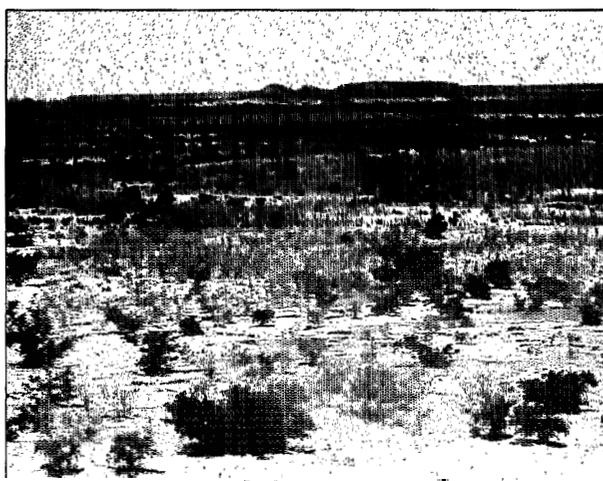


EPSAT

Vers une estimation des précipitations par satellite au Sahel

La particularité d'EPSAT-NIGER, qui en fait une expérience unique à ce jour en Afrique, est de mettre à disposition des spécialistes de télédétection une vérité terrain très riche, obtenue à l'aide de 93 pluviographes associés à un radar numérisé. Le dispositif couvre une zone de référence de 1° de côté (2-3°E ; 13-14°N), soit une surface de 10.000 km² environ.



Une 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. Ces équilibres sont extrêmement sensibles à toute perturbation ou oscillation climatique, et notamment à celles du régime pluviométrique. Les déficits de précipitation accumulés depuis plusieurs années sont en grande partie responsables de la désertification en cours et des difficultés de plus en plus grandes rencontrées par les populations pour survivre. Cette irrégularité est caractéristique des tropiques et joue un rôle majeur dans la circulation atmosphérique générale. En effet ces régions sont la source chaude du moteur thermique qui régule le climat à l'échelle du globe, et la quantité d'eau disponible pour les transferts de chaleur par évaporation est déterminante dans cette régulation. Etudier la pluviométrie de la zone intertropicale est donc nécessaire pour mieux comprendre l'origine et la nature des variations climatiques, qui influencent au premier degré les conditions de vie sur notre planète. 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, d'un radar météorologique bande C. Sa durée prévue est de trois ans (1990-1992).

que des mesures indirectes de la pluie, qui doivent être étalonnées à l'aide d'une "vérité terrain" que seuls les pluviomètres classiques sont à même de produire actuellement.

Pour pouvoir tester les performances des radars et des satellites météorologiques en matière d'estimation quantitative des précipitations, l'ORSTOM a donc décidé de mettre sur pied une expérience pilote au cœur du Sahel. Cette initiative, menée avec la collaboration de la Direction de la Météorologie du Niger (D.M.N.) et de laboratoires français du C.N.R.S. (laboratoire d'Aérodynamique et laboratoire de Météorologie Dynamique), a reçu le soutien du ministère de la Coopération.

Le Sahel est, en Afrique de l'Ouest, la région de transition entre les déserts du Nord et les savanes humides du Sud. Elle a été identifiée comme jouant un rôle déterminant dans les transferts méridiens d'énergie qui sont en étroite interaction avec les systèmes précipitants et qui influencent fortement la circulation atmosphérique générale. L'immensité des étendues concernées, leur difficulté d'accès, la très forte irrégularité des précipitations d'un point à un autre rendent difficiles un suivi de la pluviométrie à l'aide des réseaux de mesure classiques, constitués d'appareils (pluviomètres ou pluviographes) qui ne fournissent qu'une valeur ponctuelle et sont par nature d'une densité limitée. La télédétection, active avec les radars météorologiques basés au sol, ou passive avec les radiomètres embarqués à bord des satellites, est en principe capable de remédier à ces défauts grâce à sa couverture spatiale continue. Néanmoins, elle ne fournit

07 MAI 1991

ORSTOM Fonds Documentaire

N° 31.890 ex 1

Cote : B

M P44

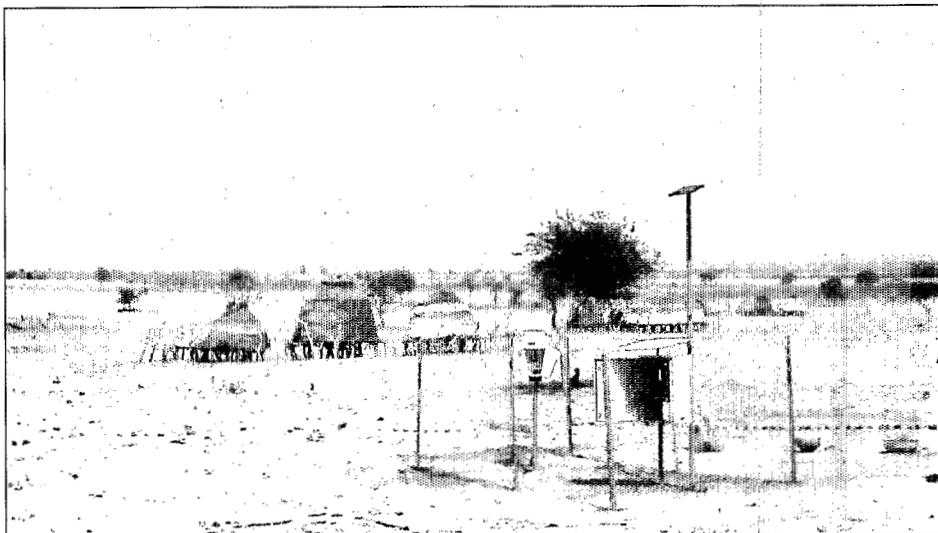
LA VERITE TERRAIN

Un réseau de validation très dense



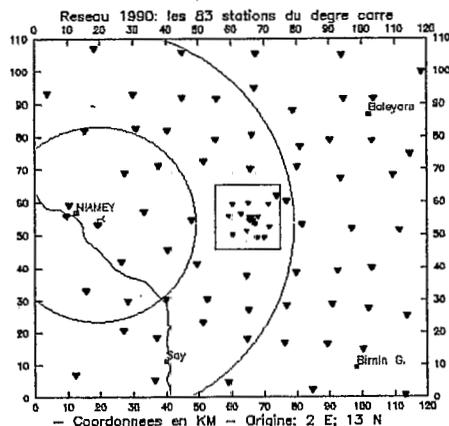
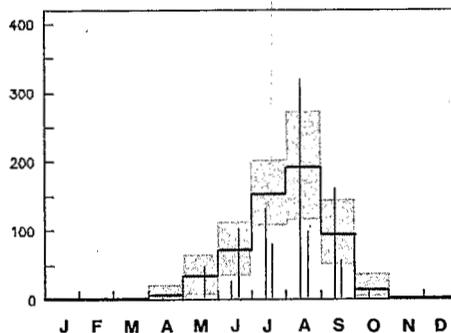
L'estimation des précipitations, quelle que soit la combinaison de capteurs utilisée, est avant tout un problème d'échantillonnage spatial et temporel. Le réseau de pluviographes très dense d'EPSAT-NIGER va permettre d'acquérir des informations précises sur la variabilité spatiale des pluies enregistrées au sol. Seul un réseau redondant, d'une densité inenvisageable dans des conditions opérationnelles, peut permettre de mener à bien de telles études. Ce même réseau sert également de "vérité terrain" pour la télédétection.

La géométrie du réseau est une grille régulière dont les nœuds sont espacés de 12 km environ. Cette maille de base a la même taille qu'un regroupement de 9 pixels météosat dans le canal Infra-Rouge. Approximativement au milieu du degré carré, une maille cible a été instrumentée à l'aide de 16 pluviographes, selon une densité croissant régulièrement vers le centre de la maille, où 4 appareils forment un carré de 1 kilomètre de côté.



Le pluviographe utilisé est un capteur classique à augets basculeurs muni d'une bague de 400 cm². L'instant de chaque basculement (0,5 mm de pluies) est enregistré sur une mémoire statique, à la seconde près, ce qui permet de reconstituer ultérieurement le hyétogramme de manière pratiquement continu. (Ci-dessus).

Le climat sahélien se caractérise par l'alternance d'une saison sèche (octobre à mi-mai) et d'une saison des pluies (mi-mai à septembre), comme l'illustre ce hyétogramme mensuel moyen à Niamey (1905-1989). En vert et rouge les valeurs de 1989 et 1990. (Ci-contre).

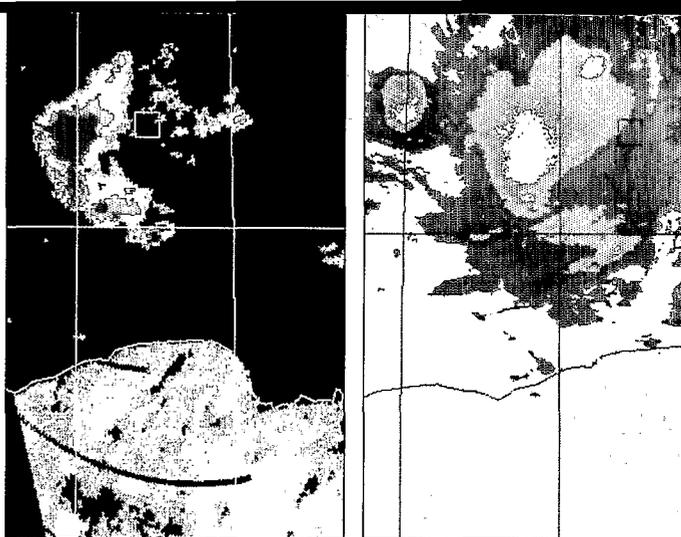


Le réseau 1990 : 10 stations sont installées plus à l'ouest pour étalonner le radar.

Des pluies d'origine convective

Au Sahel, l'essentiel des précipitations est d'origine convective, que ce soit sous forme de cumulonimbus isolés, ou bien d'amas nuageux organisés, évoluant fréquemment en ligne de grains. Ces lignes de grains sont l'élément le plus caractéristique du climat sahélien en saison humide. Elles se déplacent dans une direction générale E/NE - O/SO, à une vitesse variant de 50 à 70 km/h. La formation de ces lignes de grain obéit à des mécanismes encore mal connus, mais une fois constituées, elles peuvent aisément être identifiées à partir de mesures météorologiques classiques (vents, pressions, températures) réalisées en plusieurs points ou à partir d'images satellites. La caractérisation du système précipitant est un élément important dans la quantification de la pluie par télédétection. En effet les indices radiométriques des satellites et le signal rétrodiffusé par les radars ne dépendent pas que de la quantité d'eau précipitante, mais également de la structure thermique de l'atmosphère dans le premier cas et du spectre granulométrique des gouttes dans le deuxième cas. Ces facteurs eux-mêmes, ou leur corrélation avec la pluie effectivement enregistrée au sol, varient selon le système considéré.

UTILISATION DU SATELLITE

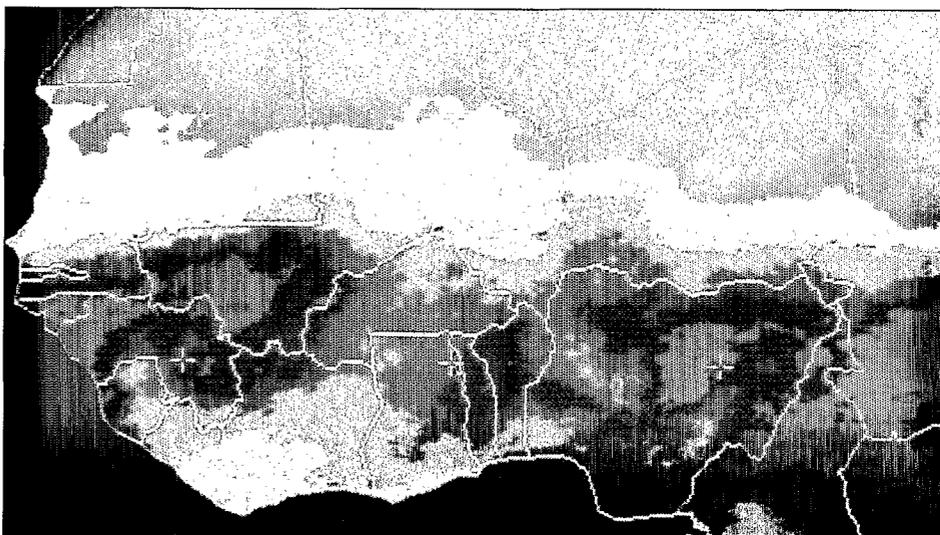


Ligne de grains du 11 août 1988, vu dans le canal IR de METEOSAT et le canal micro-onde 85 GHz de SSMI/DMSF : sur l'image IR, on a représenté en bleu et en blanc les nuages dont le sommet est à des températures inférieures à -50 °C; sur l'image micro-onde, les fortes pluies sont localisées dans les régions rouges et jaunes, les faibles pluies sont en bleu. Traitement effectué au Laboratoire de Météorologie Dynamique (Palaiseau). (Ci-dessus).

Importance de la validation

L'estimation des précipitations depuis l'espace se fait actuellement essentiellement à l'aide du canal infrarouge thermique des satellites géostationnaires, qui donne des informations sur la température du sommet des nuages et celle du sol, toutes les demi-heures. Les algorithmes utilisés sont des relations statistiques globales obtenues en corrélant ces indices radiométriques avec les pluies mesurées aux stations des réseaux météorologiques. La relation est recalibrée pour chaque période d'estimation. Les valeurs obtenues concernent des périodes supérieures à un mois et sont des moyennes locales dont la résolution spatiale est bien inférieure à celle nécessaire pour la gestion des ressources en eau. De plus, ces méthodes nécessitent des validations in situ permanentes. C'est pourquoi, dans EPSAT-NIGER, on cherche à évaluer les mesures sol nécessaires à ces validations, ainsi que les erreurs induites pour différentes échelles de temps et d'espace. Par ailleurs, comme

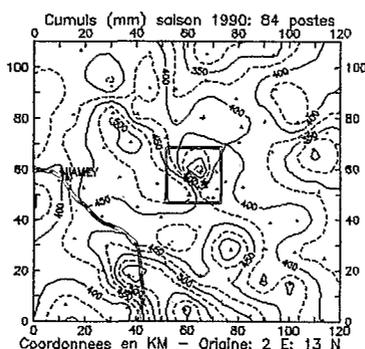
le montre la figure ci-dessus, une meilleure résolution peut être obtenue à l'aide des données micro-ondes de satellites à orbite basse, qui sont plus directement reliées aux précipitations, mais dont la fréquence d'échantillonnage est plus faible.



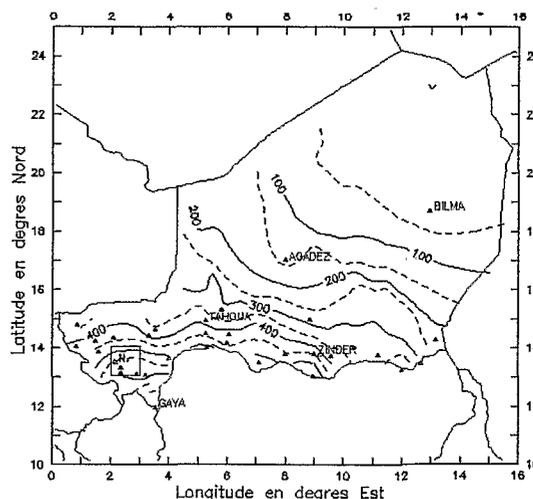
Carte des pluies de juillet 1988 sur le Sahel. (Algorithme développé à l'antenne ORSTOM de Lannion).

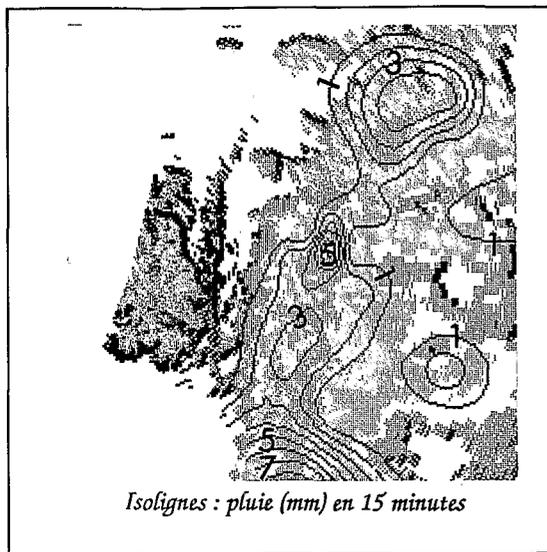
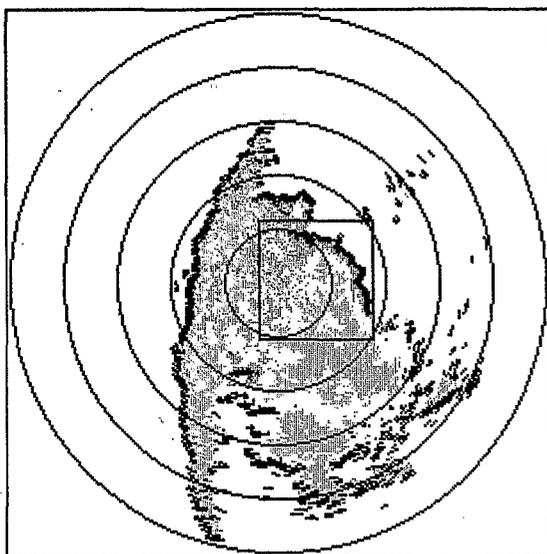
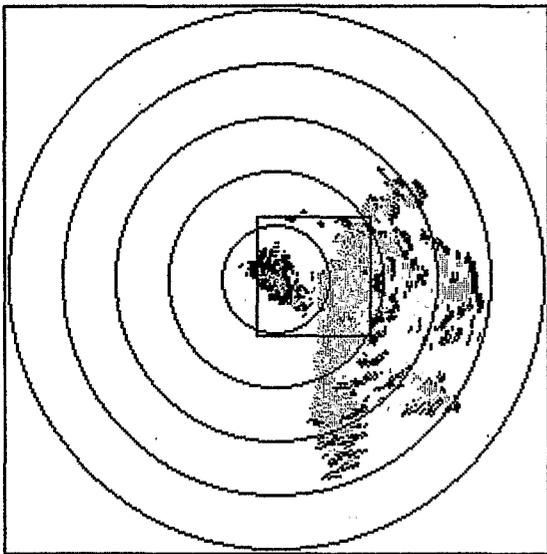
Estimations de référence

En utilisant les outils statistiques propres à l'analyse des champs aléatoires, on a pu grâce au large spectre des distances interpostes du réseau (entre 1 et 140 km), modéliser la corrélation moyenne entre les pluies mesurées en deux points séparés d'une distance quelconque. La détermination de cette fonction de corrélation moyenne 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 estimation peut alors être comparée à celles obtenus par satellite.



L'estimation des cumuls pluviométriques annuels sur de grandes surfaces à l'aide de données satellitaires est facilitée par la répartition régulière des isohyètes inter-annuelles (ici à droite, sur le Niger). Par contre, la forte variabilité locale qui apparaît lorsqu'on examine les données d'une saison particulière (ci-dessus en 1990) rend délicate la mise au point d'algorithmes valides sur de petites surfaces, les plus utiles en hydrologie et en agronomie.





Isolignes : pluie (mm) en 15 minutes

LE RADAR MÉTÉOROLOGIQUE

Le radar de Niamey

Le radar utilisé dans l'expérience *EPSAT-NIGER* est un radar météorologique appartenant à la DMN, de $1,5^\circ$ d'ouverture, de 5,4 cm de longueur d'onde, et de puissance crête de 250 kw. Sa largeur d'impulsion est de 2 μ s. La puissance rétrodiffusée est donc intégrée sur un volume dont les dimensions en coordonnées polaires sont de $1,5^\circ$ d'angle et 300 m de distance radiale. Sa couverture maximale est un cercle de 350 km de rayon. Les estimations quantitatives de la pluie ne sont cependant possibles que sur les distances inférieures à 100 km environ.

Archivage et traitement

L'acquisition numérique des données est réalisée à l'aide du système *SANAGA* (Système d'acquisition numérique pour l'analyse des grains africains), qui gère également l'archivage et la visualisation couleur. Il est constitué d'un convertisseur analogique-numérique, d'un micro-ordinateur, et d'un logiciel d'acquisition de données brutes et de reconstitution d'images radar corrigées. L'écho radar est codé sur un octet pour un pixel donné. La visualisation couleur est opérée sur 16 niveaux. L'archivage se fait directement sur le disque du micro, sous forme compactée, et peut ensuite être transféré sur une cartouche magnétique à l'aide d'un lecteur interne. *SANAGA* permet ainsi de travailler en temps réel et sert de base aux traitements ultérieurs visant à l'étalonnage du radar et à l'étude des systèmes précipitants.

En aval de *SANAGA*, *BADORA* est un logiciel de banque de données radar fonctionnant aussi bien sous micro-ordinateur que sous station de travail dotée d'un système d'exploitation UNIX. Les données y sont archivées selon une structure d'épisodes. On peut ensuite superposer aux données radar gérées par *BADORA*, les isohyètes déduites des mesures sol à l'aide d'un algorithme d'interpolation optimal. Ces images composées, ou les images radar seules, sont visualisées et animées grâce au logiciel *VANIMA*. Les champs de précipitation, qui serviront à l'étalonnage des données satellitaires, sont obtenues en recalant les images radar à l'aide des points de validation constitués par les observations pluviographiques au sol.

Sur les images radar du haut, on observe bien la structure d'une ligne de grains. Le front de la ligne est constitué par des cellules convectives très actives, tandis que se développe à l'arrière un "panache" stratiforme, où les pluies sont beaucoup moins intenses, mais durent plus longtemps. On remarque, sur le zoom effectué sur le degré carré, la bonne adéquation générale des isohyètes obtenues à partir des relevés pluviographiques et des niveaux de réflectivité mesurés par le radar.



Maîtres d'œuvre :

Direction de la Météorologie Nationale. BP 260 - Niamey-NIGER
Mission ORSTOM au Niger. BP 11416 - Niamey-NIGER

Conception Sanaga et suivi radar :

Laboratoire d'Aérodynamique. Campistrous
65300 Lannemezan-FRANCE

Support logistique :

Laboratoire d'Hydrologie. Centre ORSTOM
BP 5045 - 34032 Montpellier cedex-FRANCE