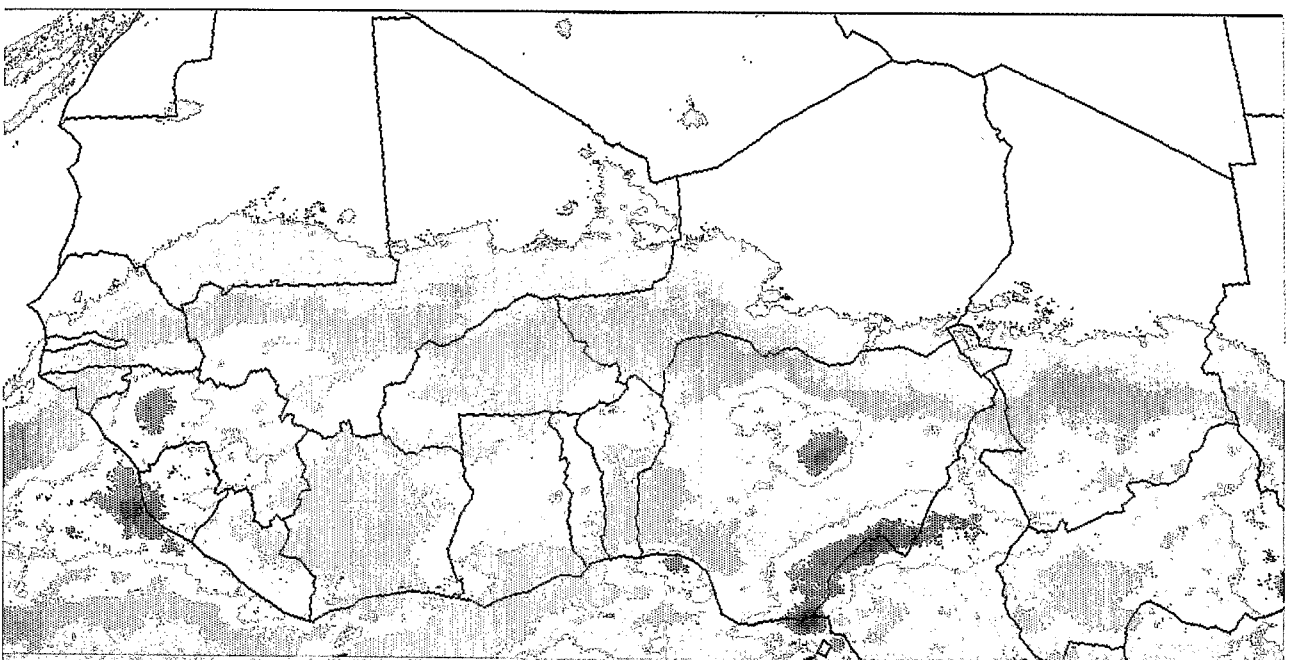
PEPITES 0 25 50 100 150 200 250 300 350 400mm. MAI 1990 E.P.S.A.T. ORSTOM/CMS Lannion M. Carr/TRISKEL



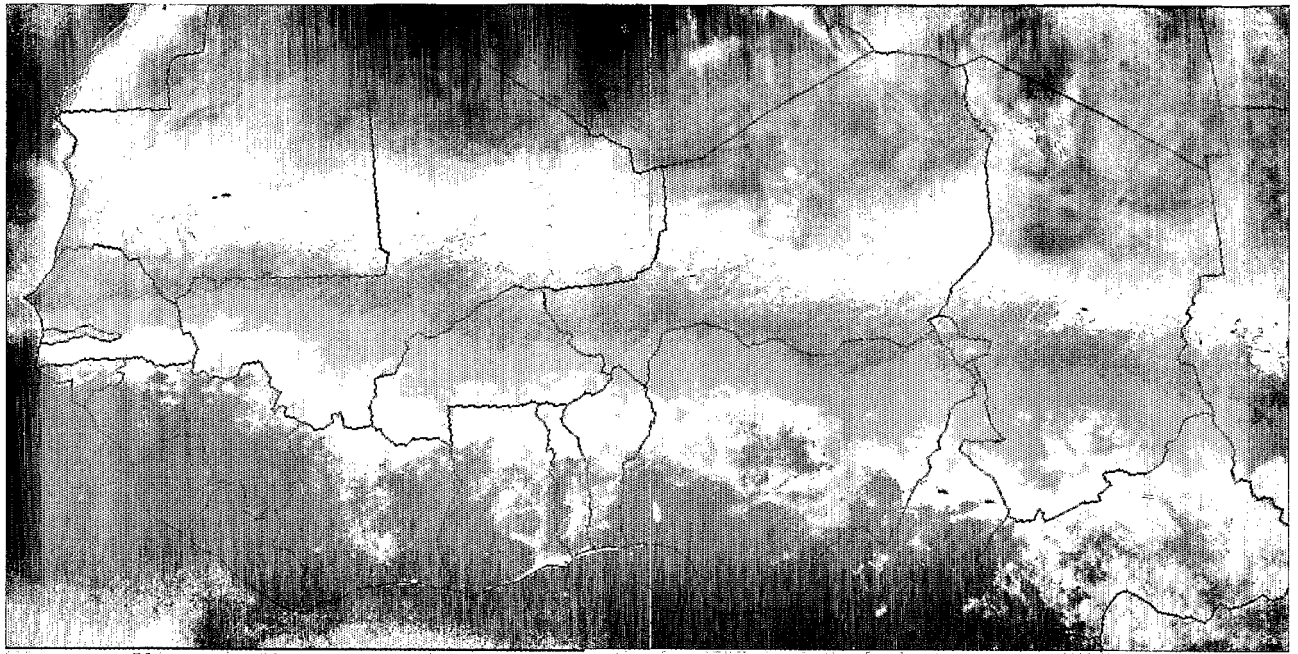
Tmax 20 30 50 MOIS JUIN 1990 E P S A T ORSTOM/CMS Lannion Logiciel TRISKEL



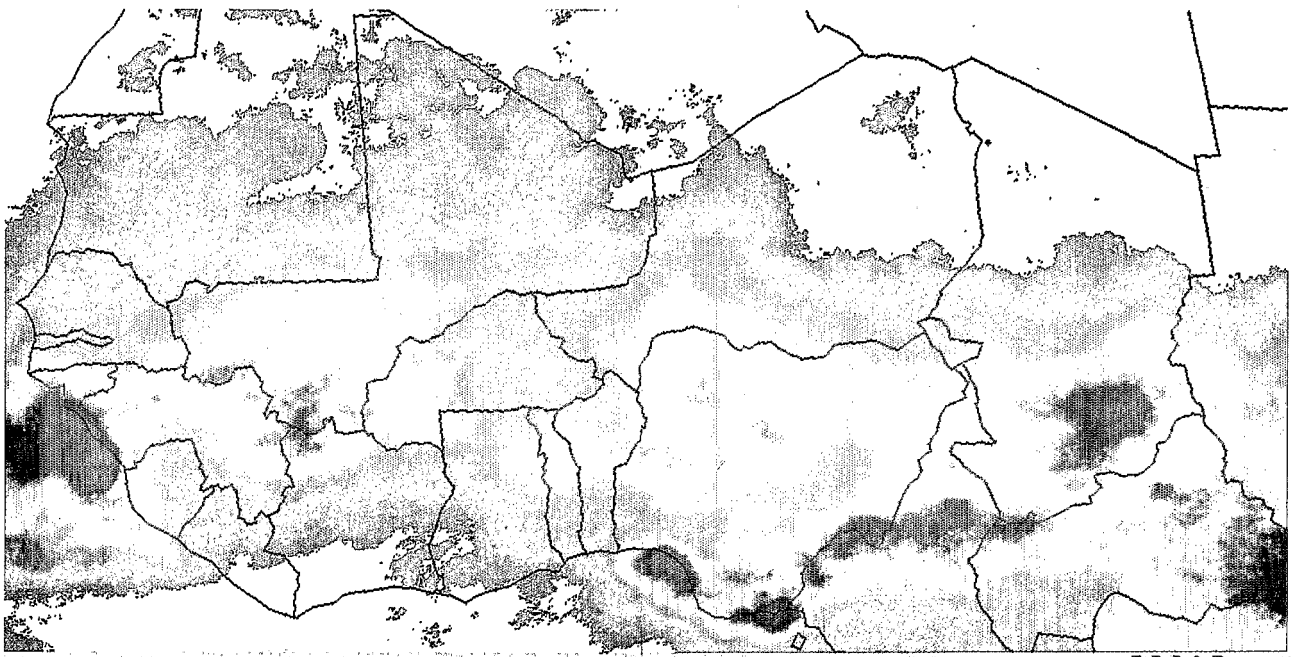
Cunimb 0 5 10 25 50% MOIS JUIN 1990 E P S A T ORSTOM/CMS Lannion Logiciel TRISKEL



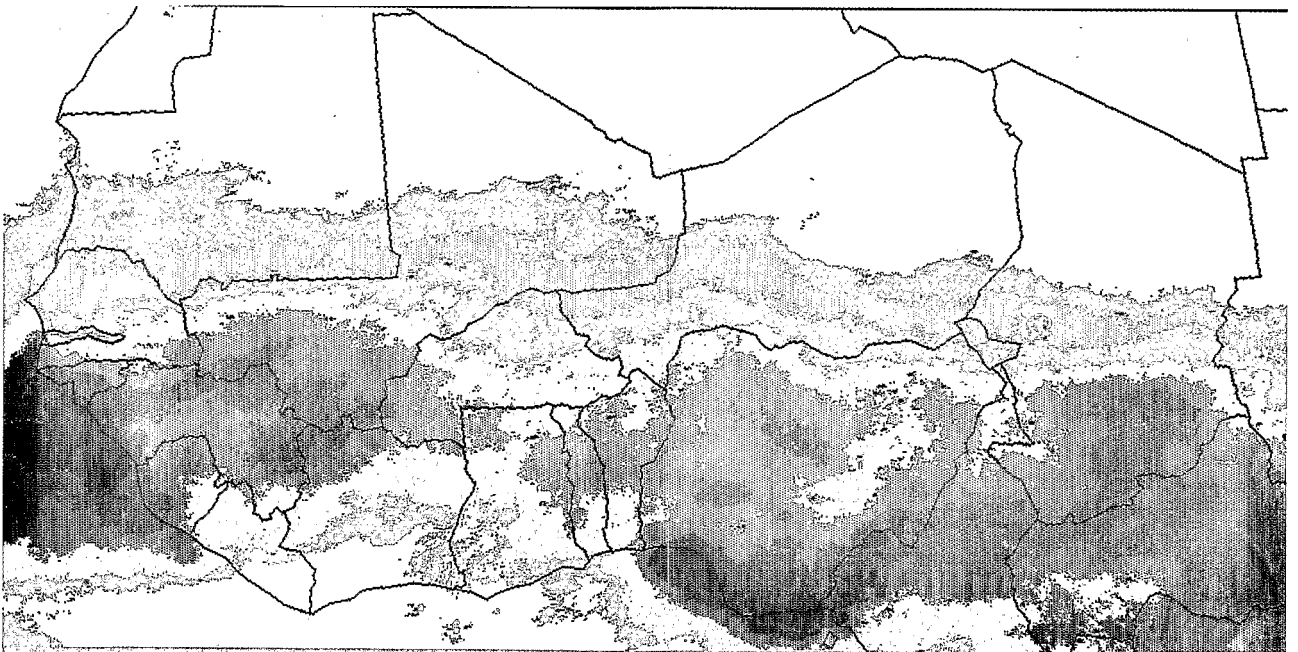
PEPITES 0 25 50 100 150 200 250 300 350 400mm. MOIS JUIN 1990 E P S A T ORSTOM/CMS Lannion M. Carré/TRISKEL



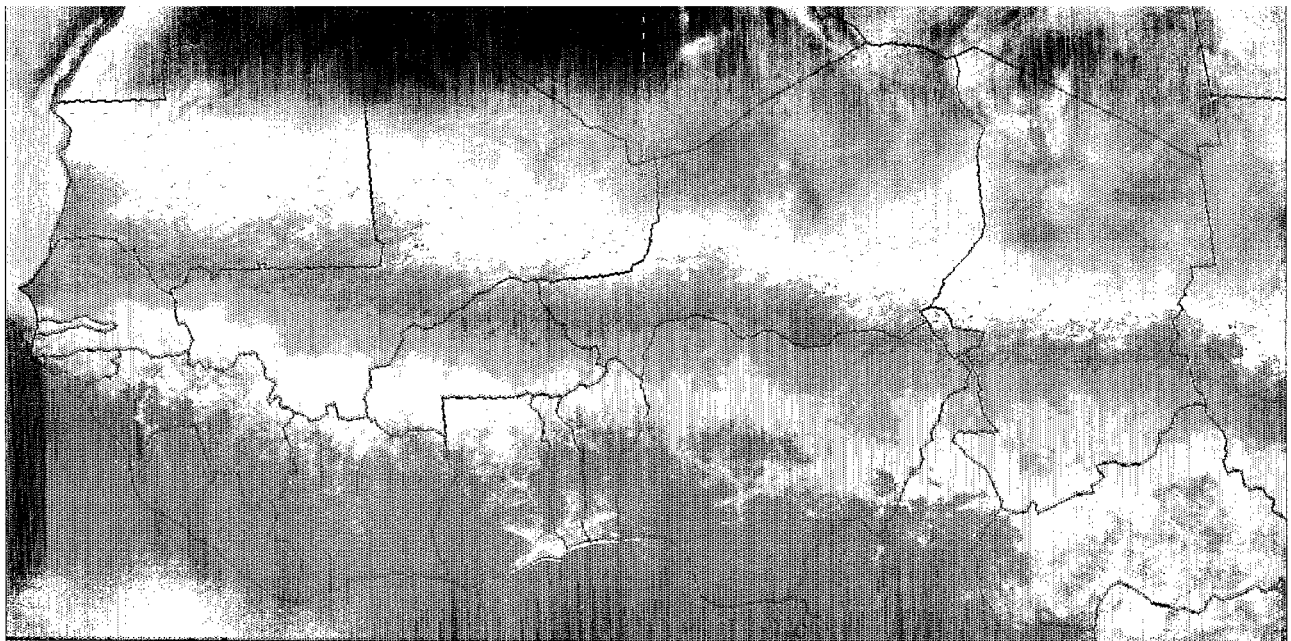
Tmax 20 30 50 MOIS JUILLET 1990 E.P.S.A.T. ORSTOM/CMS Lannion Logiciel TRISKEL



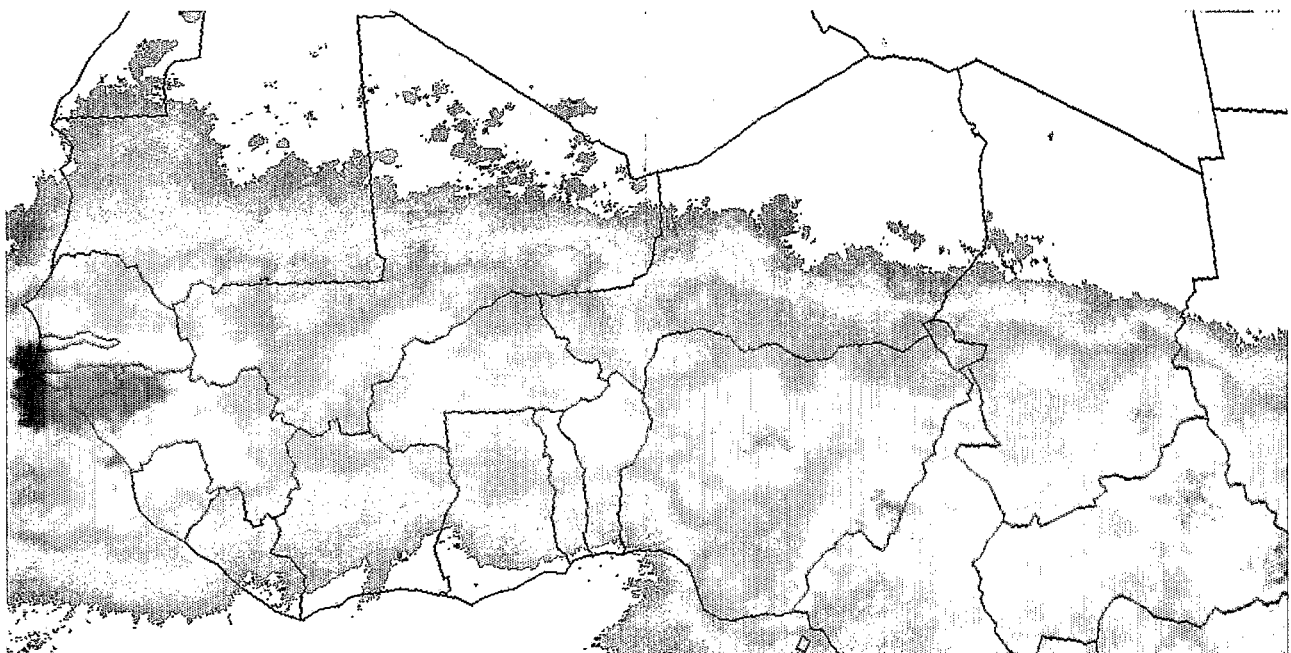
Cunimb 0 5 10 25 50% MOIS JUILLET 1990 E.P.S.A.T. ORSTOM/CMS Lannion Logiciel TRISKEL



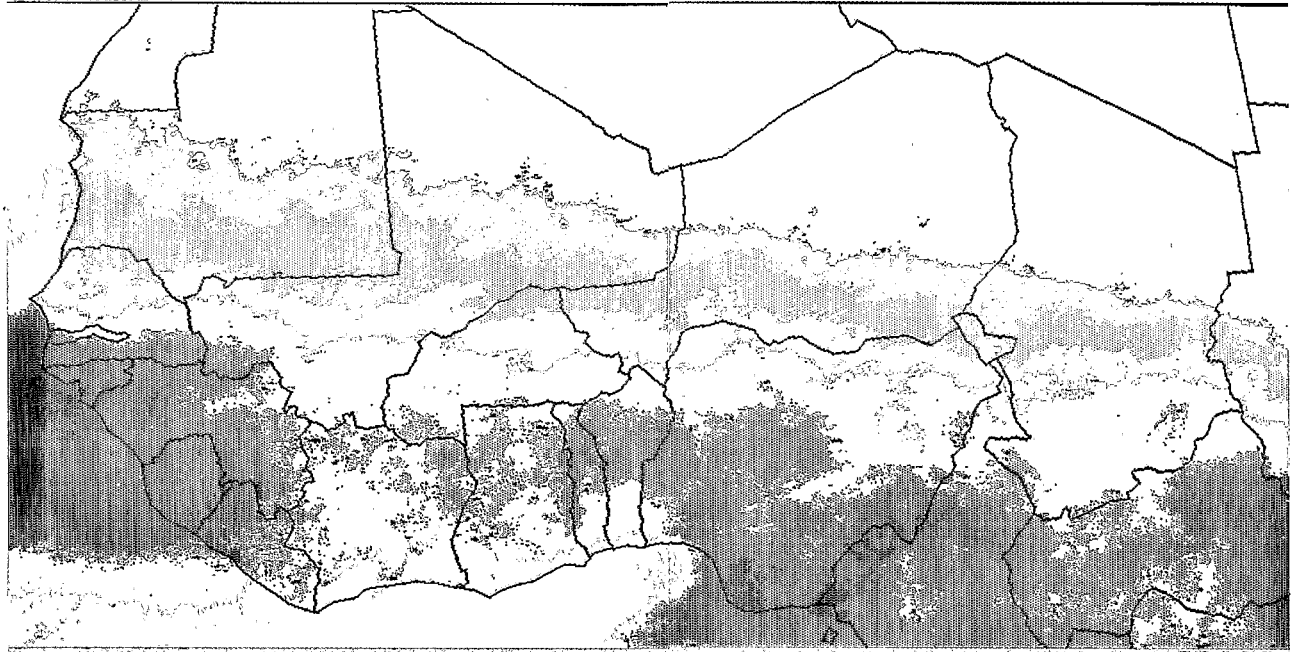
PEPITES 0 25 50 100 150 200 250 300 350 400mm. JUILLET 1990 E.P.S.A.T. ORSTOM/CMS Lannion M. Carn/TRIS



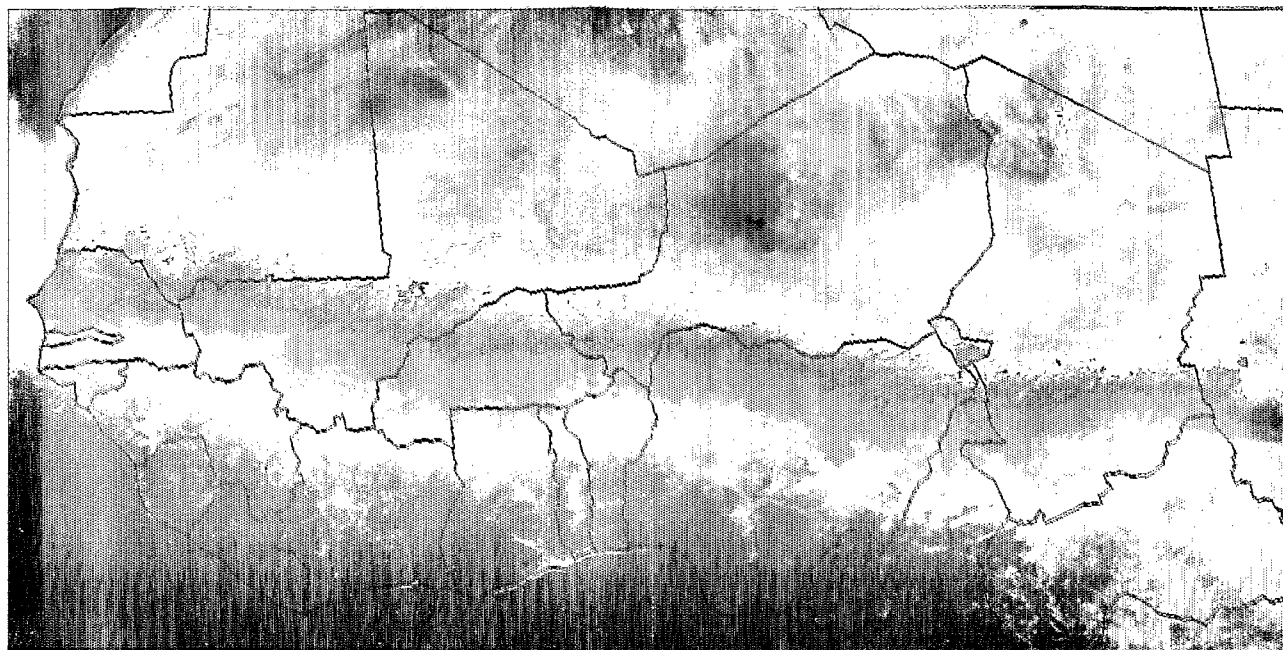
Tmax 20 30 50 MOIS ADUT 1990 E P S A T ORSTOM/CMS Lannion Logiciel TRISKEL



Cunimb 0 5 10 25 50% MOIS ADUT 1990 E P S A T ORSTOM/CMS Lannion Logiciel TRISKEL



PEPITES 0 25 50 100 150 200 250 300 350 400mm ADUT 1990 E P S A T ORSTOM/CMS Lannion M.Carn/TRISKEL



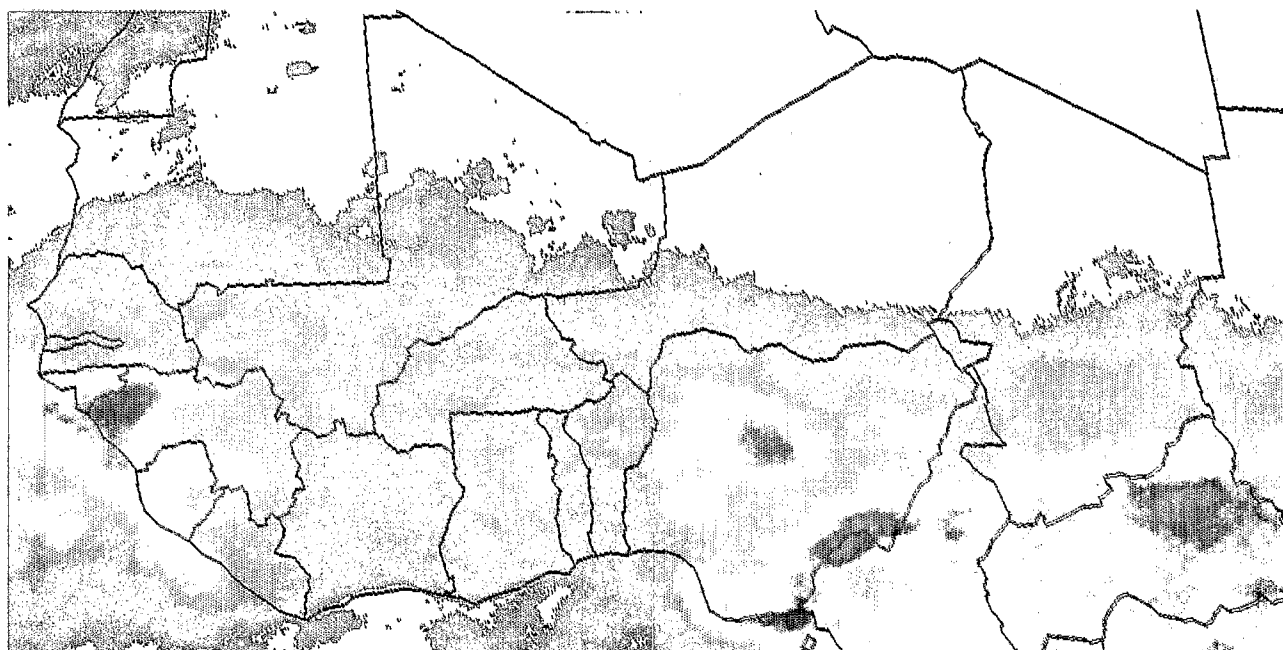
Tmax



MDIS

SEPTEMBRE 1990

EPSAT
ORSTOM-CMS Lannion
Legitelet TRISKEL



Cunimb



MDIS

SEPTEMBRE 1990

EPSAT
ORSTOM-CMS Lannion
Legitelet TRISKEL



SUIVI PAR TÉLÉDÉTECTION DES CHANGEMENTS D'ÉTAT DE SURFACE SUR LES BASSINS VERSANTS DU HAUT-SÉNÉGAL, DE LA GAMBIE ET DU RIO CORUBAL (novembre 1987-décembre 1988)

Jean-Marie GRÉGOIRE et Giovanni FERRARI*

RÉSUMÉ

L'étude présentée tente de montrer comment les données des satellites météorologiques à basse résolution spatiale, comme celles fournies par le capteur AVHRR des satellites NOAA, peuvent être utilisées pour caractériser la dynamique spatio-temporelle des états de surface sur cinq bassins versants d'Afrique de l'Ouest. L'exploitation de dix images NOAA-HRPT permet d'analyser d'une part l'évolution générale pendant la saison sèche 1987/1988 et de début de la saison 1988/1989, d'autre part le comportement spécifique de chaque bassin.

Il est proposé de constituer une banque de données regroupant quelques éléments descriptifs des états de surface sur les bassins versants des principaux fleuves d'Afrique de l'Ouest. Cet ensemble de données viendrait en complément aux informations contenues dans les banques de données hydro-météorologiques existantes.

Deuxièmes journées Scientifiques du Réseau Thématique de l'UREF : Télédétection.
Sénégal 21-24 novembre 1989.

« Apports de la télédétection à la lutte contre la sécheresse ».

NOTE PRÉLIMINAIRE

Les modifications affectant la couverture végétale d'un territoire donné, qu'elles soient d'origine anthropique ou naturelle, ont une influence plus ou moins directe sur la relation existant entre les précipitations et les écoulements de surface. La nature du couvert intervient en effet sur l'intensité de cinq processus fondamentaux (avenant) intervenant dans le cycle de l'eau à la surface : interception, évaporation directe après interception, infiltration dans le sol, évapotranspiration et ruissellement de surface.

Pour un espace géographique donné, tel qu'un bassin versant, les caractéristiques du couvert végétal déterminent en quelque sorte les ressources en eau réelles, c'est-à-dire l'eau stockée par le milieu, par opposition aux ressources en eau potentielles que sont les précipitations. Toute modification du couvert végétal aura ainsi des répercussions sur les ressources en eau utilisables par le milieu et les activités humaines, répercussions pouvant affecter profondément des écosystèmes naturels comme celui de la mangrove (Guillemyn, 1989).

En conditions de ressources en eau limitées, qui sont celles de l'Afrique de l'Ouest soudano-sahélienne, il apparaît indispensable de développer des méthodes de surveillance du milieu sur les bassins des grands fleuves de la région de façon à : 1) collecter l'information demandée par les modèles d'écoulement ; 2) évaluer les conséquen-

* Centre Commun de Recherche des Communautés Européennes
Institut des Applications de la Télédétection, T.P. 440 ; 21020 Ispra (Varese), Italie

ces hydrologiques engendrées par les modifications du couvert végétal ; 3) mettre en évidence les régions prioritaires pour les programmes d'aménagement. De nombreux auteurs (Rango et al., 1983 ; Solomon et al., 1988 ; Kite, 1989 ; Salomonson, 1989 ; Grégoire, 1989) ont cité la télédétection spatiale comme un des outils privilégiés pour effectuer cette surveillance.

Le travail présenté ici tente de montrer comment les données du senseur AVHRR, à bord des satellites NOAA, peuvent être utilisées pour effectuer un suivi des conditions du milieu sur une base régionale. Cinq bassins importants pour les ressources en eau de l'Afrique de l'Ouest ont été choisis : celui de la Faleme, du Bafing, du Bakoye, de la Gambie et du Corubal.

Les trois premiers, affluents du fleuve Sénégal, sont situés en zone soudanienne ; les formations végétales climatiques sont de type « forêt claire indifférenciée soudanienne » dans la légende de la carte de végétation de l'Afrique publiée par l'UNESCO. Le couvert végétal actuel est composé d'une mosaïque de savanes arborée, arbustive et herbeuse.

La Gambie traverse la zone de contact entre domaine guinéo-soudanien et domaine soudanien ; les types de végétation sont en partie la « forêt claire soudanienne » comme sur les affluents du Sénégal et une mosaïque de « forêt ombrophile et de formations herbeuses ». Les faciès dégradés sont une savane arbustive à arborée avec des îlots de forêt claire.

Le bassin du Corubal est lui totalement situé en zone de transition guinéo-soudanienne.

L'ensemble de la zone d'étude est comprise entre les isohyètes 2.000 mm, aux sources du Bafing et du Corubal dans le massif du Fouta Djalon, et 750 mm à la confluence entre la Faleme et le Sénégal.

1. PRÉPARATION DES DOCUMENTS SATELLITAIRES ET DES FICHIERS GRAPHIQUES DE LIMITE DE BASSIN

Dix images NOAA-AVHRR-HRPT (Advanced Very High Resolution Radiometer-High Resolution Picture Transmission ; tableau 1) ont été sélectionnées pour caractériser l'évolution des états de surface entre les mois de novembre 1987 et décembre 1988. En fait, seules les périodes de saison sèche ont été retenues.

Tableau 1 : Caractéristiques du satellite NOAA (9-11) et du capteur AVHRR

Cycle orbital : 9 jours
Période orbitale : 102 mn
Altitude : 805 km
Heure de passage équatoriale (temps universel) :
en mode ascendant 14 h 30
en mode descendant 2 h 30
Angle de balayage : +– 56 degrés
Trace au sol : 2.700 km
Résolution au sol : 1,1 km au nadir à 3,5 km latéralement
Bandes spectrales : canal 1 : 0.58-0.68 μm
canal 2 : 0.73-1.1 μm
canal 3 : 3.55-3.93 μm
canal 4 : 10.3-11.3 μm
canal 5 : 11.5-12.5 μm

Réception des données HRPT pour l'Afrique de l'Ouest : station de Maspalomas (Iles Canaries), Niamey (Agrhymet).

Pour chaque document satellitaire, le prétraitement a été le suivant :

- Correction géométrique de type panoramique à partir des paramètres de navigation du satellite fournis avec le document ;
- Calcul de l'indice de végétation normalisé à partir des comptes numériques dans les bandes spectrales AVHRR-1 et 2 ;

– Extraction de deux « fenêtres » de 512 par 512 pixels chacune (figure 1) pour couvrir d'une part les bassins des trois affluents du fleuve Sénégal (Faleme, Bafing et Bakoye), d'autre part ceux de la Gambie et du Corubal.

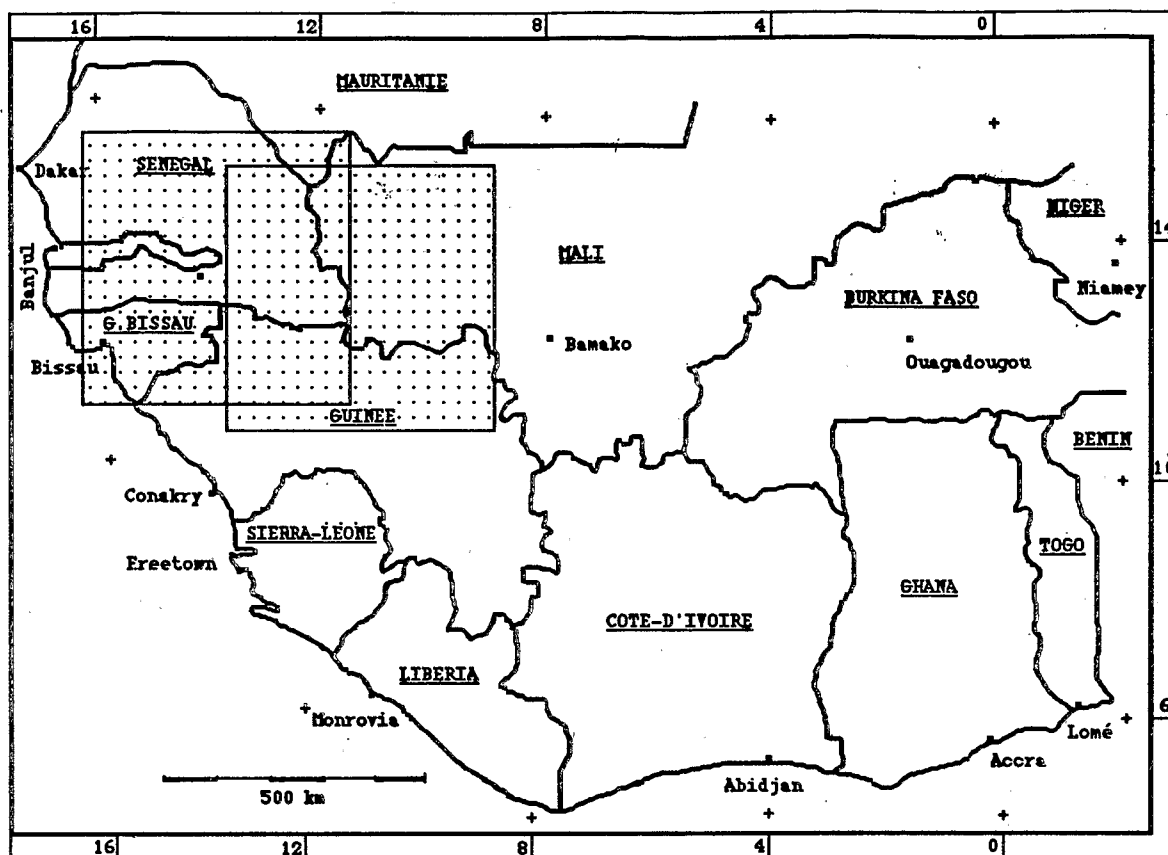


Figure 1. – **POSITION DES DEUX FENÊTRES NOAA-HRPT (512×512 PIXELS) UTILISÉES POUR L'ÉTUDE.**

Parallèlement à la préparation de la série d'images, les fichiers graphiques de limite de bassins versants ont été créés :

- Numérisation des limites de bassin sur fond de carte au 1/1.000.000° ;
- Correction géométrique des fichiers obtenus pour les rendre superposables aux images. La correction a été effectuée par la méthode des points de contrôle.

Ces fichiers graphiques permettent d'extraire, pour chacune des dates retenues, l'information radiométrique correspondante à un bassin déterminé. Cette étape du travail a été réalisée à l'aide du logiciel CHIPS (Rasmussen, 1989).

Tableau 2 : Caractéristiques des bassins étudiés

Bassin	Nbre pixels (1 pixel-1 km ²)	Milieu	Pays concerné
Faleme	29.345	soudano-sahélien	Sénégal, Mali et Guinée
Bafing	38.404	soudano-sahélien	Guinée et Mali
Bakoye	14.764	soudano-sahélien	Guinée et Mali
Gambie	75.643	soudano-sahélien	Gambie, Sénégal et Guinée
Corubal	37.639	soudano-sahélien	Guinée Bissau et Guinée

2. RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION

A la fin de la phase de prétraitement des données, chaque bassin étudié a pu être défini sur la base des éléments suivants :

- Le compte numérique, pixel par pixel, dans l'infrarouge thermique moyen (AVHRR-3) ;
- L'indice de végétation normalisé (NDVI) calculé pixel par pixel à partir des enregistrements dans le visible (AVHRR-1 et 2) ;
- Les moyennes, écart-types et histogrammes de distribution, bassin par bassin, des deux termes précédents ;

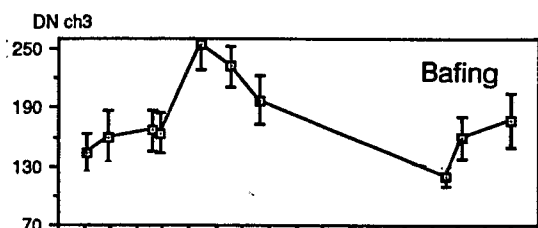
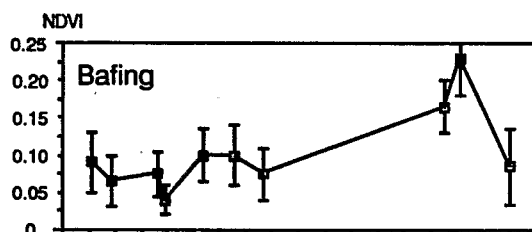
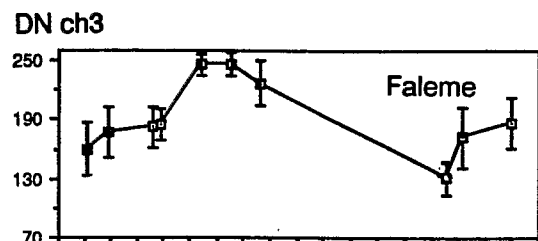
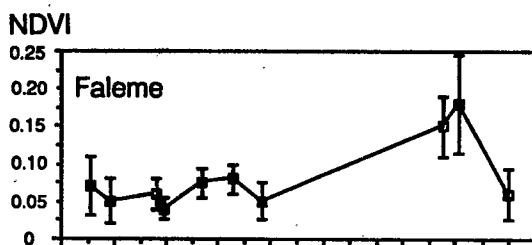
Aucune correction radiométrique n'a été appliquée aux données.

L'interprétation a été faite en essayant : 1) de dégager l'évolution générale des états de surface sur l'ensemble des bassins ; 2) de discerner des évolutions spécifiques d'un bassin à l'autre.

2.1. Évolution générale entre novembre 1987 et décembre 1988

L'évolution générale des valeurs moyennes de l'indice de végétation et des enregistrements dans le canal AVHRR-3 (*figure 2*) est très semblable pour les cinq bassins étudiés. Pendant la saison sèche 1987/1988, de novembre à mai, l'indice de végétation montre des fluctuations minimales autour d'une valeur très basse comprise entre 0.05 et 0.10. Après la saison des pluies, à partir de novembre 1988, on observe une remontée marquée de l'indice puis une chute après le mois de décembre 1988. Le maximum, observé en décembre pour les cinq bassins, reste à des niveaux relativement bas de l'ordre de 0.20 ; valeurs qui correspondent à celles mentionnées par différentes recherches sur le même milieu (Justice, 1986). Ces fluctuations de l'indice indiquent les changements saisonniers de la densité du couvert végétal vivant. Les dix observations disponibles ne permettent pas d'aller au-delà de ce constat très général et qualitatif.

L'évolution des enregistrements dans l'infrarouge thermique (*figure 2*) apporte plus d'informations. Ces données permettent ainsi de discerner deux périodes bien distinctes pendant la saison sèche 1987/1988 : la



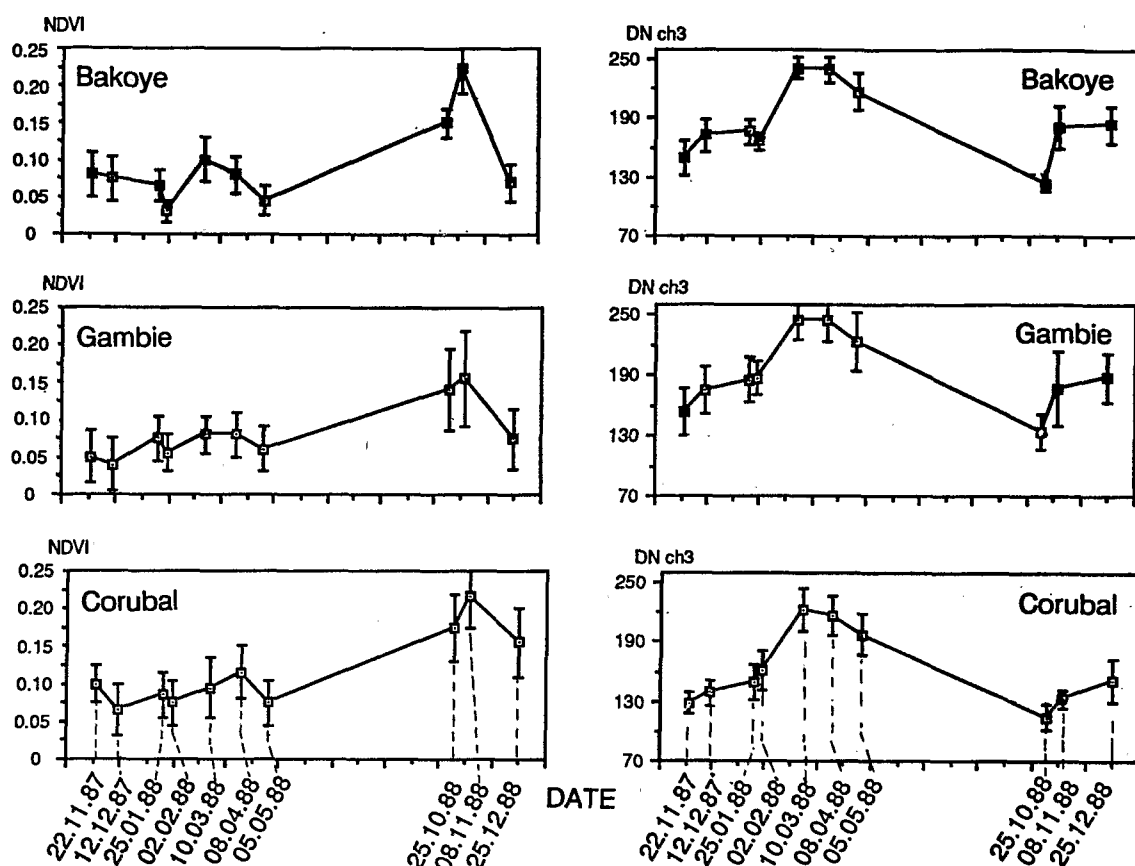


Figure 2. – ÉVOLUTION DE L'INDICE DE VÉGÉTATION NORMALISÉ (NDVI) ET DU SIGNAL DANS LE CANAL AVHRR-3 ENTRE NOVEMBRE 1987 ET DÉCEMBRE 1988. MOYENNE DES VALEURS DE TOUTS LES PIXELS DE CHAQUE BASSIN.

première, de novembre 1987 à février 1988, montre des valeurs relativement stables (autour du niveau de quantification 160) très inférieures à celles observées pendant la deuxième phase de mars à mai 1988 ; l'écart moyen entre les deux périodes est de l'ordre de 75 unités de quantification, soit 45 % d'augmentation de février à mars, mois pour lequel on observe les valeurs les plus élevées. Avril et mai montrent une tendance à la baisse. Les valeurs les plus basses, pour le set de données disponible, s'observent en octobre 1988 après la saison des pluies. Puis il y a de nouveau tendance à la remontée en novembre et décembre.

La dynamique observée dans l'infrarouge thermique moyen (centré sur $3.7\mu\text{m}$) reflète le mode de réchauffement du milieu suite aux effets de la saison sèche : diminution de la densité du couvert végétal vivant, de l'évapotranspiration et de l'humidité de surface du sol ; augmentation des superficies de sol nu. A ces modifications des états de surface, s'ajoute la contribution des feux de brousse (cf. point 2.3) et la remontée des températures de l'air après le mois de janvier.

2.2 Différenciation entre bassins

Au-delà de la tendance générale présentée plus haut, on peut déceler des comportements spécifiques par le biais de l'hétérogénéité de l'état de surface. Les barrettes d'écart-type, indiquées sur la figure 2, montrent que la dispersion, au sens statistique du terme, change beaucoup d'une date à l'autre pour un bassin donné. La figure 3 présente l'évolution temporelle de cette dispersion des valeurs radiométriques dans le canal AVHRR-3 entre novembre 1987 et mai 1988.

Le Bakoye et la Gambie ont des comportements très semblables :

- Il y a une tendance à l'harmonisation des états de surface (baisse de la dispersion des valeurs) entre novembre 1987 et février 1988, suivie d'une remontée marquée pendant la deuxième moitié de la saison sèche (mars à mai 1988) ;

- La valeur minimale de dispersion s'observe après les pluies, en octobre 1988, ce qui dénote une forte homogénéité des états de surface à ce moment de l'année.

La Faleme se comporte plus ou moins comme les deux bassins précédents mais avec une tendance à l'harmonisation, en début de saison sèche, beaucoup plus marquée. En fait, cette différence d'intensité dans le processus est due à la forte hétérogénéité rencontrée au sein de la Faleme au tout début de la saison sèche, en novembre 1987, par rapport à celles montrées par le Bakoye et la Gambie.

Le bassin du Corubal montre un comportement inverse : il y a augmentation de la dispersion pendant la saison sèche 1987/1988 avec un maximum atteint vers le mois de mars 1988 ; le minimum de fin de saison des pluies, décalé vers le mois de novembre 1988, est suivi d'une brusque remontée entre novembre et décembre.

Le Bafing enfin ne présente pas de tendance bien nette pendant la saison sèche 1987/1988 ; le minimum de fin de saison des pluies, en octobre 1988, est suivi d'une forte remontée de la dispersion jusqu'au mois de décembre.

Les histogrammes de distribution des comptes numériques dans le canal 3 (figure 4) permettent de bien visualiser les deux grandes tendances observées dans la première moitié de la saison sèche :

- Uniformisation progressive (resserrement des histogrammes) sur les bassins de la Falémé et de la Gambie ; il y a en quelque sorte simplification des états de surface ;

- Tendance inverse (étalement des histogrammes) sur le bassin du Corubal ; il y a ici augmentation, dans le temps, de la complexité des états de surface.

Les variations temporelles de la dispersion semblent liées aux cycles saisonniers de la végétation et de l'humidité de surface des sols : les maxima, observés au début et à la fin de la saison sèche, reflètent très probablement l'effet que ces périodes de transition ont sur le couvert végétal ; la différenciation, entre types de végétation et entre strates, s'intensifie, ce qui se traduit par une dispersion accrue des niveaux radiométriques observés sur le document satellitaire.

Les modalités de cette différenciation, et de la dispersion résultante, sont fortement dépendantes du type de milieu et pourraient de ce fait constituer un excellent paramètre de description quantitative des modifications intervenant au sein des bassins versants étudiés. Cette approche est complémentaire des travaux visant à mettre en relation l'organisation spatiale du couvert ligneux et l'état du milieu en zone sahélienne (Jacqueminet et al., 1989), ou de ceux qui tendent à décrire l'hétérogénéité dans la distribution de la couverture végétale au moyen de paramètres statistiques (Aman et al., 1989).

Après une période de calibration de ce paramètre, par des observations au sol sur les bassins, on peut envisager de l'utiliser de façon systématique dans une optique de suivi opérationnel des changements d'états de surfaces.

2.3. Dynamique des feux de brousse

En tant qu'agent de modification des caractéristiques de surface, les feux de brousse doivent faire l'objet d'un suivi dans tout programme de surveillance opérationnel des bassins de cette partie de l'Afrique de l'Ouest. Parmi les instruments d'observation de la terre actuellement disponibles, le capteur AVHRR occupe une place de choix pour le suivi de ce phénomène à cause d'une part de ses caractéristiques spectrales (trois bandes dans l'infrarouge thermique), d'autre part de sa répétitivité élevée.

De fait, de nombreux travaux de recherche s'attachent à intégrer l'information dérivée des images NOAA-AVHRR dans les méthodes de suivi des feux actifs (Matson et al., 1984 ; Stéphens et Matson, 1987 ; Grégoire et al., 1989 ; Langaas et Muirhead, 1988 ; Belward et Lambin, 1989) ou de suivi des superficies affectées par le feu (Frederiksen et al., 1989), et ce dans différentes régions de la ceinture intertropicale du globe (Sadowski et Westover, 1986, Malingreau et Tucker, 1988).

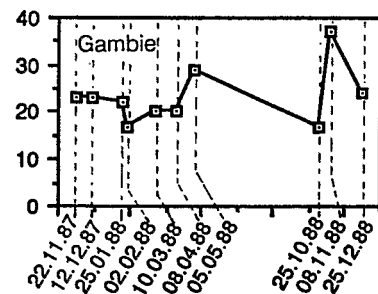
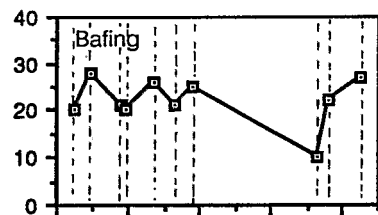
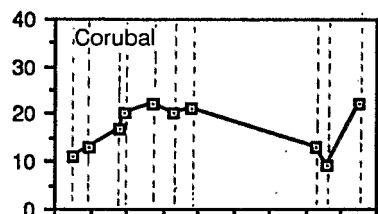
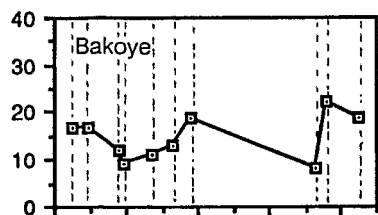
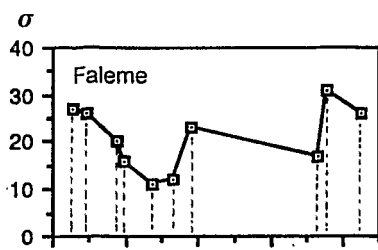


Figure 3. - ÉVOLUTION DE L'ÉCART-TYPE DES COMPTES NUMÉRIQUES DANS LE CANAL AVHRR-3.

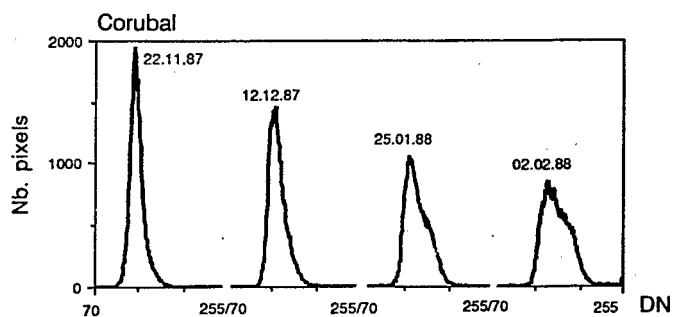
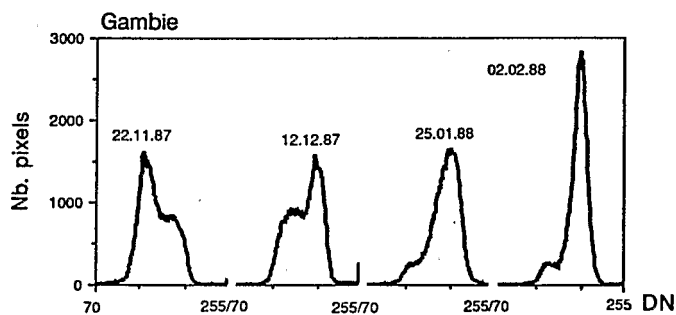
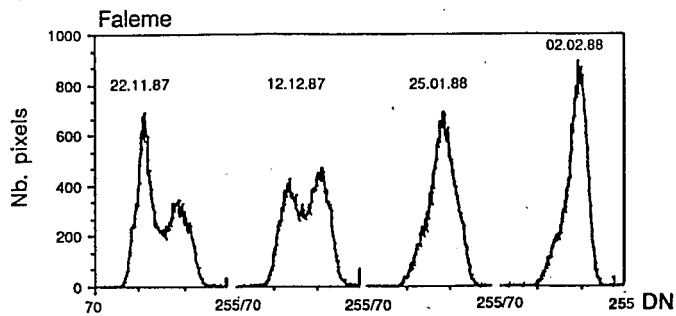


Figure 4. - HISTOGRAMMES DE DISTRIBUTION DES VALEURS DANS LE CANAL AVHRR-3 POUR LA FALEME, LA GAMBIE ET LE CORUBAL ENTRE NOVEMBRE 1987 ET FÉVRIER 1988.

Le travail présenté ici s'appuie uniquement sur l'information fournie par le canal AVHRR-3, dans l'infrarouge moyen, pour dégager des intensités et des calendriers de feu. La figure 5 montre ainsi, pour chacun des cinq bassins entre novembre 1987 et décembre 1988, le nombre de pixels à saturation (niveau de quantification 255). Il ne s'agit pas là d'une quantification exacte des feux actifs, et encore moins des zones brûlées. Ces données représentent par contre un très bon indicateur de l'intensité du phénomène et de son calendrier.

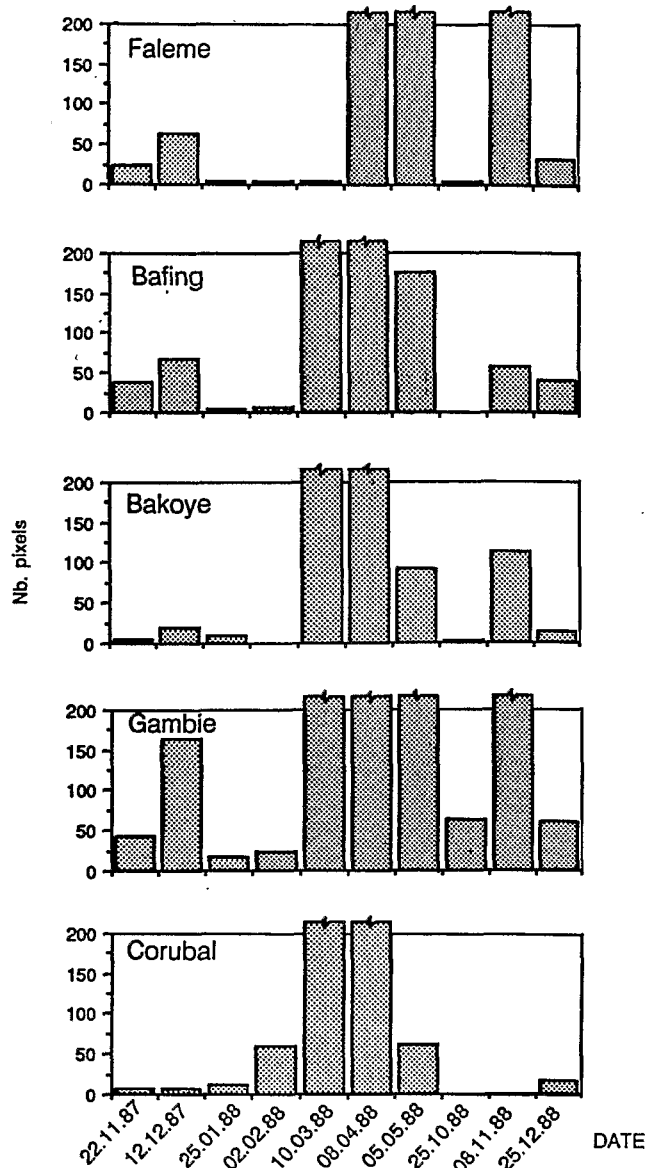


Figure 5. – **NOMBRE DE PIXELS DONT LE COMPTE NUMÉRIQUE DANS LE CANAL AVHRR-3 EST A SATURATION.**

On distingue ainsi la période des feux dits précoces, en début de saison sèche (novembre et décembre sur le graphique), et celle des feux tardifs (mars, avril et mai sur le graphique). Pour ces trois derniers mois, il faut noter que le grand nombre de points à saturation est du en partie à l'échauffement général du milieu et non directement aux feux ; la part revenant à l'activité des feux de brousse ne peut malheureusement pas être quantifiée à partir du seul canal 3 ; pour cette période de l'année, il faudrait s'appuyer sur les données des canaux 4 et 5. Les travaux actuels s'orientent dans cette direction.

Il est néanmoins possible d'évaluer l'intensité respective des deux processus.

Ainsi le Corubal montre essentiellement des feux de fin de saison sèche pour la saison 1987/1988 (novembre 1987 à mai 1988). Il en est de même pour le Bakoye. Bafing et Faleme montrent également un déséquilibre vers les feux tardifs, mais avec une intensité des feux précoces non négligeable par rapport à celle observée sur le Corubal et le Bakoye.

La situation la plus critique s'observe sur la Gambie où, aux feux tardifs de mars à mai 1988, s'ajoute un important épisode de feux en novembre 1987.

La figure 6 montre le bilan du phénomène feu pour la première moitié de la saison sèche, de novembre 1987 à février 1988 : étant pondérée par la surface des bassins concernés, ces données permettent de cerner l'impact réel du feu sur le milieu. Faleme, Bafing et Gambie montrent plus ou moins le même bilan. Le Bakoye suit un calendrier identique mais avec une intensité moindre. Le Corubal présente une situation moins critique en début de saison sèche mais il a tendance à rejoindre les autres bassins à la fin de la période considérée.

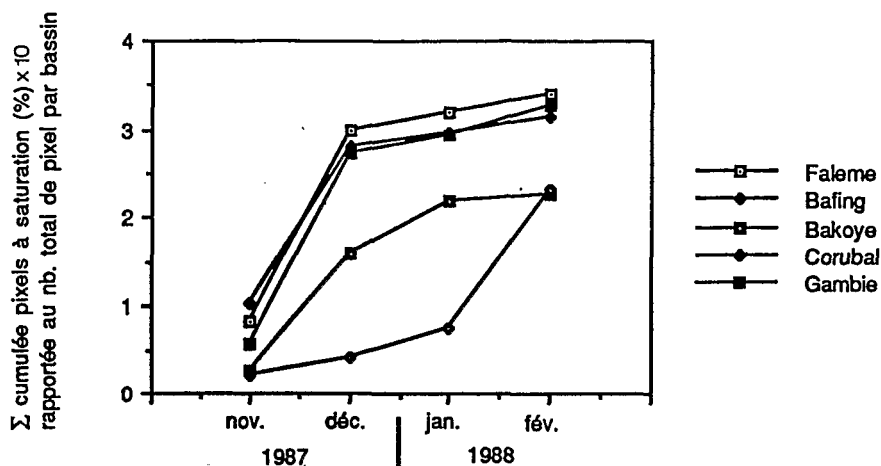


Figure 6. – ÉVOLUTION DU NOMBRE DE PIXELS A SATURATION DANS LE CANAL AVHRR-3 ENTRE NOVEMBRE 1987 ET FÉVRIER 1988. SOMME CUMULÉE PONDÉRÉE PAR LE NOMBRE TOTAL DE PIXELS DE CHAQUE BASSIN.

Au même titre que la variabilité des états de surface, mentionnée au point 2.2, un indice de feu cumulé peut constituer le second paramètre de suivi systématique des états de surface sur les grands bassins d'Afrique de l'Ouest.

Un autre élément intéressant de la figure 5 est le grand nombre de pixels dont le compte numérique est à saturation au mois de novembre 1988 sur les bassins de la Faleme, du Bakoye et de la Gambie. La différence par rapport à la situation de novembre 1987 est importante. Or ceci ne peut être entièrement dû à l'absence d'intercalibration entre les données fournies par NOAA-9 (jusqu'en octobre 1988) et celles de NOAA-11 (à partir de novembre 1988). En effet, les situations de décembre 1988 et décembre 1987 sont très comparables. Il y a donc bien eu des épisodes de feux précoces particulièrement importants sur ces bassins pour la saison sèche 1988/1989. Le suivi de la situation dans le deuxième tiers de la saison sèche 1988/1989 devrait permettre de dire s'il s'y ajoute un accroissement des feux tardifs ou si au contraire il y a eu modification des calendriers de feu au profit des feux précoces.

3. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les données enregistrées par le capteur AVHRR ont montré les possibilités qu'elles offraient pour la caractérisation des changements saisonniers des états de surface pouvant avoir des répercussions sur les écoulements. Elles ont montré également leur capacité à fournir l'information au niveau de perception requis dans le contexte ouest africain qui ne peut être que régional.

Le travail réalisé sur les affluents du Haut Sénégal, sur la Gambie et le Corubal indique que, partant de ces enregistrements, des indices ou des paramètres descriptifs des changements d'état de surface peuvent être définis : en particulier les variations temporelles de l'hétérogénéité spatiale et l'indice de feu cumulé en fin de saison sèche.

Dans le cas spécifique de l'impact des feux de brousse, il est possible de vérifier l'importance relative des feux précoces et des feux tardifs.

Enfin, il apparaît qu'un suivi des conditions de milieu sur de grands bassins peut aider à définir les régions prioritaires pour des aménagements à des fins hydrologiques.

Le travail actuel s'oriente vers la constitution d'une banque de données regroupant, pour quelques grands bassins d'Afrique de l'Ouest, cinq paramètres permettant de caractériser les états de surface : l'indice de végétation normalisé, l'albédo, la température de brillance, l'indice de feu cumulé et un paramètre descriptif des changements temporels de l'hétérogénéité spatiale.

Une telle banque de données, dont les références géographiques sont les bassins versants, devrait venir en complément aux banques de données hydro-météorologiques existantes.

Sur le plan de la recherche, trois axes mériteraient d'être suivis : 1) la définition des niveaux de perception spatio-temporels les plus appropriés pour une intégration de la télédétection spatiale, comme source d'information, et des modèles hydrologiques d'écoulements ou de transports solides ; 2) la recherche de critères permettant de quantifier la dégradation d'un milieu ; 3) les apports possibles de ce type d'études dans les programmes traitant des changements planétaires.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aman A., Lavenu F., Podaire A., Saint G., Menaut J.C., Puyravaud J.Ph., Mersadier G., Serpantie G. et Tezenas du Montcel L., 1989. Étude de la production primaire de différentes savanes : Apport des images à haute résolution SPOT XS et Landsat-TM. *Bul. S.F.P.T.*, n° 114 (1989-2), 70-44.
- Belward A.S. et Lambin E., 1989. Limitation to the identification of spatial structures from AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 1989, in press.
- Frederiksen P., Langaas S. and Mbaye M., 1989. NOAA AVHRR and GIS-based monitoring of fire activity in Senegal. A provisional methodology and potential applications. *Third International Symposium on Fire Ecology* ; Freiburg University ; 16-20 may 1989.
- Grégoire J.M., Flasse S. and Malingreau J.P., 1988. Evaluation de l'action des feux de brousse, de novembre 1987 à février 1988, dans la région frontalière Guinée-Sierra Leone ; Exploitation des images NOAA-AVHRR. *JRC Publication No. S.P.I. 88.39*, Ispra, Italy, p. 23.
- Grégoire J.M., 1989. Effect of the dry season on the vegetation canopy of some river basins of West Africa as deduced from NOAA-AVHRR data. *Hydrological Sciences Journal*, 1989, in press.
- Guillemy D., 1989. Le dépérissement des mangroves en Gambie, vu par SPOT. *Bull. S.F.P.T.* n° 114 (1989-2), 56-58.
- Jacqueminet C., Mering C., Poncet Y. et Courel M.F., 1989. Étude quantitative des formes d'organisation spatiale du couvert ligneux en milieu sahélien à partir des images satellitaires SPOT. *Bul. S.F.P.T.* n° 114 (1989-2), 20-22.
- Justice C.O. (guest editor), 1986. Monitoring the grasslands of semi-arid Africa using NOAA AVHRR data. *Int. J. Remote Sensing Special Issue*, 1986, vol. 7, n° 11.
- Kite G., 1989. Using NOAA data for hydrologic modeling. *Proceeding of IGARSS'89*, Vancouver 10-14 July 1989, vol. 2, 553-557.
- Langaas S. and K. Muirhead, 1988. Monitoring bushfires in West Africa by weather satellites, presented at the 22nd International Symposium on Remote Sensing of Environment, Abidjan, Côte-d'Ivoire, October 20-26 1988.
- Malingreau J.P. and Tucker C.J., 1988. Large-scale deforestation in the southeastern Amazon Basin of Brazil. *AMBIO*, vol. 17, n° 1, 1988, p. 49.
- Matson M., Schneider S.R., Aldrige B. and Satchell B., 1984. Fire Detection using the NOAA serie satellites, *Technical Report NESDIS 7*, USDC-NOAA, NESDIS, Washington.
- Rango A., Feldamn A., Georges T.S., and Ragan R.M., 1983. Effective use of Landsat data in hydrologic models. *Water Resources Bulletin*, vol. 19, n° 2, April 1983, 165-174.
- Rasmussen K., 1989. The CHIPS software package. *CHIPS newsletter n° 1*, Janv. 1989, Inst. of Geography, Univ. of Copenhagen, DK.
- Sadowski F.G. and Westover D.E., 1986. Monitoring the fire-danger hazard of Nebraska rangelands with AVHRR data. *Proceedings of Tenth Canadian Symposium on Remote Sensing*, Edmonton, Alberta, Canada, May 1986, vol. 1, 355-363.
- Salomonson V.V., 1989. Spaceborne technology contributions to hydrological studies in the context of global change. *Proceeding of IGARSS'89*, Vancouver 10-14 July 1989, vol. 2, 539-541.
- Salomon S.I., Pietroniro A., Wishart W., Pieyns S., Guillot B. and Carn M., 1988. Application de la télédétection à l'évaluation des ressources en eau du Sahel. *Veille Climatique Satellitaire*, Septembre 1988, n° 24, 26-27.
- Stephens G. and Matson M., 1987. Regional and global fire detection using... Symp. on Remote Sensing of Environment, Ann Arbor, Michigan, October 26-30, 1987, 447-457.

ONDES ATMOSPHÉRIQUES DE PÉRIODE 6-8 JOURS A DAKAR, ÉTÉ 1984

par J.E. GUILOU-VIA*

RÉSUMÉ

Les ondes atmosphériques sont des perturbations atmosphériques qui ont pour conséquence la variation des paramètres caractéristiques de celles-ci. Les auteurs cités ci-dessous ont travaillé sur les données du CEPMMT de Reading ; données analysées provenant des observations des satellites, des bateaux, des avions et des stations d'observations.

Certains auteurs pensent que la pluviométrie en Afrique de l'Ouest est liée à l'un des générateurs de ces phénomènes à savoir l'instabilité. Le but de cette étude, n'est pas de traiter cet aspect du problème, mais plutôt de voir si à partir des données réelles observées, des ondes peuvent être vues pendant la même période comme elles le sont à partir des données analysées du CEPMMT en été 1981.

Le résultat de cette étude a montré que ces types d'ondes sont bien visibles en 1984 et présentent les mêmes structures que celles vues par l'équipe du professeur de Félice en 1981.

SUMMARY

Atmospheric waves are atmospheric disturbances which result in the variation of characteristic parameters.

The authors, quoted below, have based their work on data supplied by european centre for meteorological forecast in medium term (ECMFMT) ; analysed data forecasting the observation of satellites, ships, planes and observatories.

Some authors think that the rainfall in West african related to one of the generators of those phenomenons which is the instability. The aim of this project is not to take into account the aspect of the matter but rather to see if from real observed data, waves can be seen during the same period as they are from analysed data of the ECMFMT in summer 1981.

The result of this study has shown that these types of waves have been visible in 1984 and shows the some structures as those seen by profesor de Felice in 1981 and his fellows.

INTRODUCTION

Le groupe de recherche dirigé par le professeur de Félice étudie les ondes de période 6-8 jours de la troposphère d'été en Afrique Occidentale.

Dans sa thèse, C. Ouss (1980) a étudié les ondes de période 6-8 jours sur les données de l'expérience tropicale du GARP (ETGA) en été 1974, année où ces ondes étaient bien visibles.

Disposant des données des radiosondages de Dakar-Yoff (Sénégal), pour l'été 1984, j'ai cherché à mettre en évidence les ondes de 6-8 jours et à en donner les caractéristiques. Il est évident qu'avec des observations en une seule station, il est impossible de trouver la longueur d'onde, la vitesse et le sens de propagation des ondes de 6-8 jours, par contre on pourra déterminer leur structure verticale à l'aide de la méthode composite.

*Météorologue, ASECNA, BP 70 NDJAMENA, Tchad.

I. DESCRIPTION DES DONNÉES

Le fichier des données que nous avons utilisé est sur une bande magnétique dans laquelle figurent par ordre chronologique, les 244 données des radiosondages faits à Dakar du 1/6/84 à 00 h 00 TU au 30/9/84 à 12 h 00 TU. On avait des données aux niveaux standard (100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 700, 850) et le vent à 950 et 900 hPa. Il manquait quelques données aux niveaux 150 et 100 hPa. Ces données ont été complétées par interpolation ce qui diminue un peu leur fiabilité. Nous avons filtré ces données par un filtre numérique d'ordre 18 pour faire apparaître la période de 7,2 jours (*fig. 1*).

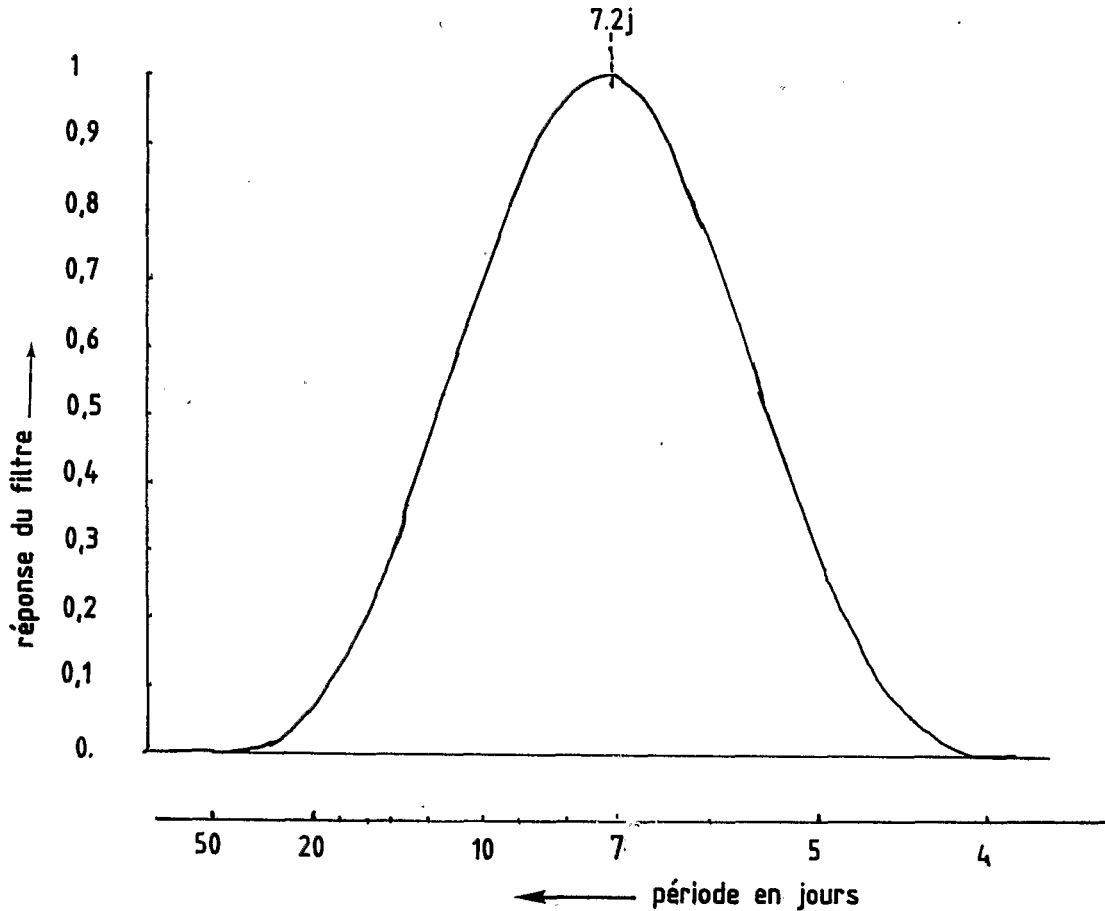


Figure 1. – COURBE DE RÉPONSE EN FRÉQUENCE DU FILTRE D'ORDRE 18.

II. ANALYSE COMPOSITE

Nous étudions l'onde par une méthode composite. La méthode composite a été souvent utilisée pour décrire un phénomène qui est approximativement périodique. Comme l'ont fait Reed et Recker (1971), Burpee (1972), puis Reed et al. (1977), nous avons décomposé l'onde en 8 secteurs, et nous déterminons pour chaque paramètre la structure moyenne de l'onde à chaque niveau de pression à l'aide des 10 ondes de l'intervalle 15 juin-21 septembre. Nous dirons plus loin pourquoi nous avons choisi cet intervalle. Comme notre manière de faire est assez différente de celle que Reed et al. ont appliquée à l'étude des ondes d'Est, nous décrivons notre méthode avec quelques détails.

II.1 Onde composite calculée sur les paramètres filtrés

Nous avons choisi d'étudier l'onde dans l'intervalle allant du 90° sondage au 225° sondage, intervalle dans lequel 10 ondes assez régulières apparaissent à 600 hPa sur le vent méridien filtré (*fig. 5*). Ce niveau est notre niveau de référence.

II.2 Détermination des dates des secteurs des ondes

Les dates des 8 secteurs de chacune des dix ondes sont fixées à chaque niveau de pression par la structure de la composante méridienne du vent à 600 hPa, niveau où l'onde a le plus grand pourcentage de variance (*fig. 2*).

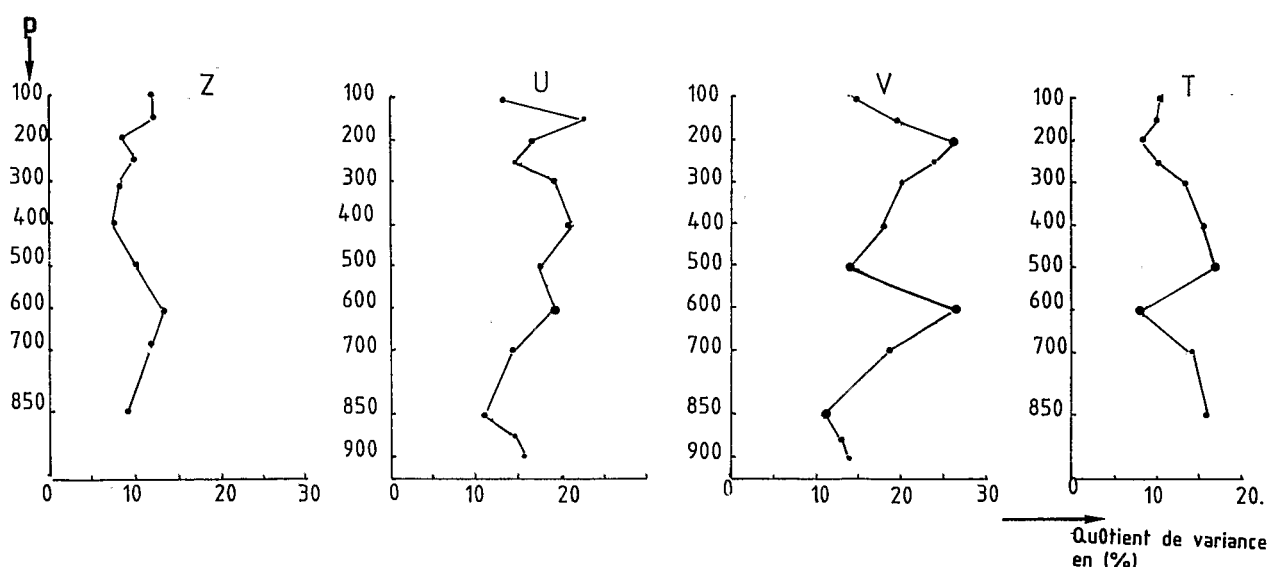


Figure 2. – QUOTIENT DE LA VARIANCE DES DONNÉES FILTRÉES AUTOUR DE 7,2 J PAR LA VARIANCE DES DONNÉES INITIALES, DAKAR, ÉTÉ 1984.

La date du secteur 1 est celle du maximum de vent de sud, la date du secteur 5 celle du maximum de vent de nord. Les dates des secteurs 2, 3 et 4 sont respectivement au quart, à la moitié et aux trois quarts de l'intervalle entre les dates des secteurs 1 et 5. Les dates des secteurs 6, 7 et 8 sont respectivement au quart, à la moitié et au trois quarts de l'intervalle entre le secteur 5 et le secteur 1 de l'onde suivante. La fig. 3 donne un exemple de la détermination des secteurs de l'onde.

Un maximum de vent de sud (secteur 1) a lieu au réseau 137, c'est-à-dire le 8 août à 00 h 00 TU. Le maximum de vent de nord suivant (secteur 5) a lieu au réseau 145, c'est-à-dire le 12 août à 00 h 00 TU, soit 8 réseaux plus tard. Les secteurs 2, 3 et 4 de la première onde ont pour dates les réseaux 139, 141 et 143 respectivement. Le deuxième maximum de vent de Sud (secteur 1) de l'onde suivante a lieu au réseau 152, c'est-à-dire le 15 août à 12 h 00 TU, soit 7 réseaux après le maximum de vent de Nord (secteur 5), et les dates des secteurs 6, 7 et 8 sont 146,75, 148,5 et 150,25 respectivement. Comme nous n'avons pas de donnée à ces dates, nous y interpolons linéairement les valeurs des paramètres en utilisant les données précédentes et les suivantes. En procédant pour les dix ondes comme nous venons de faire pour la première onde, nous déterminons les dates de chacun des 8 secteurs de l'onde. Nous calculons alors la valeur de chaque paramètre à chaque date, puis nous faisons la moyenne sur les 10 ondes pour chaque paramètre pour chacun des 8 secteurs.

III. RÉSULTATS DE L'ANALYSE

III.1 QUOTIENT DE LA VARIANCE DES DONNÉES FILTRÉES AUTOUR DE LA PÉRIODE DE 7,2 J PAR LA VARIANCE DES DONNÉES INITIALES

Les courbes de la fig. 2 représentent les quotients en (%) de la variance des séries filtrées par la variance des séries initiales en fonction de la pression pour les paramètres suivants : altitude géopotentielle Z, vitesse zonale U, vitesse méridienne V, température T.

On remarque un maximum net, ou assez net du rapport des variances à 600 hPa sur Z, et V (où il atteint 26 %, ce qui est élevé), et un léger maximum sur U. On note un minimum à 850 hPa, sur Z, U et V. Les valeurs obtenues aux niveaux $P < 200$ hPa sont peu fiables, le sondage n'atteignant pas régulièrement ces niveaux.

L'allure de la courbe de température T est tout à fait remarquable en ceci que les variations qu'elle présente sont opposées à celles de U et V.

Le niveau 600 hPa et le paramètre V semblent les mieux indiqués pour y choisir les époques des ondes de période 6-8 jours puisque c'est à ce niveau que les ondes ont la plus grande amplitude.

Ceci confirme les résultats obtenus par A.J. Simmons, (1977) (fig. 2'), dans son étude des ondes africaines, faite à 14°N.

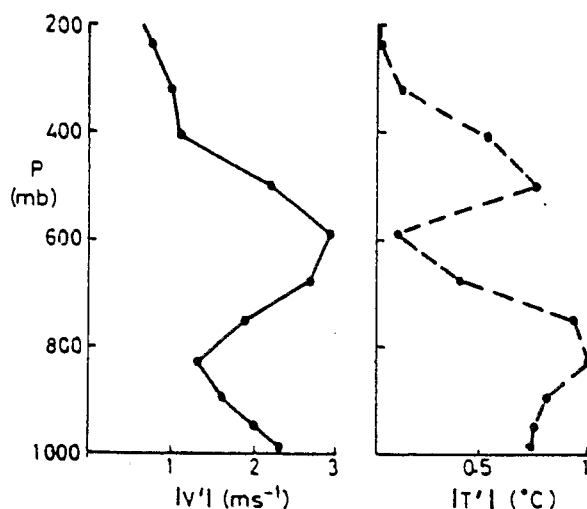


Figure 2'. – **THE VERTICAL STRUCTURE OF PERTURBATION MERIDIONAL VELOCITY (v'), TEMPÉRATURE (T') A.J. SIMMONS, 1977.**
STRUCTURE VERTICALE DE LA PERTURBATION DU VENT MÉRIDIONAL (v') ET DE LA TEMPÉRATURE (T'). A.J. SIMMONS, 1977.

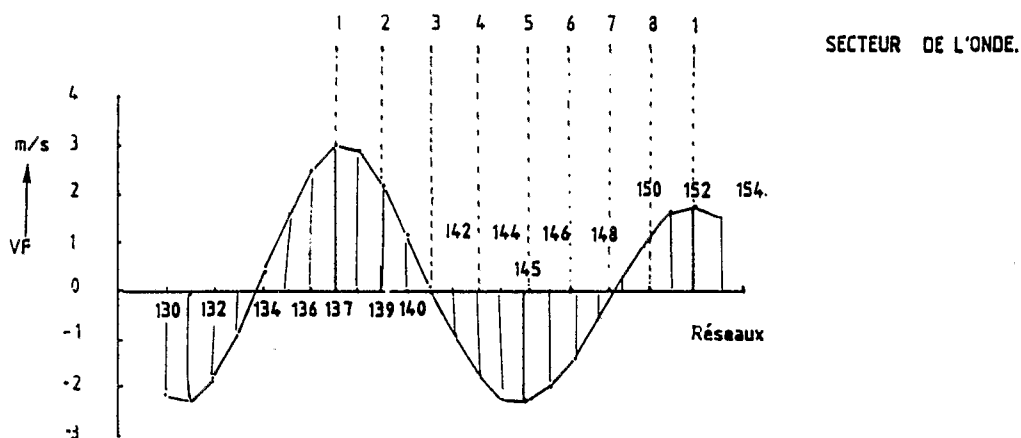


Figure 3. – **EXEMPLE DE DÉTERMINATION DES DATES DES SECTEURS DE L'ONDE COMPOSITE A L'AIDE DU VENT MÉRIDIEN FILTRÉ V_f . EN ABSCISSE LES RÉSEAUX EN 1/2 JOUR, EN ORDONNÉE VITESSE EN M/S.**

III.2 REMARQUES SUR LES VARIATIONS DES PARAMÈTRES INITIAUX AU COURS DE LA SAISON

III.2.1 Vitesse zonale U

On note une variation saisonnière avec une croissance des vents d'Est de juin à juillet suivie d'une décroissance du milieu d'août à la fin de septembre (fig. 4).

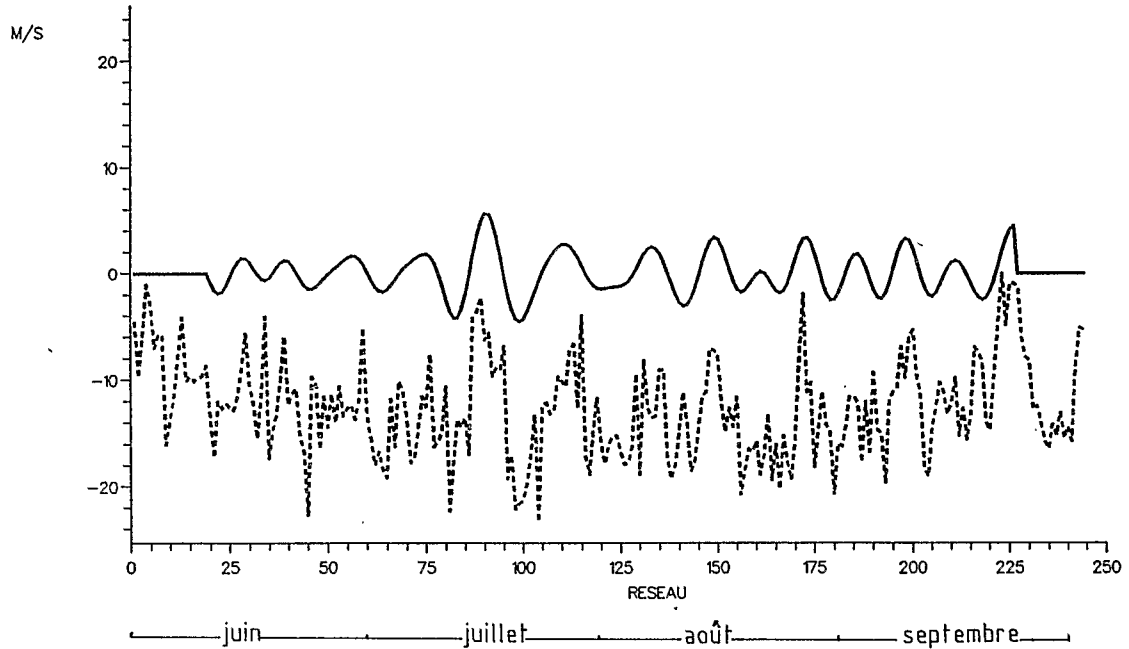


Figure 4. – VITESSES ZONALES EN M/S A 600 hPa, DAKAR, ÉTÉ 1984. U NON FILTRÉE..., U FILTRÉE AUTOUR DE 7 JOURS.

III.2.2 Vitesse méridienne V

Il n'y a pas de variation systématique de ce paramètre, mais on note les plus grandes fluctuations à la fin de septembre (fig. 5).

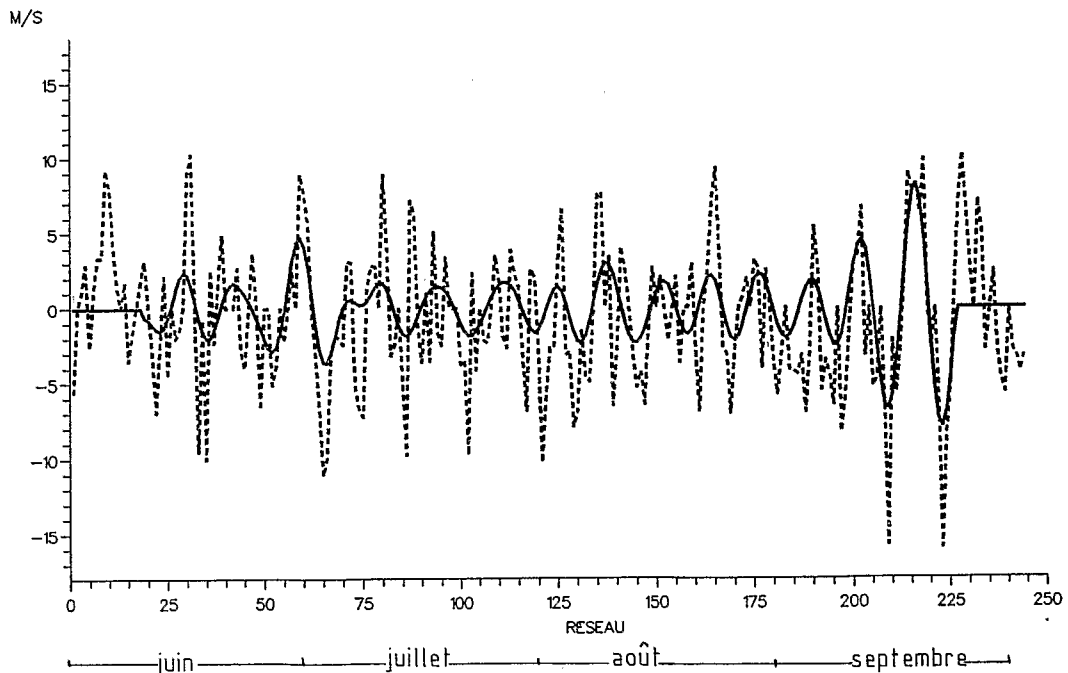


Figure 5. – VITESSES MÉRIDIANNES EN M/S A 600 hPa, DAKAR, ÉTÉ 1984. V NON FILTRÉE CENTRÉE..., V FILTRÉE AUTOUR DE 7 JOURS.

III.2.3 Altitude géopotentielle Z

Les oscillations maximums s'observent en juin, et en septembre (fig. 6). On note une oscillation de grande période (60 jours) avec un premier maximum fin juillet, un deuxième maximum fin septembre.

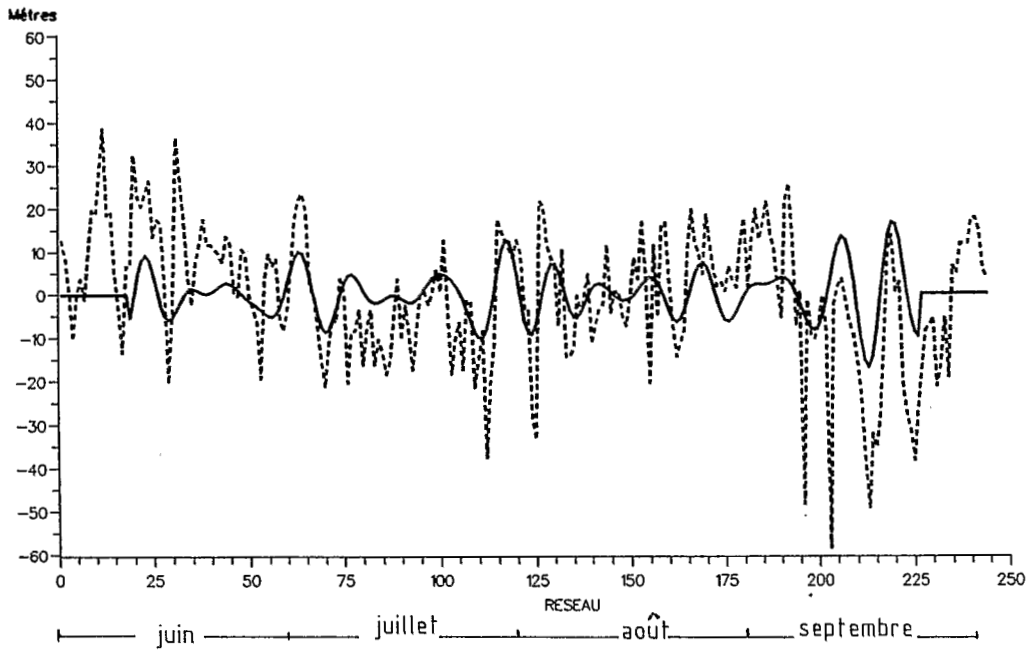


Figure 6. – **ALTITUDES GÉOPOTENTIELLES EN M/S A 600 hPa, DAKAR, ÉTÉ 1984. Z NON FILTRÉE CENTRÉE..., Z FILTRÉE AUTOUR DE 7 JOURS.**

III.3.4 Température T

A 700 hPa (fig. 7), on remarque des variations importantes fin juin : 8°C en 12 h, et fin septembre : 4°C en 12 h, ce qui est très élevé et peut-être du à une erreur de transcription car il n'y a pas de variation importante aux niveaux adjacents aux mêmes réseaux.

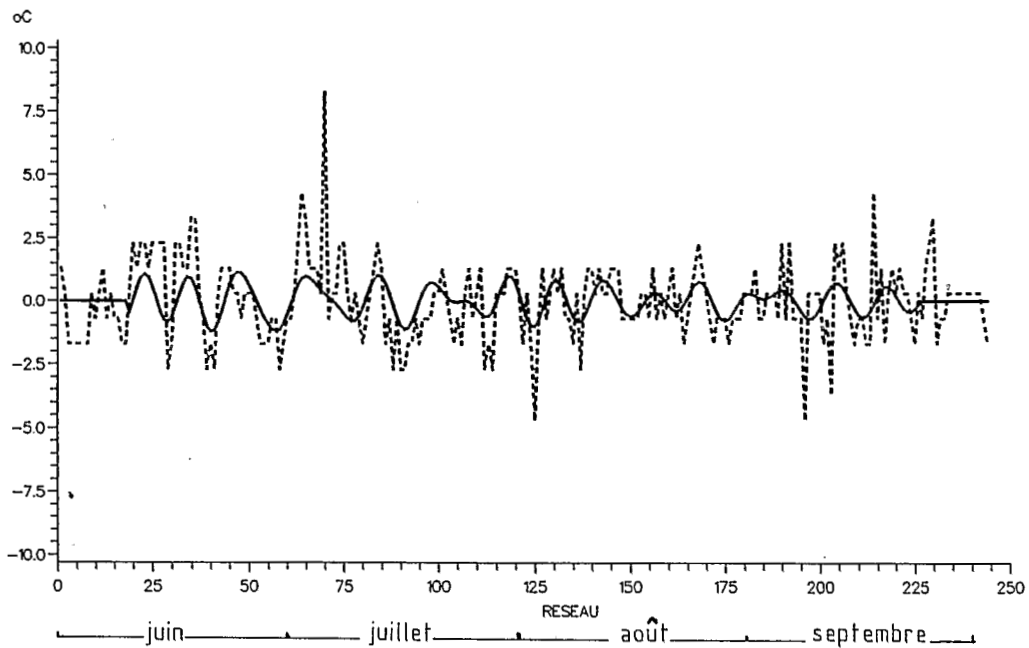


Figure 7. – **TEMPÉRATURES EN °C A 700 hPa, DAKAR, ÉTÉ 1984. T NON FILTRÉE CENTRÉE..., T FILTRÉE AUTOUR DE 7 JOURS.**

IV. COMPARAISON DES PARAMÈTRES FILTRÉS ET NON FILTRÉS

Nous avons choisi pour comparer les courbes des données filtrées et les courbes non filtrées, les niveaux où le quotient des variances est le plus fort, c'est-à-dire à 600 hPa pour U, V, Z et 500 hPa pour T.

IV.1 Vitesse zonale U

Le vent zonal à 600 hPa est en moyenne d'est. La valeur moyenne n'a pas été soustraite des valeurs, c'est pourquoi on remarque un décalage vers le bas des données initiales par rapport aux données filtrées qui, elles, sont centrées. Les ondes apparaissent moins bien sur U (fig. 4) que sur V (fig. 5) ; ceci confirme ce que le quotient des variances avait déjà indiqué, puisqu'il est plus faible pour U que pour V.

On remarque 13 belles ondes de période moyenne 7,08 jours dont l'amplitude est d'environ 3 ms^{-1} .

IV.2 Vitesse méridienne

A 600 hPa, il apparaît 14 oscillations entre les réseaux 18 et 244, avec une période d'environ 7,2 jours (fig. 5). On remarque 3 belles ondes, l'une fin juin et les deux autres en septembre avec des vitesses maximales comprises entre 5 et 9 ms^{-1} ce qui est élevé.

IV.3 Température T

La courbe qui donne le quotient de la variance du signal filtré par la variance du signal non filtré passe par un minimum (7,5 %) à 600 hPa (fig. 2). Le quotient à 700 hPa est nettement supérieur (14 %), et maximum à 500 hPa (17 %).

Nous avons représenté les valeurs de la température aux niveaux 700, 600 et 500 hPa (fig. 7, 8 et 9). La superposition des ondes filtrées à 700 hPa (fig. 6) et à 500 hPa (fig. 8) montre qu'elles y sont sensiblement en opposition de phase du 15 juin au 30 août.

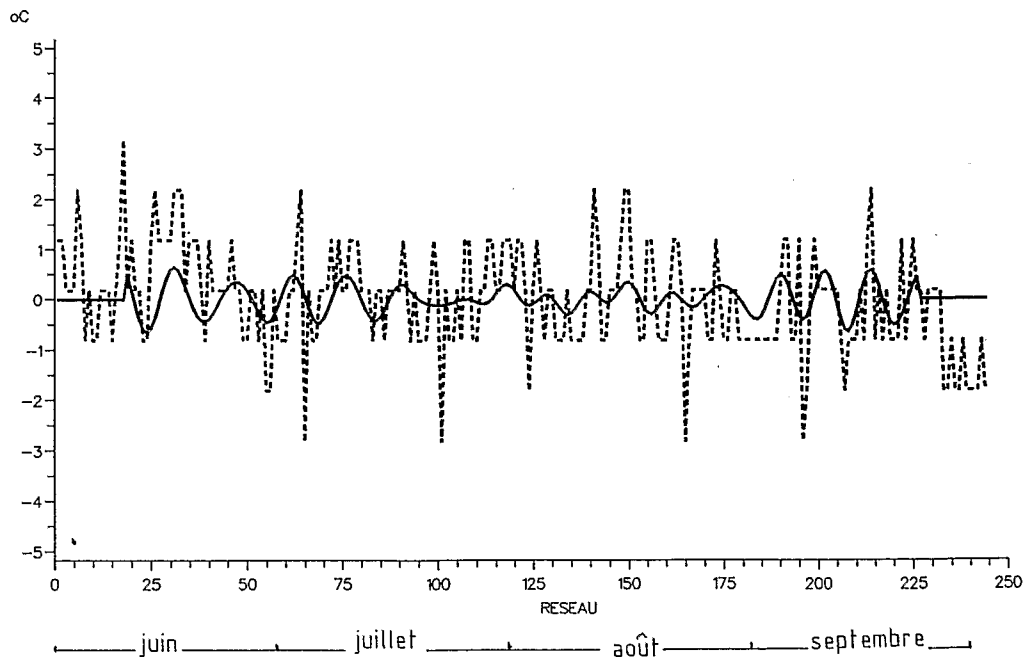


Figure 8. — TEMPÉRATURES EN °C A 600 hPa, DAKAR, ÉTÉ 1984. T NON FILTRÉE CENTRÉE..., T FILTRÉE AUTOUR DE 7 JOURS.

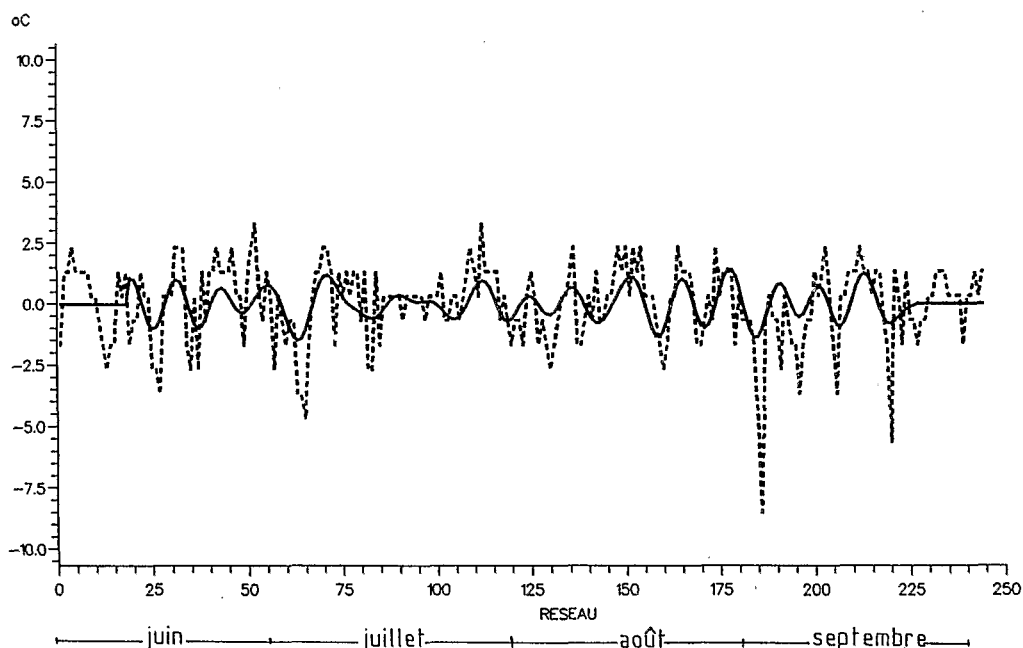


Figure 9. – TEMPÉRATURES EN °C A 500 hPa, DAKAR, ÉTÉ 1984. T NON FILTRÉE CENTRÉE..., T FILTRÉE AUTOUR DE 7 JOURS.

IV.4 ANALYSE DES PARAMÈTRES FILTRÉS

IV.4.1 Vent zonal filtré moyen U_f

Nous avons porté en ordonnée les vitesses en ms^{-1} , en abscisse les secteurs de l'onde, le niveau est indiqué sur la courbe, en hPa (*fig. 10*). Nous remarquons trois couches qui se distinguent par le secteur de leur maximum ou celui de leur minimum. La première couche commence de 950 hPa et s'arrête 840 hPa, son maximum se situe entre les secteurs 4 et 5. La deuxième couche s'étale de 700 hPa à 400 hPa, son maximum se situe entre les secteurs 5 et 7, son minimum se situe entre les secteurs 2 et 4. La troisième couche va de 300 hPa à 100 hPa, son maximum se situe entre les secteurs 5 et 7. On remarque aussi que la courbe joignant les maximums des courbes des différents niveaux décrit sensiblement une onde.

IV.4.2 Vent méridien filtré moyen V_f

Comme pour U_f , nous avons porté en ordonnée la vitesse en ms^{-1} et en abscisse, les secteurs de l'onde (*fig. 11*): comme pour le vent zonal, on remarque trois couches qui se distinguent par le secteur de leur maximum. La première se situe entre les mêmes niveaux que celle de U_f . Elle va de 950 hPa à 850 hPa, les maximums des vitesses sont entre les secteurs 1 et 4. La deuxième couche va de 700 hPa à 400 hPa présentant des minimums situés entre les secteurs 3 et 6. La troisième couche se situe entre les niveaux 300 hPa et 150 hPa, elle présente des maximums entre les secteurs 6 et 8, des minimums entre les secteurs 2 et 5.

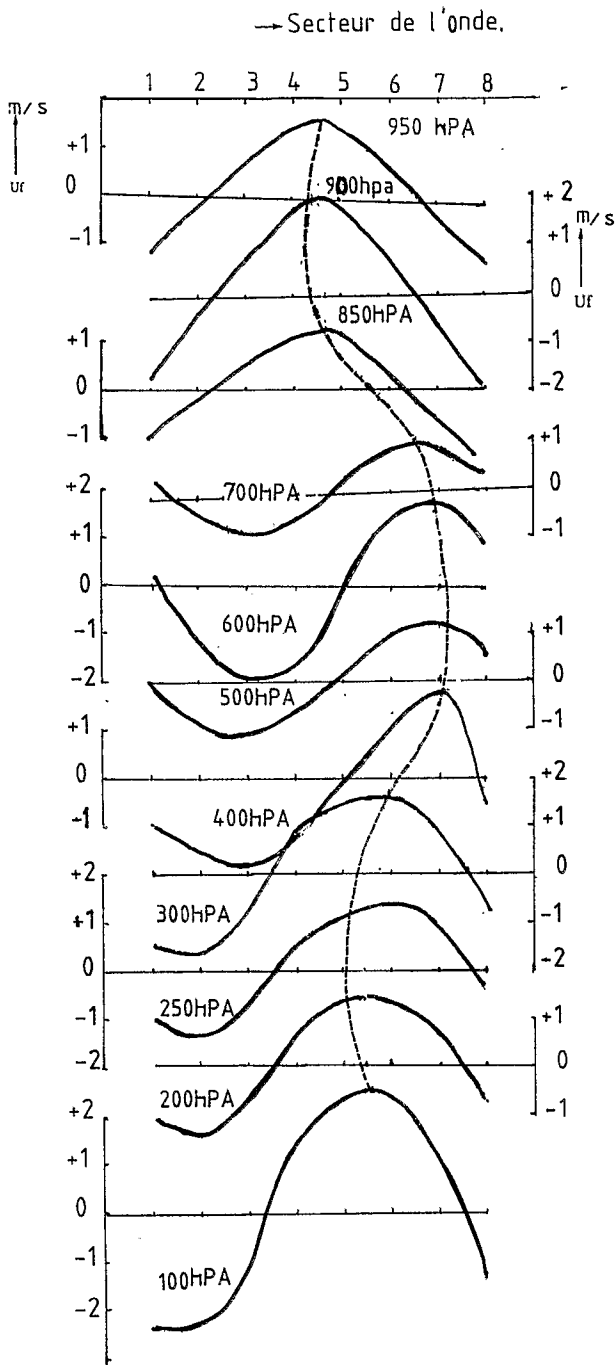


Figure 10. – VENT ZONAL FILTRÉ MOYEN, U_f , EN MS^{-1} A DAKAR-YOFF, ÉTÉ 1984. COURBE JOIGNANT LES MAXIMUMS DES COURBES.

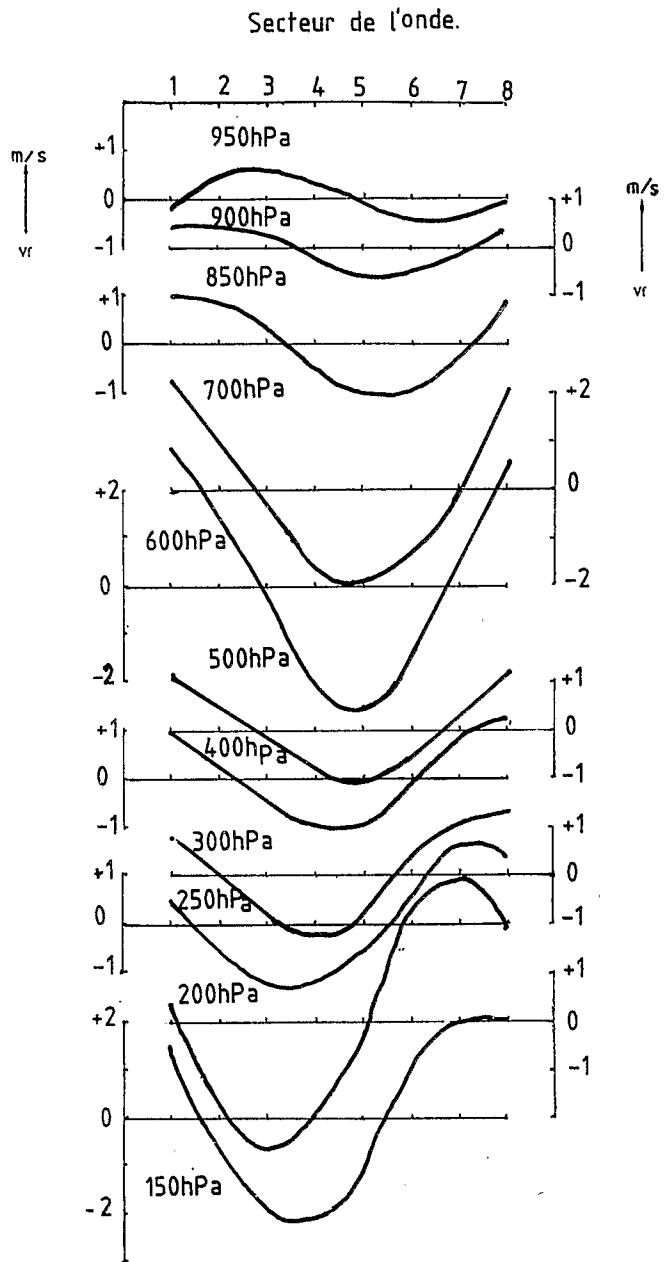


Figure 11. – VENT MÉRIDIONAL FILTRÉ V_f EN M/S , A DAKAR, ÉTÉ 1984.

IV.4.3 Altitude géopotentielle filtrée Zf

Nous avons porté en abscisse les secteurs de l'onde et en ordonnée l'altitude en mètres (fig. 12). On remarque deux couches. La première couche se situe entre 850 et 500 hPa avec des maximums situés entre les secteurs 2 et 5 d'une part, et des minimums entre les secteurs 6 et 8 d'autre part. La deuxième couche se situe entre 400 hPa et 100 hPa. Elle présente des maximums situés entre les secteurs 1 et 4 et des minimums situés entre des secteurs 4 et 7.

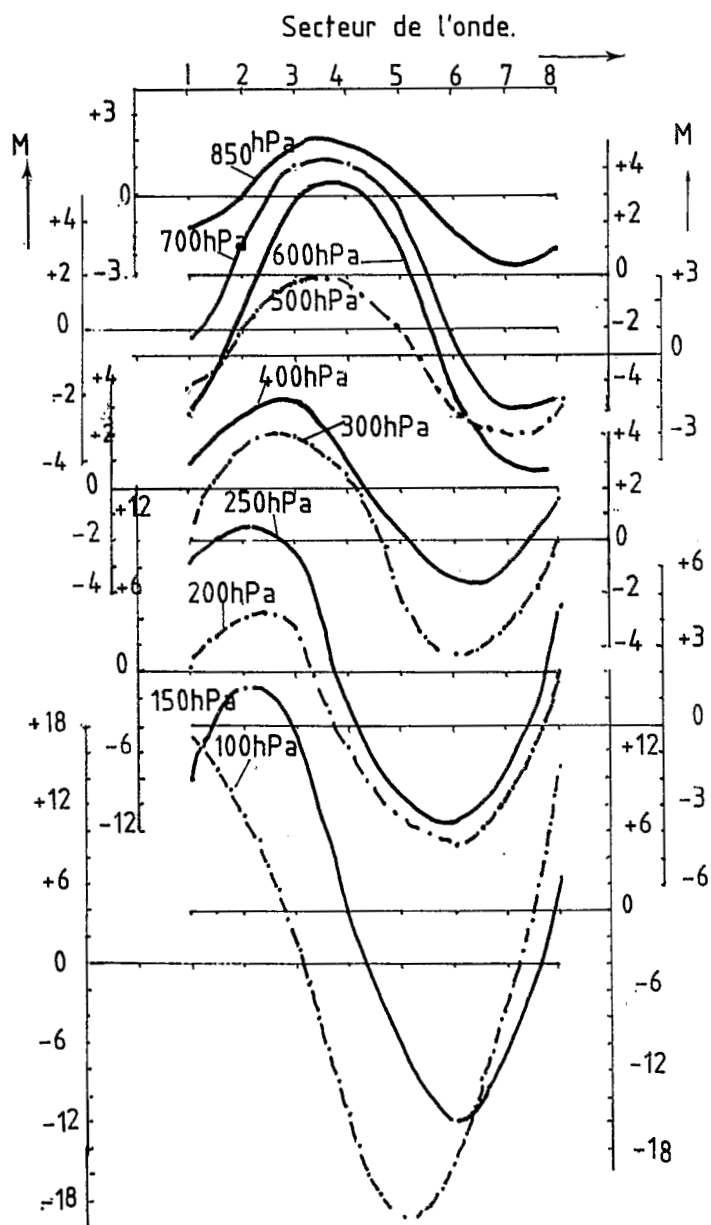


Figure 12. – ALTITUDE GÉOPOTENTIELLE FILTRÉE, EN MÈTRES, A DAKAR, ÉTÉ 1984.

IV.4.4 Température filtrée Tf

Nous avons porté en ordonnée les températures en $^{\circ}\text{C}$, en abscisse les secteurs de l'onde (fig. 13). Il se dégage quatre couches de faible épaisseur. La première se situe entre 850 et 700 hPa présentant un maximum entre les secteurs 3 et 5 alors que la deuxième couche se situe entre 600 et 500 hPa, présentant des minimums entre les mêmes secteurs et un maximum au secteur 8. La troisième, qui se situe entre 400 hPa et 300 hPa présente un minimum entre les secteurs 2 et 5, un maximum entre les secteurs 6 et 1. La quatrième couche se situe entre 250 hPa et 150 hPa. Elle présente des maximums entre les secteurs 2 et 4, et des minimums entre les secteurs 2 et 7.

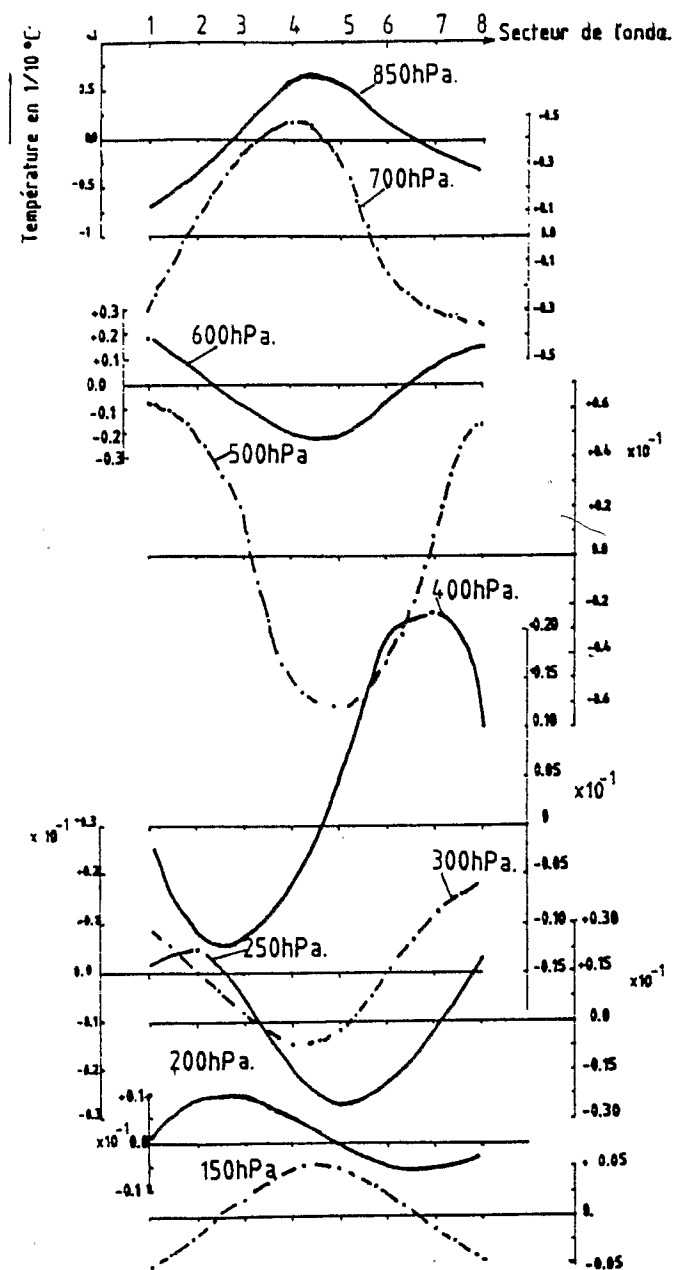


Figure 13. – TEMPÉRATURE FILTRÉE Tf COMPOSITE, EN 1/10 $^{\circ}\text{C}$, DAKAR-YOFF, ÉTÉ 1984.

IV.4.5 Comparaison entre les données filtrées et non filtrées

Nous avons choisi deux niveaux, 950 hPa et 600 hPa pour comparer les paramètres U et V filtrés et non filtrés car les quotients des variances du signal par la variance du signal non filtré y sont grands (fig. 14 et 15). Pour les valeurs filtrées, nous avons porté en ordonnée à gauche la vitesse en m/s^{-1} et pour les valeurs non filtrées la vitesse en ordonnée à droite sauf pour le niveau 600 hPa (fig. 14) où les deux échelles sont confondues à gauche.

Pour le vent zonal aussi bien à 950 hPa qu'à 600 hPa (fig. 14 et 15), on remarque que l'onde non filtrée présente deux oscillations avec un fort maximum situé au secteur 6, à 600 hPa et 950 hPa, et un deuxième maximum plus faible, situé entre les secteurs 2 et 3 à 950 hPa et au secteur 3 à 600 hPa.

Pour le vent méridien à 950 hPa, le signal non filtré présente un maximum relatif au secteur 3, et un autre entre les secteurs 8 et 1. Le signal filtré présente un maximum unique très faible entre les secteurs 2 et 4 (fig. 15). A 600 hPa le vent non filtré possède deux maximums, l'un fort entre les secteurs 8 et 1 et l'autre plus faible au secteur 6.

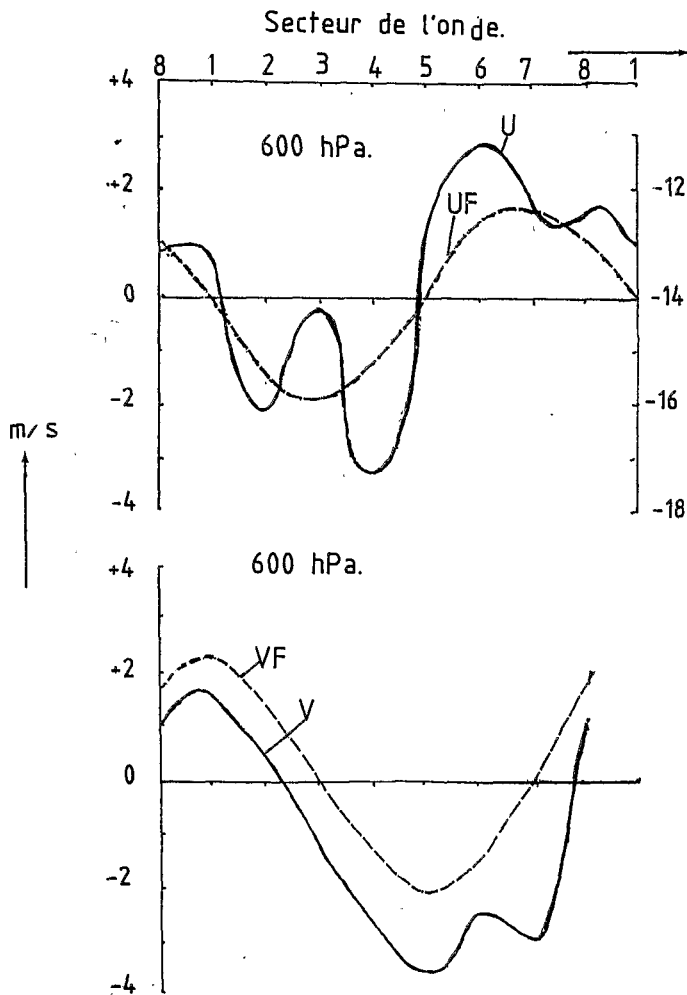


Figure 14. - VENT FILTRÉ ET NON FILTRÉ, A DAKAR, ÉTÉ 1984. (Échelles des vents filtrés en ordonnée, à gauche pour Uf à droite pour U. Les échelles sont confondues pour Vf et V, en ordonnée à gauche).

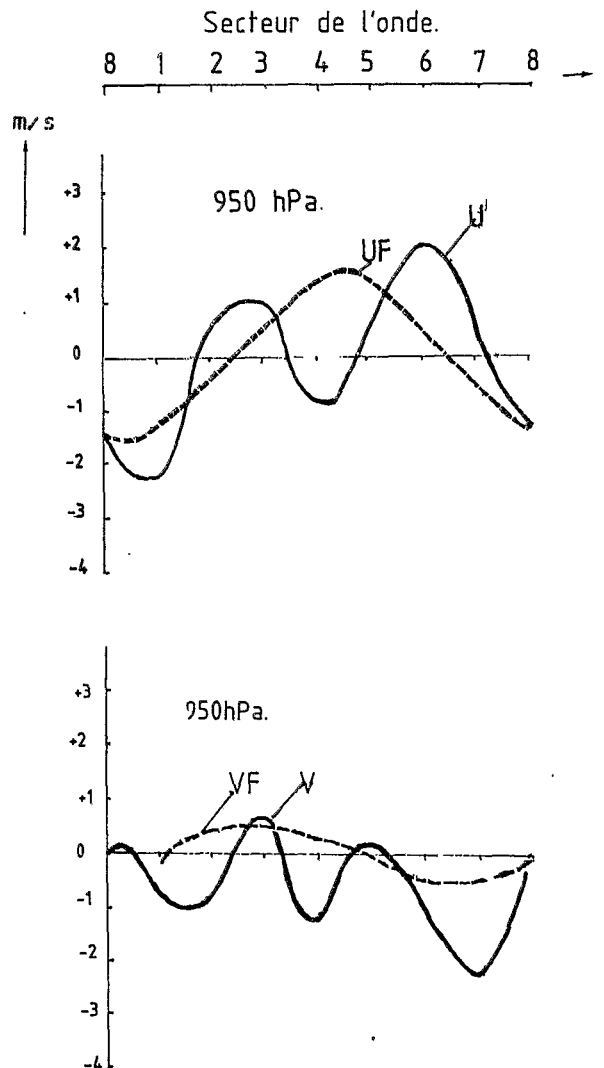


Figure 15. - VENT FILTRÉ ET NON FILTRÉ EN M/S A 950 hPa, A DAKAR, ÉTÉ 1984.

IV.4.6 Vecteur vent filtré entre 6-8 jours

Nous avons porté les vecteurs vents filtrés à partir de ses composantes U_f et V_f aux niveaux 700 hPa, 600 hPa, 500 hPa, 200 hPa, à chaque secteur de l'onde (fig. 16). On remarque le phénomène suivant : En allant du secteur 1 au secteur 8, le vecteur tourne dans le sens contraire des aiguilles d'une montre à tous les niveaux considérés. On remarque aussi que pour le niveau 200 hPa, quand on passe du secteur 1 au secteur 3, le vent a peut-être déjà fait un tour, ce qui est rapide. A partir du secteur 4, le vent tourne à peu près à la même vitesse qu'aux niveaux inférieurs.

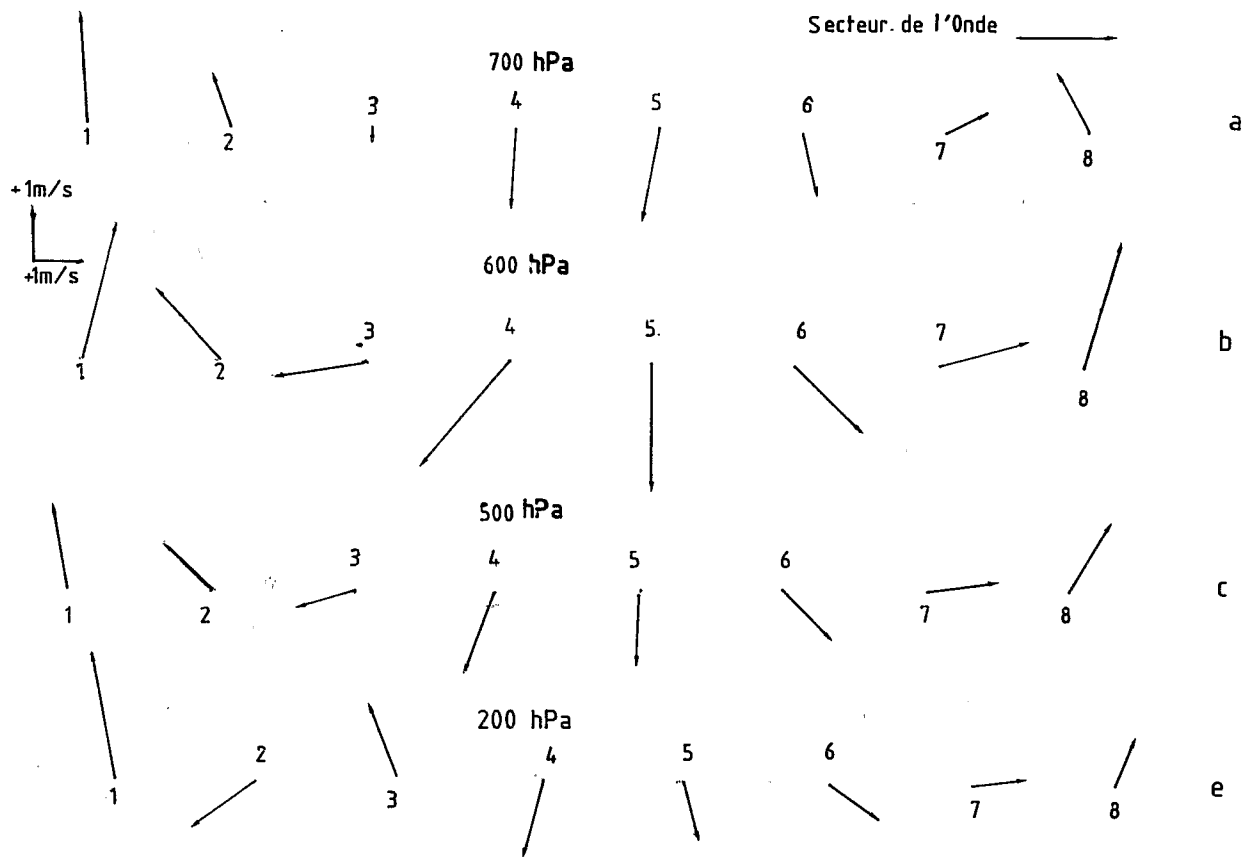


Figure 16. – VECTEUR VENT FILTRÉ EN MS^{-1} , A DAKAR, ÉTÉ 1984, EN FONCTION DU SECTEUR DE L'ONDE COMPOSITE.

V. COMPARAISON DES STRUCTURES VERTICALES DE L'ONDE COMPOSITE DE 6-8 JOURS OBTENUES A L'AIDE DES DONNÉES ANALYSÉES D'UNE PART, ET DE DONNÉES DES RADIOSONDAGES DE DAKAR-YOFF D'AUTRE PART

L'étude de la structure de l'onde de période 6-8 jours a été faite par de Félice et al. (1990) pour l'été 1981. Ces auteurs ont choisi un intervalle de 51 jours (du 7 juillet au 26 août 1981) pendant lequel ils ont observé, dans une région d'Afrique de l'ouest (5°N - 30°N ; $17,5^{\circ}\text{W}$ - 0°), 7 belles ondes de période moyenne 7,2 jours. La coupe verticale de l'onde composite de l'été 1981 est représentée à la fig. 17.

Nous nous proposons dans ce chapitre de comparer les résultats de de Félice et al. avec nos résultats. Nous comparons la perturbation de l'altitude géopotentielle Z_f . Puis nous comparons la structure verticale de l'onde composite moyenne à Dakar en 1984, à l'onde composite moyenne en 1981 à $12,5^{\circ}\text{N}$, c'est-à-dire que nous comparons les organisations du vent zonal, du vent méridien et de la température que nous avons trouvées à Dakar à celle de la coupe verticale zonale de la fig. 17.

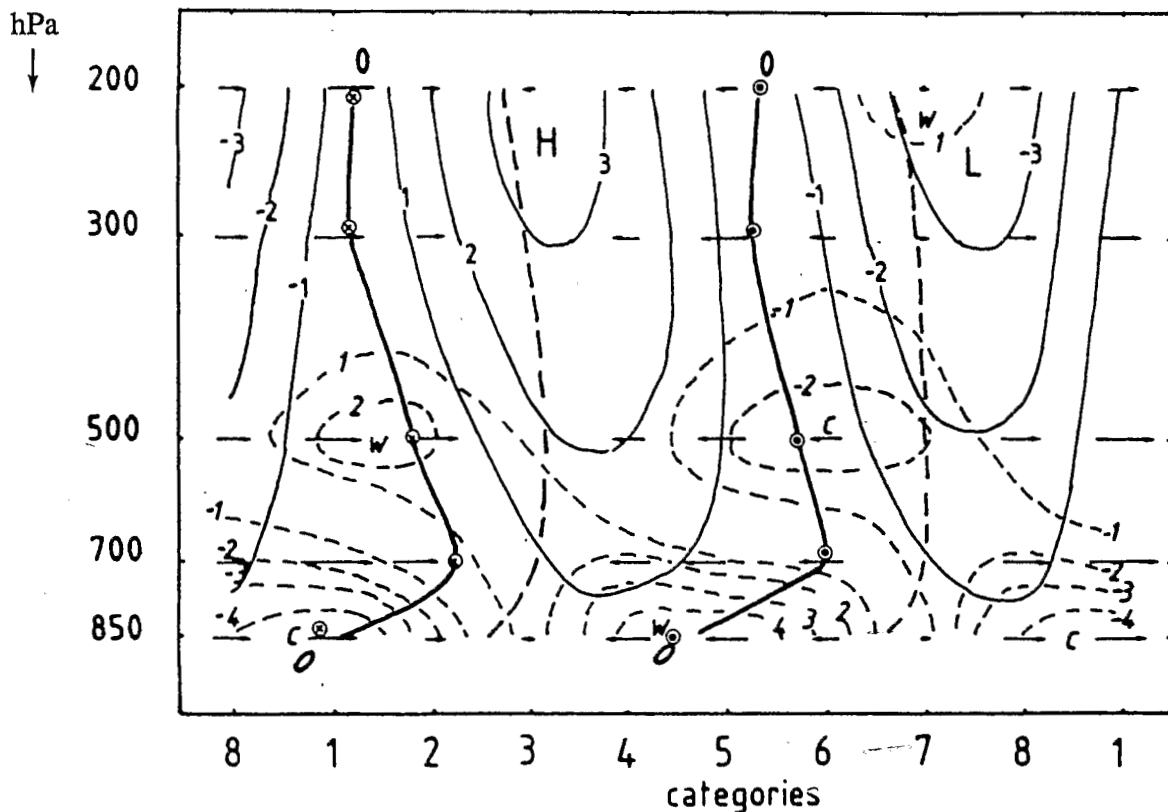


Figure 17. – **COUPE VERTICALE DE L'ONDE COMPOSITE, DAKAR, ÉTÉ 1981.** Altitude géopotentielle en mètre ; vent zonal d'Est ms^{-1} ; vent zonal d'Ouest en ms^{-1} ; Vent zonal nul ; W : Chaud ; C : Froid. Vent méridien maximum en ms^{-1} o ; Température en $1/10^{\circ}\text{C}$ (P. de Félice et al., 1990).

V.1 ALTITUDE GÉOPOTENTIELLE FILTRÉE Z_f

La fig. 17 donne la structure verticale de l'onde composite à $12,5^{\circ}\text{N}$ en été 1981 obtenue par l'analyse des données du CEPMMT (1 donnée par jour à 12 h 00 TU). On y a présenté les 4 paramètres Z_f , U_f , V_f et T_f .

La fig. 18 est la structure verticale de l'onde composite filtrée autour de 7,2 jours pour l'altitude géopotentielle à l'aide des isohypses, à Dakar, en été 1984 (2 données par jour à 00 h 00 TU et 12 h 00 TU).

L'altitude géopotentielle de la fig. 17 et celle de la fig. 18 ont la même allure :

- inclinaison de même sens des crêtes et des thalwegs, avec cependant une pente légèrement plus forte en 1984 qu'en 1981, de sorte que le niveau 200 hPa est en avance de 2,5 secteurs (catégories) sur le niveau 700 hPa, en 1984 alors que cette avance n'est que de 1 secteur en 1981.

- Les amplitudes sont de quelques mètres plus grandes en 1984 qu'en 1981, plus grandes à 200 hPa qu'à 850 hPa sur les deux figures.

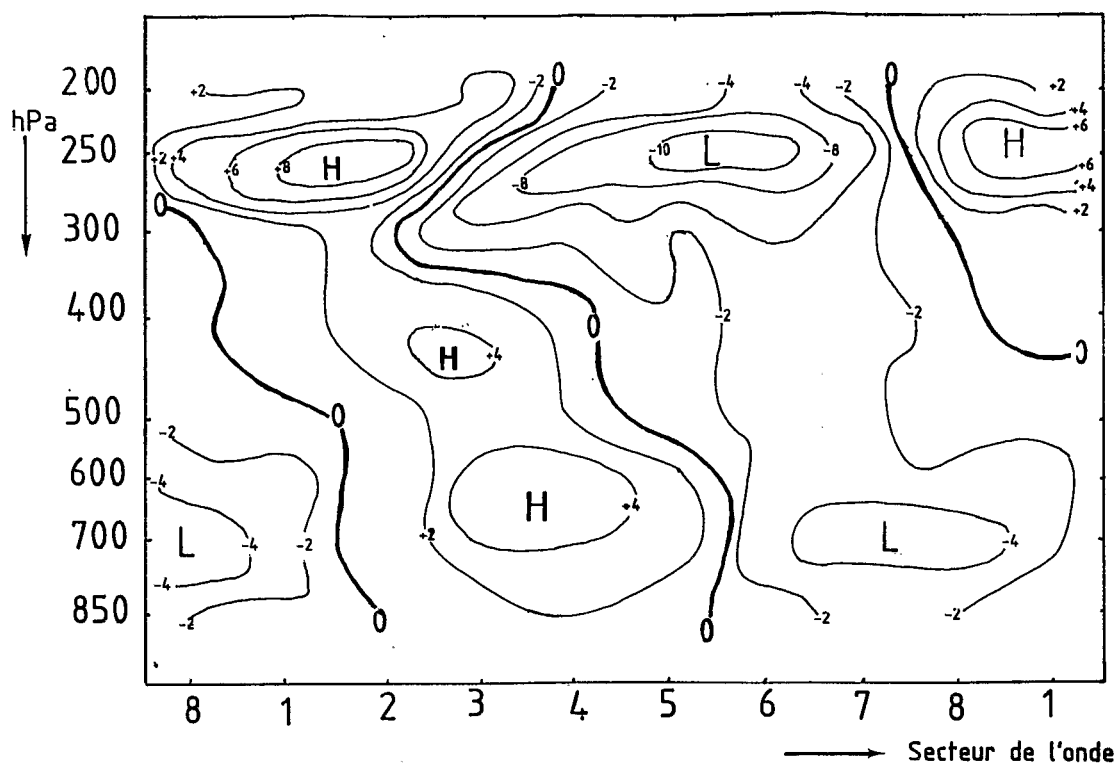


Figure 18. – **COUPE VERTICALE DE L'ONDE COMPOSITE, ALTITUDE GÉOPOTENTIELLE FILTRÉE Zf EN MÈTRE, DAKAR-YOFF, ÉTÉ 1984. H : maximum ; L : minimum.**

V.2 VENT ZONAL FILTRÉ Uf

La fig. 19 donne la structure verticale de l'onde composite pour le vent zonal filtré en 1984, à l'aide d'isotaches. La comparaison avec l'onde composite de 1981 est rendue difficile par la représentation qui n'est pas

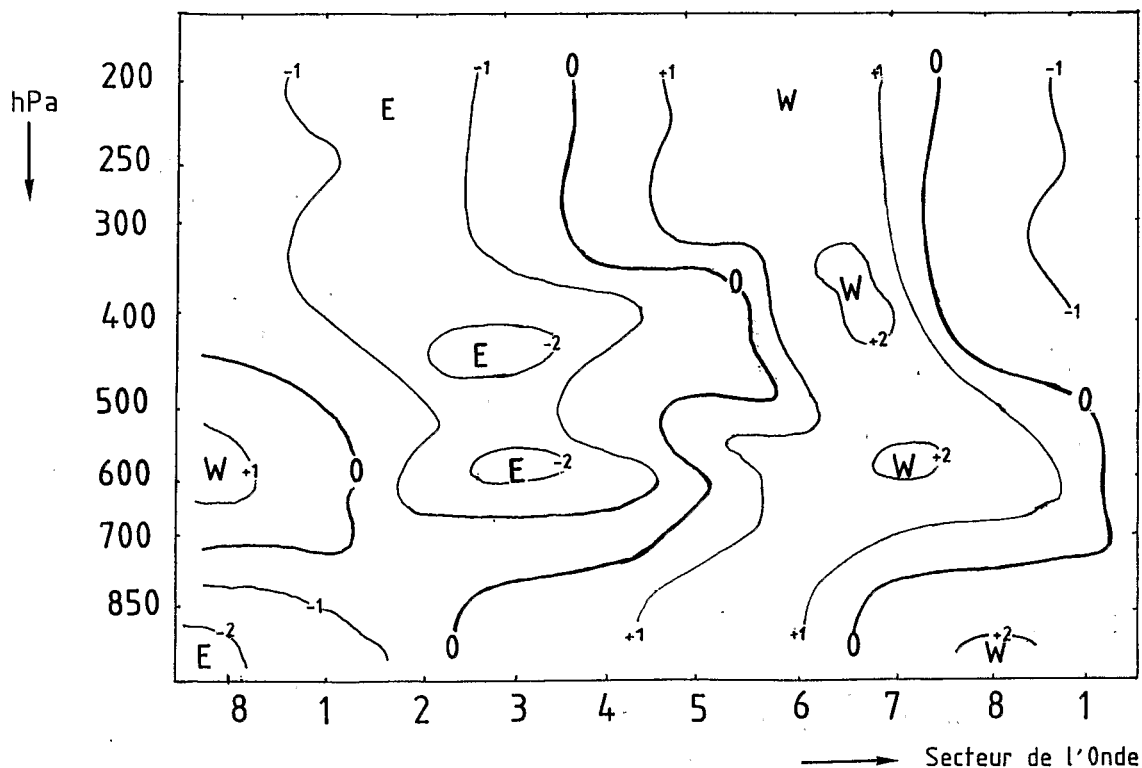


Figure 19. – **COUPE VERTICALE DE L'ONDE COMPOSITE, VENT ZONAL FILTRÉ Uf EN MS⁻¹ A DAKAR-YOFF, ÉTÉ 1984. E : Est ; W : Ouest.**

la même pour 1981 et 1984. Tandis qu'en 1981 le vent zonal est représenté par des vecteurs dirigés vers la gauche pour les vents d'Est, ou vers la droite pour les vents d'Ouest, dont la grandeur est proportionnelle à celle du vent zonal, nous avons tracé les isotaches du vent zonal sur la fig. 19.

La ligne de vent zonal nul est décalée d'un secteur en avant de la crête et du thalweg en 1981 ; elle est décalée de 1,5 secteur à 2 secteurs en avant du thalweg en 1984. La perturbation du vent zonal est plus grande en 1981 (3 ms^{-1}) qu'en 1984 (2 ms^{-1}).

V.3 VENT MÉRIDIEN FILTRÉ V_f

La fig. 20 donne la structure verticale de l'onde composite pour le vent méridien filtré en 1984 à l'aide d'isotaches. La fig. 17 ne donne que le lieu des maximums de vent de nord et de vent de sud. En rapprochant la fig. 18 et la fig. 20, on voit qu'en 1984, comme en 1981, les maximums de vent méridien sont axés sur ou au voisinage immédiat de la courbe $Z_f = 0$.

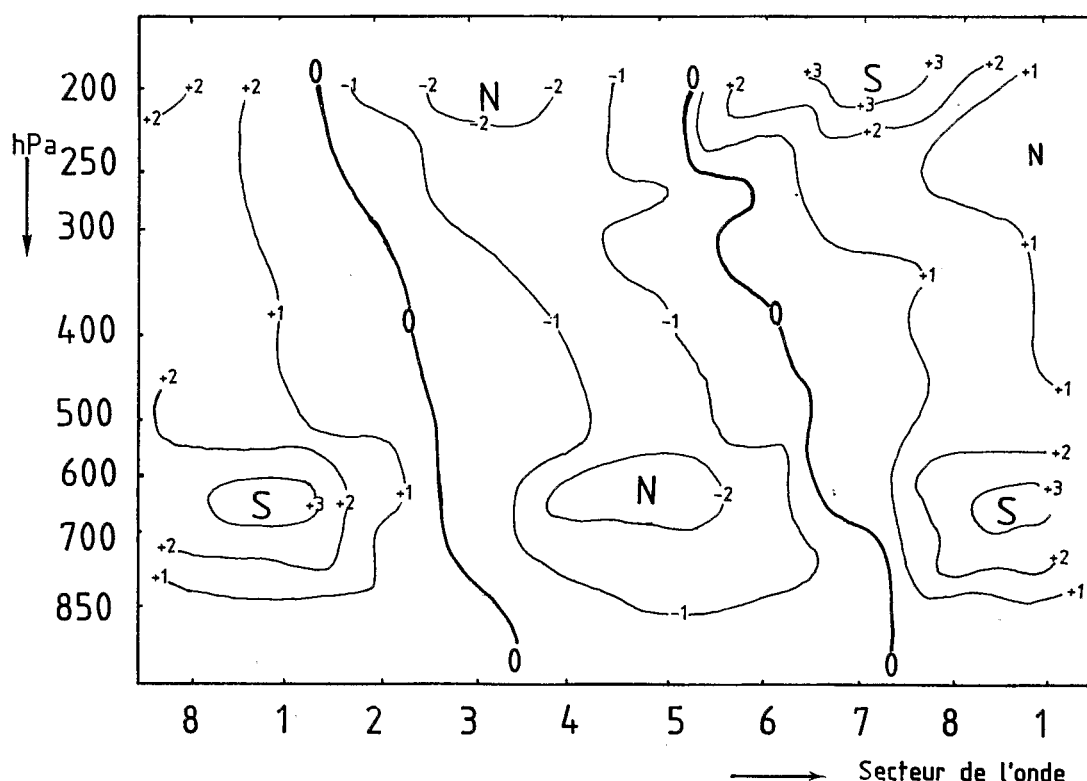


Figure 20. – **COUPE VERTICALE DE L'ONDE COMPOSITE, VENT MÉRIDIEN V_f EN MÈTRES⁻¹ A DAKAR-YOFF, ÉTÉ 1984. N : Nord ; S : Sud.**

V.4 TEMPÉRATURE FILTRÉE T_f

La fig. 21 donne la structure verticale de l'onde composite pour la température en 1984, à l'aide d'isothermes. En la comparant à la fig. 17, on retrouve aux mêmes secteurs et mêmes niveaux les mêmes perturbations de la température. En particulier dans les basses couches, les températures positives coïncident avec les maximums de nord (harmattan), et les températures négatives coïncident avec les vents de Sud (mousson). Les ordres de grandeur sont les mêmes ($\sim 0,4^\circ\text{C}$). En 1984, les perturbations sont faibles à 200 hPa ($\sim 0,1^\circ\text{C}$) et pratiquement nulles à 300 hPa comme en 1981.

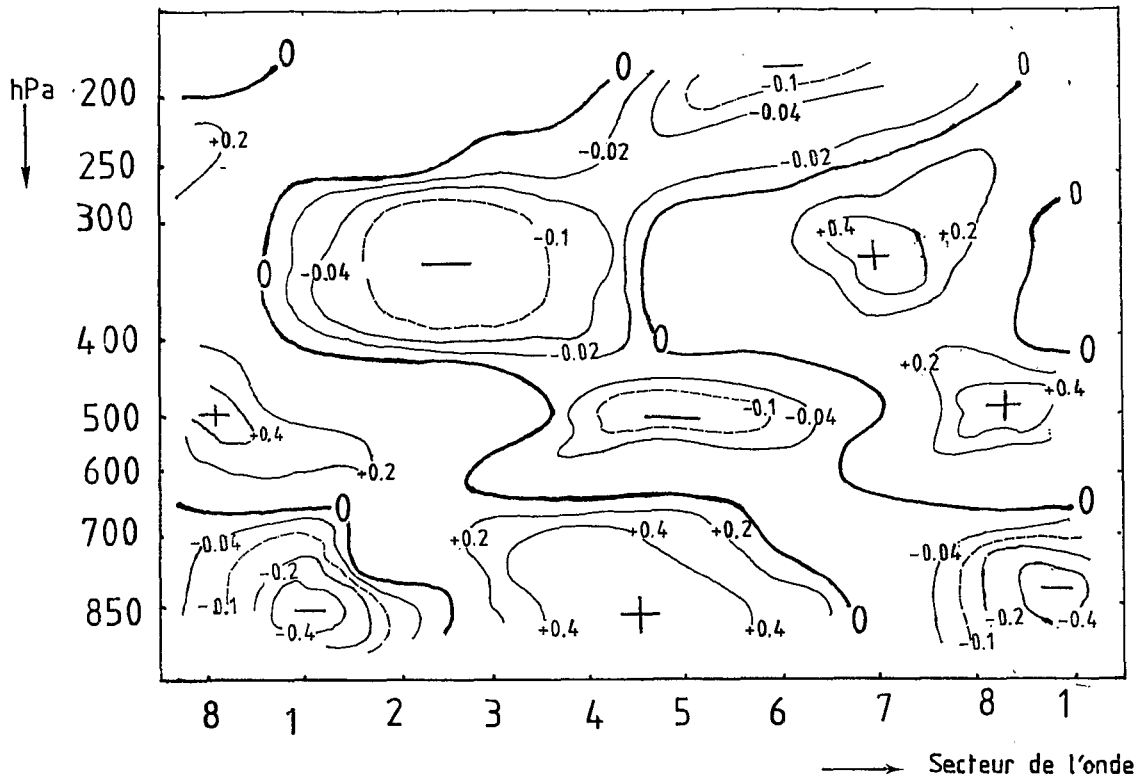


Figure 21. – **COUPE VERTICALE DE L'ONDE COMPOSITE, TEMPÉRATURE FILTRÉE Tf EN °C, A DAKAR-YOFF, ÉTÉ 1984. Chaud : + ; Froid : -.**

VI. CONCLUSION

Nous avons déterminé la structure verticale de l'onde composite de période 6-8 jours dans la troposphère à l'aide des radiosonsages de Dakar-Yoff, de l'été 1984. Nous avons calculé les paramètres de l'onde composite en prenant pour paramètre de référence le vent méridien filtré à 600 hPa, car c'est ce paramètre, à ce niveau, qui présentait la variance la plus forte.

Nous avons comparé cette structure verticale à celle déterminée par de Félice et al. (1990) en utilisant des données du CEPMMT pour l'été 1981. Ces auteurs avaient calculé les paramètres de l'onde composite à l'aide du vent zonal à 700 hPa et 12,5°N.

Nous avons trouvé que la structure verticale de l'onde composite en été 1984 à Dakar-Yoff était proche de celle de l'été 1981 à 12,5°N. Ceci tend à prouver :

a) que l'onde de période 6-8 jours détectée par de Félice et al. en été 1981 a existé en été 1984 et qu'elle n'est pas créée par le modèle du CEPMMT ;

b) que la structure verticale ne dépend pas du paramètre choisi pour fixer les dates des secteurs de l'onde.

Les petites différences entre les structures peuvent être dues à la différence entre les latitudes, puisque Dakar-Yoff est à 15°N, et que la fig. 17 est tracée pour 12,5°N.

c) que les ondes de période 6-8 jours ne sont pas bien visibles dans les basses couches de 950 à 850 hPa (fig. 14 et 15).

Il serait intéressant de reprendre l'étude que nous avons faite avec les radiosondages de stations comme celles de Bamako ou Niamey situées vers 12,5°N, où l'étude de de Félice et al. a montré que la perturbation du vent zonal par l'onde était maximale, ou comme Abidjan (5°N) où la perturbation du vent méridien devrait être maximale.

BIBLIOGRAPHIE

- BURPEE, R.W., 1972. – The origin and structure of easterly waves in the lower troposphere of North Africa. *J. Atmos. Sci.*, 29, 77-90.
- DE FÉLICE, P., A. VILTARD, D. MONKAM and C. OUSS., 1990. – Characteristics of North African 6-8 day waves during the summer 1981 accepté par *Mon. Wea. Rev.*
- OUSS C., 1981. – Étude des ondes atmosphériques en Afrique de l'Ouest. Thèse de 3^o cycle Université Pierre et Marie Curie (Paris VI), 79 pp.
- REED, R.J., and E.E. RECKER, 1971. – Structures and properties of synoptic scale wave disturbances in the equatorial western Pacific. *J. Atmos. Sci.*, 28, 1117-1133.
- REED, R.J., D.C. NORQUIST, and E.E. RECKER, 1977. – The structure and properties of African wave disturbances as observed during Phase III of GATE. *Mon. Wea. Rev.*, 103, 317-333.
- SIMMONS, A.J., 1977. – A note on the instability of African Easterly Jet. *J. Atmos. Sci.*, 34, 1670-1674.