

EVALUATION D'ESTIMATIONS DE PLUIE PAR SATELLITE SUR L'AFRIQUE DE L'OUEST

Henri LAURENT, ORSTOM, Montpellier, France
Yves ARNAUD, ORSTOM, Niamey, Niger

1. Introduction

L'estimation quantitative de la pluie est un problème de première importance. A une échelle globale les précipitations, en particulier les précipitations tropicales, jouent un rôle primordial dans le bilan énergétique global et la circulation générale atmosphérique. A une échelle régionale, la pluie est cruciale pour l'économie de nombreux pays. La densité de pluviomètres étant très faible dans les tropiques, des efforts ont été accomplis depuis plusieurs années pour essayer d'estimer la pluie à partir des données satellitales. S'appuyant sur les recommandations de GEWEX (Global Energy and Water Cycle Experiment), plusieurs programmes internationaux s'intéressent aux estimations globales de la pluie par satellite, comme GPCP (Global Precipitation Climate Project, Wilkerson, 1988) ou TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission, Simpson et al., 1991). Le programme EPSAT (Estimation des Précipitations par Satellite, Cadet et Guillot, 1991) vise à améliorer les estimations de pluie par satellite sur les pays d'Afrique de l'ouest où la pluie est liée à des problèmes humains et économiques.

Il existe de nombreux algorithmes pour estimer la pluie à partir des données satellitales (pour une revue, cf. Barrett and Martin, 1981). Parmi ces algorithmes, nous en avons choisi deux simples, qui peuvent être utilisés facilement de manière opérationnelle : la méthode du groupe TAMSAT de l'université de Reading (Dugdale et al., 1990), et la méthode développée par l'équipe ORSTOM de LANNION (Carn et al., 1989). Ces deux méthodes fournissent opérationnellement des estimations décennales de la pluie en utilisant les images du canal infrarouge thermique (IR) du satellite géostationnaire METEOSAT. La pluie dans les régions sahélienne est apportée par d'importants systèmes convectifs tels que les lignes de grains. On peut estimer la pluie à partir des images IR avec l'hypothèse que les précipitations sont liées à l'activité convective, et que l'activité convective d'un nuage est liée à la hauteur (ou encore la température) du sommet du nuage.

2. Données et méthodes

La méthodologie utilisée dans les estimations de pluie TAMSAT (Dugdale et al., 1990) s'appuie sur la durée, en chaque pixel METEOSAT, de présence de nuage froid pendant la période de 10 jours considérée (cette durée est également appelée occurrence de sommets froids). Un point important dans toute méthode basée sur la température du sommet des nuages est le choix du seuil permettant de séparer les nuages pluvio-gènes des nuages non-pluvio-gènes. La valeur du seuil utilisé dans la méthode TAMSAT varie spatialement et temporellement : l'Afrique boréale est divisée en 9 zones supposées être homogènes du point de vue de la climatologie de la pluie ; dans chaque zone le seuil est constant durant un mois. Pour chaque zone et chaque mois, un seuil entre -40 et -60°C est sélectionné à partir de plusieurs années de données. Ensuite, une régression avec les observations permet d'obtenir une calibration de la forme :

$$R = a \text{OCC} + b, \quad R = 0 \text{ si } \text{OCC} = 0$$

où R est la pluie en mm et OCC est l'occurrence de sommets froids en heures.

Les calibrations sont réajustées chaque année. Les coefficients utilisés ici sont ceux de 1992 (c.a.d. calibrés sur 1991 et les années précédentes), appliqués sur les images de la saison des pluies 1989. D'un côté cela devrait améliorer les résultats puisque les observations de 1989 ont été prises en compte pour la calibration. D'un autre côté, les calibrations ne sont pas nécessairement stables d'une année sur l'autre (Dugdale et al. 1990).

décades de la période d'étude. On calcule de la même manière une erreur quadratique moyenne. La corrélation spatiale rend compte de la distribution spatiale des précipitations.

- une corrélation temporelle : les calculs sont effectués pour les séries temporelles (8 décades) à chaque point de validation ; les résultats sont ensuite moyennés sur les 128 points.

Le Tableau 1 montre ces différents coefficients de corrélation et erreurs quadratiques moyennes pour les quatre estimateurs. L'importante corrélation spatiale de CLIM souligne le rôle de la répartition spatiale moyenne (par ex. le gradient pluviométrique nord-sud) dans les estimations du champ de pluie global. Les intervalles de confiance du Tableau 1 ont été calculés avec une transformation de Fisher (Kendall et Stuart, 1963). Ceci suppose que les distributions sont égales, ce qui n'est pas vrai : des intervalles de confiance réalistes sont vraisemblablement plus larges que ceux présentés. On peut donc conclure à partir du Tableau 1 que le coefficient de corrélation GAUGES n'est pas significativement différent des coefficients de LANNION et TAMSAT.

Une autre approche consiste à utiliser les quantiles, ce qui permet d'avoir des distributions identiques. Pour chaque station et chaque décade, on a calculé le quartile inférieur, le second quartile (c.a.d. la médiane) et le quartile supérieur à partir des séries climatologiques. Pour un quartile Q, on calcule le score des estimations (E) par rapport aux pluies observées (O) : score 1 : E et O < Q ; score 2 : E < Q et O ≥ Q ; score 3 : E ≥ Q et O < Q ; score 4 E et O ≥ Q. En considérant que les séries sont approximativement indépendantes, on peut estimer un intervalle de confiance. L'intervalle de confiance à 95% pour la probabilité p est calculé comme : $2 (p (1-p) / n)^{1/2}$, où n est le nombre de valeurs. Cet intervalle est de l'ordre de 0.03 en général, avec n=8x128.

Les scores 1 et 4 indiquent le nombre de bon accord entre estimation et validation. On retrouve dans les résultats présentés dans le Tableau 2 le fait que l'estimation CLIM ne peut apprécier les faibles (scores 1 et 2, quartile inférieur) ou les fortes pluies (scores 3 et 4, quartile supérieur) ; de plus, du fait de l'asymétrie des distributions de pluie, les estimations CLIM sont nettement supérieures aux valeurs médianes climatologiques.

Un bon estimateur devrait être capable de détecter les faibles pluies (Tab. 2a, score 1), les pluies importantes (Tab. 2c, score 4) et de donner une bonne estimation de la pluie dans son ensemble (Tab. 2b, scores 1+4).

Les scores de LANNION et GAUGES apparaissent similaires, et légèrement mais significativement (en considérant les intervalles de confiance à 95%) meilleurs que les scores de CLIM. TAMSAT se situe au milieu.

4. Conclusion

Quatre méthodes d'estimation de la pluie décadaire ont été comparées pour la région sahélienne et la saison des pluies 1989. TAMSAT est une méthode basée sur les données satellites, et calibrée sur les années antérieures ; LANNION est une méthode combinant les données satellite et les observations pluviométriques disponibles en temps réel ; CLIM est une simple estimation climatologique ; GAUGES est une méthode utilisant uniquement les données pluviométriques. Si le problème de la validation des estimations de pluie n'a pas été résolu ici, on peut cependant tirer quelques enseignements de cette étude. Les estimations basées sur les données satellite et/ou les observations au sol donnent de meilleurs résultats qu'une simple estimation climatologique. En dépit de la très faible densité du réseau d'observations sol, les estimations à partir de ce réseau peuvent être prises en considération : les estimations GAUGES soutiennent largement la comparaison avec les estimations LANNION et TAMSAT.

		LANNION	TAMSAT	CLIM	GAUGES
Correlation spatiale	R	55	59	52	60
	RMSE	21.3	19.1	26.0	37.7
Correlation temporelle	R	57	51	31	57
	RMSE	23.4	12.8	15.0	34.8
Correlation totale <i>intervalle de confiance à 95 %</i>	R	60	62	54	65
		55 63	57 65	49 58	61 68
	RMSE	41.5	46.6	43.9	40.5
	BIAS	-4.3	-20.4	-7.2	0.8

Table 1. Coefficient de corrélation spatial, temporel et total (%), erreur quadratique moyenne (mm) et biais (mm) des quatre estimateurs calculés pour 8 décades (21 juin-10 septembre 1989) par rapport à 128 stations pluviométriques. L'intervalle de confiance à 95% est également porté.

a) 1er Quartile	LANNION	TAMSAT	CLIM	GAUGES
Score 1	4	8	0	8
Score 2	4	10	0	7
Score 3	16	12	21	13
Score 4	75	69	79	73
b) Mediane	LANNION	TAMSAT	CLIM	GAUGES
Score 1	22	34	8	25
Score 2	12	28	9	12
Score 3	21	9	34	17
Score 4	45	29	48	45
Score 1 + 4	67	63	57	70
c) 3e Quartile	LANNION	TAMSAT	CLIM	GAUGES
Score 1	55	64	66	52
Score 2	16	27	33	14
Score 3	11	2	0	15
Score 4	17	6	1	20

Table 2. Score (%) des quatre estimateurs pour le quartile inférieur (a), la médiane (b) et le quartile supérieur (c).

Références

Barrett E. C. and D. N. Martin, 1981 : The use of satellite data in rainfall monitoring. Academic Press, 340 pp.

Cadet D. and B. Guillot, 1991: EPSAT - Estimation des précipitations par satellite. 63 pp. [available at : ORSTOM-CMS, BP 147, F-22302 Lannion, France]

Carn M., J. P. Lahuec, D. Dagonne and B. Guillot, 1989 : Rainfall estimation using TIR METEOSAT imagery over the Western Sahel. 4th conf. on satellite meteorology and oceanography, San Diego, CA, Amer. Meteor. Soc., 126-129.

Dugdale G., V. D. McDouglas and J. R. Milford, 1990 : Potential and limitations of rainfall estimates for Africa derived from cold cloud statistics. 8th METEOSAT scientific users' meeting, Norköpping, Sweden. Eumetsat Publ. EUM P08, 211-220.

Flitcroft J. D., J. R. Milford and G. Dugdale, 1989 : Relating point to area average rainfall in semiarid West Africa and the implications for rainfall estimates derived from satellite data. J. Applied Meteor., 28, 252-266.

Kendall M. A. and A. Stuart, 1963 : The advanced theory of statistics. Griffin ed., 1730 pp.

Lebel T., H. Sauvageot, M. Hoepffner, M. Desbois, B. Guillot and P. Hubert, 1992 : Rainfall estimation in the Sahel : the EPSAT-NIGER experiment. Journal of Hydrological Sciences, 37, 201-215.

Simpson J. , R. F. Adler and G. R. North, 1988 : A proposed tropical rainfall measuring mission (TRMM) satellite. Bull. American Meteor. Soc., 68, 278-295.

Wilkerson J. C. (editor), 1988 : Report of the international workshop on the validation of satellite precipitation measurements for the global precipitation climatology project. WMO/TD-NO.203- WCRP-1, Geneva.

La méthode LANNION (Carn et al., 1989) estime également la pluie décadaire, avec la formule :

$$R = a \text{ OCC} + b \text{ Ts} + c \text{ Lat} + d, \quad R = 0 \text{ si OCC} = 0$$

Où R est la pluie, OCC l'occurrence de sommets froids pour un seuil de -40°C , Lat la latitude, Ts la moyenne des deux températures maximales de brillance IR pendant les deux pentades de la décade. Ts vise à représenter la relation entre la pluie et la température de surface. Une différence essentielle avec la méthode TAMSAT est que la régression est calculée à chaque décade, en utilisant les observations sol disponibles à la fin de la décade.

Pour évaluer la qualité d'une estimation de pluie, on peut tout d'abord la comparer avec une prévision climatologique. La plus simple prévision climatologique (appelée CLIM par la suite) consiste à prédire que la pluie pour une décade sera égale à la moyenne des cumuls relevés sur cette décade durant les 30 dernières années. Une autre possibilité consiste à comparer une estimation faite à partir de données satellite à une estimation faite à partir des observations au sol. Mettre en correspondance des mesures ponctuelles et des pluies intégrées spatialement n'est pas un problème simple (Flitcroft et al., 1989) et fait d'ailleurs l'objet d'études dans l'expérience EPSAT-Niger (Lebel et al., 1992). Ici on utilise une méthode très simple, appelée GAUGES par la suite : la pluie décadaire à un point de validation est calculée à partir des observations aux stations pluviométriques les plus proches. Celles-ci sont les stations situées dans un rayon de 40 km, ce rayon étant augmenté si on a moins de 2 stations. La valeur calculée est une moyenne pondérée, le poids étant proportionnel à l'inverse du carré de la distance.

Les images IR METEOSAT de la saison des pluies 1989 au Sahel ont été traitées avec les algorithmes TAMSAT et LANNION au centre AGRHYMET à Niamey. Ces images sont des fenêtres couvrant la bande sahéenne avec la pleine résolution temporelle et spatiale METEOSAT : 30 minutes et $5\text{km} \times 5\text{km}$. La période de l'étude est de 8 décades, du 21 juin au 10 septembre 1989. Les mesures de précipitations des stations synoptiques et des réseaux secondaires des pays sahéens ont été collectées et contrôlées par le centre AGRHYMET. La Figure 1 montre la distribution spatiale des stations pluviométriques utilisées. Sur un total de 367 stations, 163 ont été archivées en temps réel : elles sont utilisées pour la calibration des estimations LANNION et pour les estimations GAUGES. Les 204 restantes furent archivées plus tard : elles sont utilisées pour la validation des estimations. Pour 128 de ces 204 stations de validation, on dispose de séries d'observations assez longues pour calculer les distributions climatologiques de pluie sur la période 1959-1988 (CLIM). Seules ces stations sont utilisées pour la validation présentée dans ce papier

3. Résultats

La Figure 2 montre les diagrammes de dispersion des quatre estimateurs pour les 128 points de validation et pour les 8 décades. On a également porté le coefficient de corrélation linéaire, l'erreur quadratique moyenne (RMSE) et le biais (erreur moyenne : estimation moins observation). Le nuage de points pour l'estimation CLIM montre l'incapacité d'une méthode climatologique à prévoir les valeurs extrêmes. Le coefficient de corrélation de l'estimation GAUGES est le plus élevé, tandis que celui de LANNION devient le plus élevé quand on ne considère que les pluies inférieures à 150 mm. L'estimation TAMSAT présente un biais négatif important. Les deux estimateurs satellite montrent une saturation pour les décades très pluvieuses. Cela s'explique par : 1) le forçage climatologique inclus dans ces deux méthodes, et 2) l'incapacité à distinguer, à partir des images IR, un nuage très pluvigène d'un nuage normalement pluvigène.

Les corrélations de la figure 2 ont été calculées pour l'ensemble des points de validation. On peut également considérer :

- une corrélation spatiale définie, pour chaque décade, comme la corrélation linéaire des 128 pixels avec les observations sol correspondantes. La valeur finale est moyennée sur les 8

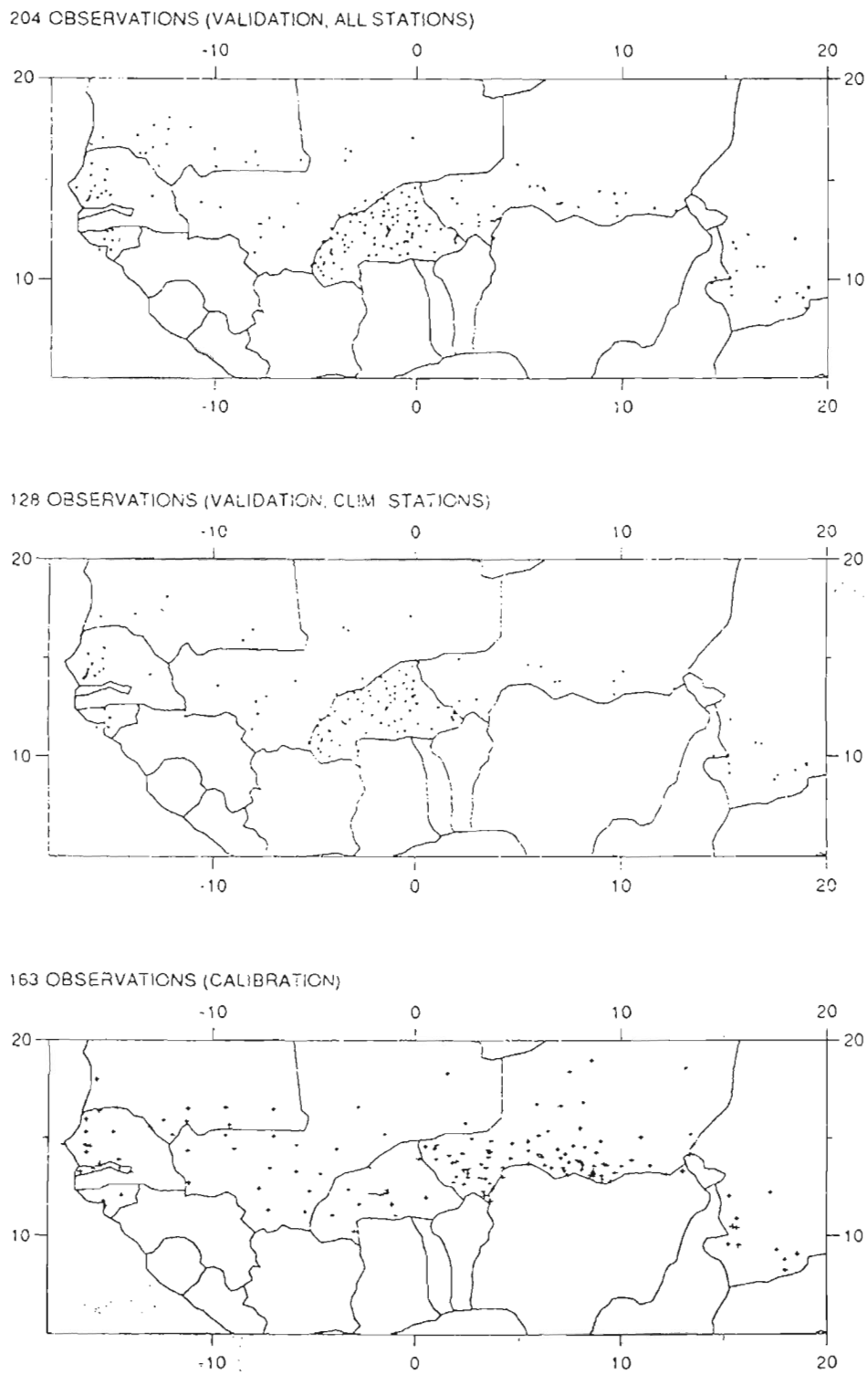


Figure 1. Réseau de pluviomètres. Stations utilisées pour les estimations LANNION et GAUGES (*bas*) ; stations utilisées pour la validation des estimations, en excluant les stations non climatologiques (*milieu*) ou non (*haut*).

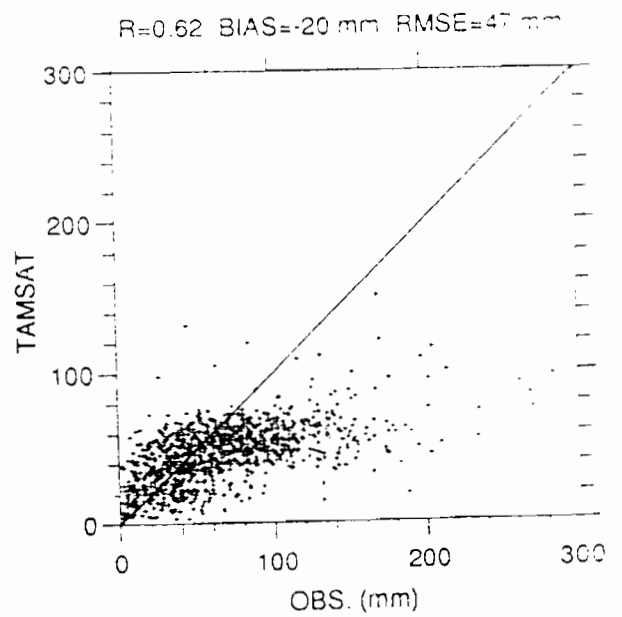
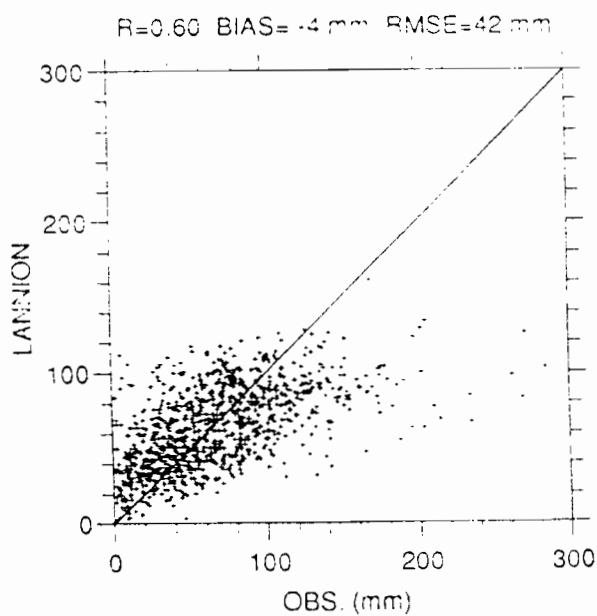
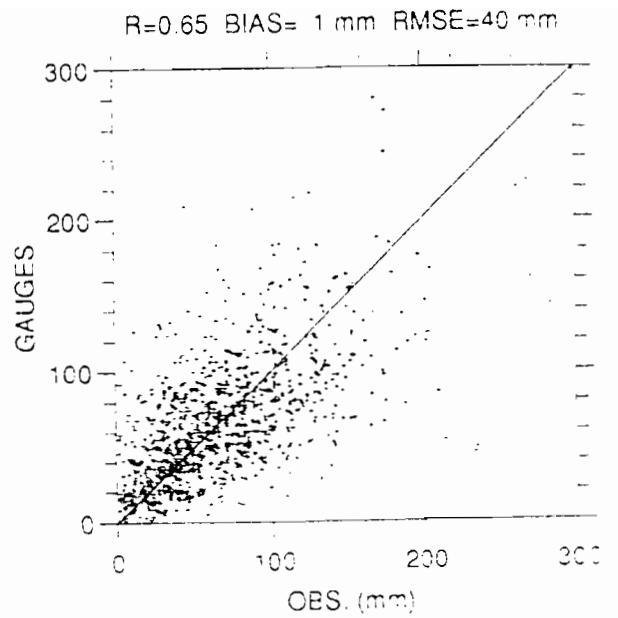
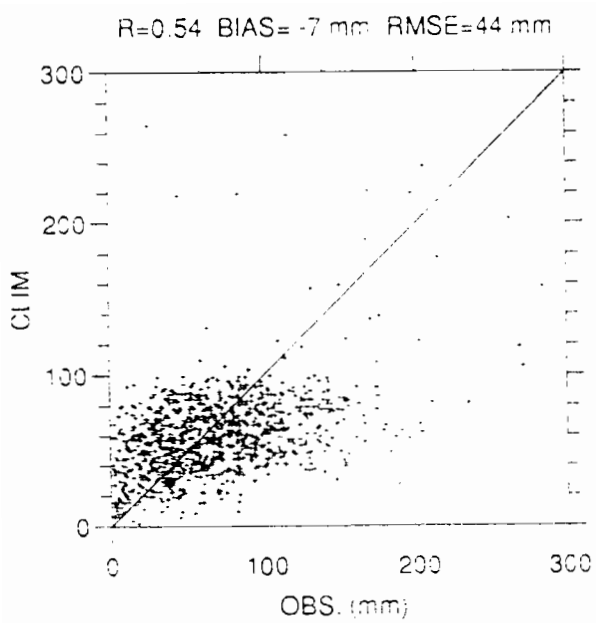


Figure 2. Valeurs estimées en fonction des valeurs observées pour les quatre estimateurs (cf. texte) pour 128 stations et 8 décades (21 juin-10 septembre 1989).

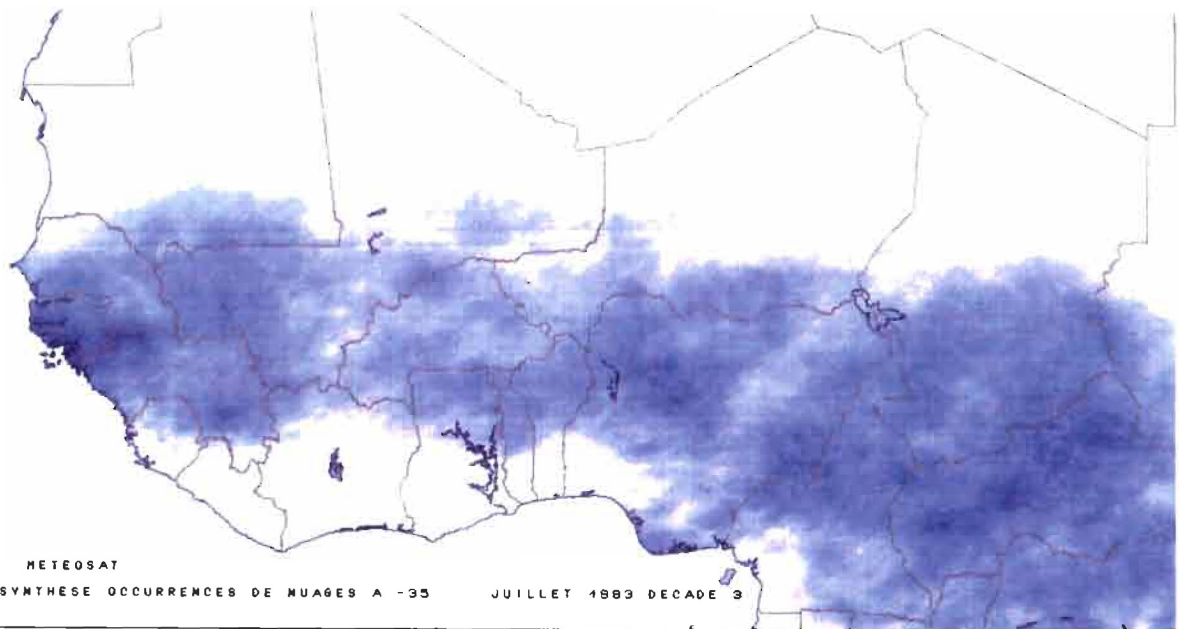


CILSS

PROGRAMME AGRHYMET

**ATELIER
ESTIMATION DES PLUIES PAR SATELLITE**

NIAMEY DU 02 AU 04 DECEMBRE 1993



CENTRE AGRHYMET : B.P. 11011 NIAMEY, NIGER
TEL: (227) 73. 31. 16. / 73. 24. 36.
FAX: (227) 73. 24. 35.

TABLE DES MATIERES

	Pages
- Programme de l'atelier	4
- Liste des participants	6
- Allocution d'ouverture du Directeur Général du Centre AGRHYMET	9
- Synthèse et conclusions	11
- Communications :	
. Bref exposé sur le phénomène "pluie" <i>A. BIZIMANA</i>	14
. Estimation des précipitations en zone sahélienne : l'expérience EPSAT - NIGER, une vérité sol adaptée <i>J.D. TAUPIN et T. LEBEL F 41246</i>	18
. La collecte des données pluviométriques pendant la campagne pluviale 1993 (1er mai - 31 octobre) et leur fiabilité <i>J.-L. DROUET</i>	32
. Evolution du DHC pour l'intégration des champs pluviométriques : sensibilité des termes du bilan hydrique des cultures simulé au pas de temps de calcul <i>X. GIRARD et S. BALLU</i>	47
. Le système Météosat <i>F. TALL</i>	55
. La chaîne de traitement AGRHYMET <i>J.-C. BERGES</i>	59
. Interface des stations Météosat/PDUS acquises par l'ASECNA <i>T. ROY</i>	63
. Description de la base de données utilisée pour la validation des algorithmes d'estimation des pluies <i>F. TALL</i>	67
. Estimateurs satellitaires de la pluviométrie enregistrée au Sahel <i>T. ROY</i>	74
. Climatologie des pluies et régionalisation <i>J.-C. BERGES</i>	87

. Méthode de filtrage des amas nuageux <i>L. CUNIN</i>	95
. Suivi de l'hivernage 1993 à l'aide des indicateurs occurrences de nuages à sommet froid et minima de températures radiatives <i>J.-L. DROUET</i>	101
. Over view of the FAO - ARTEMIS estimation activities <i>G. L. VAN HERWAARDEN</i>	118
. Estimation des pluies au Sénégal par la méthodologie TAMSAT : bilan provisoire des résultats de quatre années d'applications <i>A. TOURE, H. GEORGE, N. D. NDIAYE</i>	127
. Validation comparée des méthodes d'estimation de pluie EPSAT (Lannion) et TAMSAT (Reading) durant les décades de l'hivernage 1989 <i>F. TIMOUK</i> F 41247	135
. Evaluation d'estimations de pluie par satellite sur l'Afrique de l'Ouest <i>H. LAURENT et Y. ARNAUD</i> F 41248	140
. Comparaison des méthodes d'estimation des pluies AGRHYMET, EPSAT, TAMSAT au cours de la saison 1993 <i>J.-L. DROUET et L. CUNIN</i>	147
✓ . Validation des algorithmes d'estimation des précipitations par satellite (EPSAT et TAMSAT) sur le degré carré de Niamey pour les saisons des pluies 1990 et 1993 <i>Y. ARNAUD et J. D. TAUPIN</i> F 41248 bis	162
. Principes, limitations et perspectives des méthodes d'estimation des pluies par satellite <i>M. DESBOIS</i>	168
. Etude préliminaire des cumuls de pluie sahéliens <i>P. HUBERT et C. A. TOMA</i>	175