

Bernard GUILLOT
Dominique DAGORNE
Jean-Paul LAHUEC

ORSTOM
Centre de météorologie spatiale
Lannion

Satellite et surveillance du climat : le programme Veille Climatique

RESUME :

Le programme Veille Climatique a pour objectif la création, par l'utilisation combinée de l'imagerie des satellites météorologiques et de données sol, de fichiers climatologiques pour une surveillance du climat et une aide à l'agrométéorologie. Les paramètres disponibles actuellement sont le suivi de la position de la Zone Intertropicale de Convergence (ZITC), la température de surface de l'océan et du sol, et les fréquences de nuages convectifs (nuages à sommet froid). D'autres paramètres importants : flux radiatifs, climatologie des nuages, sont à l'étude. L'estimation des précipitations par satellite a déjà fait l'objet d'importantes recherches qui permettront d'accéder à une évaluation de l'état hydrique de la surface du sol.

MOTS-CLES :

Climatologie, télédétection, agrométéorologie, environnement physique, base de données.

ABSTRACT :

The Climatic Watch Programme aims to create climatological data files to allow climatic surveillance and to assist in agrometeorology. This is to be achieved by the combined utilisation of satellite meteorologic imagery and ground data. Parameters currently available, are the plotting of the Intertropical convergence zone (ITCZ), ocean surface and land temperatures and the frequency of convective clouds (clouds with a cold top). Other important parameters related to radioactive flows and the climatologie of clouds are being studied. Major research has already been conducted into estimating rainfall by satellite, enabling an evaluation of the hydric condition of the soil surface.

KEY WORDS :

Climatology, remote sensing, agrometeorology, physical environment, data base.

Les satellites météorologiques, par les mesures fréquentes, continues, et bien calibrées dans un temps suffisamment long, qu'ils prennent de la planète, possèdent des caractéristiques qui devraient en faire d'excellents instruments pour l'étude des climats et de leur évolution. Les satellites géostationnaires de la série Météosat réalisent ainsi, depuis 1981, une observation ininterrompue, entre autres, de la zone soudano-sahélienne. C'est cette surveillance que nous avons voulu mettre à profit, par la création du programme Veille Climatique, en utilisant les facilités d'acquisition et de traitement des données que nous permet notre implantation au Centre de Météorologie Spatiale (CMS) de Météo-France, à Lannion (Guillot, 1985).

DESCRIPTION DU PROGRAMME : OBJECTIFS ET CONTENU

Ce programme a pour but d'établir des fichiers à dimension climatologique tirés de l'observation satellitaire et de les utiliser pour un suivi de la dynamique du climat, pour la mise au point de méthodes d'appréciation, en temps quasi-réel, des campagnes agricoles, et pour une étude de l'environnement des sociétés rurales. Le programme a eu pour première finalité de rechercher, en liaison avec les spécialistes du CMS, les possibilités d'extraire de l'information brute des satellites, couplée avec des données sol, des paramètres physiques "propres", c'est-à-dire qui se rapprochent assez de la réalité pour être utilisés valablement (par exemple, restitution, à moins de un degré près, de la Température de Surface de la Mer (TSM)). Chacun de ces paramètres fait l'objet d'une observation de routine, par recueil et traitement au jour le jour des données satellite et sol. Les résultats sont ensuite archivés sur support informatique, sous la forme de fichiers qui constituent une base climatologique de référence. Celle-ci permet d'obtenir, par des calculs statistiques, soit des indicateurs de tendance (cartes d'"anomalies", négatives ou positives) soit, par études croisées, d'autres paramètres dérivés : estimation des précipitations, détection de stress hydrique. Ces données peuvent aussi être utilisées pour des recherches sur des caractéristiques de l'environnement physique des sociétés : mise en évidence, par exemple, de l'impact du relief sur la fréquence des nuages pluvio-gènes, ou de régions au comportement homogène dans la relation pluie-nuages.

PRODUITS SATELLITAIRES UTILISES ET CONTENU DES FICHIERS

Suivi de la Zone InterTropicale de Convergence (ZITC) à 28° W

Ce paramètre, fortement influencé par la circulation générale de l'atmosphère (zone de convergence des alizés des deux hémisphères) fournit des indications sur ses caractéristiques annuelles et interannuelles. La ZITC est repérée, en latitude et à 28° W sur l'océan, par le biais du maximum de nébulosité qui lui est lié. 25 années sont disponibles, depuis 1970. Ce produit, mis au point pour des besoins océanographiques (Citeau et al., 1984), est utilisé comme indicateur de tendance de la saison des pluies au Sahel (Citeau et al., 1991, et fig. 1).

Température de Surface de la Mer (TSM)

Souvent complémentaire du précédent, ce paramètre est obtenu par une comparaison/calibration de données InfraRouge Thermique (IRT) Météosat et de mesures à la mer par les navires marchands (données "Ship"). Des cartes sont fabriquées à Lannion, tous les cinq jours (périodes pentadaires), sur l'Atlantique intertropical et sont expédiées en temps réel à la flottille thonnière. Mettant davantage l'accent sur les données Ship et moins sur la climatologie, elles sont en bon accord avec les mesures *in situ* prises par la profession, et elles restituent le champ de TSM plus fidèlement que les cartes globales de l'agence américaine NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), qui ont tendance à "gommer" les anomalies (Marec et al., 1994). Un produit analogue, à usage climatologique, est effectué à Dakar depuis 1986, sur des périodes de 15 jours, avec calcul de cartes d'anomalies de température (Demarcq et al., 1988 et 1994).

Fréquence de nuages convectifs (Cb, pour cumulo-nimbus)

Une mesure à échelle spatio-temporelle fine est nécessaire pour une bonne représentation de la couverture nuageuse, dont l'évolution est très rapide et qui culmine plutôt en fin de journée et de nuit (Kayiranga et al., 1987). Nous utilisons pour cela les seules données IRT Météosat, en appliquant aux images (une par heure, soit 24 images par jour) un algorithme de seuillage en température. Des tests ont montré qu'un seuil à - 40 °C fournit une bonne sélection des nuages



d'orage, représentatifs de la ZITC. Le fichier débute en 1986 et comporte des données normalisées sur l'Afrique et l'Atlantique intertropical (fig. 2).

Température de surface du sol (Ts)

Une sélection sur cinq jours de la température maximale mesurée par les images IRT Météosat, à l'échelle du pixel, permet de s'affranchir dans une grande mesure de la couverture nuageuse et d'accéder à une représentation de Ts. Celle-ci n'est cependant pas parfaite, car nous ne savons pas encore corriger ces données de l'absorption atmosphérique, ni prendre en compte les différences d'émissivité des surfaces. Telle quelle, l'information résultante autorise cependant un suivi continu, dans les zones non couvertes par la forêt équatoriale, dont les variations thermiques sont très faibles (forte inertie thermique) et dans les régions peu affectées par les "cumulus de beau temps", propres à la zone équatoriale et qui contaminent trop souvent la mesure (présence de petits cumulus dans les pixels). Les données pentadiques ainsi obtenues couvrent une grande partie de l'image de Météosat, entre 53° N et 48° S, et entre 50° W et 50° E. Elles sont archivées depuis 1986.

Les flux radiatifs

Les données VIS (visible) et IRT (infrarouge thermique) de Météosat permettent d'estimer le flux radiatif descendant, dont la connaissance est importante dans différents modèles, notamment agrométéorologiques. Des algorithmes utilisés en routine en zone Europe sont disponibles au CMS (Brisson et al., 1994). Nous entamons leur adaptation à l'atmosphère africaine, pour déterminer le flux d'énergie solaire entrant, moins la partie réémise vers l'espace par les surfaces (flux ondes courtes) et le flux infrarouge descendant (flux ondes longues). Cette étude a nécessité la mise au point d'une classification nuageuse (Farki et al., 1992), pour déterminer la part prise dans le rayonnement par chacun des types de nuages et par les aérosols. Pour le calcul des flux il est nécessaire d'avoir recours à des validations par des mesures de rayonnement faites *in situ*. Celles-ci posent un problème difficile de qualité des mesures, les appareils (pyranomètres) nécessitant une surveillance rapprochée (nettoyage quotidien des coupes, calibrations) qui n'est pas toujours assurée.

PRODUITS DERIVES ET APPLICATIONS AGROMETEOROLOGIQUES

Par croisement des paramètres énumérés ci-dessus et de données sol, il est possible d'accéder indirectement à d'autres produits, comme par

exemple pour l'estimation des précipitations ou pour l'évaluation de l'état hydrique de la surface du sol.

Estimation des précipitations par satellite

La mesure directe des précipitations n'est pas possible avec les satellites actuels comme Météosat, qui ne sont pas équipés des instruments adéquats : radiomètres micro-ondes aux bonnes longueurs d'ondes et à prises de vues très fréquentes, tenant compte de l'évolution très rapide des perturbations tropicales. On doit alors procéder à des évaluations indirectes, basées sur l'aspect des nuages en visible et en infrarouge et à une calibration par d'autres mesures : pluviométrie aux stations, prise en compte de l'environnement atmosphérique des nuages, etc. (Guillot, 1995). Les recherches que nous avons conduites dans la zone soudano-sahélienne reposent sur l'emploi combiné de deux paramètres issus de l'observation satellitaire :

- les fréquences de nuages à sommet froid (Cb). La relation avec les pluies mesurées aux stations révèle une liaison variable dans le temps, mais qui reste faible aux pas de temps décennaux et mensuels ;

- une liaison négative a été constatée entre Ts et pluies (Nègre et al., 1988) et elle a été assez largement utilisée au Sénégal. Une correction doit être apportée, l'environnement physique des nuages, notamment la température et l'humidité de l'air, provoquant une sous-estimation des pluies au sud et une surestimation au nord. Nous utilisons pour cela les champs analysés de température de l'air du modèle météorologique européen de Reading. L'algorithme croisé obtenu (Carn et al., 1990) améliore l'estimation, mais la précision obtenue reste insuffisante aux pas de temps décennaux et même mensuel en début et fin de saison.

Pour avancer dans la recherche, des expériences de terrain ont été entreprises et des collaborations ont été sollicitées, dans le cadre du réseau EPSAT : Estimation des Précipitations par SATellite (Cadet-Guillot, 1991). Cet effort est matérialisé par la création de cellules nationales du réseau, qui ont pour but de rassembler les compétences et de fournir aux chercheurs nationaux des données et des moyens de travail, dans le cadre d'expériences discutées en commun. Au Niger, une station Météosat, des pluviographes et une numérisation des données du radar de l'aéroport de Niamey ont été mis en place et ont fourni un ensemble de données de grande qualité, qui a permis de beaucoup avancer dans la validation des résultats des estimations (Lebel et al., 1995).

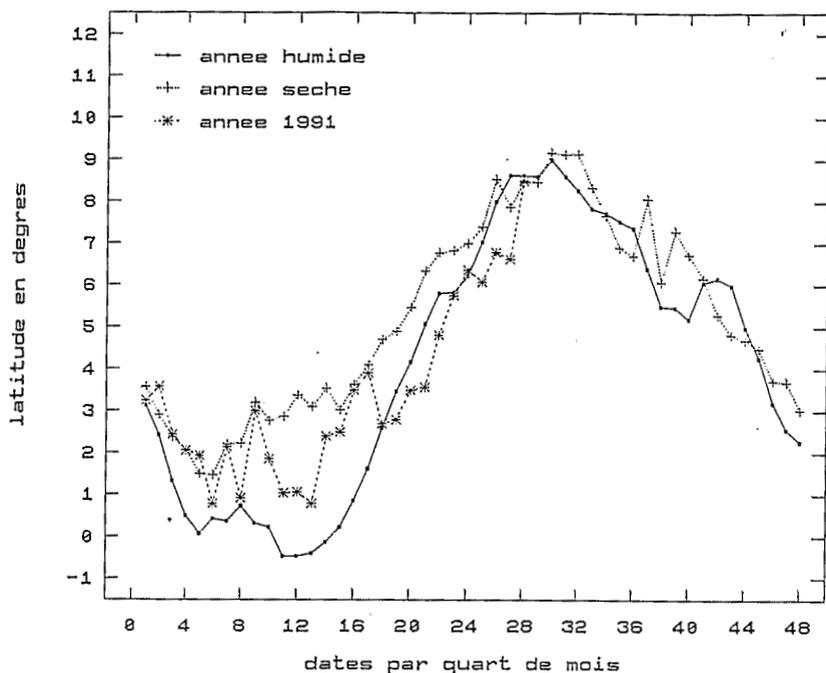


Figure 1 : Position de la ZITC le long de 28° W en 1991

Au Sénégal une cellule du réseau a été mise en place, qui regroupe les efforts de divers organismes (universités, Météorologie nationale, ORSTOM, etc.). Par le regroupement des données satellitaires, reçues sur place, du radar de l'aéroport, de pluviographes et du réseau météorologique, un effort important de recherche est conduit, facilité par des échanges de techniques et de savoir-faire (numérisation du radar, algorithmes et logiciels de traitement des données), au sein du réseau EPSAT (Fongang-Guillot, 1994).

Evaluation de l'état hydrique de la surface du sol

De nombreuses recherches ont été conduites pour une évaluation de l'état hydrique de la surface, accessible par la température de surface (Ts), estimée à partir de l'infrarouge thermique, et plus particulièrement par sa différence avec la température de l'air (Ta) (Seguin, 1987). L'utilisation à cet effet des mesures satellitaires Météosat et NOAA a fait l'objet de travaux

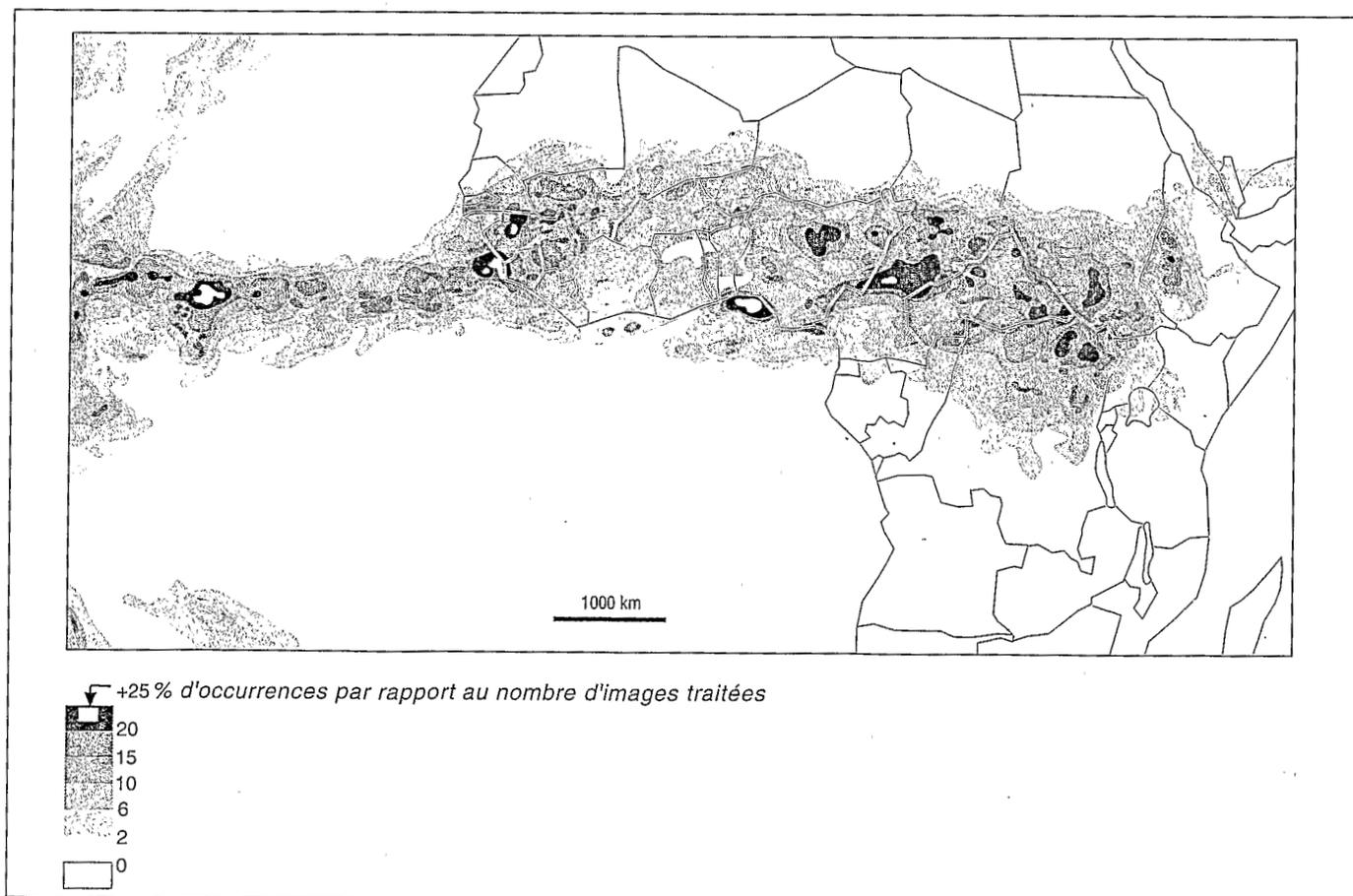


Figure 2 : Occurrences de nuages à sommet froid : (T° inférieures à -40° C) - Période : 3^e décade de juin 1990, 220 images

récents (Assad et al., 1986 ; Seguin et al., 1989). Des tests en France, à l'échelon national (Savane et al., 1989) ou régional (Bocquet, 1994) ont abouti à de bons résultats. La figure 3 montre que l'utilisation de l'indice $T_s - T_a$, cumulé au cours du temps $\Sigma (T_s - T_a)$ permet un suivi continu au cours de l'année et que "l'analyse... de stations appartenant à différentes régions climatiques, révèle un classement tout à fait logique, en fonction de la latitude et de la continentalité", les courbes des stations méditerranéennes (Alenya/Perpignan, Montpellier), plus méridionales et plus sèches, étant nettement au-dessus de celle de Rennes ou de Versailles. Surtout "La courbe de Toulouse, pour cette année 1985, met en évidence une autre caractéristique de ce suivi de $\Sigma (T_s - T_a)$, à savoir la capacité de détecter les épisodes de sécheresse, avec un accroissement de la pente pour Toulouse, qui traverse et dépasse celle d'Avignon", en conformité avec la sécheresse qui a affecté l'ensemble du sud-ouest à cette époque. Les études réalisées en Afrique (Rosema, 1993) permettent de penser qu'il serait possible d'aboutir rapidement à une stratégie de détection des zones à problème, notamment en zone sahélo-soudanienne, où la demande est forte, de la part des services régionaux et nationaux et des entreprises.

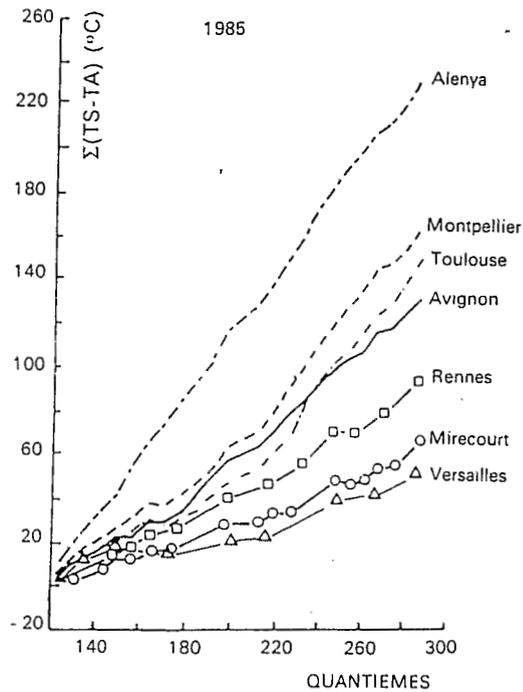


Figure 3 : Evolution de l'écart $\Sigma (T_s - T_a)$ en fonction du temps, 1985

EXEMPLES D'ETUDES SUR L'ENVIRONNEMENT

Relief et fréquences de nuages convectifs (Cb)

La figure 4, qui montre la répartition des fréquences de nuages à sommet froid (Cb) pendant l'hivernage en Afrique de l'Ouest (mai-octobre) suggère que ce paramètre, par son extrême sensibilité au milieu physique, apporte une perception très riche des contrastes régionaux. On y voit en effet, en lecture presque directe, une reproduction fidèle des reliefs (Dorsale camerounaise, Plateau

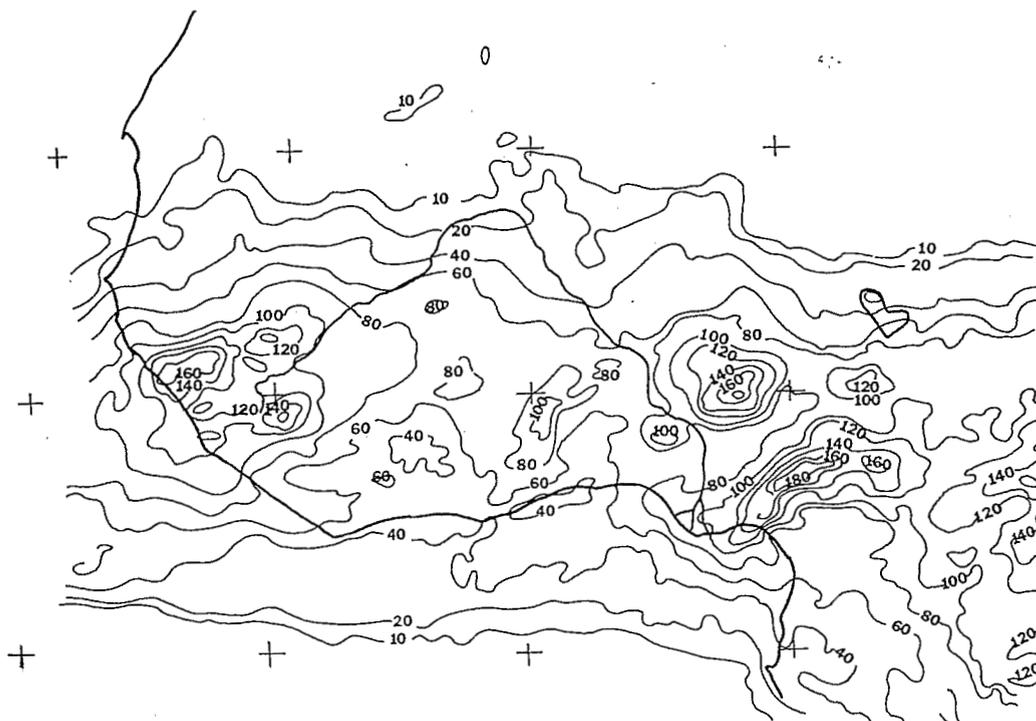


Figure 4 : Champ d'occurrences de nuages à sommet froid : 1^{er} mai au 31 octobre 1986. (1 038 images)

de Jos, Aïr, Atakora...). La sensibilité au relief des nuages d'orage peut être mise davantage en évidence par le recours à un Modèle Numérique de terrain. Sur la figure 5 on peut ainsi voir, sur une coupe NW-SE (Nigeria-Cameroun), une forte correspondance entre les pics et les creux des courbes. Un examen plus attentif montre un décalage entre la courbe du relief et celle des nuages, les nuages les plus nombreux se situant avant les sommets, sur le versant nord-ouest (effet d'ascendance sur le versant humide, au vent de la mousson), le versant sud-est se trouvant fortement défavorisé. A partir de là il n'est pas interdit de penser que les plus grandes fréquences de nuages précipitants sur les reliefs, synonymes de plus grandes fréquences d'averses, soient pour une grande part responsables des fortes densités de

population qu'on y trouve souvent, par rapport aux plaines environnantes, tout autant que les hypothétiques nécessités de refuge que l'on invoque généralement. Ceci concorde en tout cas avec des constatations qu'avait faites, il y a déjà longtemps, R. Diziain, à partir de données météorologiques classiques (fréquence des averses en début de saison des pluies), dans un travail resté malheureusement largement inédit (R. Diziain, com. personnelle).

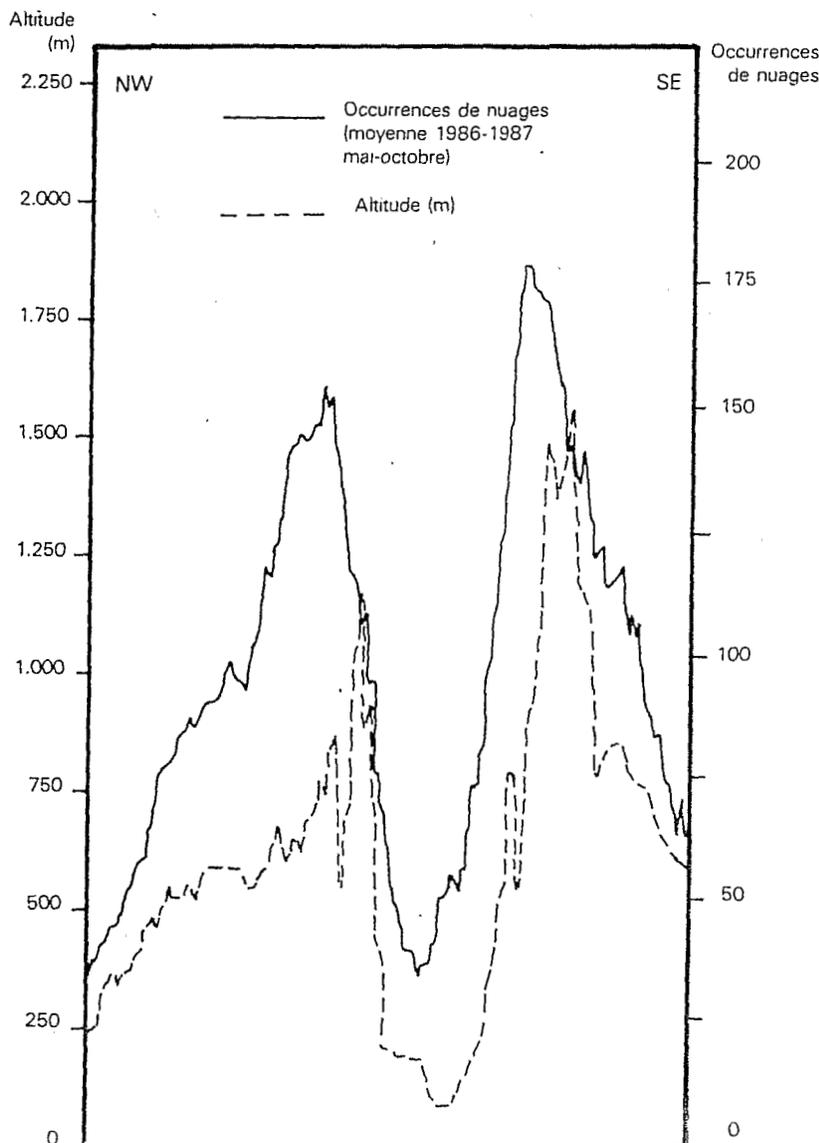
Relation nuages-précipitations et découpage régional au Niger

Une autre application des données sur les nuages à sommet froid consiste à en évaluer l'efficacité pluviogénique, par le rapport entre les précipitations mesurées aux stations (P) et les fréquences de nuages mesurées par satellite. On obtient ainsi un indice, baptisé PCb (Pluie par cumulo-nimbus, Lahuec et al., 1986), exprimé en mm de pluie par fréquence de nuage, représentatif des conditions locales (sécheresse et température de l'air, relief). Sa répartition montre des valeurs fortes dans la partie méridionale de l'Afrique de l'Ouest, en diminution rapide vers le nord et devenant pratiquement nulles aux portes du désert. Appliqué au Niger pour l'année 1986 (fig. 6) ce calcul montre une diminution constante de l'efficacité en pluie des nuages, du sud-ouest (12,5 mm) au nord-est du pays (2,5 mm). Cette distribution spatiale révèle aussi l'existence de deux ensembles régionaux disjoints et la prise en compte de ces différences amène une nette amélioration de la relation entre nuages et pluie. Celle-ci, relativement faible pour l'ensemble du pays (coefficient de corrélation de 0,7, 49% de la variance expliquée) s'améliore nettement si l'on traite séparément les deux régions, avec des coefficients de corrélation qui passent à 0,87 (région sud-ouest, 76% de la variance expliquée) et à 0,92 (85%). Une étude récente (Neel, 1995) a permis de vérifier, malgré d'assez fortes variations interannuelles, que cette tendance se confirme sur une période de temps plus longue (1986-1989), la relation nuages-pluie s'améliorant pour l'ensemble du Niger (coefficient de corrélation de 0,83) et pour les deux régions : coefficients de 0,92 au sud-ouest et de 0,95 au nord-ouest.

Autres applications

D'autres exemples d'application immédiate de ces données pourraient être présentés. Lahuec et al. (1992), ont bien montré, dans un article très documenté, qu'une utilisation combinée des températures de surface du sol et des fréquences de nuages permettrait un suivi très efficace de la

Figure 5 : Relief et convection. Coupe NW-SE (Nigeria-Cameroun) de 12° 55' N / 5° 48' E à 5° 18' N / 12° 73' E



saison des pluies en zone sahélo-soudanienne. Les météorologues du Mali pratiquent cette méthode avec succès pour leur propre compte, avec les données que nous leur envoyons (Diarra et Lahuec, 1995). La compagnie SOMDIAA (Société d'Organisation de Management et de Développement des Industries Alimentaires et Agricoles) utilise de même les fréquences de nuages pour en déduire le taux en sucre de la canne et par là les rendements, et la CFDFT (Compagnie Française pour le Développement des Fibres Textiles) teste en ce moment avec nous la faisabilité d'un suivi de la culture du coton.

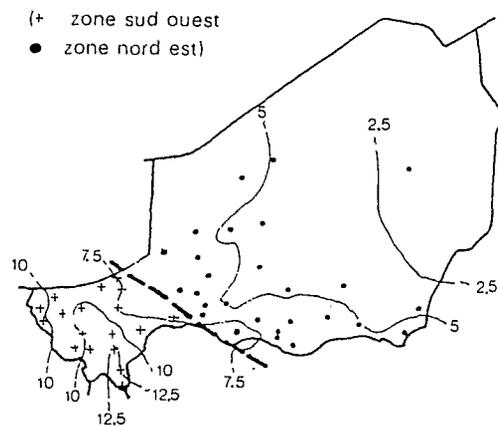
Plus généralement nous pensons que la mise en commun de cette source d'information, à faible résolution spatiale mais à très forte répétitivité temporelle, avec des données recueillies à des échelles plus fines (données des satellites NOAA, LANDSAT et SPOT et données de terrain), dans des bases de données convenablement gérées, pourrait compléter l'étude de l'environnement des sociétés, en lui fournissant un dimensionnement spatio-temporel élargi et une prise en compte améliorée de la dynamique des phénomènes. La publication de l'atlas : "Satellite et surveillance du climat : Atlas de veille climatique (1986-1994)" (Lahuec et Guillot, 1994), en édition bilingue (français-anglais) a été réalisée en partie pour réaliser ces objectifs : faire connaître à nos collègues de la recherche et du développement l'existence de cette base et des procédures de traitement des données qui l'accompagnent (Dagorne, 1988), et en développer l'utilisation.

REFERENCES

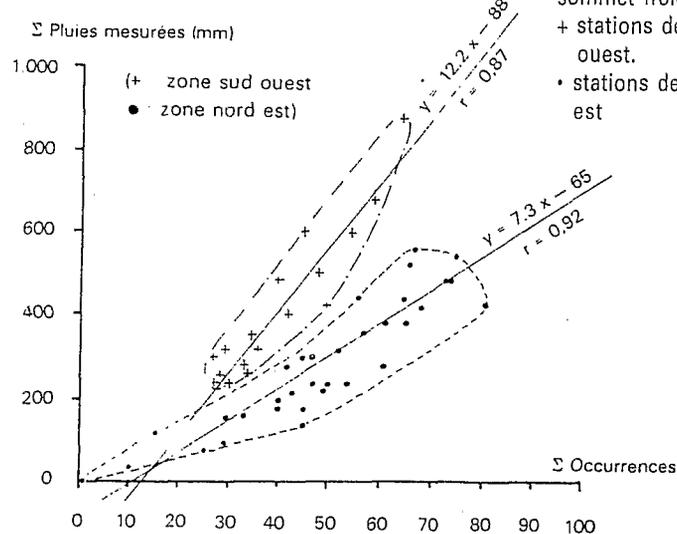
Assad E., Seguin B., Kerr Y., Fréteaud J.-P., Lagouarde J.-P., 1986. Approche quantitative de la pluviométrie au Sénégal à l'aide d'images infrarouge thermique du satellite Météosat. *Veille Clim. Sat.*, 13 (7), 21-29.

Bocquet V., 1994. *Détermination d'une méthode d'évaluation de l'état hydrique d'un couvert à l'aide de données thermiques issues de satellites météorologiques*. Application dans l'ouest de la France en 1991. Mém., univ. Rennes 2, ORSTOM/ENSAR, 135 + 36 p.

Brisson A., Le Borgne P., Marsouin A., Moreau Th., 1994. Surface irradiances calculated from Météosat sensor data during SOFIA-ASTEX. *Int. J. of Remote Sensing*, 15 (1), 197-203.



6 - a : Carte des PCb :
+ stations de la région sud-ouest.
• stations de la région nord-est



6 - b : Relation pluviométrie-occurrences de nuages à sommet froid :
+ stations de la région sud-ouest.
• stations de la région nord-est

Cadet D.-L., Guillot B., 1991. *EPSAT. Estimation des Précipitations par SATellite*. ORSTOM-Ministère de la Coopération, 63 p.

Figure 6 : Relation pluviométrie-occurrences de nuages à sommet froid (Niger, 1986)

Carn M., Dagorne D., Guillot B., Lahuec J.-P., 1990. Estimation des champs pluviométriques mensuels. Résultats en 1990 et commentaire rapide. *Veille Clim. Sat.*, 34 (9), 24-32.

Citeau J., Guillot B., Lae R., 1984. Opération Listao : reconnaissance de l'environnement physique en Atlantique intertropicale à l'aide des satellites Météosat et GOES Est. ORSTOM, *Initiation-Documentation Technique 63, Télé-détection 10*, 28 p.

Citeau J., Demarcq H., Goryl Ph., Marec L., 1991. Position de la Zone InterTropicale de Convergence le long de 28° W et température de surface de l'océan. *Veille Clim. Sat.*, 36 (2), 5-12.

- Dagorne D., 1988. Le traitement des données satellitaires à l'antenne ORSTOM de Lannion. Le logiciel Triskel. *Veille Clim. Sat.*, 23 (8), 17-22.
- Demarq H., Citeau J., Bergès J.-C., 1988. Restitution de la température de surface de la mer à la résolution Météosat par intégration de données exogènes. *Veille Clim. Sat.*, 21 (2), 63-66.
- Diarra B., Lahuec J.-P., 1995. Utilisation pratique des données agrométéorologiques au Mali. Contribution des images satellitaires. A paraître in *Veille Clim. Sat.*, 13 p., 9 fig.
- Farki B., Dagorne D., Guillot B., 1992. Classification des nuages sur l'Afrique à l'aide de Météosat 4. *Veille Clim. Sat.*, 43 (11), 54-78.
- Fongang S., Guillot B., 1994. *Les activités du réseau EPSAT au Sénégal. Un exemple réussi d'opération de recherche en partenariat.* Colloque du cinquantenaire de l'ORSTOM, UNESCO, 1994, 8 p.
- Guillot B., 1985. Le programme "Veille Climatique Satellitaire". *La Météorologie*, VII^e Série, 9, 60-63.
- Guillot B., 1995. Satellites et précipitations : Contraintes techniques et physiques, analyse de quelques méthodes, problèmes de recherche et de validation. "Workshop Franco-Brasileiro em previsao de tempo em mesoescala", Maceio, 35 p., à par. in *Veille Clim. Sat.*, 53.
- Kayiranga Th., Desbois, M., Picon L., 1987. Diurnal variation of convective cloudiness in tropical Africa observed with Meteosat ISCCP B2 Data. *Adv. Space res.*, 7, 3, 163-166.
- Lahuec J.-P., Carn M., Guillot B., 1986. Convection et pluviométrie en Afrique de l'Ouest. Bilan provisoire pour l'année 1986. *Veille Clim. Sat.*, 15 (11), 19-24.
- Lahuec J.-P., Carn M., Dagorne D., Lemoigne O., 1992. La saison des pluies 1991 en Afrique de l'Ouest soudano-sahélienne. Suivi à partir d'images Météosat. *Norôis*, 39, 155, 255-267.
- Lahuec J.-P., Guillot B., 1994. *Satellite et surveillance du climat : Atlas de Veille Climatique : 1986-1994 (Afrique et Atlantique intertropicale).* ORSTOM Editions, A3, 91 p.
- Lebel Th., Sauvageot H., Hoepffner M. Desbois B., Guillot B., Hubert P., 1992. Rainfall estimation in the Sahel : the EPSAT-NIGER experiment. *Hydrological Sciences Journal*, 37/3, 2123-2138.
- Marec L., Bourdet C., Dagorne D., Guillot B., 1994. Température de surface de la mer et assistance à la pêche thonière. *Atlas de Veille Climatique : 1986-1994*, 28-29.
- Neel A., 1995. *Fréquences de nuages et précipitations : mise en évidence de cohérences spatiales au Niger.* Mém., univ. de Bretagne occidentale, 89 + 30 p.
- Nègre Th., Imbernon J., Guinot J.-P., Seguin B., Bergès J.-C., Guillot B., 1988. Estimation et suivi de la pluviométrie au Sénégal par satellite Météosat. *L'Agronomie Tropicale*, 43-4, 279-288.
- Rosema A., 1993. Using Meteosat for operational evapotranspiration and biomass monitoring in the Sahel region. *Remote Sens. Environ.*, 46, 27-44.
- Savane M., Seguin B., Guillot B., 1989. Utilisation des synthèses thermiques de Météosat étalonnées par NOAA/AVHRR en agroclimatologie. *Veille Clim. Sat.*, 28 (7), 55-60.
- Seguin B., 1987. Estimation de l'évapotranspiration par télédétection satellitaire dans l'infrarouge thermique. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 73(6), 53-60.
- Seguin B., Assad E., Fréteaud J.-P., Imbernon J., Kerr Y., Lagouarde J.-P., 1989. Use of meteorological satellites for water balance monitoring in Sahelian regions. *Int. J. Remote Sensing*, 10(6), 1101-1117.

Sahel :
la Grande Sécheresse
Sahel : the Great Drought

VOLUME 70 3-4/95



08 MARS 1996