

**Soil water balance in the Sudano-Sahelian zone**  
(Niamey Workshop, February 1991)

**Precipitation estimation in the Sahel:  
The EPSAT-NIGER experiment**

**T. LEBEL**

ORSTOM, Mission au Niger, BP 11416, NIAMEY, NIGER

**ABSTRACT<sup>1</sup>.** The very severe drought affecting the Sahel for more than twenty years now has clearly demonstrated the fragility of the human and ecological equilibria in this part of Africa. Precipitation deficits accumulated over recent years are largely responsible for the present desertification of this region and for the increasing difficulties encountered by the inhabitants in their struggle to survive. Accordingly, EPSAT-NIGER (Estimation of Precipitation by SATellite - NIGER experiment) has been designed to improve our understanding of the precipitation systems of Sudano-Sahelian Africa and to develop operational rainfall estimation algorithms for this region. It is based on the combined use of a very dense raingauge network (95 gauges over a study area of 16 000 km<sup>2</sup>) and C-band weather radar system. The experiment is scheduled to last three years (1990-1992). A precipitation estimate, whatever combination of measurement devices used, is above all a problem of areal and temporal sampling. The raingauge network of the EPSAT-NIGER experiment will provide precise information on the areal variability of the rainfall measured on the ground. It will also serve as the "field reality" for calibration of the remote sensing systems. As a matter of fact, rainfall estimation from space is presently based on the cloud top and soil surface temperatures, as viewed in the infrared channels of the radiometers onboard geostationary satellites. The algorithms are crude statistical relationships between these data and ground rainfall measured using the scarce raingauge networks of the national meteorological services. Such estimates are good only at low spatial (several hundred to a few thousands of square kilometers) and temporal (over one month) resolutions. Furthermore these methods require regular in situ validations. In EPSAT-NIGER, it was consequently decided to assess the ground data needed for such validations. The errors involved will be evaluated for the various space and time scales of interest to hydrologists and agronomists. Beside, the use of microwave data, the resolution of which is far better, is also tested. Using statistical tools specific to random field analysis and thanks to the wide range of interstation distances available on the network (between 1 and 140 km), it has been possible to model the average correlation between rainfall measured at two points separated by any given distance d. The determination of a structure function modeling the "average" intercorrelations of the random field for a given time step offers the possibility of evaluating the raingauge network density required to estimate the rainfall on any given area to a predetermined accuracy level.

<sup>1</sup> Le texte complet correspondant à ce résumé est disponible en français  
O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

102 DEC. 1991  
N° : B 31889  
Cote : P56  
901

## Estimation des précipitations au Sahel: l'expérience EPSAT-NIGER

**T. LEBEL**

*ORSTOM, Mission au Niger, BP 11416, NIAMEY, NIGER*

**RESUME.** EPSAT-NIGER (Estimation des Précipitations par SATellite - expérience NIGER) est une expérience destinée à améliorer notre connaissance des systèmes précipitants de l'Afrique Soudano-Sahélienne, et à mettre au point des algorithmes opérationnels d'estimation des pluies sur cette région. Elle s'appuie sur l'utilisation conjointe d'un réseau de pluviographes (95 postes sur 16 000 km<sup>2</sup>) et d'un radar météorologique bande C. Sa durée prévue est de trois ans (1990-1992). En utilisant les outils statistiques propres à l'analyse des champs aléatoires, on a pu grâce au large spectre des distances interpostes du réseau, modéliser la corrélation moyenne entre les pluies mesurées en deux points séparés d'une distance  $d$  quelconque. La détermination d'une fonction de structure modélisant les intercorrélations "moyennes" du champ aléatoire pour un pas de temps donné, aboutit à évaluer la densité du réseau de pluviographes qui serait nécessaire pour estimer la pluie sur une surface quelconque avec un degré de précision connu et fixé a priori. Cette évaluation est nécessaire pour parvenir à une appréciation plus objective de la qualité des estimations basées sur l'imagerie satellitaire, puisque ces dernières sont dépendantes d'une validation sol.

### **LA PLUVIOMETRIE AU SAHEL : UN DEFICIT DE CONNAISSANCES**

La sécheresse très sévère qui touche l'Afrique Soudano-Sahélienne depuis plus de vingt ans, a mis en lumière la fragilité des équilibres humains et écologiques de cette région. Les ressources en eau constituent le facteur principal agissant sur ces équilibres. Elles sont souvent insuffisantes pour satisfaire les besoins agricoles, en particulier au Sahel. Autant que cette insuffisance, c'est l'extrême irrégularité temporelle et spatiale du régime pluviométrique, qui détermine les capacités de survie et d'adaptation des systèmes végétaux. La variabilité temporelle affecte la date de démarrage de la saison des pluies, la longueur de la période végétative, les intervalles entre épisodes pluvieux et, à l'intérieur de l'épisode pluvieux, pour un point donné, la répartition des intensités qui conditionne le pourcentage de l'eau précipitée qui pourra être retenu dans le sol et finalement utilisé par la végétation. Dans l'espace, le trait le plus connu du climat Sahélien est la répartition latitudinale régulière des isohyètes interannuelles. Cependant, à l'échelle d'une réalisation particulière, ce caractère très lisse des isohyètes a tendance à disparaître, sans qu'on sache caractériser cette variabilité du champ pluviométrique, que ce soit à l'échelle annuelle ou à celle de l'événement pluvieux, car les études sur ce sujet sont pratiquement inexistantes en Afrique Intertropicale. Cette lacune est en grande partie due au déficit en mesures adaptées, déficit qui est lui même imputable aux difficultés qu'opposent ces vaste étendues semi-arides et peu peuplées à l'implantation et la maintenance de réseaux sol suffisamment denses. L'expérience EPSAT-NIGER se propose donc d'acquérir les données nécessaires à une telle caractérisation, et d'en dériver des algorithmes d'estimation s'appliquant aux différentes échelles pertinentes pour les hydrologues, agronomes et modélisateurs du climat.

### ESTIMATION DES PLUIES PAR SATELLITE : NECESSITE D'UNE VALIDATION APPROPRIEE

La couverture du globe terrestre par les satellites météorologiques est particulièrement intéressante pour les zones intertropicales, car : 1) elle est constituée en partie de satellites géostationnaires positionnés au dessus de l'équateur et qui sont les seuls à produire des images sur des intervalles inférieurs à l'heure; 2) elle fournit des informations sur des régions pauvrement instrumentées en mesures sol. Il était donc naturel de songer à utiliser les données satellitaires pour estimer les précipitations au Sahel, à l'image des travaux de Griffith et al. (1981) sur les grandes plaines U.S., et surtout, en zone tropicale, de Barrett and Martin (1981), ou dans le cadre de GATE, de Woodley et al. (1980) et Richards and Arkin (1981). Dans ce dernier cas néanmoins, ce sont des régions océaniques qui étaient concernées, donc climatiquement très différentes du Sahel. Au Sahel, les travaux de Assad et al (1986), Carn et Lahuec. (1989), ainsi que ceux de l'équipe de Reading (Dugdale et al., 1991), ont montré un certain potentiel des algorithmes d'estimation utilisant comme indicateur pluviométrique, soit la température du sommet des nuages froids (<-40 ou -50°C), soit la température de surface du sol, qui est fonction de son humidité et donc des pluies reçues au cours des jours précédents. Néanmoins, les résultats obtenus restent modestes. Là où des études poussées ont été menées, plusieurs auteurs ont souligné que si le pouvoir de discrimination pluie/non pluie des données de satellites géostationnaires était réelle, leur capacité d'estimation aux échelles de temps inférieures à un mois (Wylie and Laitsch, 1983), ou plus petites (Negri and Adler, 1987), était très pauvre. Au Sahel, les résultats publiés jusqu'à présent concernent essentiellement des grands pas de temps (supérieurs à un mois), et leur appréciation souffre de la faiblesse des données de validation disponibles, d'autant plus que les algorithmes proposés nécessitent tous une recalibration permanente, et sont donc très dépendants des données sol qui leur servent de base d'étalonnage. Ce fait, signalé entre autres par Griffith (1987), impose une grande prudence et un grand soin dans la définition de la "vérité terrain". Pour toutes ces raisons, auxquelles il faut ajouter le fait que les estimations réellement intéressantes sont celles obtenues pour des pas de temps inférieurs à la décade, la mise en place d'un dispositif de validation sol soigné a été reconnu comme nécessaire pour:

- 1- caractériser ce qu'est une vérité terrain;
- 2- étudier l'influence de la qualité de cette vérité terrain sur l'étalonnage d'une part, la validation d'autre part, des données satellitaires;
- 3- comparer les estimations qui peuvent être obtenues à l'aide des données sol et à l'aide des données satellitaires;
- 4- étendre la gamme d'échelle de travail vers les résolutions fines, impossibles à atteindre avec les réseaux pluviométriques classiques;
- 5- déduire des différents points précédents, la combinaison de capteurs optimale pour étalonner des données satellitaires, et ce en fonction du degré de précision recherché et des aires élémentaires d'estimation;
- 6- améliorer les algorithmes actuels ou en développer de nouveaux, utilisant d'autres types de données, ou d'autres protocoles d'étalonnage.

Le point 1 est particulièrement important, car une tendance se fait jour, visant à attribuer au manque de représentativité spatiale des données ponctuelles, les écarts entre pluies estimées à partir des images satellite et pluies mesurées aux pluviomètres. Il est indiscutable que l'estimation d'une pluie moyenne à partir de mesures ponctuelles comporte une part d'erreur (e.g. Lebel et al., 1987) qu'il faut évaluer au cas par cas dans toute étude où la pluie moyenne estimée par un réseau sol est utilisée comme vérité terrain. Le réseau sol de EPSAT-NIGER permettra d'évaluer la validation nécessaire à l'estimation des pluies par satellite en mode opérationnel, ainsi que les erreurs induites en fonction des échelles de temps et d'espace considérées.

### UNE EXPERIENCE PILOTE : EPSA-NIGER

La région où est implantée EPSAT-NIGER - "le degré carré" des environs de Niamey - satisfait a priori aux critères d'échantillonnage et de représentativité qui doivent présider à ce genre de choix. Niamey est en effet une capitale située au coeur du Sahel. Le relief y est très uniforme, ce qui permet de minimiser les influences topographiques locales sur la dynamique des systèmes précipitants. La pluviométrie moyenne interannuelle est de 560 mm environ (564 sur la période 1905-1989, et 562 sur la période 1950-1989), avec un gradient latitudinal d'environ 100 mm par degré de latitude, soit de l'ordre de 1 mm/km (fig. 1). Niamey accueille l'AGRHYMET, centre opérationnel du CILSS (Comité Permanent Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse dans le SAHEL), chargé du suivi agrométéorologique sur le Sahel, et disposant de moyens de réception et de traitement des données satellitaires NOAA et METEOSAT. Niamey a également été choisi pour être le siège de l'ACMAD. Enfin la Direction de la Météorologie Nationale (DMN) possède un radar bande C, installé à l'aéroport au Sud-Est de la ville, permettant de surveiller l'arrivée des lignes de grains qui circulent d'Est en Ouest.

Reprenant un concept déjà mis en oeuvre dans FACE (Barnston et al., 1983), EPSAT-NIGER a été conçue autour de l'association d'un réseau de validation sol de pluviographes et d'un radar météorologique. Parallèlement, les données satellitaires sont archivées puis comparées aux données de validation. Le réseau de base est constitué de 93 pluviographes à mémoire statique couvrant une **zone d'étude** comprise entre 1°40' et 3°00' de longitude Est, et 13° et 14° de latitude nord, soit une surface de 16 000 km<sup>2</sup> environ (fig. 2). La densité moyenne est donc de un appareil pour 172 km<sup>2</sup>.

Cette zone peut être grossièrement divisée en une **zone de référence** de 10 000 km<sup>2</sup> à l'est de la ville (2°10' à 3°00' de longitude), et une **zone d'extension** de 6000 km<sup>2</sup> à l'ouest (1°40' à 2°10'). Sur la zone de référence, le réseau a la forme d'une grille à peu près régulière, munie d'une **cible** en son centre. L'interdistance entre noeuds de la grille est de 12.5 km; 64 appareils la composent, auxquels il faut ajouter 16 appareils supplémentaires concentrées dans la cible, et 2 appareils sur un bassin-versant proche. Au total, 82 stations sont donc situées dans la zone de référence, et 11 dans la zone d'extension. La cible correspond à une maille particulière, où sont concentrés 16 appareils. La densité au sein de cette cible va en croissant vers le centre où 4 pluviographes forment un carré de 1 km de côté.

La densité moyenne sur la zone de référence, calculée avec 82 appareils, est de un appareil pour 122 km<sup>2</sup>. Cette valeur est peu significative, puisqu'elle est une moyenne entre la densité du réseau de base (64 appareils répartis uniformément sur la zone de référence), qui est de **un appareil pour 156 km<sup>2</sup>**, et la densité sur la cible, qui est de **un appareil pour 9 km<sup>2</sup>**. Ce sont ces deux dernières valeurs qui caractérisent le mieux le réseau sol de EPSAT-NIGER. Par comparaison, la densité du réseau pluviométrique du Niger sahélien - au sud de 16° de latitude nord - est de un appareil pour 6000 km<sup>2</sup>, tout compris. La densité du réseau pluviographique est, elle, de un appareil pour 20000 km<sup>2</sup> : ce n'est plus réellement un réseau, mais un ensemble de mesures ponctuelles décorréélées entre elles dès que le pas de temps descend en dessous de la journée.

Le radar de la DMN est un radar EEC WR 100-5, de 5.4 cm de longueur d'onde (5600-5650 Mhz). Son ouverture est de 1.5°, sa puissance crête de 250 kw, et sa largeur d'impulsion de 2 µs. Il a été doté, pour les besoins de l'expérience et par le Laboratoire d'Aérodologie de Toulouse, d'une chaîne de numérisation, de visualisation couleur et d'archivage dénommée SANAGA (Système d'Acquisition Numérique pour l'Analyse des Grains Africains).

Ces dispositifs de mesure ont été implantés progressivement en 1988 et 1989, permettant ainsi de mener deux pré-campagnes destinées à tester les systèmes d'alimentation et d'acquisition sur mémoire statique des pluviographes, et la numérisation du radar (Roux, 1989). Le dispositif complet décrit ci-dessus a été implanté pour le début de la saison 1990. L'expérience doit durer trois années au total.

## PREMIERS RESULTATS

Outre les inévitables adaptations de matériel imposées par un environnement climatique difficile, les pré-campagnes de 1988 et 1989 ont permis d'acquérir un certain nombre de résultats préliminaires. Ces résultats concernent d'une part la relation Z-R, qui permet de passer du facteur de réflectivité radar au taux de précipitation (Chamsi et Sauvageot, 1989), et d'autre part la mise en évidence de la forte variabilité qui affecte les champs de pluie au sol, même à des échelles de temps relativement grandes de l'ordre du mois (Thauvin and Lebel, 1991). La relation Z-R s'exprime habituellement sous la forme  $Z=aR^b$ . Les paramètres de cette relation varient selon les systèmes précipitants. Dans le cas particulier des lignes de grains, Chamsi et Sauvageot (1989) ont montré que ces paramètres varient également selon le secteur considéré au sein de la ligne. Ainsi, la partie convective avant est caractérisée par une proportion supérieure de grosses gouttes, ce qui se traduit par un coefficient  $b$  nettement plus faible que la valeur standard, et un coefficient  $a$  plus grand.

La campagne 1990 a permis de confirmer les résultats obtenus en 1989 concernant la variabilité spatiale des champs de pluie au sol, malgré une saison beaucoup moins pluvieuse. Il est tombé 393 mm en 1990 à Niamey (poste ORSTOM) contre 585 en 1989. En 1990, les 30 stations ayant fonctionné sans interruption ni lacune tout au long des deux saisons 1989 et 1990, ont enregistré une moyenne de 405 mm, contre 536 mm en 1989. Sur la figure 1, on a vu que l'on peut identifier un modèle simple de moyenne climatologique, valable dans la région de Niamey, où le gradient est presque parfaitement orienté du Sud vers le Nord. Ce modèle peut s'écrire :

$$M(x,y) = 600 - (L-13)x100,$$

où  $M(x,y)$  est la moyenne, en millimètres, calculée sur une période de référence (1950-1989), et  $L$  est la latitude exprimée en degrés décimaux.

A cette moyenne sous-jacente, la figure 3 montre que se surimposent, pour une année donnée (ici 1990) :

- 1- une translation  $dM_k, k(x,y)$ , due à une pluviosité moyenne sur la région différente de la moyenne climatologique (déficit de 130 mm environ en 1990), et qu'on peut considérer en première approximation comme constante sur la région :

$$dM_k(x,y) = d_k,$$

- 2- une composante aléatoire  $e(x,y)$ , structurée dans l'espace, mais dont la fluctuation varie selon l'échelle à laquelle on l'étudie.

Le point numéro 1 signifie que, malgré un déficit moyen de 25 %, le gradient pluviométrique de 1 mm par km se retrouve sur les données de 1990, comme on peut le voir sur la figure 4, où la moyenne des valeurs obtenues dans cinq bandes latitudinales a été calculée. Par ailleurs, on peut remarquer sur la figure 5, que la distribution spatiale de  $e(x,y)$  est affectée d'une forte variabilité, même aux petites échelles comme le montre la représentation détaillée sur la cible. Cette variabilité est naturellement encore plus grande lorsqu'on travaille à l'autre extrémité du spectre des pas de temps, comme l'illustre la succession des cartes de pluie en 5 mn donnée en figure 6. Les images radar correspondant à ces cartes, qu'il est difficile de reproduire ici, confirment cette forte variabilité, malgré une organisation spatiale d'ensemble très caractéristique (ligne de cellules convectives à l'avant et panache stratiforme à l'arrière). Si l'on sélectionne uniquement les événements pluvieux correspondant à des lignes de grains bien identifiées (13 en 1989), on peut identifier un variogramme climatologique (Lebel and Bastin, 1985), qui donne la structure spatiale moyenne normée de ces champs pluvieux. Pour 1989, la portée du variogramme climatologique (ou distance de décorrélation) est de 50 kilomètres environ (fig.7a). En 1990, les portées des variogrammes calés épisode par épisode sont comprises entre 30 et 50 kilomètres. Un exemple est donné sur la figure 7b pour l'événement du 27 juillet.

## CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Le projet EPSAT-NIGER s'inscrit dans un contexte marqué par un regain d'intérêt pour la climatologie des régions tropicales. Parmi les différents projets visant à améliorer la compréhension et la paramétrisation du fonctionnement climatique de ces régions, deux au moins peuvent bénéficier directement du dispositif mis en place pour EPSAT-NIGER. Ce sont d'une part HAPEX-SAHÉL, expérience visant à l'étude de l'interface Sol-Atmosphère au Sahel, et d'autre part, TRMM (Tropical Rainfall Measurement Mission, Simpson et al, 1988), qui est une mission satellite conçue spécifiquement pour obtenir une couverture depuis l'espace de la pluie sur les régions tropicales. C'est ainsi que HAPEX-SAHÉL se basera sur le dispositif de EPSAT-NIGER pour obtenir les entrées pluviométriques sur sa zone d'étude. En ce qui concerne TRMM, Bell et al. (1989) ont souligné les difficultés auxquelles sont confrontés les scientifiques essayant de simuler les erreurs d'échantillonnage qui seront associées aux estimations de TRMM. En effet, les simulations actuelles sont basées pour l'essentiel sur les données de GATE, qui sont limitées à quelques mois et ne concernent qu'une région océanique. Il est donc souhaitable pour la préparation de TRMM de disposer d'autres jeux de données fournissant des informations pertinentes sur la variabilité spatio-temporelle de la pluie en zone tropicale, et particulièrement sur l'Afrique.

EPSAT-NIGER espère pouvoir fournir des données d'une résolution encore inégalée au Sahel et des connaissances qui font aujourd'hui défaut, aussi bien aux modélisateurs du climat qu'aux spécialistes du bilan hydrique. Pour ces derniers en particulier, disposer de telles données est vital si on veut parvenir à une gestion plus rationnelle des ressources en eau dans les régions africaines menacées par la désertisation. Par ailleurs EPSAT-NIGER fournit l'occasion d'obtenir une vision globale et détaillée de la pluie à l'échelle de quelques dizaines de milliers de km, et non plus seulement locale, à l'échelle d'un bassin versant de quelques dizaines de km. Le prolongement naturel de EPSAT-NIGER sera la mise en oeuvre des nouveaux algorithmes d'estimation, développés à l'occasion de cette expérience, dans un contexte opérationnel. Une réflexion sur les modalités de l'implantation de ces algorithmes à l'AGRHYMET est en cours.

**REMERCIEMENTS** L'expérience EPSAT-NIGER est menée conjointement par la Direction de la Météorologie du Niger (DMN) et par l'ORSTOM. Nous tenons à remercier tous les personnels de la DMN qui ont contribué à rendre possible cette expérience, et en particulier son directeur M. Boulama, ainsi que toute l'équipe ORSTOM affecté à ce projet. EPSAT-NIGER doit également beaucoup à la persévérance et aux conseils de L. Le Barbé, représentant de l'ORSTOM au Niger, qui a créé les conditions favorables à une coopération réussie avec la DMN, et avec qui les discussions scientifiques ont toujours été enrichissantes. Enfin nous ne pouvons oublier M. Hoepffner qui a initié cette expérience et le support fourni par le Laboratoire d'Aérodynamique de Toulouse en la personne de H. Sauvageot et G. Despaux, pour la mise à niveau et la numérisation du radar.

## REFERENCES

Assad, E., J.P. Frétaud, Y. Kerr, J.P. Lagouarde, and B. Seguin, 1986: Des apports possibles de METEOSAT pour le suivi de la saison des pluies en zone Sahélienne: cas du Sénégal. XXVI COSPAR, Toulouse. Symposium N° 10, *Adv. Res.*

Barnston, A.G., W.I. Woodley, J.A. Flueck and M.H. Brown, 1983: The Florida Area Cumulus Experiment's second phase (FACE-2). Part I: The experimental design, implementation and basic data. *J. Climate Appl. Meteor.*, **22**, 1504-1528.

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

T. LEBEL

- Bell, T.L., A. Abdullah, R.L. Martin, and G.R. North, 1990: Sampling errors for satellite-derived tropical rainfall: Monte Carlo study using a space-time stochastic model. *J. Geophys. Res.*, **95** (D3), 2195-2205.
- Carn, M., et J.P. Lahuec, 1987: Estimation des précipitations au Niger au cours de la saison des pluies 1986 à partir de l'imagerie IR METEOSAT. Bilan et critique des méthodes utilisées. *Veille clim. satel.*, **17**.
- Chamsi, N., and H. Sauvageot, 1989: Variabilité spatio-temporelle des paramètres de la relation Z-R dans les lignes de grains tropicales. *Veille clim. satel.*, **27**, 16-18.
- Dugdale, G., V.D. Mc Dougall, and J.R. Milford, 1991: Rainfall estimates in the Sahel from cold cloud statistics : accuracy and limitations of operational systems. In : Soil Water Balance in the Sudano-Sahelian Zone (Proceedings of the Niamey Workshop, February 1991). IAHS Publ. N° 199, 65-74.
- Griffith, C.G., J.A. Augustine and W.L. Woodley, 1981: Satellite rain estimation in the US high plains. *J. Appl. Meteor.*, **20**, 53-66.
- Griffith, C.G., 1987: The estimation from satellite imagery of summertime rainfall over varied space and time scales. NOAA Tech. Memo. ERL ESG-25, U.S. Dept. of Commerce, NOAA/ERL, Boulder, CO., 102 pp.
- Lebel T., and G. Bastin. 1985. Variogram Identification by the Mean-square Interpolation Error Method with Application to Hydrologic Fields. *Journal of Hydrology*. **77**, 31-56.
- Lebel, T., G. Bastin, C. Obled and J.D. Creutin, 1987: On the accuracy of areal rainfall estimation: a case study. *Water Resour. Res.*, **23**(11), 2123-2134
- Negri, A.J., and R.F. Adler, 1987: Infrared and visible satellite rain estimation. Part I: a grid cell approach. *J. Climate Appl. Meteor.*, **26**, 1553-1564.
- Richards, F., and P. Arkin, 1981: On the relationship between satellite observed cloud cover and precipitation. *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 1081-1093.
- Roux, C., 1990: Rapport de campagne EPSAT-NIGER 1989. ORSTOM - Direction de la Météorologie Nationale du Niger, 38 p.
- Sauvageot, H., et G. Despaux, 1989: Numérisation du radar de Niamey (Niger) dans le cadre du projet EPSAT-NIGER. Rapport de convention Ministère de la Coopération et du Développement /ORSTOM, 49p.
- Simpson, J., R.F. Adler, and G.R. North, 1988 : A proposed Tropical Measuring Mission (TRMM) satellite. *Bull. Amer. Met. Soc.*, **69**, 278-295.
- Thauvin, V., and T. Lebel, 1991: EPSAT-NIGER. Study of rainfall over the Sahel at small time steps using a dense network of recording rain gauges. *Hydrol. Process.*, **5**, sous presse.
- Thiao, W., D.L. Cadet and M. Desbois, 1990: A note on : Estimation of rainfall due to squall lines over West Africa using METEOSAT imagery. *Meteorol. Atmos. Phys.*, **42**, 69-76.
- Woodley, W.L., C.G. Griffith, J.S. Griffin and C.S. Stromatt, 1980: The inference of GATE convective rainfall from SMS-1 imagery. *J. Appl. Meteor.*, **19**, 388-408.
- Wylie, D.P., and Denise Laitsch, 1983: The impacts of different satellite data on rain estimation schemes. *J. Climate Appl. Meteor.*, **22**, 1270-1281.

# PLUIE ANNUELLE SUR LE NIGER 1950-1989

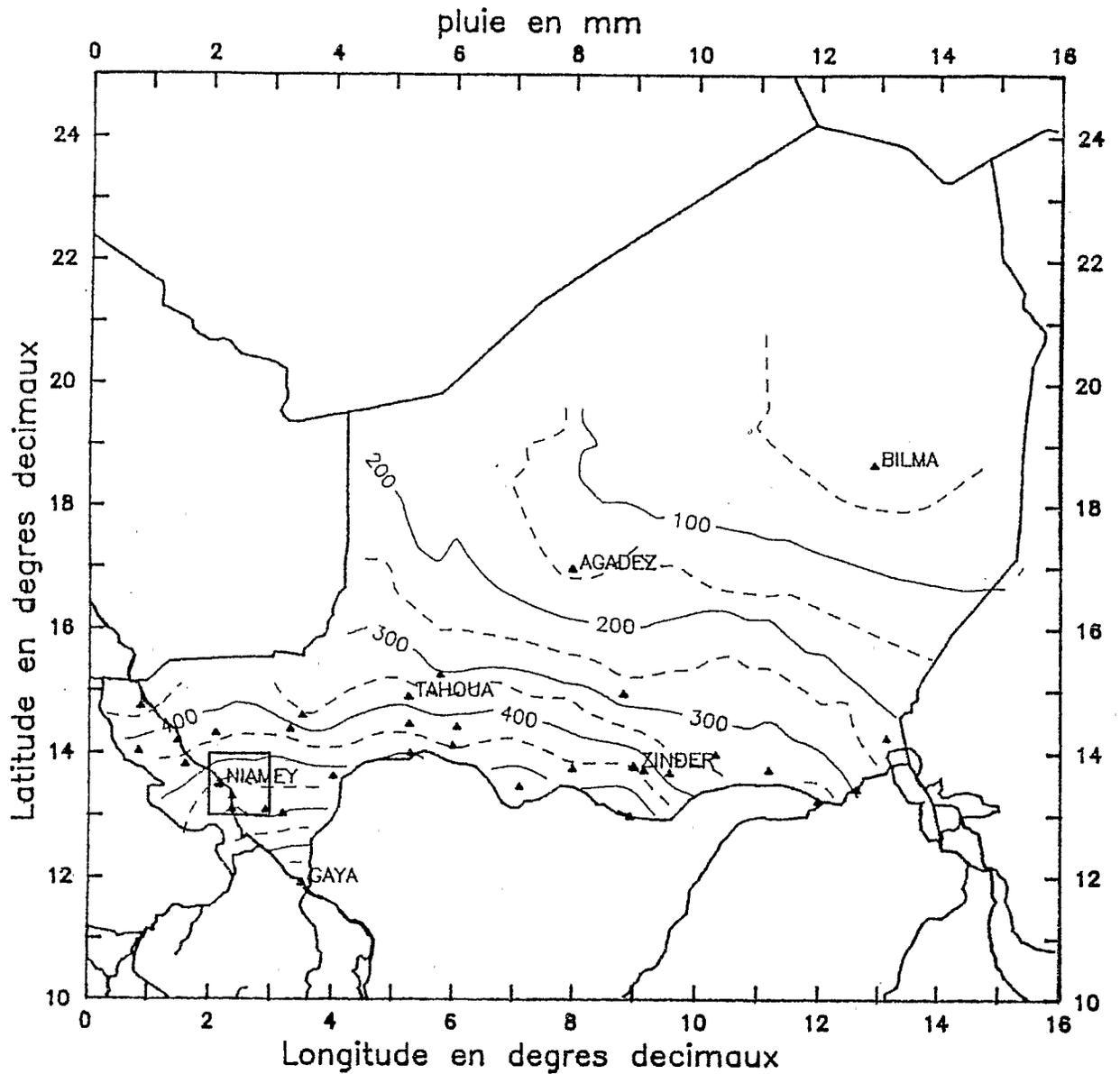


FIGURE 1. Carte des isohyètes interannuelles sur le Niger calculée sur la période 1950-1989. La zone d'expérience de EPSAT-NIGER est le carré dessiné autour de Niamey.

# EPSAT-NIGER: RESEAU 1990 SUR LA ZONE D'ETUDE.

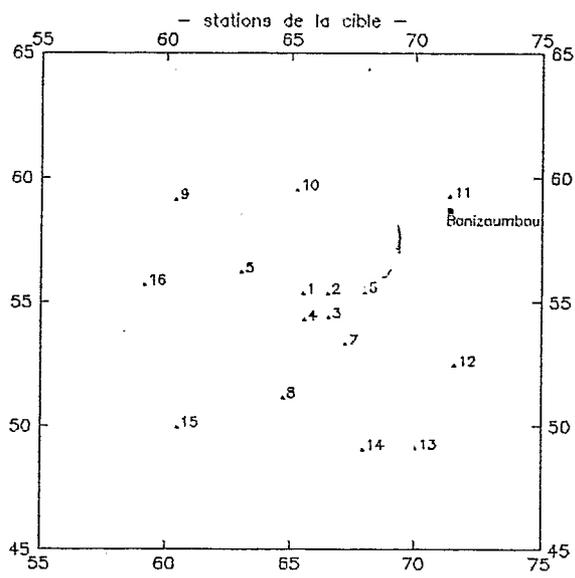
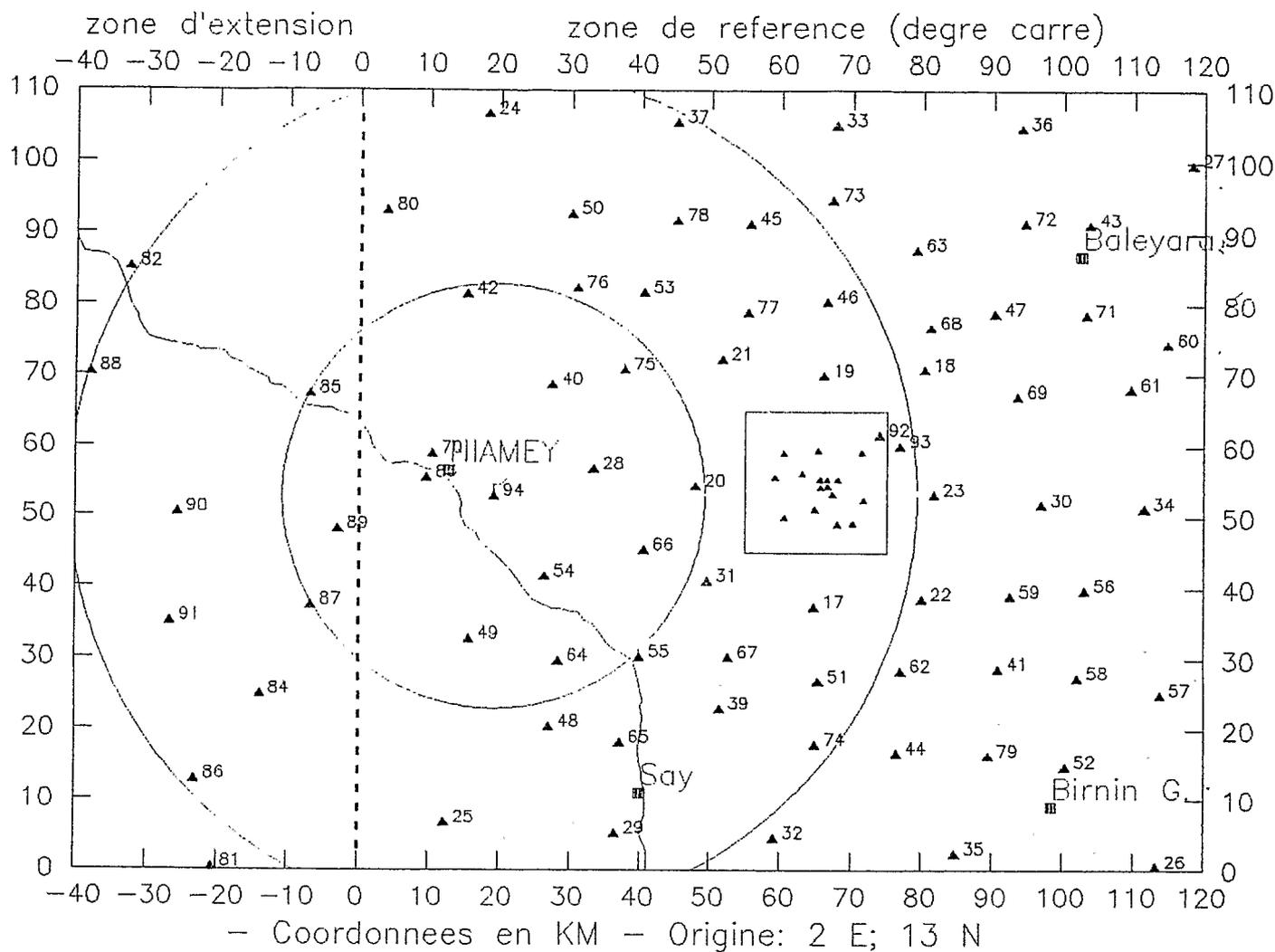
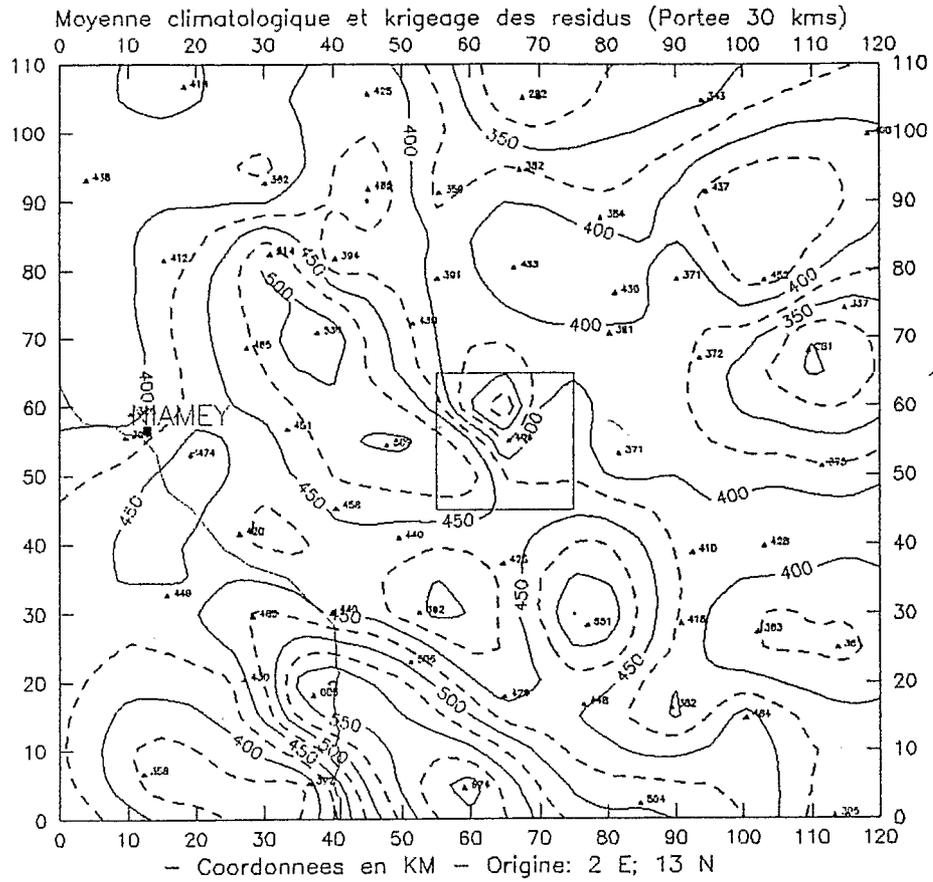


FIGURE 2. Le réseau de pluviographes à mémoire statique.

3\_a

EPSAT-NIGER : Cumuls augets (mm) saison 1990



3\_b

EPSAT-NIGER : Residus(mm) a la derive - Saison 1990

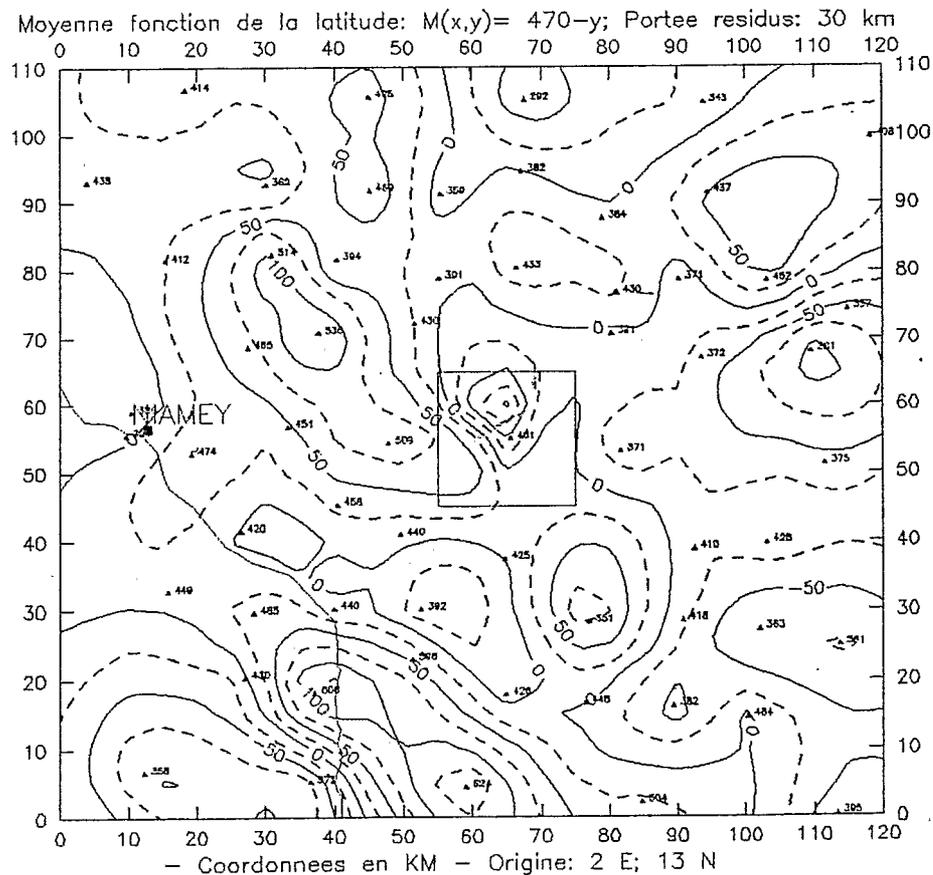


FIGURE 3. La saison des pluies 1990 sur la zone de référence; a. Carte des isohyètes du cumul saisonnier; b. Carte des isohyètes des résidus au plan de dérive d'équation  $M(x,y) = 470 - y$  (M en mm et y en km; y=0 pour 13°N).

Pluie moyenne par bandes latitudinales de 20 km

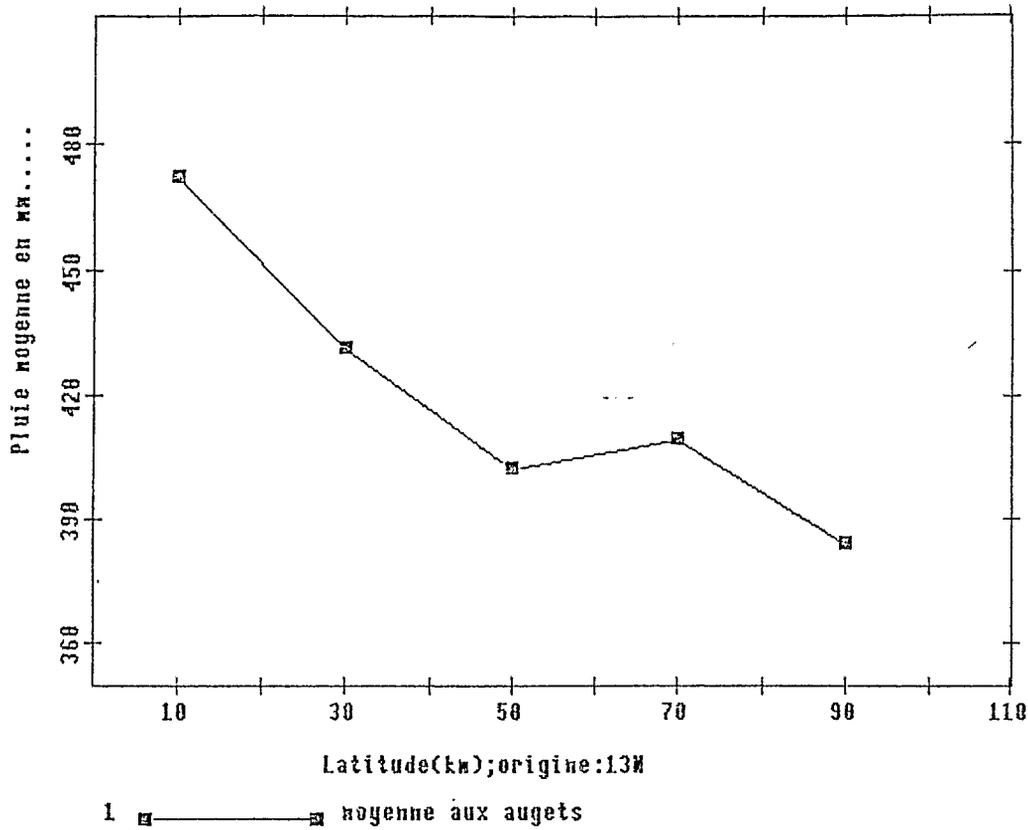


FIGURE 4. Moyenne des cumuls de la saison 1990 observés par bandes de latitude de 20 km de large. Le gradient Sud-Nord est bien identifiable et proche de la valeur climatologique de 1 mm/km, même si l'écart entre les deux bandes les plus au Nord est moins net.

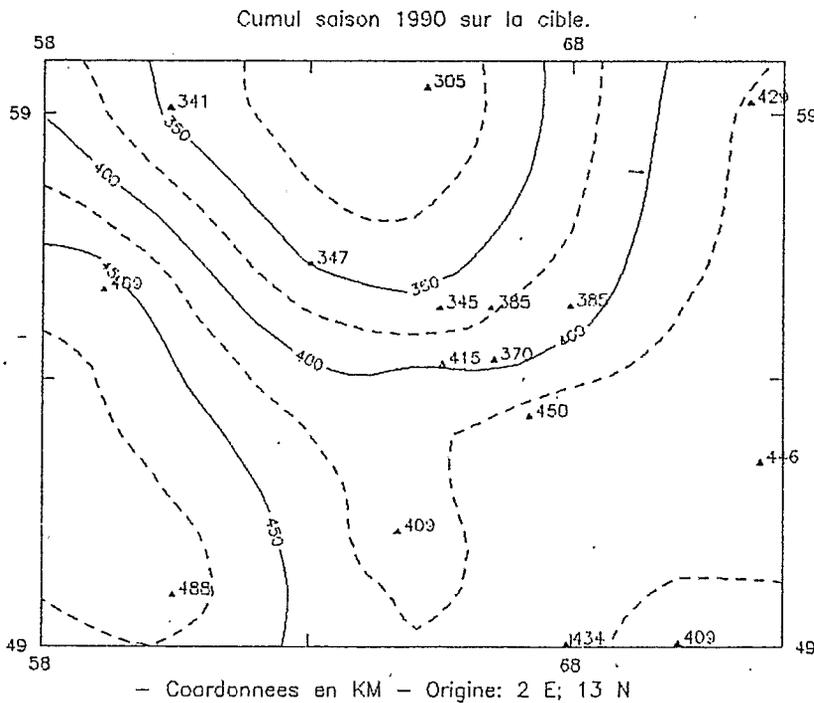
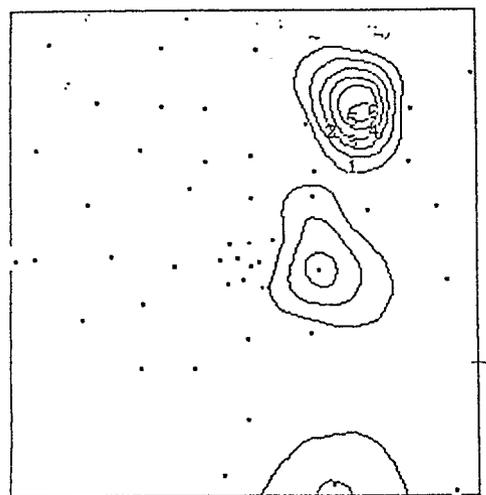


FIGURE 5, Agrandissement sur la cible de la carte des isohyètes de la saison 1990. On remarque la différence de 183 mm (soit près de 40%) observée sur 10 km entre les deux extrêmes.

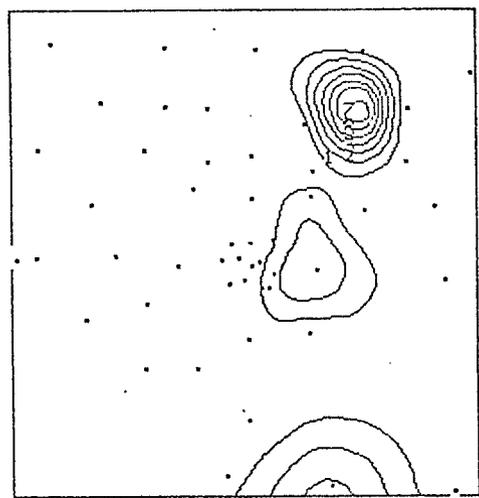
EVENEMENT 27-07-1990



0 20 40 60 80

27/07/90 09h25'00-27/07/90

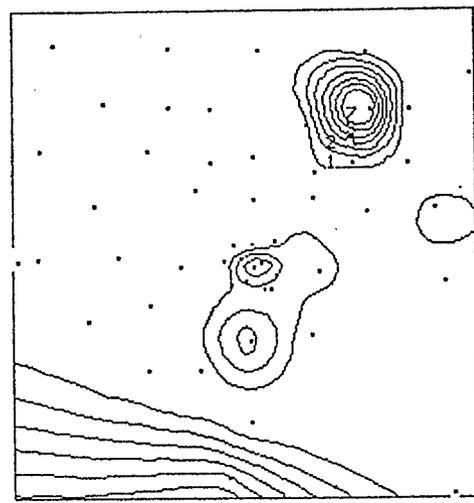
EVENEMENT 27-07-1990



0 20 40 60 80 (km)

27/07/90 09h30'00-27/07/90

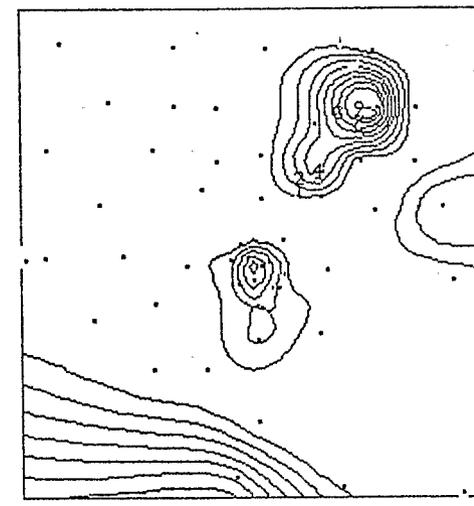
EVENEMENT 27-07-1990



0 20 40 60 80 (km)

27/07/90 09h35'00-27/07/90

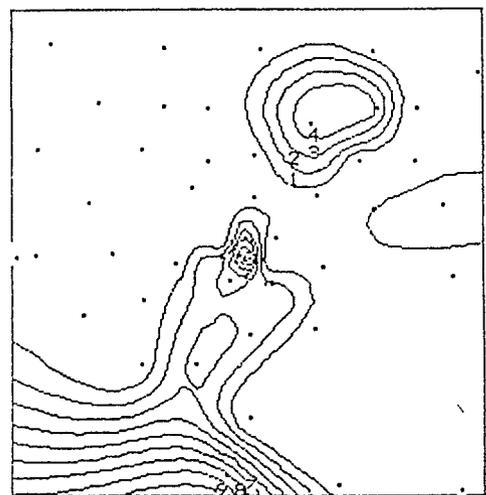
EVENEMENT 27-07-1990



0 20 40 60 80 (km)

27/07/90 09h40'00-27/07/90

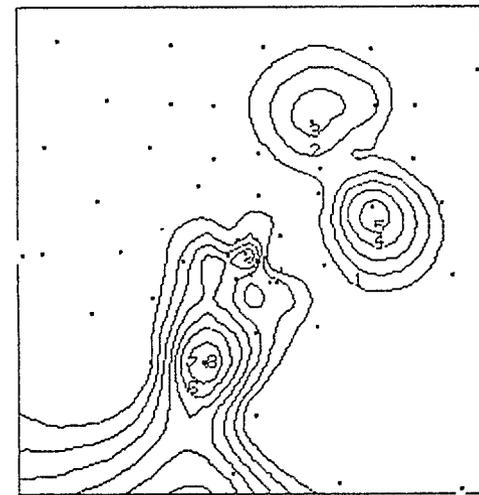
EVENEMENT 27-07-1990



0 20 40 60 80

27/07/90 09h45'00-27/07/90

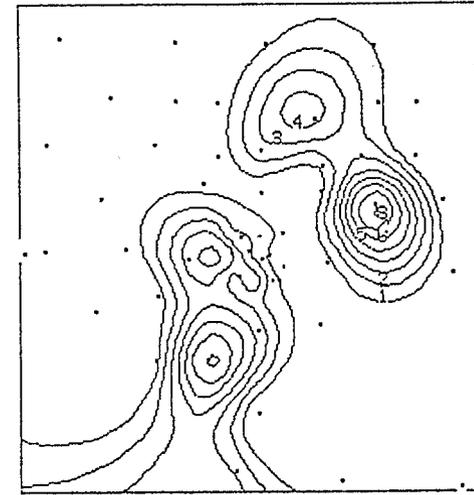
EVENEMENT 27-07-1990



0 20 40 60 80 (km)

27/07/90 09h50'00-27/07/90

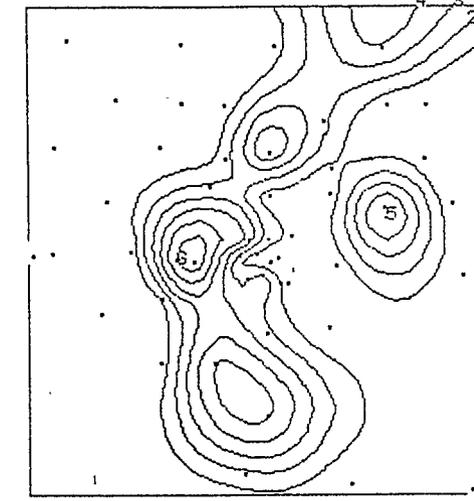
EVENEMENT 27-07-1990



0 20 40 60 80 (km)

27/07/90 09h55'00-27/07/90

EVENEMENT 27-07-1990

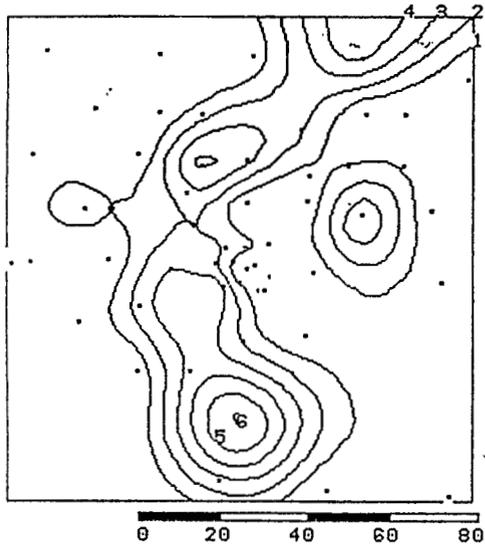


0 20 40 60 80 (km)

27/07/90 10h00'00-27/07/90

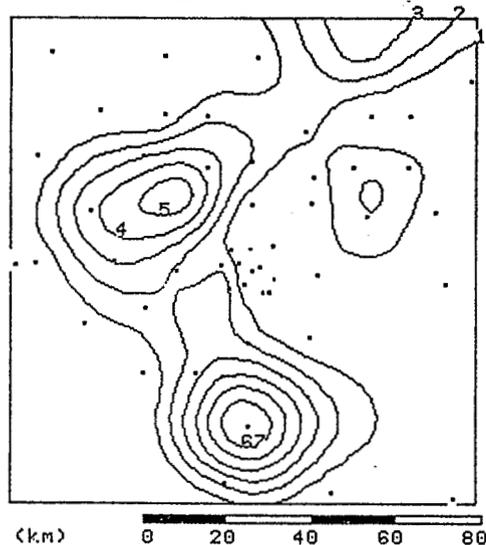
FIGURE 6a. Cartes des isohyètes en 5 minutes pour la ligne de grains du 27 juillet 1990 (de 9h25 à 10h05). Ces cartes peuvent être superposées aux images radar pour apprécier l'adéquation d'ensemble de ces deux types de données.

EVENEMENT 27-07-1990



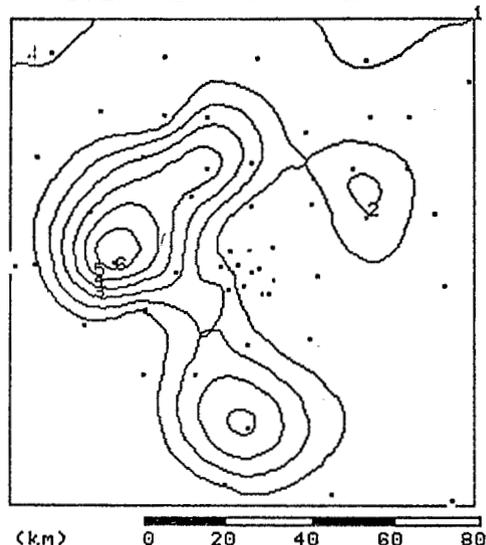
27/07/90 10h05'00-27/07/90

EVENEMENT 27-07-1990



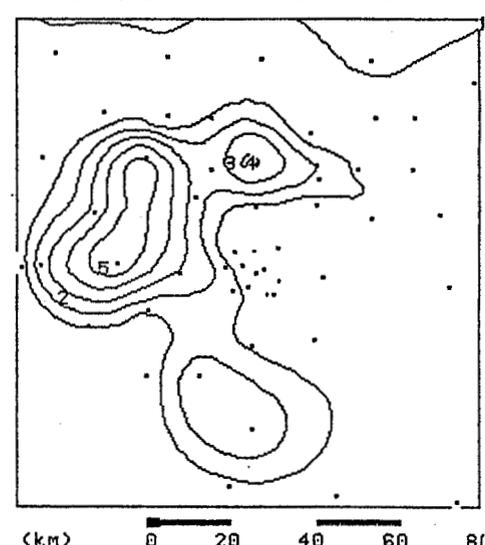
27/07/90 10h10'00-27/07/90

EVENEMENT 27-07-1990



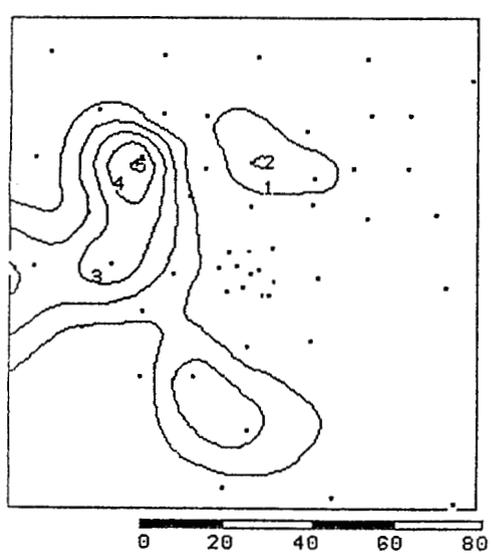
27/07/90 10h15'00-27/07/90

EVENEMENT 27-07-1990



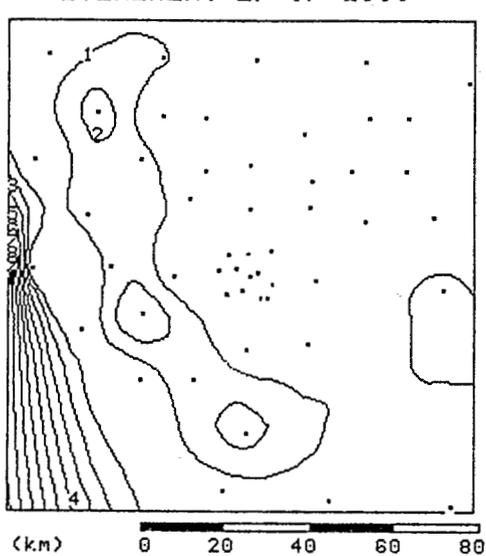
27/07/90 10h20'00-27/07/90

EVENEMENT 27-07-1990



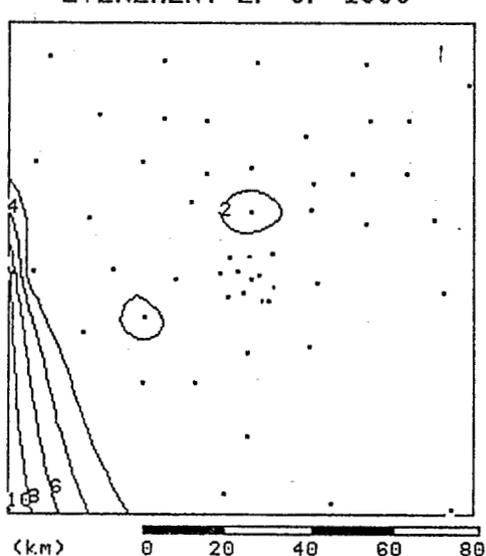
27/07/90 10h25'00-27/07/90

EVENEMENT 27-07-1990



27/07/90 10h30'00-27/07/90

EVENEMENT 27-07-1990



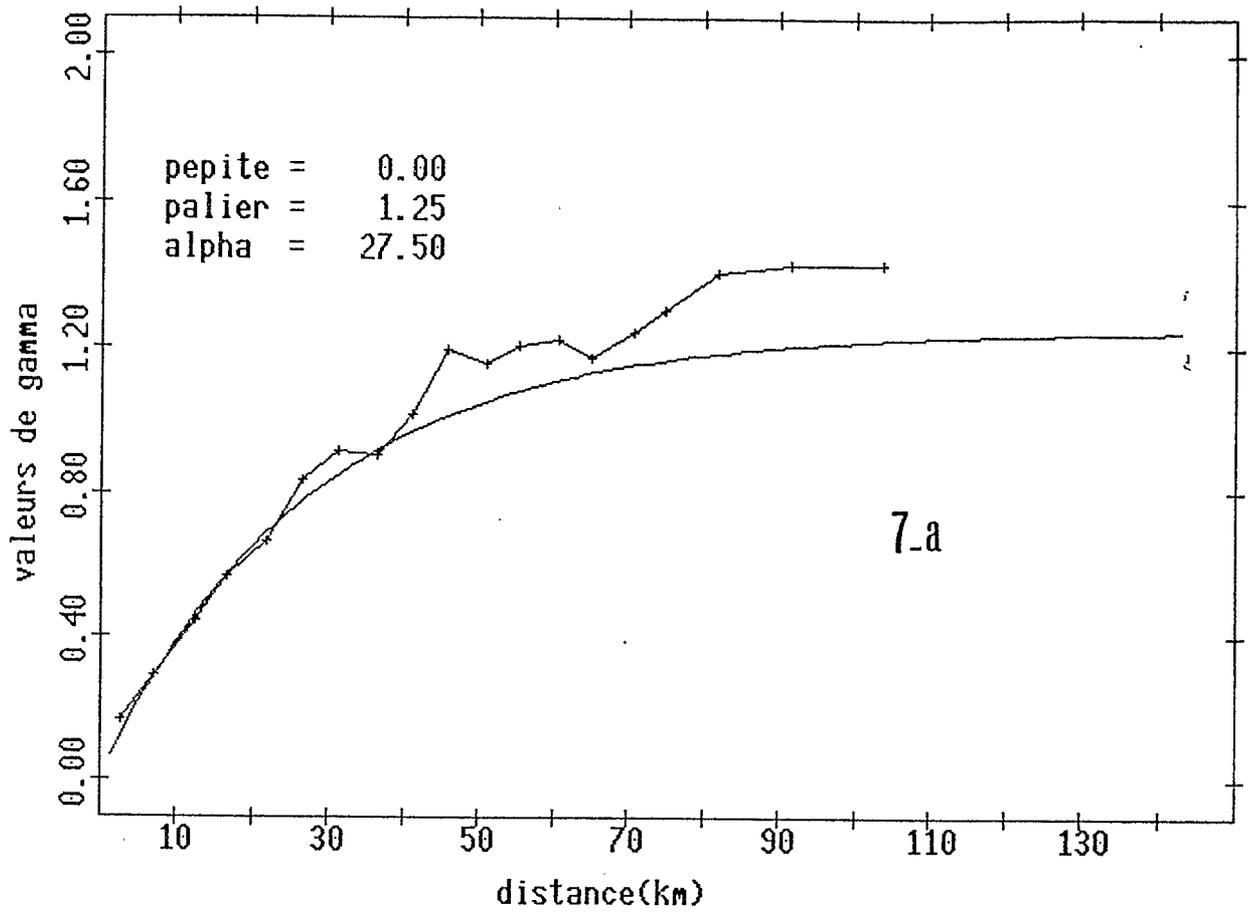
27/07/90 10h35'00-27/07/90

EVENEMENT 27-07-1990



27/07/90 10h40'00-27/07/90

FIGURE 6b. Cartes des isohyètes en 5 minutes pour la ligne de grains du 27 juillet 1990 (de 10h05 à 10h45).



1 05282240 05290550

Modele Spherique

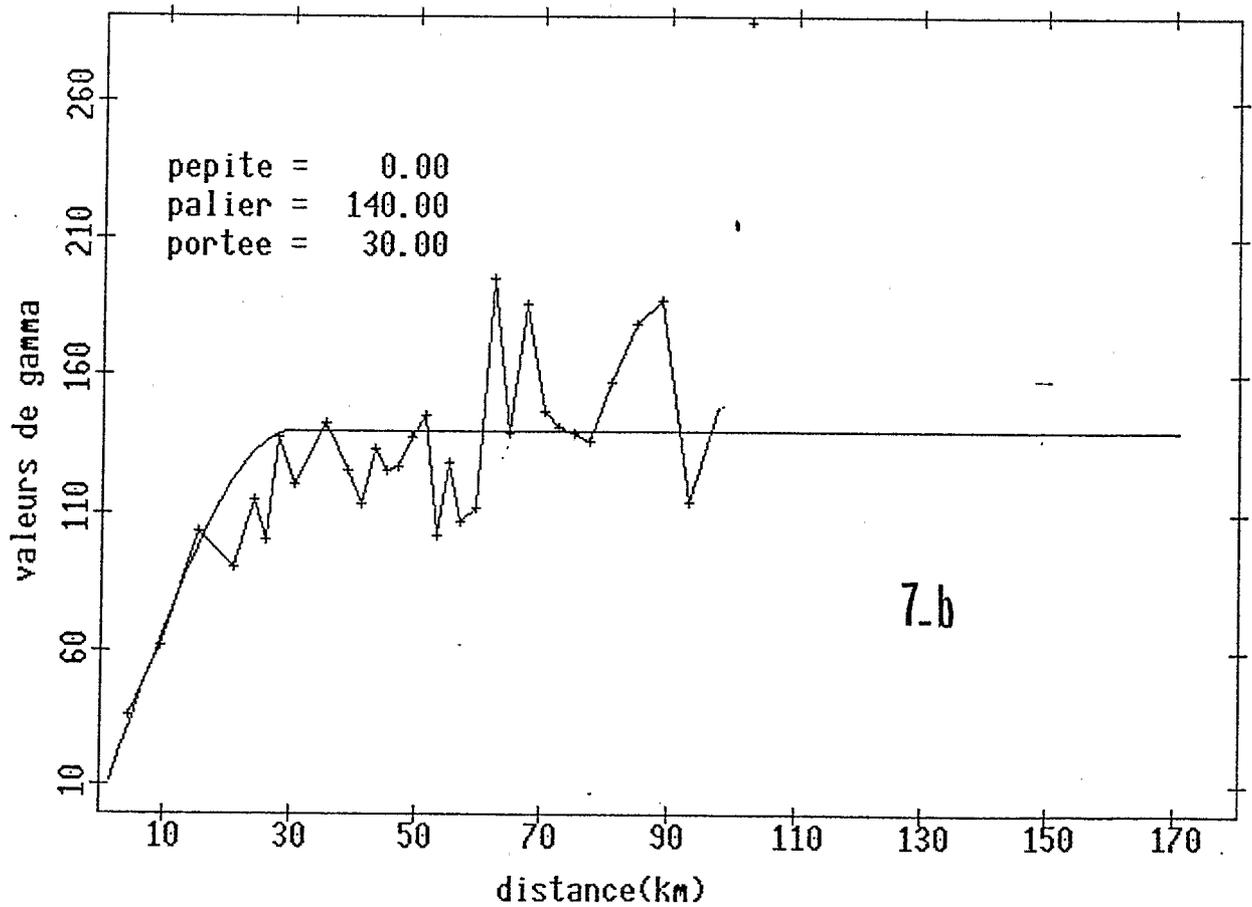


FIGURE 7. a. Variogramme climatologique des 13 épisodes de lignes de grains observés en 1989. Chaque valeur est normée par la variance expérimentale de l'épisode avant de procéder au calcul du variogramme expérimental moyen. b. Variogramme de l'épisode du 27 juillet 1990.