

EVALUATION DE LA PLUVIOMETRIE PAR CUMUL DES IMAGES INFRAROUGE THERMIQUE METEOSAT (SENEGAL), 1986

IMBERNON J.* - ASSAD E.* - GUILLOT B.** - DAGORNE D.**

Introduction

Des recherches ont été menées ces dernières années sur l'utilisation de la télédétection pour compléter les informations pluviométriques relevées au sol et en assurer l'extension spatiale. Diverses approches sont suivies ; on peut les regrouper suivant deux axes de travail : l'utilisation de la température du sommet des nuages (Lahuec et al., 1986) d'une part et, d'autre part, de la température de surface du sol (ASSAD et al., 1986). Ces deux approches sont probablement complémentaires.

C'est l'utilisation de la température de surface qui est présentée dans cette étude, dans le but de confirmer les résultats acquis, tout en améliorant la procédure de calcul pour la rendre opérationnelle et la transférer à nos partenaires du Centre Agrhymet de Niamey, et de l'Unité de Traitement d'Images Satellitaires (UTIS) de l'ISRA/CRODT de Dakar.

Nous utiliserons des synthèses pentadaires Météosat dans l'infrarouge thermique, fournies par le Centre de Météorologie Spatiale de Lannion, qui donnent dès à présent la possibilité d'un suivi régulier et constant des précipitations en Afrique de l'ouest.

1. La température radiative de surface, indicateur de précipitation

A l'échelle locale, avec des mesures radiométriques au sol (ASSAD, 1987), ou à l'échelle régionale grâce aux satellites (Barret, 1984 ; ASSAD et al., 1986 b ; Guillot et al., 1986 ; Moore et al., 1983), la température (T_s) de la surface a pu être mise en relation avec la pluviométrie.

Cette liaison a pu être vérifiée pour la saison des pluies 1986 au Sénégal (fig. 2).

a) Les données utilisées ont été :

● la température radiative du satellite Météosat, mesurée dans le canal infrarouge thermique 10,5-12,5 μm , avec une résolution de $\pm 4,4 \text{ km} \times 4,4 \text{ km}$ au point sous-satellite. L'antenne ORSTOM de Lannion en a fourni, en 1986, des « synthèses pentadaires », une pentade sur deux, soit les pentades 1 (1^{er} au 5^e), 3 (11 au 15) et 5 (21 au 25) du mois. Ces synthèses donnent, pour chaque période de cinq jours, les maxima de la température de surface sur chaque pixel. A partir de ces images, l'extraction des données sur les stations pluviométriques disponibles a été faite, sur le pixel de la station (défini par ses coordonnées en latitude et longitude) et les 8 pixels l'entourant (carré de 3×3 pixels).

* IRAT/CIRAD, ZOLAD MINIPARC bât. 7, 34100 Montpellier.

** ORSTOM, Centre de Météorologie Spatiale de Lannion, B.P. 147, 22302 Lannion.

● **la pluviométrie**, à partir des fiches d'observations du réseau primaire et secondaire, recueillies et saisies sur support informatique. Le réseau (*fig. 1*) se compose de 77 stations ; nous n'en avons retenu que 43, l'élimination étant due à la non validité des données, ou à l'impossibilité de les situer géographiquement, ou enfin à la proximité de la mer ou de zones de mangroves.

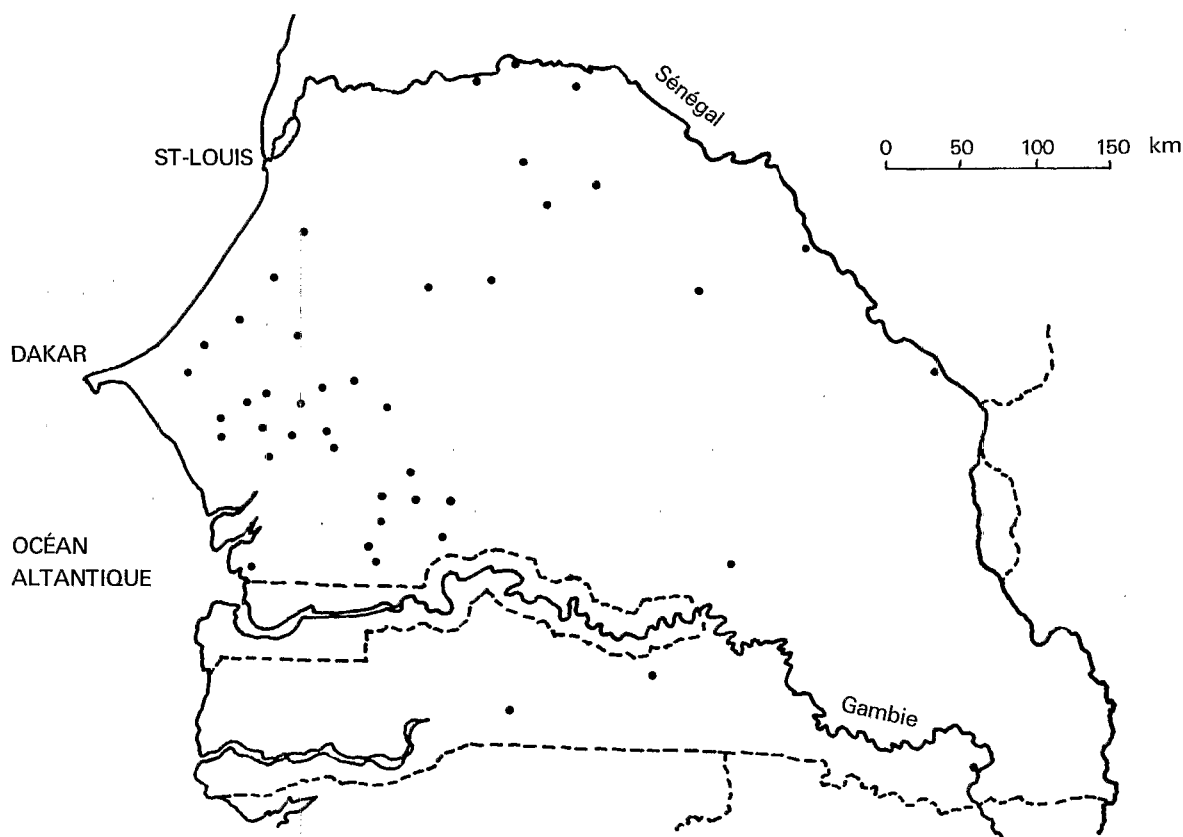


Figure 1. — **RÉSEAU PLUVIOMÉTRIQUE UTILISÉ EN 1986.** ● : station de mesure

b) La réponse de TS à la pluie

La figure 2 fait apparaître :

- une diminution des températures à chaque événement pluvieux. Ceci est plus visible en début qu'en fin de saison, la couverture végétale du sol jouant alors un effet « tampon » ;
- une chute des températures bien marquée en début de saison des pluies ;
- une date d'installation de la saison des pluies variable dans l'espace : première décade de juillet à Podor, troisième décade de juillet à Kébémér, troisième décade de juin à Nioro du Rip, première décade de juin à Vélingara, première décade de mai à Kedougou (1) ;
- des températures moyennes en saison des pluies de 35°C à Podor, 31°C à Kébémér, 27°C à Nioro du Rip, 24°C à Vélingara et Kedougou.

Il semble donc que la température de surface réagisse aux événements pluviométriques par une baisse en début de période, ce qui fournit un indicateur d'installation de la saison des pluies, et que la variation spatiale des températures mesurées par Météosat traduise la variation de l'état d'humidité de surface et par là-même la quantité de pluies.

(1) Pluviométrie totale : Podor : 244,8 mm ; Kébémér : 201,9 mm ; Nioro : 795,0 mm ; Vélingara : 930,7 mm ; Kedougou : 1.143,2 mm.

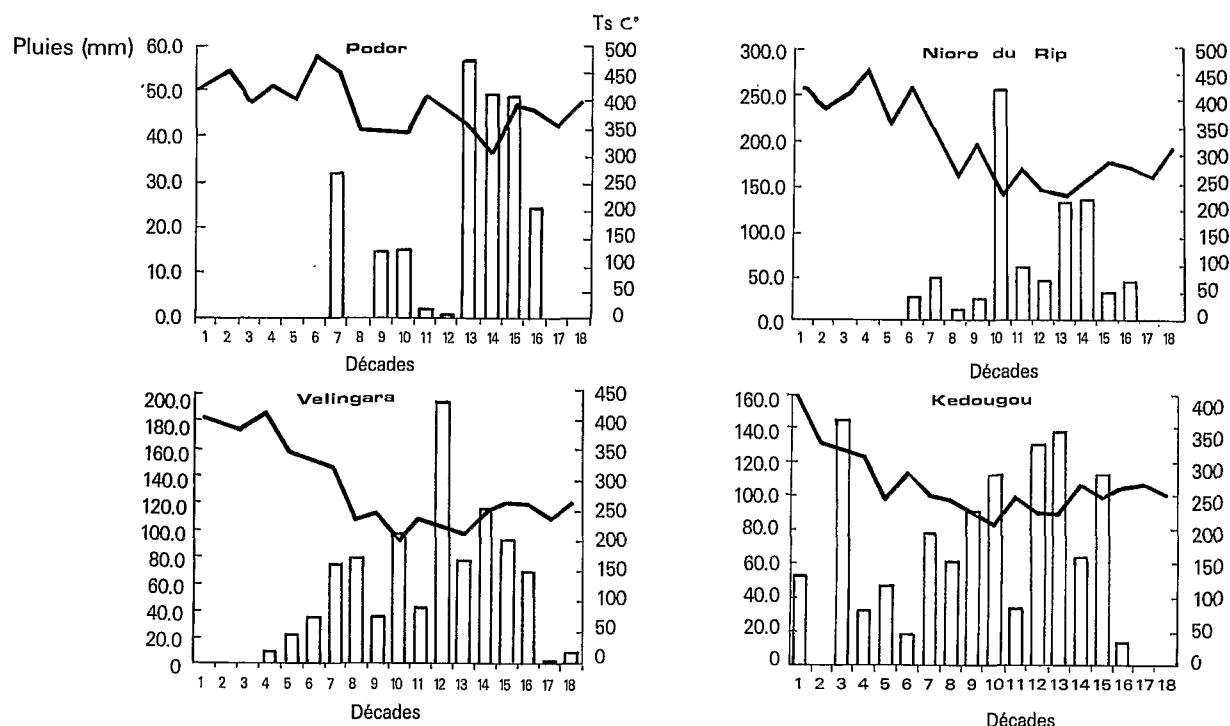


Figure 2. — **EVOLUTION DE LA TEMPERATURE DE SURFACE ET FREQUENCE DES PLUIES, POUR QUATRE STATIONS DU RESEAU.**

2. La cartographie de la pluviométrie : méthode des cumuls

Les travaux récents de ASSAD (1987) mettent en évidence une bonne corrélation entre le cumul des températures de surface T_s obtenues par le satellite et le cumul des pluies. Cependant, le problème relatif au choix des images, et à leur acquisition à des pas de temps variables, ne permettrait pas de se prononcer plus précisément sur la réelle signification du coefficient de corrélation trouvé entre les cumuls de T_s et les cumuls de pluie.

Les figures 3a, b, c, d, e, f illustrent l'évolution de la relation T_s -pluie au cours de la saison 1986. L'installation des pluies sur le territoire est bien visible. La plupart des stations de référence n'ont pas reçu de pluies jusqu'au 25 juin ; seules les stations de Kedougou au 25 mai, puis de Casamance et basse Casamance au 25 juin étaient touchées par la mousson. La relation entre les cumuls de T_s et les cumuls de pluie apparaît à partir du 25 juillet, pour s'améliorer progressivement jusqu'au 25 octobre. Il semble donc possible d'utiliser cette méthode lorsque la saison des pluies est bien installée sur le territoire. En début de saison, (début mai à fin juillet) la pluviométrie ne peut, par contre, pas être cartographiée, et il faudra dans ce cas, faire appel aux méthodes plus classiques recourant à l'analyse des nuages précipitants (Lahuec et al., 1986).

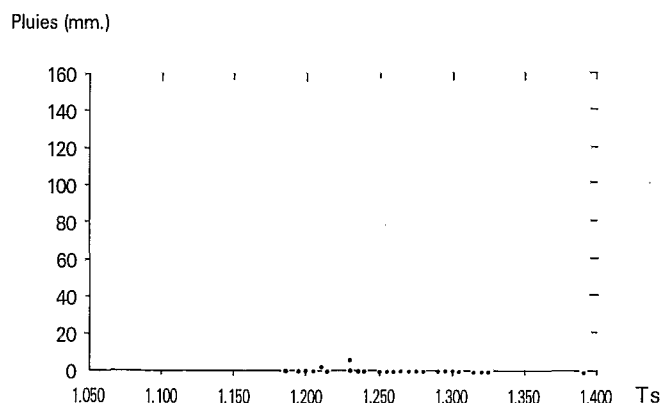


Figure 3a. — **T_s -PLUIE AU 25 MAI.**

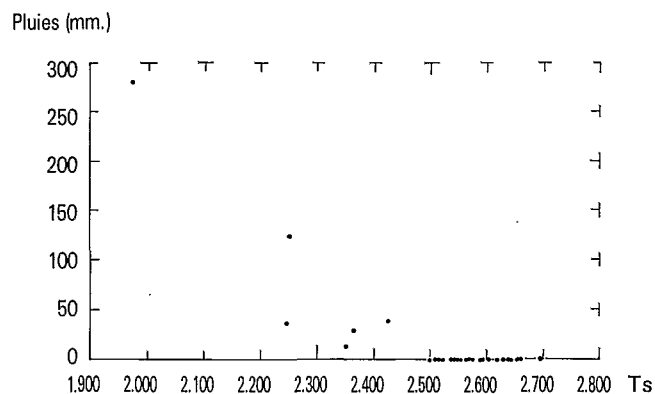


Figure 3b. — **T_s -PLUIE AU 25 JUIN.**

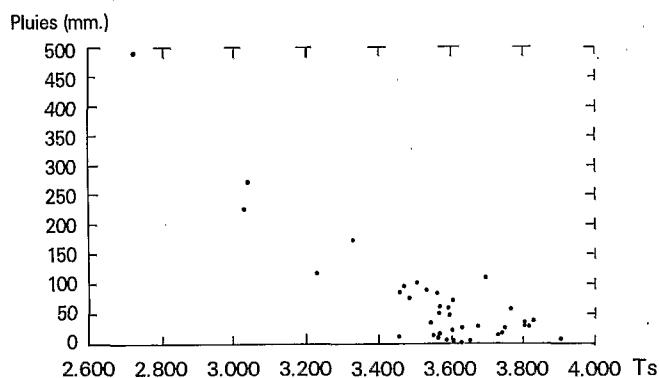


Figure 3c. — Ts-PLUIE AU 25 JUILLET.

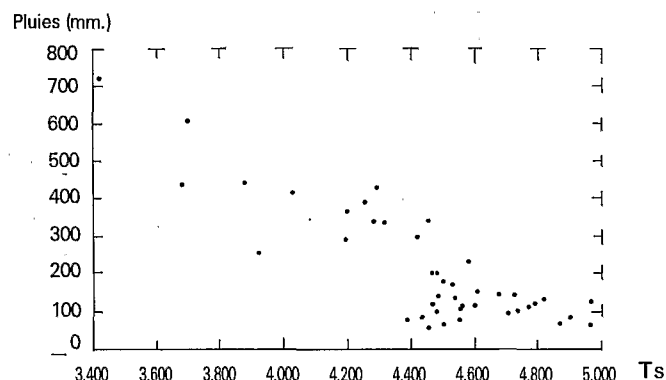


Figure 3d. — Ts-PLUIE AU 25 AOÛT.

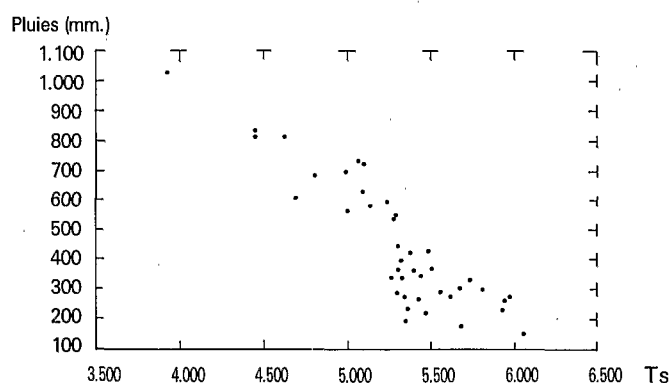


Figure 3e. — Ts-PLUIE AU 25 SEPTEMBRE.

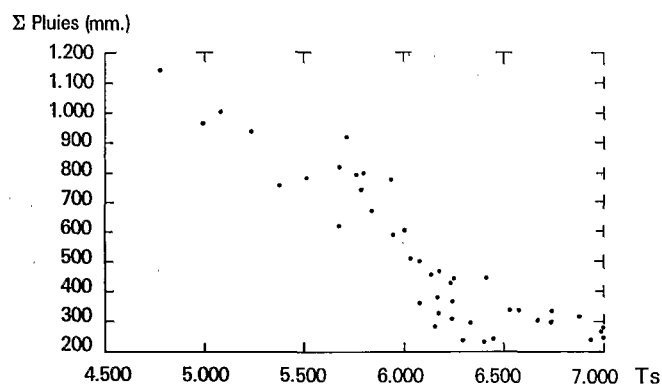


Figure 3f. — Ts-PLUIE AU 25 OCTOBRE.

L'analyse statistique des relations linéaires : $\Sigma P = a + b \Sigma Ts$ donne les résultats suivants (tableau 1) :

Date	r^2	a	b
25 juillet	0,752	1.284	— 3.407
25 août	0,725	1.948	— 3.905
25 septembre	0,763	2.743	— 4.353
25 octobre	0,813	3.093	— 4.218

Tableau 1 : Equations d'ajustement linéaire obtenues entre Σ pluie (s) et ΣTs pour la saison 1986.

Remarques :

- le pas de temps choisi pour effectuer les cumuls de Ts est constant : la décade (les synthèses sont fournies une pentade sur deux (2)), ce qui permet de comparer plus précisément Σ pluie et ΣTs ;
- l'échantillon des stations retenues est identique pour tous les calculs effectués ;
- les stations qui n'ont pas été retenues sont côtières ou proches de mangroves (delta du Sine-saloum, ou de la Casamance) ;
- il semble y avoir dans l'échantillon étudié deux populations dans les faibles valeurs de pluviométrie : le bassin arachidier, et le Ferlo (zone de pâturages). Si on élimine les stations du bassin arachidier (12 stations), le coefficient r^2 prend la valeur 0,937.

(2) En 1987, nous utiliserons les synthèses météo-sat des deux pentades de chaque décade.

Ces ajustements linéaires calculés entre ΣP et ΣTs ont permis de construire des cartes de pluie à partir des images Ts . Un exemple est donné (fig. 4a), que nous comparons avec une carte d'interpolation des pluviométries mesurées sur le réseau (fig. 4b).

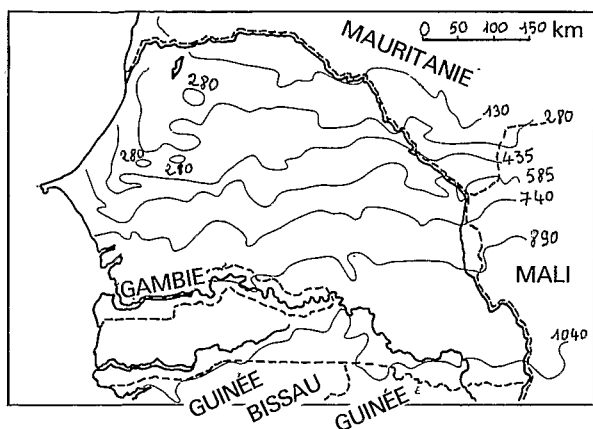


Figure 4a. — **ISOHYETES TIRÉES DE LA SOMME DES TEMPERATURES DE SURFACE METEOSAT.**

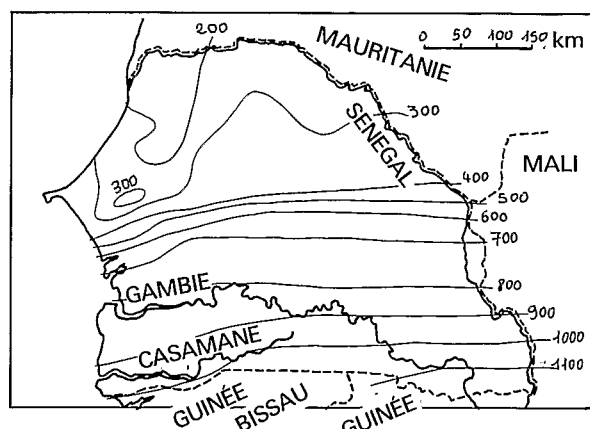


Figure 4b. — **ISOHYETES INTERPOLÉES SUR LE RÉSEAU POUR LA PERIODE DE MAI A OCTOBRE 1986.**

3. Un test pour déterminer l'installation de la saison des pluies : mise au point d'une procédure automatique

L'observation des figures 2 et 3 met en évidence l'hétérogénéité spatiale dans l'arrivée des premières pluies : mi-mai à Kedougou, début août dans le bassin arachidier.

Un moyen de déterminer le début de la saison des pluies à partir des températures radiatives a été recherché, pour cartographier l'installation de la saison pluvieuse sur le territoire, et utiliser la méthode des cumuls sur la durée réelle de la saison des pluies, afin d'améliorer la corrélation entre les variables pluie et température (filtrage des fortes températures précédant l'arrivée des pluies) ; le souci de rendre cette procédure automatique sur un système de traitement d'image (péricolor 1000 dans le cas présent) nous a conduit à proposer la démarche suivante :

- démarrage de la procédure au 1^{er} mai, de façon à précéder l'arrivée du front de mousson sur le territoire sénégalais ;
- traitement par différence, $T_{si} - T_{si+1}$, de deux images successives i et $i+1$, pixel par pixel ;
- si la différence, Δts , est positive, et supérieure à un seuil déterminé à l'avance et considéré comme un bon indicateur du début de la saison des pluies, on décide du début du cumul.

Un premier travail de cartographie a été réalisé à partir des seuils $\Delta Ts \geq 6^\circ C$, et $\Delta Ts \geq 8^\circ C$. Les figures 5 et 6 illustrent l'arrivée de la saison des pluies telle qu'elle peut être cartographiée par cette méthode qui, dans ce cas, est le résultat d'une interpolation linéaire manuelle sur les stations de référence.

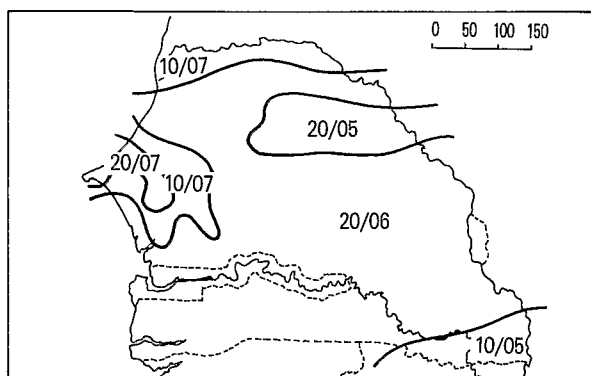


Figure 5. — **CHRONOLOGIE DES DIFFERENCES DE TEMPERATURES RADIATIVES METEOSAT (D'UNE DECADE A LA SUIVANTE) : $\geq 6^\circ C$.**

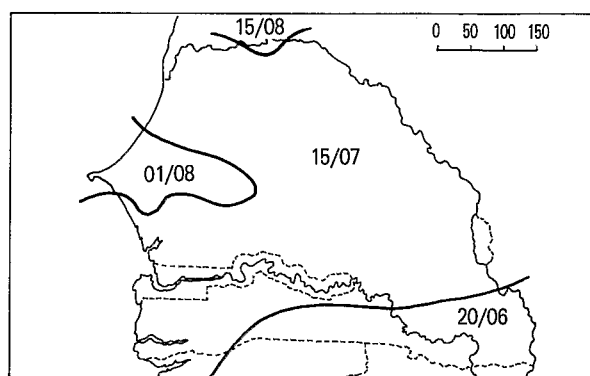


Figure 6. — **CHRONOLOGIE DES DIFFERENCES DE TEMPERATURES RADIATIVES METEOSAT (D'UNE DECADE A LA SUIVANTE) : $\geq 8^\circ C$.**

La moyenne des températures radiatives météosat (cumul divisé par le nombre d'images ou périodes) réalisée à partir de ces seuils a été mise en relation avec la pluviométrie totale sur les figures 7 et 8, pour l'ensemble de la saison (jusqu'au 25 octobre). L'ajustement de relations linéaires donne les résultats suivants (tableau 2) :

Seuils	r ²	a	b
Ts = 6°C	0,831	2.585	− 6.327
Ts = 8°C	0,806	2.766	− 7.162

Tableau 2 : Ajustements obtenus pour les seuils Δ Ts = 6°C et Δ Ts = 8°C.

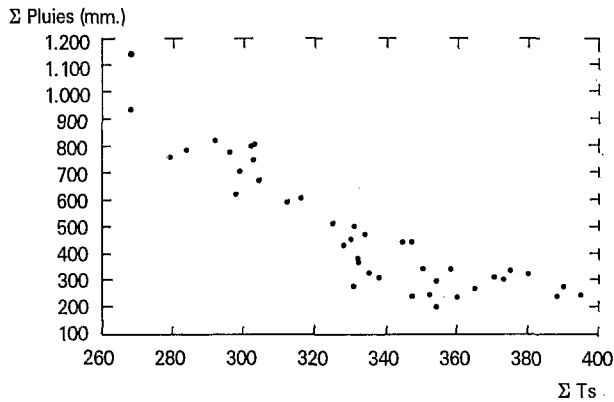


Figure 7. — **RELATION ENTRE Σ Ts ET Σ PLUIES POUR Δ Ts ≥ 6°C**

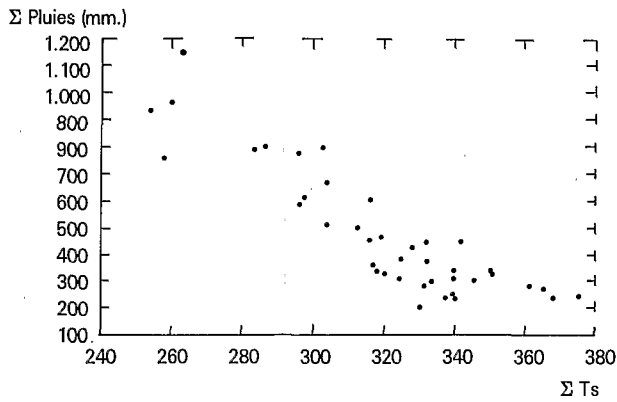


Figure 8. — **RELATION ENTRE Σ Ts ET Σ PLUIES POUR Δ Ts ≥ 8°C**

Remarques :

- l'échantillon des stations retenues est identique au calcul précédent ;
- la prise en compte d'une moyenne des Ts permet de s'affranchir de la durée de la saison des pluies, variable d'une station à l'autre ;
- la corrélation augmente faiblement pour Δ Ts ≥ 6°C, et diminue pour Δ Ts ≥ 8°C, comparativement au calcul précédent ;
- les deux populations, bassin arachidier et Ferlo, apparaissent à nouveau. Mais les stations du bassin arachidier sont à présent les mieux en relation avec les stations du reste du territoire. Si le Ferlo n'est pas pris en compte, le coefficient de corrélation devient : r = 0,898.

4. Correction par la température de l'air

Seguin et al (1982) proposent une équation simplifiée du bilan d'énergie, liant l'évapotranspiration à la température de surface :

$$ETR - RN = A + B (Ts - Ta),$$

- avec ETR : évapotranspiration journalière,
- RN : rayonnement net journalier,
- Ts et Ta : température de surface et température de l'air instantanées au voisinage du midi solaire (maximum de température),
- A et B : paramètres d'ajustement, sensibles à la rugosité.

Cette équation explique en grande partie les relations trouvées précédemment entre pluviométrie et température de surface, et l'introduction de la température de l'air comme facteur de correction peut être envisagée.

La carte des gradients thermiques en saison des pluies (*fig. 8*) fait apparaître des différences pouvant atteindre 4°C, sur un gradient zonal d'ouest en est. En corrigeant les températures de surface du ΔT_a correspondant, nous obtenons des relations entre $T_s - \Delta T_a$ et pluie fortement corrélées :

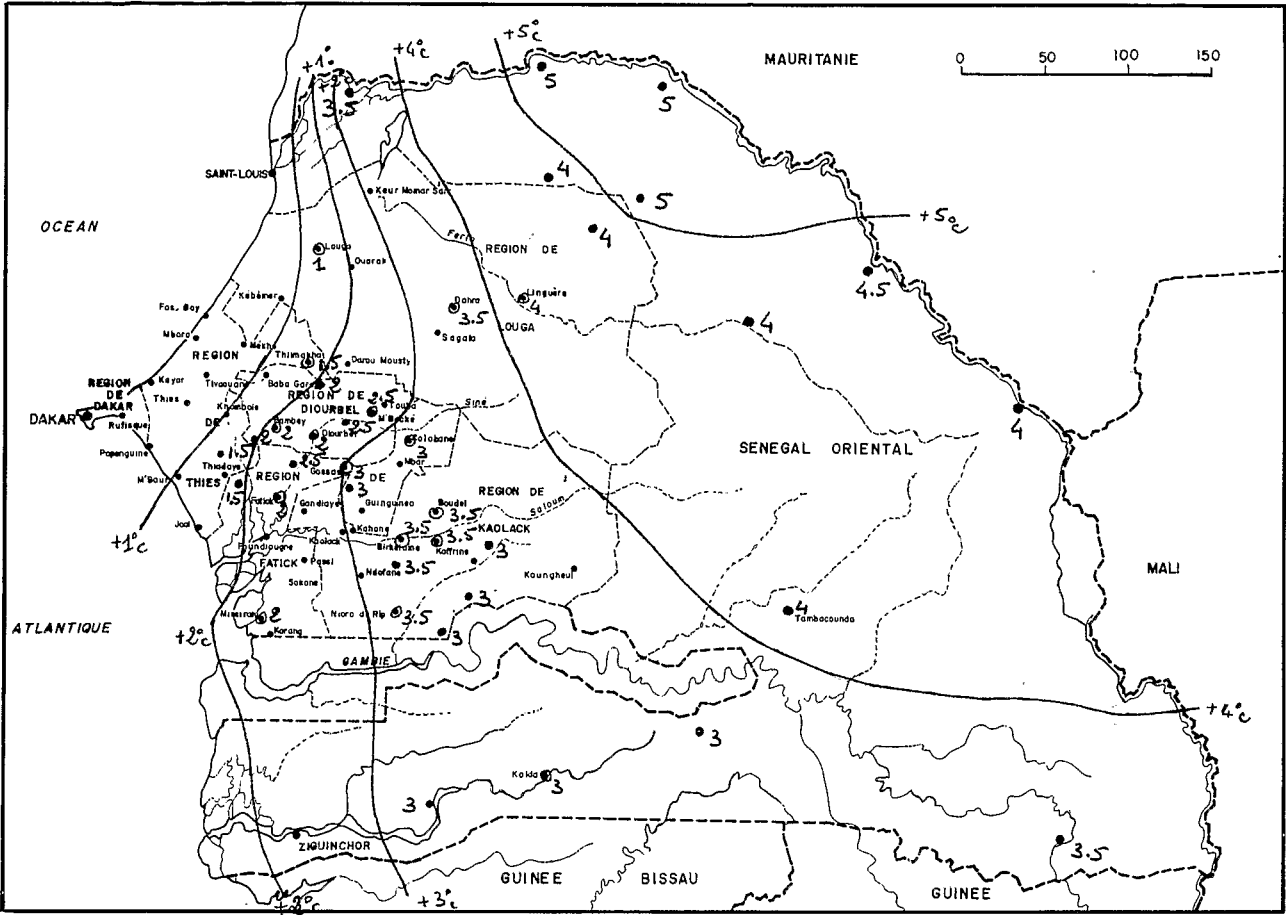


Figure 8. — GRADIENT DE TEMPERATURE DE L’AIR, JUIN - OCTOBRE.

- $r^2 = 0,928$, avec la méthode du seuil ($\Delta T_s \geq 6^\circ\text{C}$) de démarrage de la saison (*fig. 9a*) ;
- $r^2 = 0,953$, sur l’ensemble de la période (du 1^{er} mai au 25 octobre (*fig. 9b*).

Il est intéressant de constater que les zones du bassin archidier et du Ferlo se confondent à présent, et que l’utilisation d’une correction par le gradient zonal de température de l’air améliore très sensiblement l’estimation de la pluviométrie par la température de surface (températures radiatives Météosat).

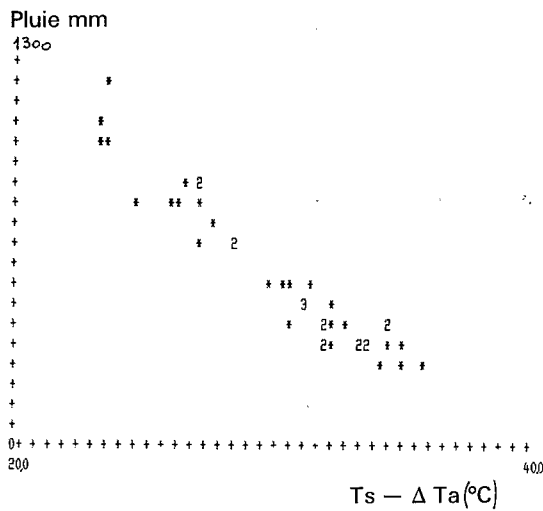


Figure 9a. — CORRELATION PLUIE/TEMPERATURE DE SURFACE T_s — GRADIENT DE TEMPERATURE DE L’AIR ΔT_a (Méthode du seuil $\Delta T_s \geq 6^\circ\text{C}$).

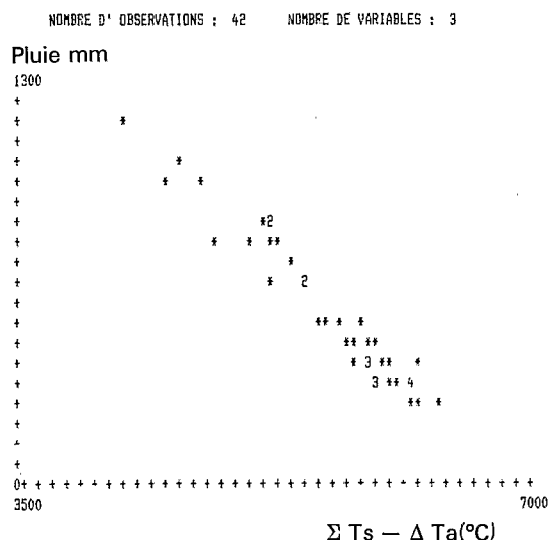


Figure 9b. — **CORRELATION PLUIE/SOMME Σ DES TEMPERATURES DE SURFACE T_s — GRADIENT DE TEMPERATURE DE L'AIR ΔT_a .**

Conclusion

L'intérêt des synthèses pentadaires Météosat dans le canal thermique fournies par le Centre de Météorologie Spatiale de Lannion est confirmé dans l'étude de la saison des pluies 1986 au Sénégal.

Sur le plan pratique, la démarche utilisée est transposable au Sénégal pour suivre la répartition des pluies dans l'espace. Il est probable aussi qu'elle puisse être étendue à l'ensemble de la zone sahélienne et soudanienne de l'Afrique de l'ouest. Les synthèses produites à Lannion ont été utilisées avec succès en 1985 et en 1986 par le centre Agrhymet de Niamey, pour le suivi de l'installation de la saison des pluies.

Les résultats obtenus par cette méthode pourraient être améliorés dans un proche avenir en utilisant les données du satellite NOAA réceptionnées à la station de l'Agence Spatiale Européenne (ASE) à Mas Palomas. Ce satellite dispose en effet de deux canaux thermiques dont la combinaison linéaire (méthode « split window » (Deschamps et al. 1980) permet d'effectuer des corrections atmosphériques. La résolution spatiale est également plus fine (1,1×1,1 km au sous-point ; 2,2×6,6 km en bordure de la trace).

L'utilisation de Météosat présente de son côté de gros avantages : haute répétitivité, superposition facile, sans correction géométrique préalable, des images, et couverture presque instantanée de la zone sahélienne (3). Pour ces diverses raisons il est l'outil idéal d'une surveillance d'ensemble de la saison des pluies, telle que la réalise le centre Agrhymet de Niamey.

Nos recherches prouvent que l'estimation de la pluviométrie par la température de surface donne, en fin de saison, des résultats bruts très semblables, ou même meilleurs, comme le montrent les tests sur le Niger (Lahuec et al., 1987), que les méthodes utilisant comme indicateur les fréquences de nuages précipitants (4). Il semble par contre qu'en augmentant le nombre des observations, en recourant à des analyses de nuages horaires ou semi-horaires, ou puisse espérer obtenir une bonne estimation de la pluviométrie par les nuages, en début de saison, ou sur de courtes périodes de temps (la décade ou le mois), ce qui ne semble pas possible par le recours aux températures de surface. Les deux approches sont par conséquent complémentaires, et leur emploi confirme l'intérêt qu'il y a à utiliser Météosat, qui fournit simultanément des fichiers à la même résolution, immédiatement comparables, à partir des mêmes données. On peut penser que des analyses plus fines tenant compte des particularités locales du milieu (végétation, sol, hygrométrie), permettront d'améliorer les résultats obtenus avec les thermographies.

(3) Une correction atmosphérique est en cours d'expérimentation, par le recours aux données de la sonde verticale des satellites NOAA.

(4) Il est sûr qu'on peut espérer beaucoup améliorer la relation nuages précipitants/pluie, si l'on tient compte de paramètres correcteurs liés aux conditions physiques du milieu : situations en latitude, altitude, exposition...

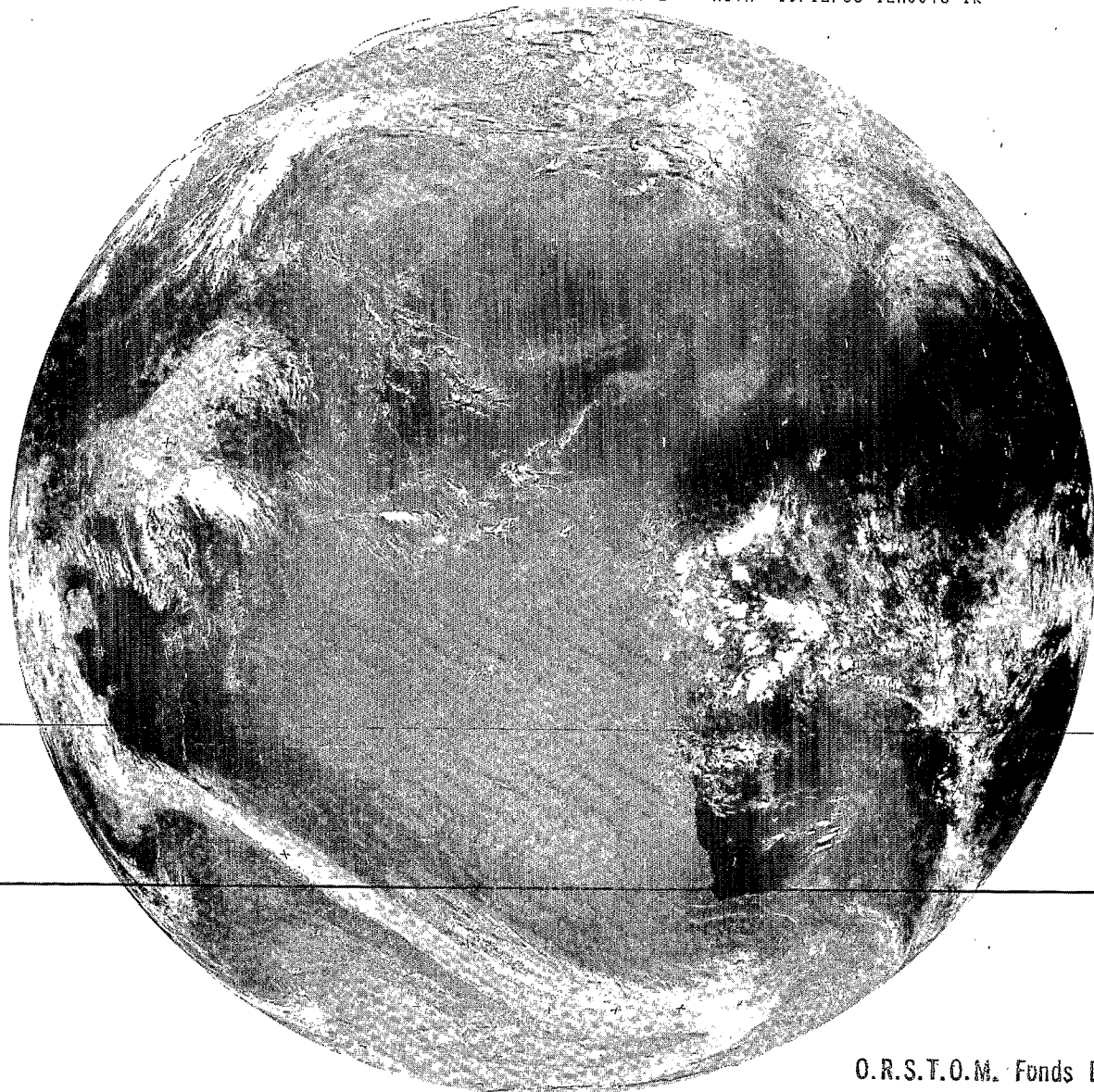
BIBLIOGRAPHIE

- ASSAD E., 1987 — Utilisation des satellites météorologiques pour le suivi agroclimatique des cultures en zone sahéenne. Cas du Sénégal. Thèse de doctorat. Université des Sciences et Techniques du Languedoc. Spécialité : Sciences de l'eau et aménagement - Montpellier, 258 p.
- ASSAD E., FRETEAUD J.P., KERR Y., LAGOUARDE J.P. ET SEGUIN B., 1986 - Des apports possibles de Météosat pour le suivi de la saison des pluies en zone sahéenne : cas du Sénégal. In : XXVI^e COSPAR, Toulouse, 30 juin-11 juillet 1986, Symposium n° 10, à paraître dans Adv. Space Res.
- BARRET E.C., 1984 - An interactive technique for satellite improved rainfall monitoring. Proc. EARSEL-ESA symposium on integrative approaches in Remote Sensing. Guilford-Vik 04/1984, ed. ESA.SP p. 191.200.
- DESCHAMPS P.Y. et PHULPIN T., 1980 - Atmospheric correction of infrared measurements of sea surface temperature using channels at 3.7, 11 and 12 μ m. Boundary - Layer Meteorology, 18 (1980): 131-143
- GUILLOT B., LAHUEC J.P. et BELLEC B., 1986 - Estimation des précipitations en Afrique de l'ouest par l'appréciation de l'activité de la convection profonde. In : XXVI^e COSPAR, Toulouse, 30 juin-11 juillet 1986, Symposium n° 10, à paraître dans Adv. Space Res.
- LAHUEC J.P., CARN M., GUILLOT B., 1986 - Convection et pluviométrie en Afrique de l'ouest - Bilan provisoire pour la saison 1986, 1^{er} mai-31 octobre. Veille climatique satellitaire - Bulletin n° 15, p. 19-24
- LAHUEC J.P., CARN M., 1987 - Relation entre température de surface Météosat et pluviométrie, au Niger, en 1986. A paraître in Veille Climatique Satellitaire, n° 17.
- MOORE D.G., HARLAN J.C., HEILMAN J.L., OHLEN D.O., ROSENTHAL W.D., 1983 - Infrared remote sensing for monitoring rainfall. Agric. Wat. Manag., 7 : 363-378.
- SEGUIN B., BAEZ S., MONGET J.M., PETIT V., 1982 - Utilisation de la thermographie I.R. pour l'estimation de l'évaporation régionale. Agronomie 2.

Ministère de la Coopération

VEILLE CLIMATIQUE SATELLITAIRE

METEOROLOGIE NATIONALE CMS LANNION - METEOSAT 2 - AIVH 19/12/86 12H00TU IR



O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N° : 23695 à 23704

Cpte R 23695 à 23704, ex 1

n°16 - Février 1987