

ESTIMATION DES PLUIES PAR SATELLITE AU SAHEL, UTILISATION DE LA TEMPERATURE DE SURFACE DU SOL EN VUE D'UNE ESTIMATION EN TEMPS REEL

M. Carn, J.P. Lahuec, D. Dagorne, B. Guillot

Antenne ORSTOM , Centre de Météorologie Spatiale, BP. 147, 22302 LANNION

Résumé

Dans le prolongement des recherches consacrées à l'estimation des pluies au Sahel à partir des données Météosat et des données pluies relevées in situ, l'antenne ORSTOM cherche à mettre au point un algorithme d'estimation en temps réel. Dans cette optique, les performances de deux méthodes possibles, basées sur l'utilisation de moyennes climatologiques dérivées des observations des années passées sont testées. La première utilise la relation pluies/nuages précipitants ; la seconde repose sur la relation pluies/température de surface du sol ; les deux sont jugées en fonction de leur reproductibilité interannuelle.

La confrontation des résultats démontre un net avantage en faveur de la relation pluie/température du sol qui apparaît d'une remarquable constance d'une année sur l'autre, dès lors que la période d'observation atteint le mois.

Enfin, les résultats de cette dernière méthode, appliquée à l'échelle synoptique des pays du Sahel pour une période de cinq mois (mai - septembre 1990) sont confrontés à la pluviométrie réelle mesurée dans les stations du réseau.

Abstract

Within the field of rainfall estimation using infrared METEOSAT data, a real time technique has been devised for Western Sahel countries. In this prospect, two methods, based on the use of "climatological" rainfall indices, derived from previous year monitoring, have been matched. The first one relies on the use of the relationship between rainfall and number of cold clouds and the second one on the rainfall / soil surface temperature relationship.

Rainfall indices have been calculated on different space and time scales from 1986, 1987, 1989 ground and satellite data. The analysis of their interannual variability shows that the relationship rainfall / soil surface temperature is much more appropriate for real time estimation than the relationship rainfall / cold clouds.

An example of application of this real time technique is shown for a five-month period (May - September 1990) on a synoptic scale (Western Sahel). Estimated results are matched to actual rainfall as measured at ground stations.

Mots clés

MC Sahel - estimation des pluies satellites

Key Words

KW Sahel - rainfall estimation satellite

Introduction

Deux types d'algorithmes sont habituellement utilisés en matière d'estimation des pluies en Afrique à partir des données du satellite METEOSAT. Le premier fait appel à l'observation de la "source", c'est-à-dire aux nuages précipitants. Le second se réfère à la "cible", c'est-à-dire au sol et utilise la température de surface comme paramètre principal de l'estimation. Plus récemment, une troisième méthode, prenant en compte les deux paramètres à la fois a été élaborée à l'antenne ORSTOM de Lannion (Cf Veille Climatique Satellitaire n°28).

L'élaboration d'algorithmes d'estimation des pluies sur l'Afrique sahélienne, à partir de l'imagerie Météosat, est l'une des principales préoccupations de l'équipe ORSTOM installée au Centre de Météorologie Spatiale de Lannion.

La réalisation de ce type de produit répond en effet à des enjeux économiques et humains très importants. Les différentes instances régionales et internationales de suivi agricole dans la région ont clairement exprimé des demandes dans ce sens ces dernières années.

Dès 1987, à la suite des travaux préliminaires réalisés par les équipes et laboratoires associés au sein du projet EPSAT (Estimation des Pluies par Satellite) (GUILLOT,1988), un cadre préliminaire de travail a été défini pour la mise au point, à court terme, de produits opérationnels suffisamment simples et automatisés pour être implantés ultérieurement dans les centres régionaux, voire nationaux, de la zone concernée, dans des systèmes de calcul de type microordinateur.

Nous projetons alors d'installer dans ces systèmes autonomes, deux produits :

- l'un, d'une bonne précision, mais opérant en temps légèrement différé puisque basé sur un traitement par régression linéaire entre les relevés pluviométriques aux stations synoptiques et les valeurs correspondantes (à la résolution du pixel) de l'imagerie satellitaire ;

- l'autre, aux performances sans doute inférieures, mais fonctionnant véritablement en temps réel grâce à l'utilisation d'un référentiel climatologique établi à partir de la calibration du signal satellitaire, référentiel qui restait à définir.

Ce sont les étapes du choix de ce second produit que nous présentons dans cet article ainsi que son application à une période plurimensuelle (mai-septembre 1990). D'ores et déjà Les résultats obtenus dans cet article nous permettent de penser que l'application d'un algorithme temps réel peut désormais être envisagée pour des périodes mensuelles et a fortiori plurimensuelles, à partir d'un paramètre déduit du rapport entre la pluviométrie observée et le champ radiatif maximum de surface tel qu'il est mesuré par le satellite METEOSAT.

1. Les travaux antérieurs

1-1 Méthodes d'estimation des pluies reposant sur l'observation de la "source", c'est-à-dire sur la discrimination et le recensement des nuages froids précipitants

Les pluies dans cette région proviennent essentiellement de nuages à fort développement convectif (lignes de grain, orages isolés, etc...). Cette caractéristique a conduit un certain nombre d'équipes de recherche à baser leur méthodologie de suivi de la saison des pluies sur le recensement des nuages pluviogènes par des techniques de "seuillage thermique" appliquées à des images satellitaires acquises à une cadence horaire, voire semi-horaire (ARKIN,1981, programme EPSAT / équipe ORSTOM-Lannion : utilisation d'un seuil à -40°C (GUILLOT et al,1986) - programme TAMSAT / Université de Reading : utilisation de différents seuils selon les zones étudiées (MILFORD et al.,1987) etc...).

1.2 Méthodes d'estimation des pluies fondées sur l'observation de la "cible", c'est-à-dire sur la mesure de la température radiative du sol.

A partir d'études faites par Jackson (1977), Seguin et al.(1982) ont mis en évidence les relations existant d'une part, entre l'évapotranspiration et le bilan radiatif journalier, d'autre part entre l'évapotranspiration et la température radiative maximum du sol, mesurée par satellite et corrigée par la température de l'air à la surface :

$$ET_j - Rn_j = A + B (T_{maxsol} - T_{maxair})$$

ET_j = Evapotranspiration journalière

Rn_j = Bilan radiatif journalier

B = facteur dépendant de plusieurs paramètres (rugosité de surface, vitesse du vent, etc...).

Pour une période suffisamment longue (10 jours et plus), le bilan hydrique peut être représenté par la formule simplifiée suivante :

$$\Sigma P_{dec} = \Sigma ET_{dec} + \Sigma E_{dec} + \Sigma \delta H_{dec}$$

P = Pluies

ET = Evapotranspiration

δH = Variation du contenu en eau des sols

dec = decadaire soit 10 jours

Cette approche théorique de la relation pluies/température du sol a été examinée sous tous ses aspects par les auteurs et vérifiée à partir d'études de terrain.

Nègre et al. (1988) se sont inspirés de ces résultats pour développer une méthode d'estimation des pluies testée au Sénégal et reposant sur ces bases physiques. Le principe est de relier la pluie mesurée dans les stations du réseau à la température radiative du sol, déduite de l'observation satellitaire, par le biais d'une régression linéaire de la forme :

$$P_{dec} = a. (T_{max\ sol} - T_{max\ air})_{dec} + b$$

2. Variabilité interannuelle du champ de pluie mesure apporté au champ d'occurrences et au champ thermique de surface

La définition d'une référence de calibration pour la mesure d'un phénomène donné évoluant rapidement dans le temps et de façon aléatoire, impose préalablement un examen de l'ensemble des paramètres pouvant à priori être sélectionnés pour la constituer, de façon à choisir le plus efficace possible. Dans le cas présent, il est évident que le critère de base de la sélection ne peut être que la faible variabilité sur les séries temporelles disponibles.

Afin de tester la variabilité interannuelle de la pluviométrie rapportée aux deux valeurs paramétrisées (Occ. et T°max), nous avons conçu les deux indices suivants :

$$PCb = \Sigma \text{Pluie} / \Sigma \text{Occ. (LAHUEC et al,1986)}$$

et,

$$PvT = \Sigma \text{Pluie} / \Sigma T^{\circ}\text{max.}$$

Le PCb représente un coefficient d'efficacité en pluie d'une occurrence nuageuse enregistrée en un point à un moment donné ; le PvT rend compte des réactions thermiques de la surface, provoquées par les précipitations. Ces réactions sont liées aux processus d'humidification, d'évaporation, d'évapotranspiration... etc, mais il est évident que cet indice est également influencé par certains effets atmosphériques et notamment ceux provoqués par les nuages de lithométéores).

Ces indices ont été calculés pour les deux années 1986 et 1987 pour trois fichiers de stations correspondant à des échelles spatiales différentes présentées dans le tableau 1.

| Zones | Superficie (km ²) | Stations |
|-----------------------|-------------------------------|----------|
| Degré-carré de Niamey | 120 000 | 16 |
| République du Mali | 1 250 000 | 34 |
| Pays du CILSS | 5 300 000 | 71 |

Tableau 1 : Les zones étudiées

A l'échelle synoptique, 71 stations du réseau synoptique des pays du CILSS ont été retenues.

A l'échelle régionale, le choix du Mali, avec 34 stations disponibles, s'est imposé, car ce pays représente, au niveau du sous continent, une zone charnière entre deux domaines climatiques: l'un essentiellement continental, l'autre soumis aux influences océaniques.

Enfin, 16 stations sélectionnées dans les environs de Niamey sur la zone de l'expérience HAPEX SAHEL, nous ont paru tout indiquées pour une étude à l'échelle locale.

L'étude de variabilité des indices a été conduite par périodes croissantes, au pas de temps décadaire, depuis la première décade de mai jusqu'à la dernière décade d'octobre, bornes habituelles de la saison des pluies dans ces régions.

2-1 Variabilité des PCb au cours des saisons 1986, 1987 et 1989

Les résultats des régressions linéaires entre PCb saisonniers (PCb 1986, PCb 1987, PCb 1989 , moyenne interannuelle), calculés à l'échelle synoptique pour l'ensemble des pays du CILSS, apparaissent dans le tableau 2.

| Coefficients de corrélation r^{**} | | | | Equation des droites de régression |
|---|------|------|------|---------------------------------------|
| | 1986 | 1987 | 1989 | $PCb_{86} = 0.90 PCb_{87} + 1.32$ |
| 1986 | 0 | | | $PCb_{86} = 1.53 PCb_{89} + 1.29$ |
| 1987 | 0.57 | 0 | | $PCb_{87} = 1.05 PCb_{89} + 1.56$ |
| 1989 | 0.39 | 0.26 | 0 | $PCb = 0.63 PCb_{86} + 0.72$ |
| PCb | 0.89 | 0.81 | 0.53 | $PCb = 0.72 PCb_{87} + 0.92$ |
| | | | | $PCb = 1.19 PCb_{89} + 0.95$ |

Tableau 2 : Résultats des régressions linéaires entre les PCB saisonniers (1986,1987,1989,moyenne interannuelle) calculés pour l'ensemble des pays du CILSS.

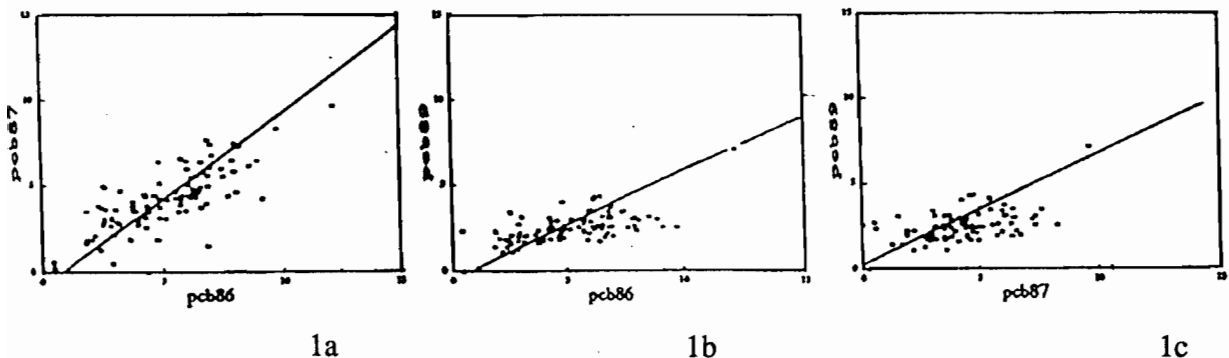


Figure 1 : Corrélations interannuelles des PCb

1a $PCb_{86}/PCb_{87} r^{**} = 0,57$

1b $PCb_{87}/PCb_{89} r^{**} = 0,39$

1c $PCb_{87}/PCb_{89} r^{**} = 0,26$

Les résultats des régressions linéaires entre les PCb86 et les PCb87 aux trois échelles spatiales choisies pour la saison des pluies complètes, sont présentés dans le tableau 3.

| Zones | Pente | ordonnée à l'origine | r** | r.m.s. |
|--------|-------|----------------------|------|--------|
| Niamey | 0.65 | 0.85 | 0.23 | 1.11 |
| Mali | 0.42 | 1.94 | 0.32 | 1.10 |
| CILSS | 0.74 | 1.13 | 0.68 | 1.65 |

Tableau 3 : résultats des régressions linéaires entre les PCb86 et les PCb87, pour les trois fichiers de stations sélectionnés.

Les valeurs trouvées pour le coefficient de corrélation et les coefficients a et b de la droite de régression indiquent une très forte variabilité de cet indice d'une année sur l'autre et ceci d'autant plus que la région concernée est réduite. On peut logiquement attribuer cette variation importante du pouvoir pluviogénique des occurrences enregistrées par un même seuillage en un même endroit, à la multiplicité des causes qui produisent un nuage convectif et le font évoluer.

De la même manière, le tableau 4 illustre les résultats des régressions linéaires entre PvT établis à l'échelle saisonnière et synoptique (PvT86, PvT87, PvT89 et PvT moyen interannuel, tandis que le tableau 5 montre les résultats de la régression PvT 86/PvT 87 aux trois échelles spatiales considérées.

| Coefficients de corrélation r** | | | | Equations des droites de régression |
|------------------------------------|------|------|------|--|
| | 1986 | 1987 | 1989 | |
| 1986 | 0 | | | PvT86 = 0.98 PvT87 - 0.06 |
| 1987 | 0.91 | 0 | | PvT86 = 0.94 PvT89 + 0.12 |
| 1989 | 0.88 | 0.87 | 0 | PvT87 = 0.95 PvT89 - 0.10 |
| PvT | 0.97 | 0.96 | 0.95 | PvT = 0.97 PvT86 + 0.02 |
| | | | | PvT = 0.94 PvT87 + 0.12 |
| | | | | PvT = 0.97 PvT89 - 0.03 |

Tableau 4 : Résultats des régressions linéaires entre PvT (annuels et moyenne interannuelle) établis sur l'ensemble de la saison à l'échelle synoptique.

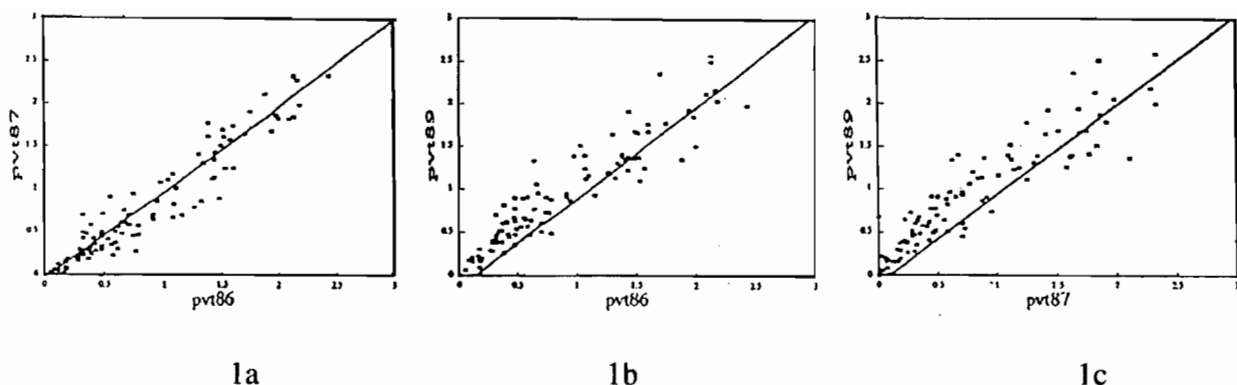


Figure 2 : Corrélations interannuelles des Pvt

2a Pvt 86/ PVT 87 $r^{**} = 0,91$

2b Pvt 86/ PVT 89 $r^{**} = 0,86$

2c Pvt 87/ PVT 89 $r^{**} = 0,87$

| Zones | pente | ordonnée à l'origine | r^{**} | r.m.s. |
|--------|-------|----------------------|----------|--------|
| Niamey | 0.93 | - 0.08 | 0.75 | 0.10 |
| Mali | 1.15 | 0.21 | 0.93 | 0.15 |
| CILSS | 0.99 | - 0.10 | 0.91 | 0.59 |

Tableau 5 : Résultats des régressions linéaires entre les PVT 86 et les PVT 87 pour les trois fichiers de stations sélectionnés

Au niveau de la saison complète, la variabilité interannuelle de cet indice est faible pour les échelles spatiales les plus grandes et demeure peu importante pour une région restreinte comme le district de Niamey.

Le coefficient r^{**} , les valeurs des pentes (proches de 1.) et des ordonnées à l'origine des droites de régression indiquent une bonne constance de cet indice d'une année sur l'autre, en un point donné pour une même période d'observation.

Ces résultats ne sont d'ailleurs pas surprenants, car hormis les effets atmosphériques, difficiles à cerner par nos moyens actuels, ceux liés à la nature de la surface: (caractéristiques physiques des sols, nature du couvert végétal, gradient thermique lié à l'altitude...etc.), sont stables dans le temps.

Afin de tester la variabilité de cet indice en fonction de la longueur de la période d'observation, nous avons calculé le degré de corrélation linéaire reliant les PVT86 et PVT87, mesurés aux 34 stations du Mali, par périodes décennales cumulées, depuis la première décennie du mois de mai jusqu'à la fin de la saison des pluies. Les résultats de cette analyse sont représentés sur le graphe de la figure 4.

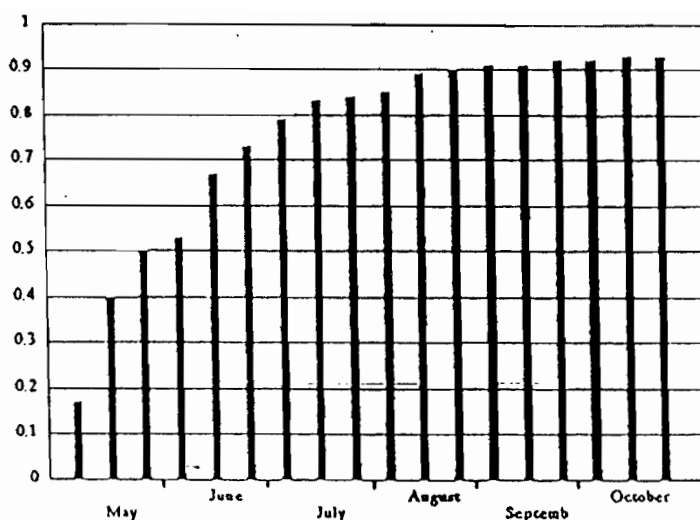


Figure 4 : Corrélation entre PvT86 et PvT87 au Mali.

Evolution du coefficient r^{**} , par périodes décadaires cumulées durant la saison des pluies (du 1er mai au 31 octobre).

Le degré de corrélation interannuelle des PvT atteint une valeur satisfaisante au niveau régional dès lors que la saison des pluies est installée de manière homogène, soit vers la fin du mois de juin.

Nous noterons que les épisodes de vents de sable et de nuages de poussière, fréquents jusqu'au mois de juin dans cette région, sont vraisemblablement responsables pour une part importante, des faibles coefficients obtenus en début de saison.

L'analyse de l'évolution d'une année sur l'autre de ces deux indices, nous montre qu'il est illusoire de vouloir réaliser une estimation des pluies en temps réel, à partir d'un simple comptage des nuages à sommet froid, et ceci, nous semble-t-il, quel que soit le seuil de température retenu dans la procédure de discrimination.

Au contraire, l'utilisation d'un référentiel climatologique déduit de la température radiative maximale de surface, nous paraît être une voie bien plus prometteuse, pour réaliser une telle estimation au pas de temps mensuel, voire pour des périodes plus courtes si les effets atmosphériques parasites peuvent être corrigés.

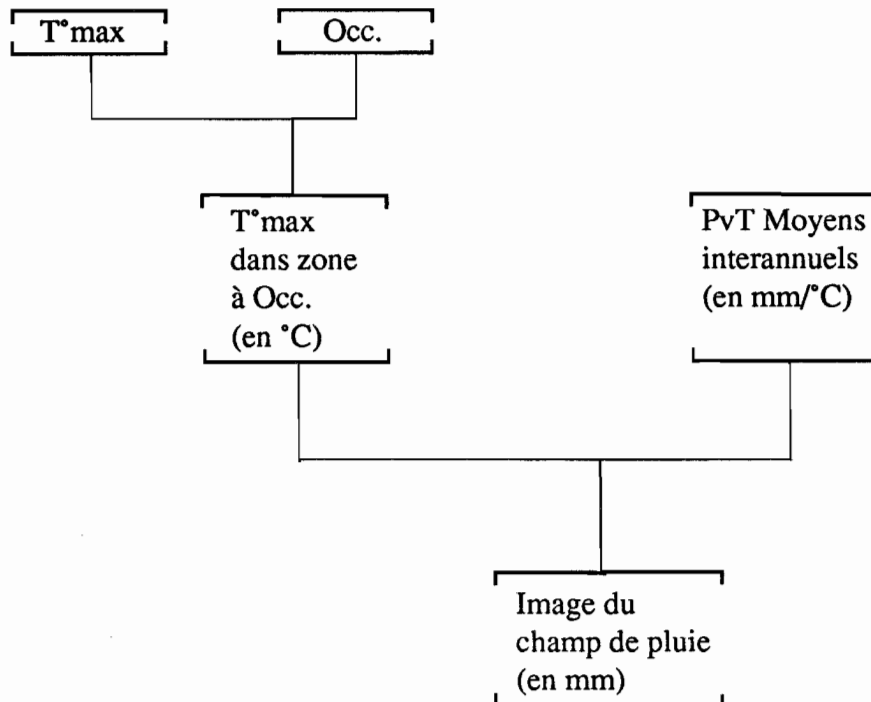
Il est cependant bien évident que l'on ne peut sur une série d'observation aussi courte - deux années - établir un fichier de référence (PvT moyens interannuels) suffisamment éprouvé au plan statistique. Néanmoins, les résultats de l'essai de validation pour la période du 1er mai au 30 septembre 1990 sont suffisamment concluants pour limiter singulièrement la portée de cette réserve.

3. Essai de validation de la méthode pour la période mai-septembre 1990

Les précédents essais de la méthode (Veille Climatique Satellitaire N°28) effectués à l'échelle décadaire et mensuelle avaient démontré des performances satisfaisantes dès lors que la période étudiée atteignait le mois. Nous avons choisi cette fois de présenter les résultats de son application pour une période plus longue : mai - septembre 1990.

3-1 Prototypé de la méthodologie d'estimation des pluies en temps réel à partir des PvT

L'essai d'estimation des pluies en temps réel en utilisant un fichier des PvT moyens interannuels comme référence de calibration d'images T°max a été réalisé selon le protocole suivant :



L'organigramme des procédures utilisées tel qu'il apparaît sur ce schéma appelle peu de commentaires. Nous précisons cependant la nature des données d'entrée et de sortie pour la période qui nous intéresse.

Le fichier TMax (planche 4, photo 1) correspond à la moyenne des températures radiatives maximum du sol observées par périodes de cinq jours à la résolution du pixel pendant la période du 1er mai au 30 septembre 1990.

Le fichier Occ (planche 4, photo 2) correspond à la somme des occurrences de nuages à sommet froid réputés pluvigènes et comptabilisés à partir des fichiers de base pentadaires. Il n'intervient cependant que d'une manière secondaire dans la procédure ; il sert à définir les zones qui n'ont pas connu d'évènement pluvieux pendant la période et où, par conséquent, le traitement PvT*Tmax n'est pas appliqué

Les PvT interannuels représentent en fait une moyenne établie à partir de trois années d'observation pour lesquelles nous disposons de séries complètes (pluies et Tmax). Ce fichier est en passe d'être porté à quatre années d'observations et il est évident que l'utilisation de fichiers élaborés d'après des séries annuelles plus longues apportera plus de sécurité dans les résultats.

L'image du champ de pluies estimées (planche 5, photo 3) représente le produit pixel par pixel du PvT moyen par la moyenne de la température radiative maximum de la période étudiée. Cette image, ainsi que l'image du champ de pluies mesurées (planche 5, photo 4) aux stations du réseau sol, sont créées sur miniordinateur et restituées sur imprimante couleur dédiée à un microordinateur.

La réalisation de l'ensemble des procédures fait appel au logiciel TRISKEL mis en place par D.DAGORNE à l'antenne ORSTOM de Lannion. Elle nécessite une "gymnastique informatique" impliquant l'emploi de passerelles interlogiciels permettant la transformation de données discrètes en champ et leur représentation sous forme d'images ou de cartes.

La configuration informatique est assez lourde. Elle comprend une chaîne d'acquisition, un miniordinateur, une console de visualisation et de traitement d'images, une imprimante couleur. Cet ensemble hérité du passé peut toutefois être considérablement allégé et se résumer à l'utilisation d'une seule machine pour tout ce qui concerne l'acquisition, le traitement des données et la visualisation des images.

3-2 Résultats de l'estimation: période du 1er mai au 30 septembre.

L'image du champ de pluies estimées (planche 5, photo 3) doit être comparée à l'image correspondante du champ de pluies mesurées (planche 5, photo 4). Celle-ci a été réalisée à partir d'une matrice calculée par une procédure de krigeage sur les mesures de terrain provenant de 82 stations appartenant essentiellement au réseau synoptique. La zone prise en compte est délimitée par les parallèles 24° et 7° nord, et par les méridiens 18° ouest et 24°est.

La répartition des stations à l'intérieur de ce rectangle est loin d'être homogène, puisqu'elle intègre des régions pour lesquelles nous n'avons pas ou peu de données (Nord Guinée, Nord Nigéria, régions très peu peuplées du Sahel). Autrement dit, une station isolée peut infléchir le tracé des isohyètes dans un sens peu conforme à la réalité. Ce défaut, inhérent à toute opération géostatistique de ce type, étant signalé, il importe également de préciser que l'image du champ de pluies mesurées a été affectée du masque nuage de façon à rendre les deux champs aussi comparables que possible.

Cette comparaison laisse apparaître de nombreuses similitudes. Au-delà de l'allure générale des isohyètes, semblable sur les deux images à quelques exceptions près, il est encourageant de constater le taux de réussite de l'estimation dans l'intervalle 400 à 600 mm. En particulier, le tracé de l'isohyète 500mm est quasiment identique sur les deux images depuis le Sénégal jusqu'au Niger. La correspondance est également remarquable au sud du Tchad.

Elle est moins bonne au nord du Niger bien que la remontée des isohyètes de part et d'autre de l'axe Birni N'Konni-Tahoua apparaisse sur les deux images. En revanche, les performances de l'estimation des pluies sont nettement moins bonnes en Gambie, au Centre-Sud du Sénégal (surestimation) et au Centre-Sud du Mali (sous-estimation).

De même, la zone sahélienne du Tchad présente des valeurs nettement surestimées par rapport à la pluviométrie mesurée. Une analyse exhaustive est en cours pour rechercher les causes de surestimation et de sous-estimation.

L'influence de l'air océanique plus frais au Sénégal, l'impact des vents de sable au Tchad sur le rafraîchissement des températures sol, l'insuffisance du nombre d'années prises en compte pour l'élaboration des PvT, les différences de nature de mise en place et du déroulement de la saison des pluies agissant localement, l'analyse fine des écarts enregistrés aux stations entre pluie estimée et pluie mesurée; les possibilités de déformations locales du champ dues au krigeage, tels sont les éléments à prendre en compte.

Conclusion

Malgré quelques imperfections, la méthode d'estimation des pluies en temps réel utilisant la relation pluies/température du sol ouvre de réelles perspectives.

L'intérêt de ce type de document , élaboré instantanément, consiste à proposer des valeurs de pluviométrie dont on a préalablement évalué le degré de précision. La représentation de la pluviométrie dans un champ continu permet de compléter l'information fournie par le réseau conventionnel dont les points de mesure sont très souvent trop peu nombreux ou mal répartis, plus particulièrement dans les zones les plus sensibles.

Bien entendu, avant d'être opérationnel et d'être utilisé par les modèles agronomiques, il importe de tester ce produit en analysant les performances de la méthode sur des séries temporelles croissantes allant du mois à l'ensemble de la saison.

BIBLIOGRAPHIE

ARKIN P. - 1979 : The relationship between fractional cloud coverage of high cloud and rainfall accumulations during GATE over the B-scale array. *Mon. Wea. Rev.*,107, pp.1382-1387.

ASSAD E. - 1987 : Utilisation des satellites météorologiques pour le suivi agroclimatique des cultures en zone sahélienne. Cas du Sénégal. Thèse hydrologie - Montpellier, 260 p.

CARN M., DAGORNE D., GUILLOT B., LAHUEC J.P., - 1987 : Estimation des précipitations par satellite au Sahel pour la période de mai-à septembre 1987. *Veille Clim. Sat.*, n°20, Lannion, pp.26-30.

LAHUEC J.P., GUILLOT B., BELLEC B. - 1986 : Relationship between deep convection and rainfall in Africa. *Proceedings of the 6th. Meteosat Sci.Use.Meet.*, Amsterdam, 25-27 nov. 1986, vol. 2.

NEGRE T., IMBERNON J., GUINOT J.P., SEGUIN B., BERGES J.C., GUILLOT B. (1988) : Estimation et suivi de la pluviométrie au Sénégal par satellite Météosat. *L'Agronomie Tropicale* 43, 4,pp.279- 288

MILFORD J.R., DUGDALE G. 1989 : Estimation of rainfall using geostationary satellite data. In Applications of Remote Sensing in Agriculture. Proceedings of 48th Easter School in Agricultural Science, University of Nottingham, July 1989, Butterworth, London.

SAVANE M., SEGUIN B., GUILLOT B., - 1989

Utilisation des synthèses thermiques Météosat étalonnées par NOAA-AVHRR en agroclimatologie: Application à la France. Veille Clim. Sat., n°31, Lannion, pp.55--60.

Volume 3

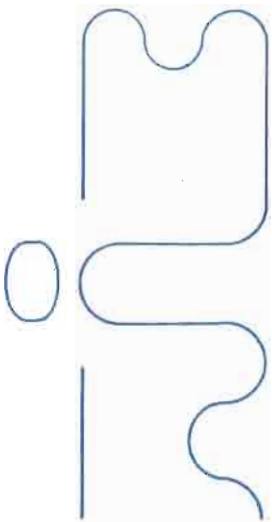
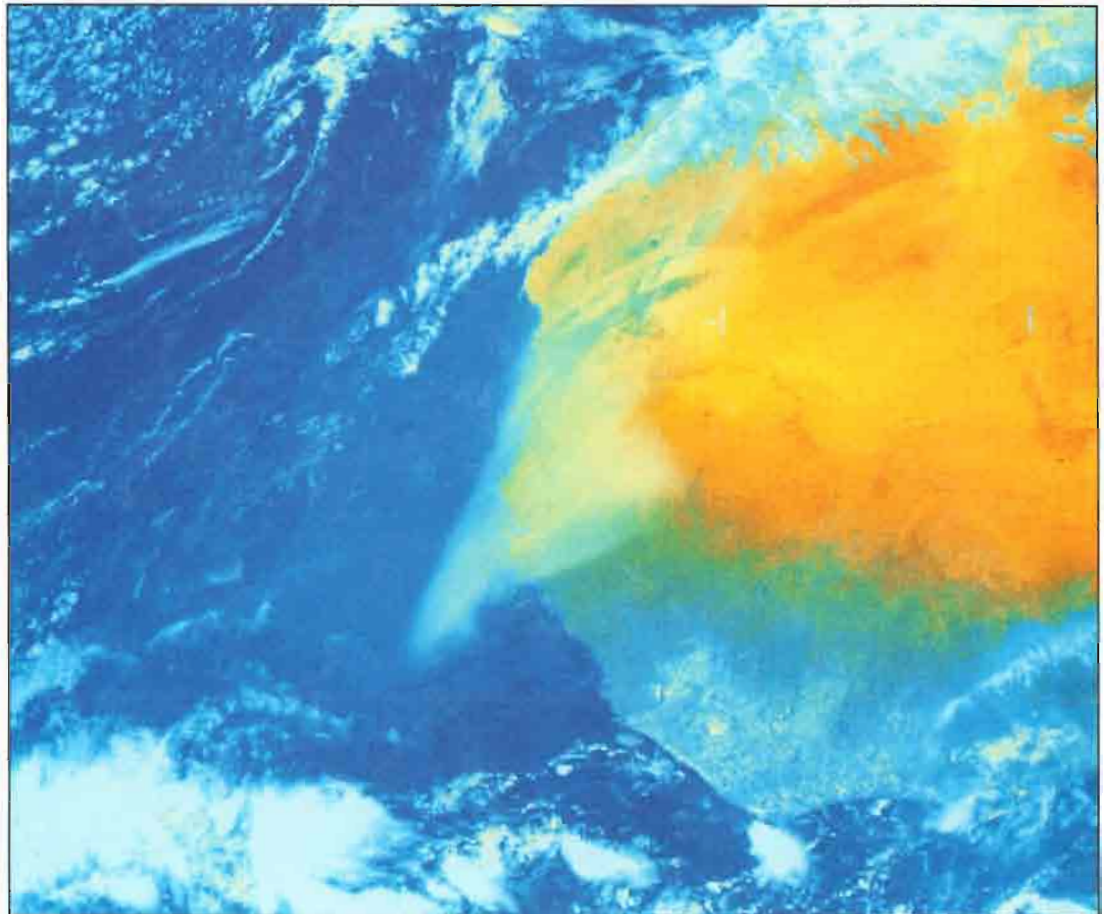
Publications de l'Association Internationale de Climatologie

Association
Internationale
de Climatologie

Satellites et Climatologie

Actes du Colloque
de Lannion - Rennes (France)
20 - 22 juin 1990

édités par Jean Mounier
Université de Rennes 2



Satellites et Climatologie

Actes du Colloque
de Lannion - Rennes (France)
20 - 22 juin 1990

édités par Jean Mounier
Université de Rennes 2

avec le concours de l'antenne O.R.S.T.O.M. de Lannion
sous la direction de Bernard Guillot et J.-Paul Lahuec

