

# ESTIMATION DES PRECIPITATIONS AU NIGER AU COURS DE LA SAISON DES PLUIES 1986 A PARTIR DE L'IMAGERIE INFRAROUGE METEOSAT BILAN ET CRITIQUE DES METHODES UTILISEES

par M. CARN — J.P. LAHUEC

« En début de saison, la pluviométrie ne peut être cartographiée (par la méthode des températures radiatives maximales)... et il faudra, dans ce cas, faire appel aux méthodes plus classiques recourant à l'analyse des nuages précipitants » (Imbernon et al., 1987).

Cette réflexion énoncée dans le bulletin n° 16 de la Veille Climatique Satellitaire, nous a conduit, à partir de l'étude de l'estimation des pluies par le recensement des nuages froids d'une part, et par la mesure des températures radiatives maximales d'autre part, à imaginer une méthode simple croisant ces deux paramètres. A notre connaissance, ni la confrontation des résultats obtenus par l'analyse des nuages et par l'étude du champ thermique, ni la conjugaison de ces deux méthodes n'ont encore jamais été faites dans le détail pour une région donnée.

Nous faisons dans cet article le point des résultats obtenus pour l'estimation des précipitations au Niger au cours de la saison 1986.

Cette région représente, de par sa situation géographique et l'abondance des données pluviométriques disponibles, une zone test particulièrement bien adaptée pour dresser un bilan de l'application de ces méthodes.

## **I. Les données utilisées et les champs correspondants : pluviométrie, occurrences de nuages à sommet froid et températures radiatives**

Les trois cartes présentées sur la figure 1 ont été dressées par interpolation automatique des valeurs entre les stations à l'aide du progiciel graphique NCAR-GKS.

### **I.1. Le champ pluviométrique**

Le champ pluviométrique est tracé à partir des relevés effectués dans les stations des réseaux synoptique et secondaire du pays, qui nous sont régulièrement communiqués par le centre Agrhymet de Niamey. Nous avons sélectionné les 50 stations dont le fonctionnement a été continu pendant la saison.

La principale réserve que nous puissions émettre à propos de ce réseau concerne la distribution spatiale des observatoires pluviométriques, puisque le quart nord-est du pays, subdésertique, en est quasiment dépourvu.

Les valeurs extrêmes du champ de précipitations ont été enregistrées à Gaya (870 mm ; 11°88 N) et à Bilma (3 mm ; 18°68 N)

Les courbes isohyètes (Fig. 1), fortement redressées vers le nord dans la partie centrale du pays, marquent l'effet des reliefs de l'Aïr sur la convection. Dans la partie ouest et sud-ouest, elles dessinent au contraire un mouvement convexe orienté vers le sud. Il est à noter que le gradient des courbes est plus fort dans le sud du pays. L'allure générale du champ pluviométrique est comparable au champ moyen interannuel (Leroux, 1984), mais décalé vers de plus faibles valeurs.

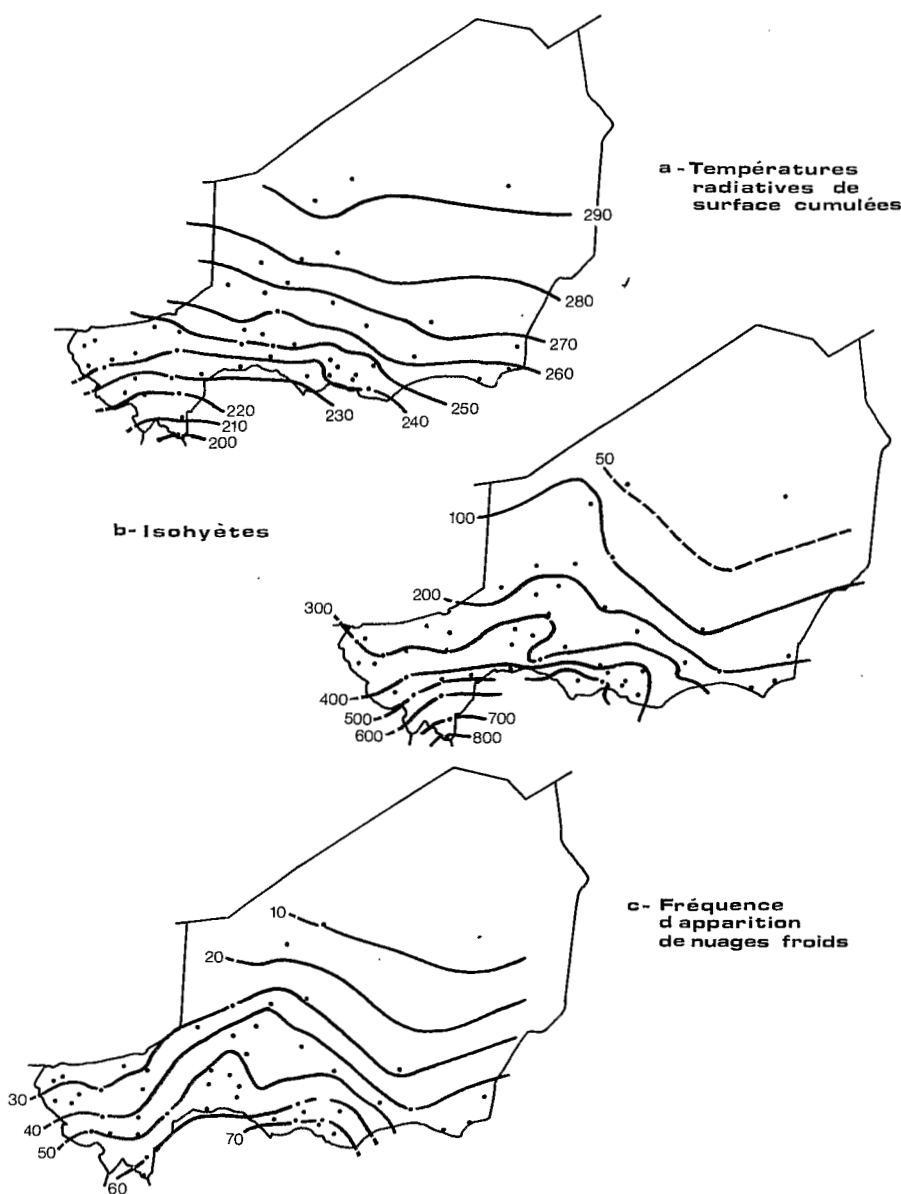


Figure 1. — **PRECIPITATIONS, OCCURRENCES DE NUAGES A SOMMET FROID ET TEMPERATURES RADIATIVES MAXIMALES.** Niger, saison 1986.

### 1.2. Le champ d'occurrences des nuages à sommets froids

Le recensement des nuages à sommet froid est réalisé dans le canal infrarouge thermique. Le traitement consiste à comptabiliser sur chaque image (6 par jour), les pixels dont les comptes numériques indiquent des températures inférieures à  $-40^{\circ}\text{C}$ , puis à cumuler les comptages réalisés sur des périodes, décadaires, mensuelles et saisonnière.

Le champ d'occurrences saisonnier (fig 1) rappelle par la forte ondulation de ses isocontours l'allure générale du champ de précipitations. Nous y retrouvons la poussée des courbes vers le nord, centrée sur les reliefs de l'Aïr, poussée qui se raccroche également aux fortes valeurs du plateau de Jos situé plus au sud. On y observe en outre un décrochement similaire des isolignes (courbes 50 occurrences sur la figure 1 b et 300 mm sur la figure 1 a) dans le centre-sud du pays.

Les valeurs extrêmes ont été mesurées à Bilma (4 occurrences) et à Gaya (74 occurrences).

### I.3. Le champ des températures radiatives maximales

Les températures radiatives maximales (que nous indiquerons par le symbole  $T_{max}$  dans la suite de cet article), sont mesurées dans le canal infrarouge thermique de  $10.5 \mu m - 12.5 \mu m$ , avec une résolution de  $4.4 \times 4.4 km$  au sous-point du satellite. Une synthèse archivant image après image (6 par jour), les valeurs minimales des comptes numériques pour chaque pixel est réalisée selon des pas de temps croissant : jour, pentade. Un cumul des résultats est ensuite effectué aux niveaux mensuel et saisonnier.

La figure 1 a décrit pour une période donnée, à la fois la réponse thermique des sols observés, mais aussi l'effet radiatif de l'atmosphère sus-jacente. La correction atmosphérique n'a pu être apportée car nous ne disposons pas de mesures du contenu en eau de l'atmosphère.

Les  $T_{max}$  cumulées décroissent régulièrement du nord vers le sud de la zone étudiée, (de  $90^{\circ}C$  sur six mois cumulés, soient  $15^{\circ}C$  en température moyenne mensuelle).

Les isothermes se répartissent zonalement avec une légère inclinaison vers l'est. L'allure générale des courbes d'isovaleurs est monotone ; à peine observe-t-on de légères inflexions dans la partie centrale plus montagneuse.

## II. Estimation des pluies au Niger en 1986 par l'analyse d'images Météosat

### II.1. Estimation de la pluviométrie à partir de la fréquence d'apparition des nuages froids ( $T^{\circ} \leq -40^{\circ}C$ )

Cette méthode appliquée par l'équipe ORSTOM et les néphanalystes du Centre de Météorologie Spatiale de Lannion, nous a conduit à définir un coefficient d'efficacité de précipitation, le Pcb, (Lahuec et al., 1986) qui est le rapport de la pluviométrie au nombre de nuages à sommets froids répertoriés.

#### a - Distribution spatiale des Pcb :

La fig. 2 représente la carte des Pcb pour la saison des pluies 1986 au Niger (1<sup>er</sup> mai au 31 octobre).

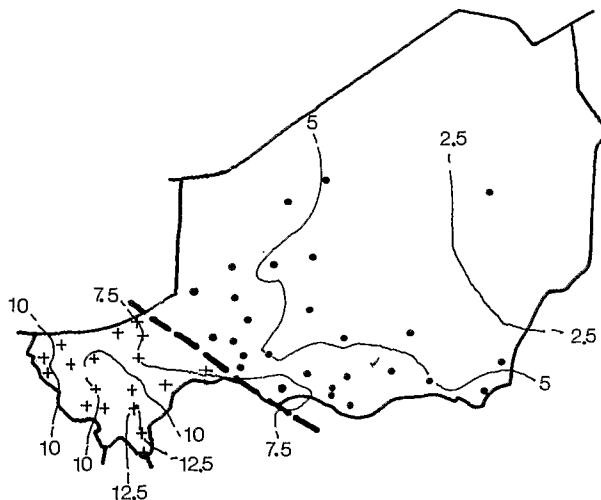


Figure 2. — CARTE DES Pcb.

Les Pcb s'inscrivent dans l'intervalle  $0,75 mm/Oc.$  à Bilma ( $18^{\circ}68N$ ) à  $13,6 mm/Oc.$  à Gaya ( $11^{\circ}88N$ ), valeurs proches de celles trouvées l'année précédente.

Dans la partie nord et nord-est du pays, soit approximativement au nord du  $14^{\circ}$  parallèle, les lignes d'isovaleurs sont fortement redressées en position méridienne, s'alignant ainsi avec les reliefs de l'Aïr ; le gradient des Pcb a dans cette zone une direction est-ouest.

Au sud-ouest du pays, le gradient des Pcb est dirigé du nord-ouest vers le sud-est.

Cette constatation nous amène à diviser schématiquement le Niger en deux zones d'efficacité des nuages précipitants (limite en trait pointillé gras sur la figure 2) :

— la partie sud-ouest soumise en permanence, selon les cartes produites dans le rapport annuel du centre Agrhymet, de mai à octobre, à l'influence de la ZITC, est le siège de fréquents passages de lignes de grains.

— la zone nord-est marquée par une pulsion saisonnière du FIT qui monte vers le nord du pays jusqu'au mois de juillet, puis redescend ensuite, reçoit essentiellement des précipitations dues à des foyers pluvio-orageux d'origine orographique (rapport Agrhymet).

**b - Etude de la relation pluies/occurrences de nuages à sommets froids.**

L'analyse statistique des 50 couples de valeurs étudiés (cf. tableau 1), montre que l'ajustement de régression obtenu par une fonction linéaire entre les pluies et les occurrences de nuages froids est médiocre, et cela d'un mois sur l'autre comme pour l'ensemble de la saison.

Périodes	Equations des droites de régression	Coefficients de Corrélation
Mai	Pe1 = 4.43 Oc - 1.61	r = 0.57
Juin	Pe1 = 4.29 Oc + 8.76	r = 0.39
Juillet	Pe1 = 6.80 Oc + 20.37	r = 0.64
Août	Pe1 = 5.92 Oc + 32.78	r = 0.61
Septembre	Pe1 = 1.67 Oc + 56.82	r = 0.15
Octobre	Pe1 = 2.40 Oc - 0.63	r = 0.44
Mai	Pe1 = 4.43 Oc - 1.61	r = 0.57
Mai et juin	Pe1 = 6.58 Oc - 11.50	r = 0.69
Mai à juillet	Pe1 = 8.42 Oc - 25.70	r = 0.72
Mai à août	Pe1 = 7.98 Oc - 11.38	r = 0.76
Mai à septembre	Pe1 = 6.89 Oc + 24.07	r = 0.68
Mai à octobre	Pe1 = 6.92 Oc + 12.10	r = 0.70

Pe1 = pluviométrie estimée (en mm)  
Oc = nombre d'occurrences

**Tableau 1 :** Evolution temporelle de la relation pluies/occurrences de nuages froids au Niger en 1986.

Si l'on classe les stations en deux populations correspondant aux zones précédemment délimitées, on constate une très nette amélioration de la corrélation au niveau de la saison complète, puisque les coefficients obtenus sont respectivement r = 0.87 et r = 0.92 (fig. 3).

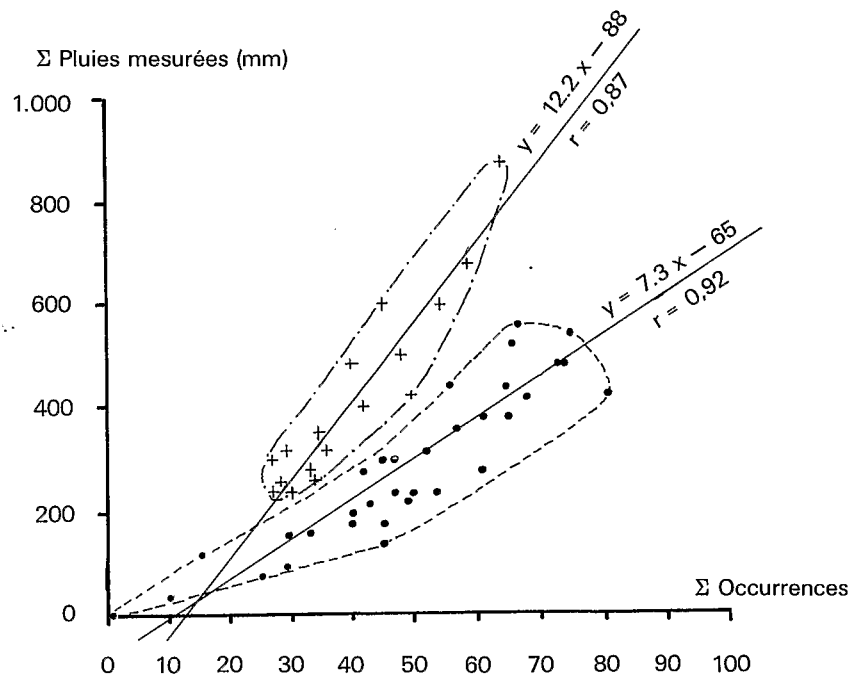


Figure 3. — **RELATION PLUVIOMETRIE OCCURRENCES DES NUAGES A SOMMET FROID.**

(+ : zone sud ouest  
● : zone nord est)

Le déficit de corrélation entre la pluviométrie et la fréquence d'apparition des nuages froids provient :

- d'une légère inadéquation entre les nuages sélectionnés par le seuil à  $-40^{\circ}\text{C}$  et les nuages effectivement précipitants.
- de la grande variabilité spatiale des précipitations produites par un même amas convectif.
- de pluies provoquées par des épisodes convectifs brefs non comptabilisés ou de façon insuffisante sur les images archivées toutes les trois heures.
- enfin, des erreurs relatives à la mesure des pluies au sol, inhérentes à toute pluviométrie.

Le seuil thermique ( $-40^{\circ}\text{C}$ ) de discrimination des nuages précipitants a été déterminé à la suite d'une étude approfondie, fondée sur la comparaison des images visibles et I.R.-thermique Météosat d'un grand nombre de situations météorologiques en zone tropicale ; il nous semble être le mieux adapté pour l'établissement d'une méthode opérationnelle d'estimation des précipitations. Il n'est cependant pas parfait, et l'on peut en dénombrant les occurrences comptabilisées en l'absence de pluies au cours des mois de mai et octobre déduire une estimation de l'erreur minimale introduite.

Au cours de ces deux mois, des occurrences non pluvieuses ont été recensées dans 27 stations du réseau. La proportion moyenne de ces occurrences « sèches » par rapport à l'ensemble de celles perçues à ces stations pendant la saison des pluies est de 7,2 %.

A l'inverse, des chutes de pluies non négligeables (8,6 mm à Tillia, en mai ; 6,0 mm à In'gall, en octobre) n'ont pas été détectées sur les images correspondantes, ce qui représente respectivement pour les deux stations 5,5 % et 3,5 % de la hauteur de pluie totale saisonnière.

## II.2. Estimation de la pluviométrie à partir des températures maximales

L'utilisation de la mesure des températures radiatives maximales à partir de la thermographie I.R. Météosat, imaginée par l'équipe du CIRAD de Montpellier (Assad et al. 1986, Imbernon et al. 1987), comme indicateur de l'état d'humidité des sols et donc de l'empreinte à la surface des pluies reçues, a donné des résultats forts encourageants au Sénégal en 1986.

Nous avons réalisé une étude semblable au Niger pour la même période. Le tableau 2 présente les équations des droites d'ajustement qui relient la pluviométrie et les  $T^{\circ}\text{max}$  pour des périodes mensuelles et plurimensuelles croissantes. Si la dispersion des points reste importante au niveau mensuel, on constate une nette amélioration de la corrélation dès lors que la période d'observation s'allonge.

Périodes	Equations des droites de régression	Coefficients de Corrélation
Mai	$Pe_2 = 4.38 T + 225$	$r = -0.62$
Juin	$Pe_2 = 2.86 T + 161$	$r = -0.53$
Juillet	$Pe_2 = -10.83 T + 536$	$r = -0.55$
Août	$Pe_2 = -7.43 T + 372$	$r = -0.73$
Septembre	$Pe_2 = -6.96 T + 313$	$r = -0.66$
Octobre	$Pe_2 = -2.04 T + 98$	$r = -0.60$
Mai	$Pe_2 = -4.38 T + 226$	$r = -0.62$
Mai et juin	$Pe_2 = -3.50 T + 375$	$r = -0.67$
Mai à juillet	$Pe_2 = -6.21 T + 978$	$r = -0.65$
Mai à août	$Pe_2 = -7.26 T + 1483$	$r = -0.77$
Mai à septembre	$Pe_2 = -7.75 T + 1907$	$r = -0.86$
Mai à octobre	$Pe_2 = -7.24 T + 2139$	$r = -0.88$

$Pe_2$  = Pluie estimée (mm)

$T$  =  $T^{\circ}\text{max}$

**Tableau 2 :** Relation entre pluviométrie et températures radiatives maximales.

La pente négative de la droite ajustée peut être interprétée comme un coefficient de refroidissement des sols par les pluies (fig. 4).

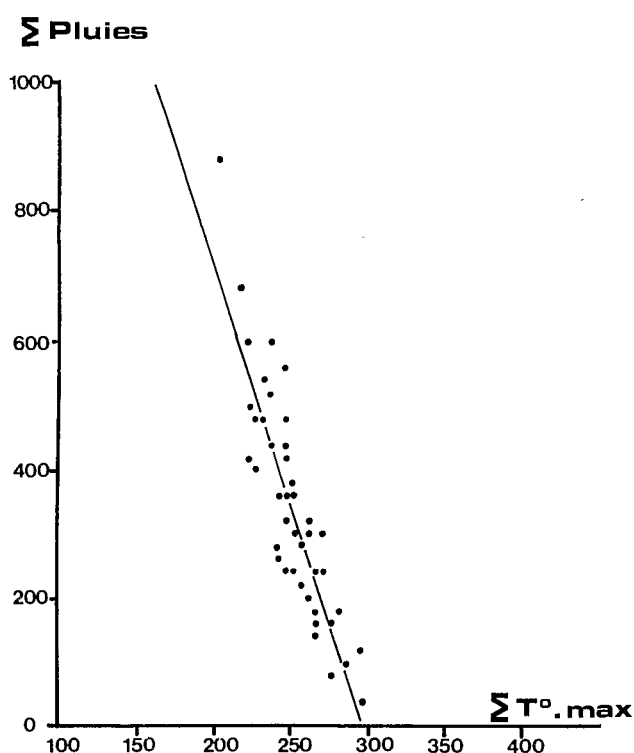


Figure 4. — **RELATION PLUVIOMETRIE/T max.**

Les relations exprimées dans le tableau 2, sous la forme  $y = ax + b$ , montrent qu'au niveau mensuel, en début de saison, lorsque le couvert végétal est réduit et les sols très asséchés, le coefficient de refroidissement est fort ( $a = 4,4$  en mai et  $a = 2,2$  en juin). Dès le mois de juillet, sans doute à cause d'un effet tampon produit par la végétation reconstituée et de la réhydratation des sols, ce coefficient s'affaiblit de manière importante.

Au niveau saisonnier, la valeur trouvée pour ce coefficient au Niger ( $a = -7,2$ ) est sensiblement plus faible que celle calculée pour la même période au Sénégal. Ceci s'explique probablement par des effets de sols (nature, fertilité, état du couvert végétal), mais aussi par une différence dans les effets atmosphériques, le Sénégal étant davantage soumis aux influences océaniques.

En ce qui concerne le Niger, le gradient moyen intermensuel du taux d'humidité relative de l'air entre les deux stations extrêmes, Iférouane ( $19,6^{\circ}\text{N}$ ) et Gaya ( $11,88^{\circ}\text{N}$ ) est proche de 50 %.

On peut néanmoins raisonnablement penser — les coefficients de corrélation trouvés le montrent — que la non-corrrection des effets atmosphériques ne pénalise que fort peu cette méthode d'estimation des pluies, étant entendu que le gradient du taux d'humidité de l'air joue dans le même sens que celui du taux d'humidité des sols.

### **II.3. Méthode d'estimation conjuguant le décompte d'occurrences et les températures radiatives maximales**

A partir des relations énoncées dans les paragraphes précédents, une formule moyenne a été établie :

$$Pe = (Pe1 + Pe2)/2$$

Elle permet d'estimer un champ pluviométrique qui rend compte à la fois du passage des événements nuageux pluvigènes et du refroidissement au sol provoqué par les pluies.

La forme générale de cette relation est :

$$Pe = a Oc - b T^{\circ}\text{max} + c$$

Les valeurs de a, b et c pour les différentes périodes choisies, sont indiquées dans le tableau 3.

Périodes	Equations des courbes
Mai	$Pe = 2.21 Oc - 2.19 T^{\circ} + 112$
Mai et juin	$Pe = 3.29 Oc - 1.75 T^{\circ} + 181$
Mai à juillet	$Pe = 4,21 Oc - 3.11 T^{\circ} + 476$
Mai à août	$Pe = 3.99 Oc - 3.63 T^{\circ} + 736$
Mai à septembre	$Pe = 3.45 Oc - 3.88 T^{\circ} + 966$
Mai à octobre	$Pe = 3.46 Oc - 3.62 T^{\circ} + 1.075$

**Tableau 3 :** Relation entre pluviométrie mesurée et pluviométrie estimée par la méthode croisée.

La validité de ces équations a été testée par rapport aux relevés pluviométriques effectués aux 50 stations choisies (tableau 4 et figure 5).

Périodes	Equations des courbes de régression	Coefficients de Corrélation
Mai	$Pv = 1.22 Pe - 3.0$	$r = 0.64$
Mai et juin	$Pv = 1.20 Pe - 10.6$	$r = 0.74$
Mai à juillet	$Pv = 0.06 Pe^{1.56}$	$r = 0.88$
Mai à août	$Pv = 0.80 Pe^{1.03}$	$r = 0.91$
Mai à septembre	$Pv = 0.13 Pe^{1.35}$	$r = 0.923$
Mai à octobre	$Pv = 0.11 Pe^{1.37}$	$r = 0.925$

**Tableau 4 :** Evolution temporelle de la relation entre pluies mesurées et pluies estimées.

Le meilleur ajustement de régression est obtenu, sauf pour la période couvrant les deux premiers mois, par une fonction de puissance de la forme :

$$Pv = a' Pe^{b'}$$

Cela signifie que l'application de cet algorithme « double » conduit à une sous-estimation croissante de la pluie calculée, pour les valeurs pluviométriques fortes — supérieures à 375 mm dans le cas de la saison complète, sur 6 mois — et au contraire à une surestimation pour la zone nord, la moins arrosée (fig. 5).

D'après le tableau 4, le coefficient de corrélation obtenu est satisfaisant au-delà d'une durée minimale de deux mois, soit dès le mois de juillet.

En outre, cette méthode améliore très nettement la valeur de l'ajustement obtenu pour des bilans plurimensuels croissants (tableau 5).

Périodes	T°max	Occ	(T°max+Oc)/2
Mai	$r = -0.62$	$r = 0.57$	$r = 0.64$
Mai et juin	$r = -0.67$	$r = 0.69$	$r = 0.74$
Mai à juillet	$r = -0.65$	$r = 0.72$	$r = 0.88$
Mai à août	$r = -0.77$	$r = 0.76$	$r = 0.91$
Mai à septembre	$r = -0.86$	$r = 0.68$	$r = 0.923$
Mai à octobre	$r = -0.88$	$r = 0.70$	$r = 0.925$

**Tableau 5 :** Estimation des pluies au Niger en 1986. Efficacité comparée des trois méthodes.

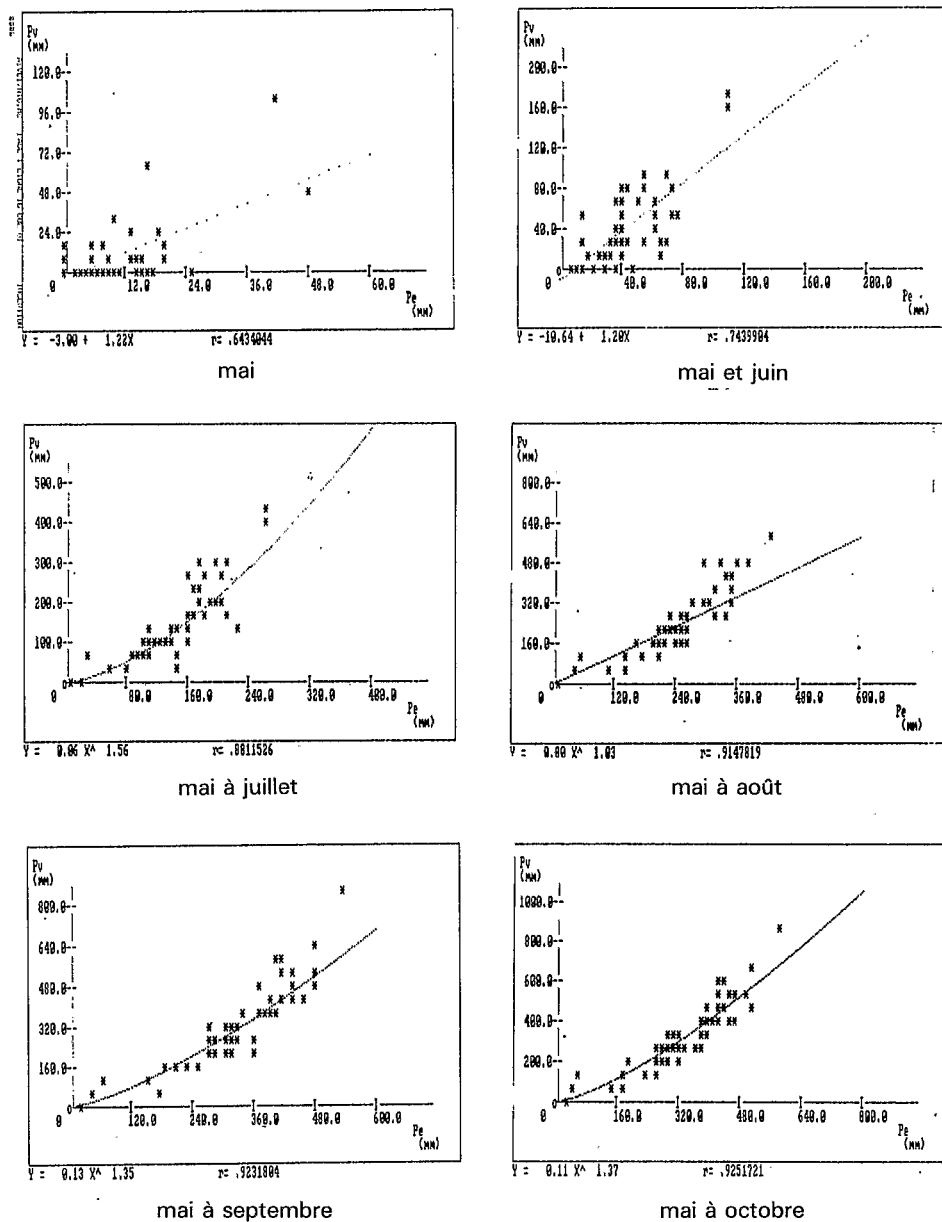


Figure 5. — **PLUVIOMETRIE MESUREE ET PLUVIOMETRIE ESTIMEE PAR LA METHODE CROISEE AU COURS DE LA SAISON 1986 AU NIGER.**

Le champ de pluies saisonnier, reconstitué à partir de la relation exposée dans le tableau 3 est représenté sur la figure 6.

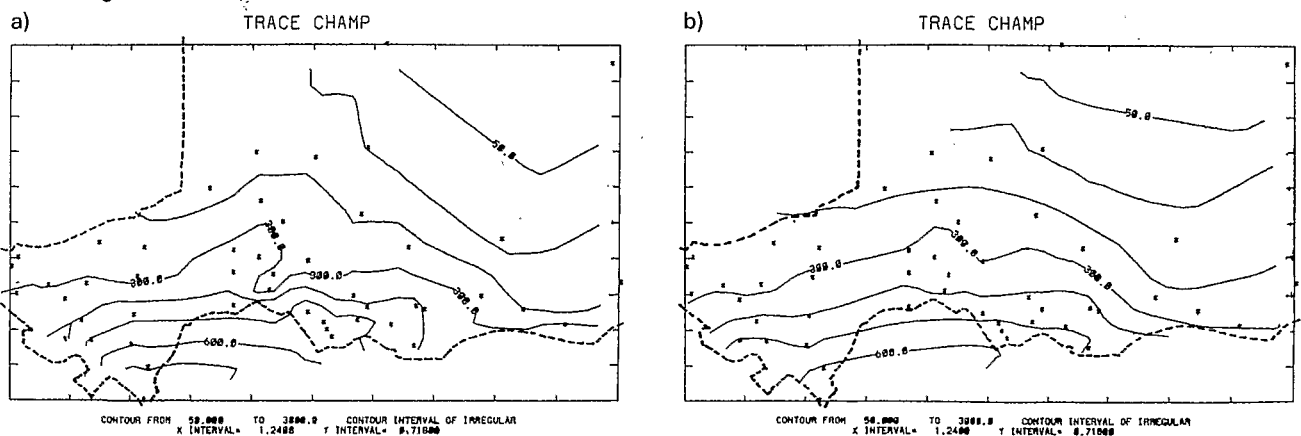


Figure 6. — **CHAMPS PLUVIOMETRIQUES MESURE (a) ET RECONSTITUEE PAR LA METHODE D'ESTIMATION CROISEE (b).**



## Conclusion

Nous avons appliqué trois méthodes d'estimation de la pluviométrie au Niger en 1986, à partir de l'imagerie Météosat.

Les deux premières, fondées sur l'observation d'un seul paramètre, respectivement le nombre d'occurrences de nuages à sommets froids et la température radiative maximale, donnent des résultats satisfaisants à l'échelle de la saison mais sont inapplicables pour des pas de temps plus courts en l'état actuel des traitements réalisés (6 images/jour).

A partir des relations établies par ces deux méthodes simples pour des pas de temps croissants plurimensuels, nous en avons déduit une méthode « croisée ». Les résultats obtenus sont encourageants, puisque dès le mois de juillet les précipitations peuvent être appréciées avec une marge d'erreur de l'ordre de 20 %.

Dès la saison 1987, nous utiliserons une chaîne d'acquisition dédiée à ce programme et avec des images acquises à un pas de temps horaire ; nous en attendons une nette amélioration des résultats à des échelles de temps plus fines (mensuelles et peut-être décadaires).

Bien que les méthodes utilisées conservent un caractère empirique impliquant un certain nombre de limites évoquées ci-dessus, le passage à une application à moyen terme semble désormais envisageable dès lors que nous disposerons de plusieurs saisons d'observation.

## BIBLIOGRAPHIE

PHILANDER S.G.H., 1986 — Unusual conditions in the tropical Atlantic Ocean in 1984. Nature vol. 322, pp. 236-238.

MARSOUIN A., et LE BORGNE P., 1986 — Determination of incident solar irradiance at the surface from Meteosat visible data : adjustment of an operational method. in 6th Meteosat Scientific Users Meeting, Amsterdam, novembre 1986.

IMBERNON J., ASSAD E., GUILLOT B., et DAGORNE D. — Veille Climatique Satellitaire, n° 16, p. 49-57.

LE ROUX M., 1983 — Le climat de l'Afrique tropicale. Atlas, Editions Champion.

LAHUEC J.P., BELLEC B., DAGORNE D., GUILLOT B., NOYALET A. et SOULABAIL C., 1986 — Veille Climatique Satellitaire, n° 13, p. 13-19.

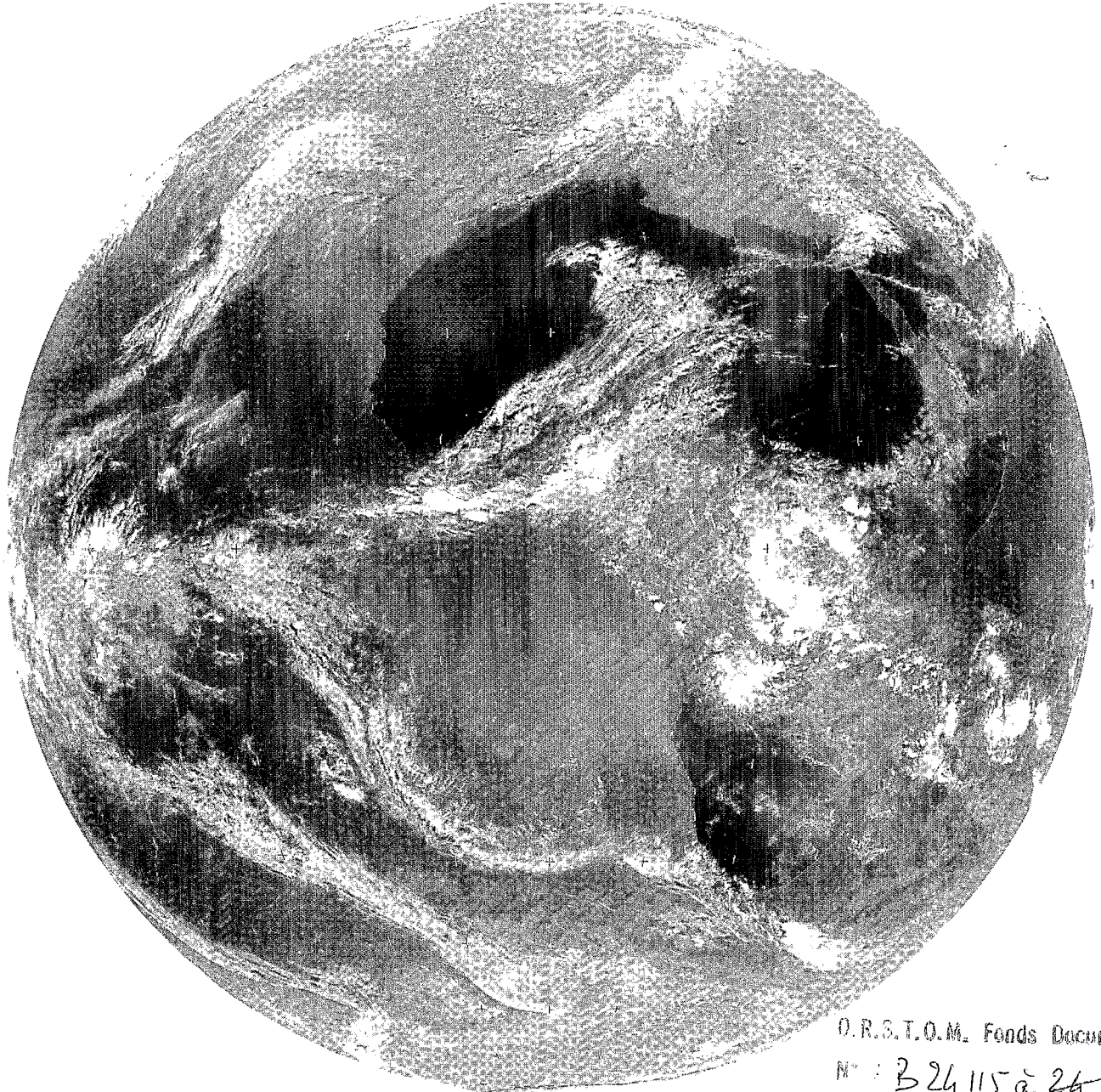
Rapport Agthymet

ASSAD E., SEGUIN B., KERR Y., FRETEAUD J.P. et LAGOUARDE J.P., 1986 — Veille Climatique Satellitaire, n° 13, p. 21-29.

Ministère de la Coopération

# VEILLE CLIMATIQUE SATELLITAIRE

METEOROLOGIE NATIONALE CMS LANNION - METEOSAT 2 - AIVH 28/ 3/87 12H00TU IR



O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire  
N° 326115 à 26123  
Cote 1