

Jean CITEAU
 Bernard GUILLOT
 Jean-Paul LAHUEC
 Rose-May THEPENIER
 Centre de Météorologie spatiale
 de Lannion

Application des données du satellite Météosat à une prévision climatique en Afrique de l'Ouest

RÉSUMÉ

L'utilisation en routine des données fournies par les satellites géostationnaires METEOSAT et GOES EST en 1982 et 1983 permet d'espérer réaliser une prévision à moyen terme (trois à neuf mois) des grandes anomalies climatiques annuelles en Afrique. Durant ces deux années, l'effondrement de la convection en Afrique de l'Ouest en septembre-octobre 1982, accompagné d'une descente vers le Sud de la Zone Intertropicale de Convergence, a été précédé de remontées d'eaux froides (upwellings) très précoces dès avril 82 sur les côtes du Gabon et le long de l'équateur, qui se sont développées et ont persisté anormalement jusqu'en octobre 82. Cet effondrement de la convection a entraîné une sécheresse très sévère en janvier-mars 1983, et la répétition presque parfaite de ces événements fin 1983 laisse supposer que le début de 1984 sera également anormalement sec sur la côte du Golfe de Guinée. Une veille satellitaire améliorée et la mise au point de modèles empiriques de prévision permettraient de donner l'alerte à plusieurs mois en cas de grande anomalie climatique sur l'Afrique.

ABSTRACT

USE OF THE DATA COLLECTED BY METEOSAT SATELLITE
 IN ORDER TO FORECAST THE CLIMATE IN WESTERN AFRICA

The routine use of the data collected by METEOSAT and GOES EST geostationary satellites in 1982 and 1983 will allow to forecast in the middle term (three to nine months) the big annual climatic anomalies in Africa. During these two years, the subsidence of convection in western Africa in September-October 1982 associated with a southward movement of the Intertropical Convergence Zone was preceded by very early upwellings which occurred along the coasts of Gabon and the equator as soon as April 1982 and continued abnormally until October 1982. This subsidence of convection gave rise to a severe drought in January-March 1983. These events occurred again at the end of 1983, suggesting that the early months of 1984 will be abnormally dry along the coast of the Gulf of Guinea. An improved watch satellite and the development of empirical forecasting

models would allow to warn of a big climatic anomaly in Africa several months in advance (paper completed in December 1983).

L'un des objectifs de l'antenne ORSTOM¹ au Centre de Météorologie Spatiale (CMS) de Lannion est d'utiliser les données des satellites météorologiques pour une meilleure connaissance des climats dans la zone intertropicale, en appui de recherches menées sur le terrain, en Afrique en particulier. L'observation globale que permet le satellite géostationnaire Météosat, couplée à des données in situ, recueillies en temps réel ou presque réel, nous a conduit à surveiller durant deux années consécutives (1982-1983) des événements climatiques apparemment liés entre eux. Nous avons ainsi vu apparaître, dans l'ordre : en avril des remontées d'eaux froides (upwellings) très précoces sur les côtes du Gabon et le long de l'équateur, un énorme développement de ces eaux froides en juin-juillet, et leur persistance anormale en octobre. Ces événements précèdent un effondrement de la convection en Afrique de l'Ouest en septembre-octobre, et une descente rapide et profonde vers le sud de la Zone Intertropicale de Convergence ; une sécheresse très importante a sévi en janvier-mars 1983 jusqu'à l'équateur, accompagnée de pluies abondantes entre 5 et 20° sud, et d'une sécheresse très sévère en Afrique du Sud, et de l'arrivée à la côte, par 30° sud, d'eaux chaudes venues du nord-ouest (« South Atlantic El Nino » des auteurs sud-africains). La répétitivité quasi parfaite observée permet de dire qu'il est possible de réaliser une prévision à moyen terme (de l'ordre de trois à neuf mois suivant les cas) de ces phénomènes anormaux.

L'OBSERVATION DES GRANDS ÉVÈNEMENTS CLIMATIQUES

LES CHAMPS THERMIQUES DE SURFACE

Nous utilisons les données du radiomètre infra-rouge de Météosat pour une restitution des champs thermiques de surface. L'algorithme que nous employons consiste en une superposition du plus grand nombre possible d'images, dont nous extrayons une synthèse hebdomadaire, par une procédure de tri qui accorde, à chaque point de l'image de référence, parmi les n valeurs disponibles des n images, celle qui correspond au maximum de température ; nous obtenons ainsi une élimination des nuages, qui sont plus froids que la mer ou le sol (nous n'utilisons que des images de jour) et qui se déplacent rapidement.

La première expérience d'extraction hebdomadaire globale a été tentée en juin 1982, et elle a donné lieu à une publication¹. C'est la seule que nous ayons réalisée en pleine résolution. Depuis octobre 1982 nous procédons à une synthèse hebdomadaire par mois, en traitant un point sur quatre, sur des fichiers de 1 024 lignes et 1 024 points ; depuis avril 1983 nous produisons une synthèse par mois en un point sur quatre, et trois synthèses en un point sur 16 (fichiers de 512 lignes et 512 points). En fait, les débuts de cette observation ont coïncidé avec la mise au point par l'Agence Spatiale Européenne d'un calage géométrique des images qui assure une parfaite superposition, ce qui permet un gain de temps important. Nous utilisons des calibrations radiométriques approchées, basées essentiellement sur des vérités-mer, calibrations que nous pensons améliorer, dans un premier temps par les procédés de l'Agence Spatiale,

1. CITEAU (J.), GUILLOT (B.), *Le globe dans l'infra-rouge thermique*, imprimerie du Trégor, octobre 1982, 4 pages, photo en couleur, 2 figures.

puis par une intercalibration avec les données des satellites à défilement². La correction de l'absorption atmosphérique est un autre problème, que nous espérons résoudre par des voies appropriées, dans le cadre du service opérationnel d'aide à la pêche, que la météorologie nationale a pris en charge et qui est en cours de création à Lannion.

L'utilisation de ces données permet de suivre, sur mer :

- Les upwellings côtiers nord et sud, dans leur balancement saisonnier du nord au sud, et leur disparition éventuelle, en ce qui concerne les upwellings de l'hémisphère austral ;
- la répartition des masses d'eaux chaudes et froides, et l'emplacement des fronts thermiques.

L'observation du champ thermique terrestre diurne a révélé l'existence sur le continent africain de quatre fronts thermiques principaux, disposés zonalement :

- au nord un front, que l'on peut intituler nord-saharien, délimite les zones humides et fraîches (ou froides, en hiver boréal) des zones chaudes ;
- au sud un front de même nature sépare la zone tempérée fraîche du désert du Kalahari ;
- au centre deux fronts marquent l'extension spatiale des pluies liées à la Zone Intertropicale de Convergence.

Ces fronts se présentent comme une discontinuité importante, qui ne ressort pas partout avec la même intensité en fonction des particularités du milieu, mais qui est la plupart du temps facilement mise en évidence par une simple coupe dans les données (fig. 1).

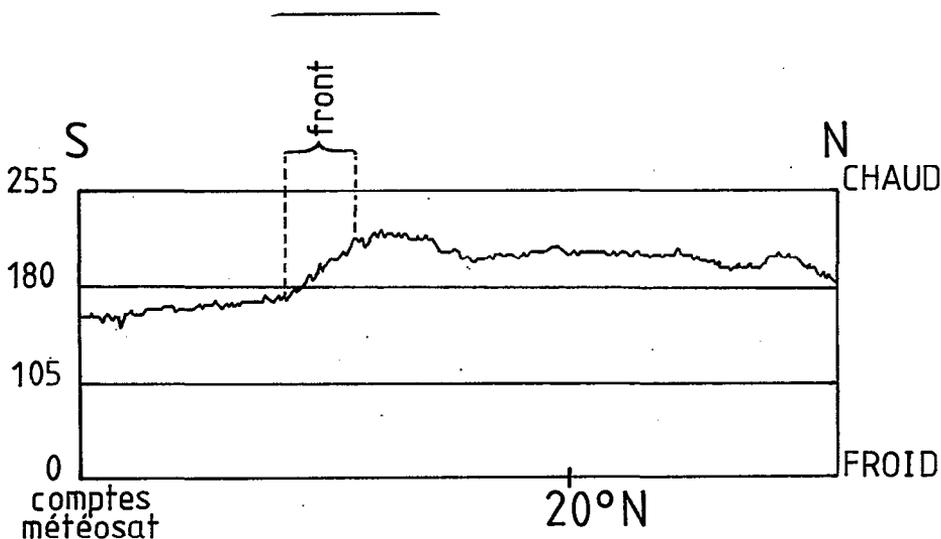


Fig. 1 : Météosat, 21 à 27-10-1982, coupe nord-sud, à 20° Est.

2. Intercalibration facilitée par le fait que le CMS de Lannion a été choisi comme centre mondial d'intercalibration satellitaire, dans le cadre du projet ISCCP (International Satellite Cloud Climatology Project).

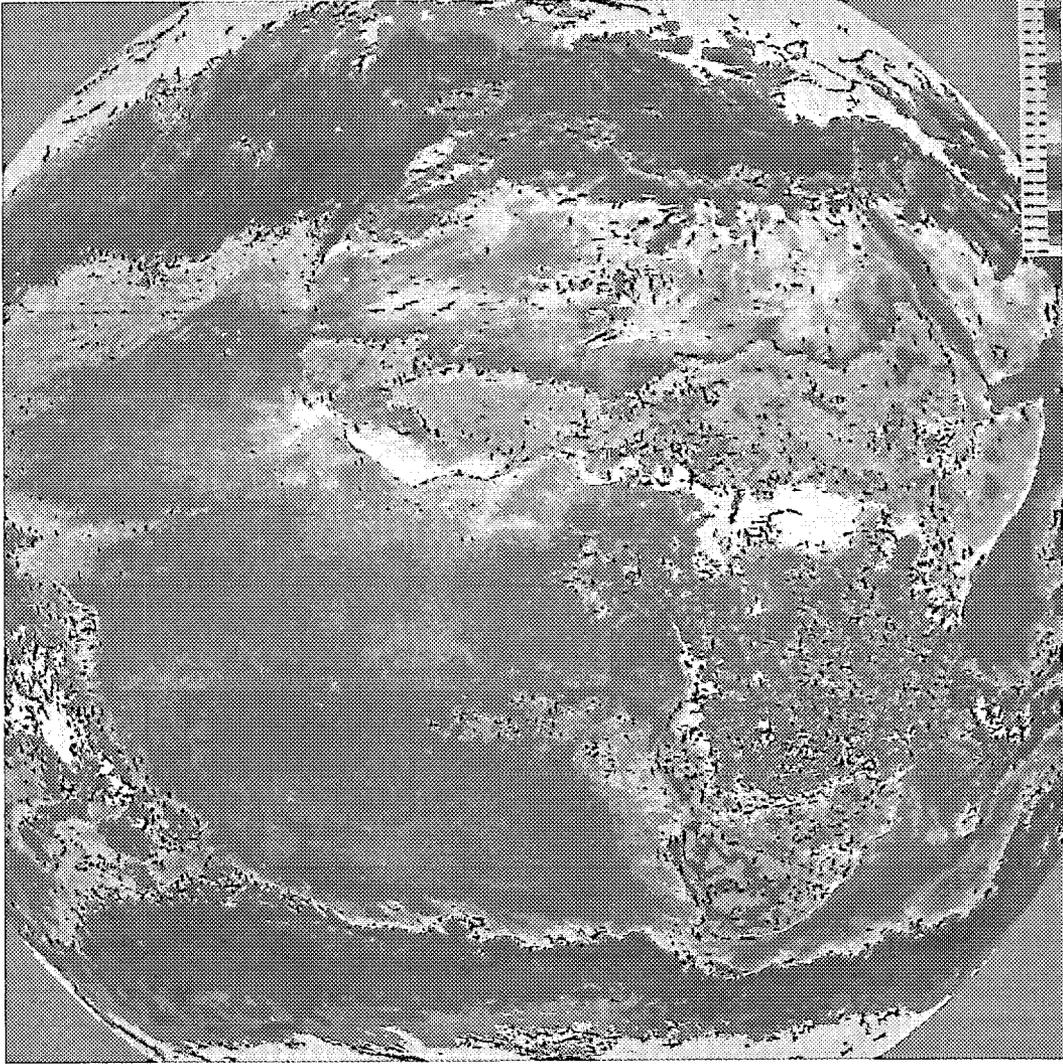


PLANCHE I

SYNTHÈSE INFRA-ROUGE THERMIQUE MÉTÉOSAT
DU 20 AU 26 JANVIER 1983

Images à 8 h 30, 9 h 30, 11 h 30, 14 h 30 et 15 h 30 TU. Les couleurs symbolisent des niveaux de température radiative échelonnés du chaud, en noir (60 °C) au froid (blanc), suivant l'échelle indiquée en haut à droite. Les fronts thermiques nord et sud de la Zone Intertropicale de Convergence se situent à peu près entre l'ocre clair et le rouge foncé (couleurs 6 et 7).

Nous suivons avec une particulière attention l'évolution du front nord de la zone humidifiée par la convergence intertropicale, qui représente la limite entre les zones sèches et les zones humides, et qui constitue de ce fait une excellente signature du calendrier climatique saisonnier annuel et interannuel.

LA CARTOGRAPHIE DES ZONES CONVECTIVES

Une méthode simple, mise au point par les néphanalystes du CMS [BERTHOU (H.), NOYALET (A.), inédit] permet, par l'examen simultané des photographies infra-rouge et visible de Météosat, de distinguer les types de nuages ; nous utilisons cette méthode pour une cartographie des fréquences d'apparition des amas convectifs, et nous en dressons des bilans mensuels, pour suivre l'évolution de la Zone Intertropicale de Convergence. Les cartes décrivent l'aire couverte par la convection, et son intensité.

UTILISATION DES DONNÉES CONVENTIONNELLES

Nous recevons à Lannion les données véhiculées par le Système Mondial de Transmission (SMT) ; nous interrogeons ainsi le fichier des températures de mer (réseau des bateaux marchands) que nous pouvons comparer aux champs thermiques Météosat. L'ASECNA nous fournit les relevés pluviométriques mensuels des stations synoptiques, et les écarts à la normale. Nous sommes en liaison également avec le service météorologique du Mali, qui nous envoie depuis quelques mois son bulletin agrométéorologique, qui comporte des données décennales : pluviométrie, température au sol, humidité, et une appréciation de la situation. Notre ambition est de multiplier ce type de contact, pour avoir des données in situ dans une zone la plus large possible et pour mettre sur pied un réseau d'informations en temps réel, ou presque réel.

L'ÉVOLUTION DES GRANDS ÉVÉNEMENTS CLIMATIQUES D'AVRIL 1982 À MARS 1983

L'UPWELLING ÉQUATORIAL

Selon nos observations, et en ce qui concerne l'Afrique de l'Ouest et son environnement océanique, le premier événement important de cette période s'est produit début avril, avec l'apparition très précoce de l'upwelling côtier, prélude au développement de l'upwelling équatorial ; nous possédons des données (du 17 au 21 avril) qui ne laissent aucun doute à ce sujet, et le navire océanographique Nizery, en campagne à ce moment-là à cet endroit a confirmé l'information satellitaire. Cet upwelling côtier, apparu avec 40 jours d'avance sur la date normale, n'est pas sans relation avec l'upwelling équatorial de 1982 qui fut aussi précoce, et dont l'extension spatiale fut très importante, puisqu'il couvrait en juin-juillet environ 3 700 km d'est en ouest, et 700 km du nord au sud ; enfin, contrairement à ce que l'on observe habituellement, il persistait encore en octobre (situation du 21 au 27), et une très grande tache d'eau froide subsistait entre 0 et 10° ouest, et 1° nord et 3° sud. La présence de cette anomalie froide, et sa persistance, ne peuvent pas ne pas avoir eu d'effets négatifs sur l'approvisionnement en eau de la zone intertropicale de convergence, dans sa branche ouest-africaine.

L'ÉVOLUTION DE LA LIMITE NORD
DE LA ZONE INTERTROPICALE
DE CONVERGENCE
(ZITC) : MOUVEMENTS DU FRONT THERMIQUE

En octobre on observe sur le continent un rafraîchissement très net des températures diurnes au nord du Sahara, et une descente très rapide du front thermique nord de la ZITC. Celui-ci, après avoir progressé vers le nord jusqu'en août, où il a culminé à la hauteur du cap Timiris, soit aux environs de 20° nord, est resté à ce niveau jusqu'à début septembre. A ce moment-là il a amorcé sa descente vers le sud ; il était à 13° nord fin octobre, et il a atteint, fin décembre, les limites de la forêt équatoriale, et la côte du golfe de Guinée, au niveau des savanes de l'embouchure de la Volta. Fin janvier le front se confond avec la bordure de la forêt, et la limite de la zone affectée par les nuages convectifs est en fait bien plus au sud, au niveau de l'équateur, ce qui nous a permis, entre autres, de voir, complètement dégagés des nuages qui les recouvrent habituellement, le fleuve Congo dans sa grande boucle vers le nord, et le lac Victoria.

L'ÉVOLUTION DE LA ZITC :
L'ANALYSE DES ZONES CONVECTIVES
SUR LES PHOTOGRAPHIES

La figure 2 présente trois cartes de l'activité convective en Afrique intertropicale, obtenues par la méthode décrite précédemment. La carte d'octobre montre une faible activité convective en Afrique de l'Ouest ; les plus fortes fréquences (plus de 20 %) se limitent à la côte du Bénin, de Douala à Lomé, et à un petit secteur au niveau de Conakry. En fait l'activité convective s'est effondrée au cours de ce mois, en conjonction semble-t-il avec la persistance de l'upwelling équatorial et avec le refroidissement généralisé des eaux du golfe.

En janvier la situation peut être qualifiée de catastrophique. Il n'y a pas de convection sur le continent à l'ouest de 8° est, et celle-ci ne dépasse pratiquement par l'équateur en Afrique centrale ; à ce niveau, la carte coïncide parfaitement avec le champ thermique de janvier.

En complément des observations satellitaires nous avons dressé une carte de la pluviosité en janvier 1983, comparée à la moyenne des stations. Ce document (fig. 3) est particulièrement éloquent, et en accord complet avec les précédents. Il indique que l'activité convective a été absolument nulle dans tous les secteurs que nous avons cités précédemment, puisqu'aucune station au nord de l'équateur (sauf Libreville), qui est à 0°15 nord) n'a enregistré de précipitations. Les stations à 3-4° sud ont connu une pluviosité normale (Loubomo) et même supérieure à la normale, au-delà de 4° sud (Brazzaville, Pointe-Noire). L'ampleur de l'anomalie est absolument sans précédent connu ; en Côte d'Ivoire on n'a pas observé de mois de janvier semblable depuis l'origine des stations, et ceci est sans doute vrai pour toute l'Afrique de l'Ouest.

Il semble que tout se soit passé comme si l'ensemble des zones climatiques avait été décalé vers le sud, en concordance avec ce qui s'est produit au même moment sur les côtes du Pacifique oriental : inondations au nord du Pérou, habituellement désertique, et sécheresse catastrophique au sud³ ; ici ce sont les régions au sud de l'équateur qui ont été bien arrosées, jusqu'à 20° sud et même au-delà, tandis que le

3. Sécheresse qui a entraîné la disparition presque totale du lac Poupou (document GOES EST « visible » du 15-11-1983).

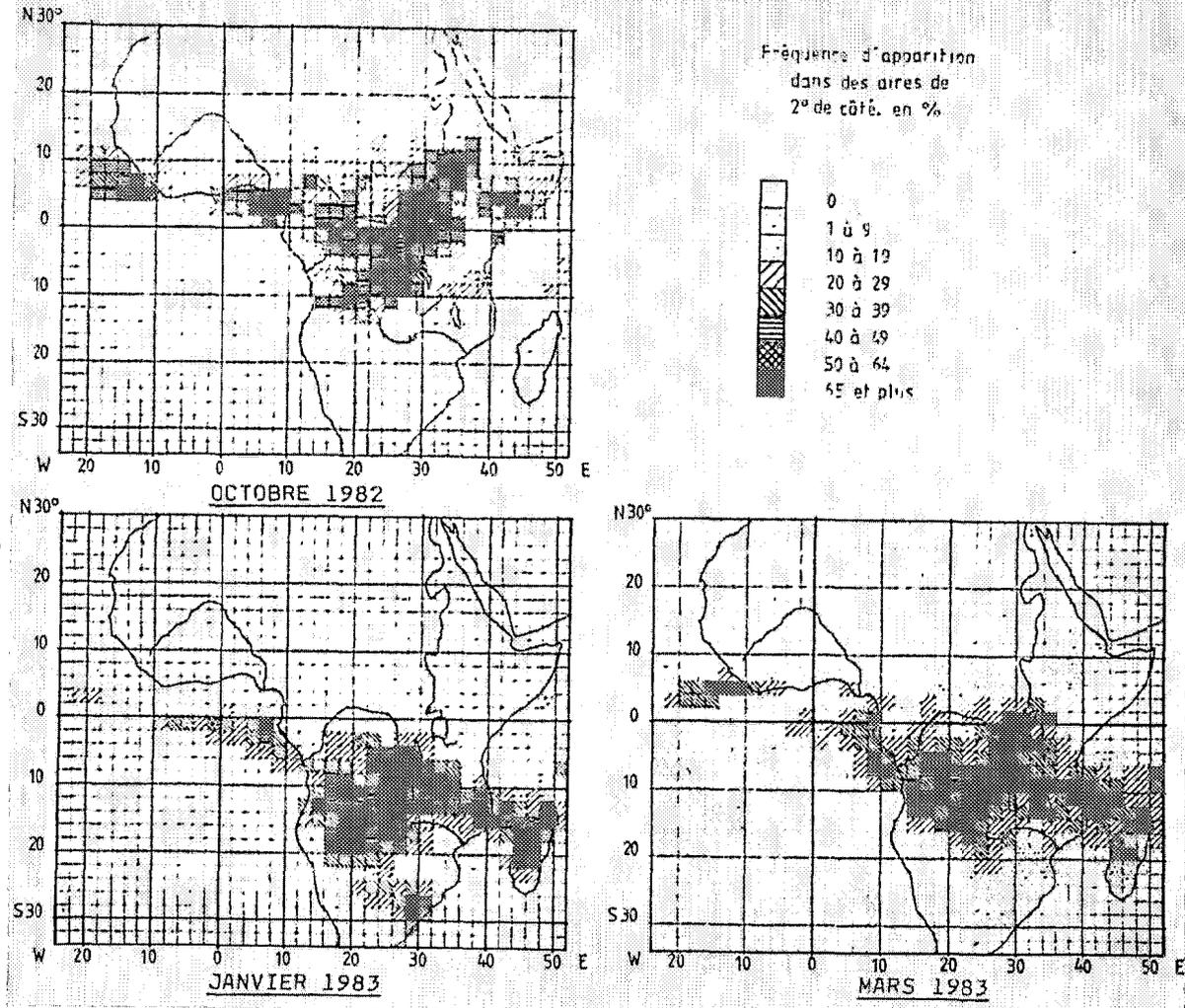


Fig. 2 : Amas nuageux convectifs, fréquences mensuelles.

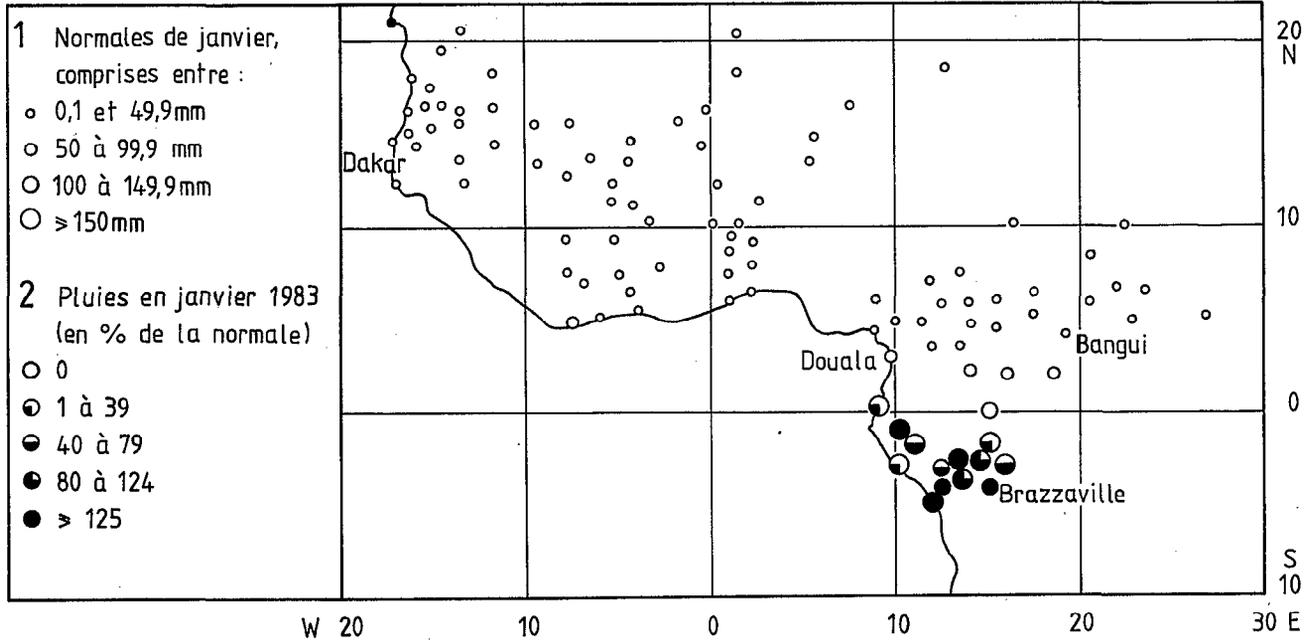


Fig. 3 : Pluviométrie relative en Afrique, en janvier 1983.

désert du Kalahari se transportait vers la pointe de l'Afrique du Sud, où les très fortes températures diurnes, signe d'une aridité très accusée, atteignaient presque la côte à l'est de Capetown.

ANOMALIES THERMIQUES DANS LE SUD-EST DE L'ATLANTIQUE

Le décalage vers le sud des zones climatiques fait partie du réajustement global qui engendre le phénomène « El Niño » ; celui-ci s'est produit dans le Pacifique en 1982-1983 avec une particulière intensité⁴. Un événement concomitant assez semblable s'est déroulé dans le sud-est de l'Atlantique ; une importante masse d'eaux chaudes, dont le mouvement était déjà perceptible en octobre, a déferlé d'ouest en est, en direction de la côte de l'Afrique du Sud, qu'elle a atteint fin décembre, début janvier. Le champ thermique Météostat présenté sur la figure 4 est extrait d'une synthèse du 13 au 19 janvier que nous avons calée sur la carte des températures de la même époque du National Weather Service (fig. 5). Les upwellings côtiers ont presque disparu, et les eaux ont atteint une température supérieure de 9° à la normale au nord de Capetown. Ces eaux chaudes ont persisté longtemps, provoquant même localement, en mars 1983 l'apparition de nuages convectifs en des endroits tout à fait inhabituels, par 28° sud et 8° est (fig. 2), de même qu'en janvier par 18° sud et 10° est, au niveau de l'Angola et de la Namibie, qui bénéficiaient, semble-t-il, d'une importante pluviosité.

L'ÉVOLUTION DES GRANDS ÉVÉNEMENTS CLIMATIQUES D'AVRIL À NOVEMBRE 1983

L'effondrement de la convection au nord de l'équateur et sur le golfe de Guinée entre décembre et mars 1983 a favorisé un fort ensoleillement, et provoqué un important réchauffement des eaux de surface, que l'on a pu suivre semaine après semaine sur les synthèses Météosat successives. Ce réchauffement fut sans doute en partie à l'origine d'une reprise brutale de la convection, à la fin du mois d'avril ; début mai, le front thermique était même remonté plus au nord que l'année précédente. Malheureusement, l'upwelling équatorial s'est aussi manifesté très tôt, début avril ; il atteignait un fort développement fin mai, et nous écrivions dès cette époque : « il semble que l'on se dirige vers une situation identique à celle de l'année dernière, ce qui peut avoir des conséquences fâcheuses pour la suite de la saison des pluies sur l'Afrique de l'Ouest »⁵. La suite des événements a prouvé que nous avons vu juste, et qu'une alerte aurait pu être lancée, dès le début du mois d'avril, pour prévenir les conséquences de la sécheresse actuelle.

LES UPWELLINGS CÔTIERS ET L'UPWELLING ÉQUATORIAL

L'upwelling côtier s'est manifesté fin mars, début avril, sur les côtes du Congo et du Gabon, provoquant immédiatement une disparition de la convection, sur laquelle il a agi comme un repoussoir. L'upwelling équatorial est apparu presque simultanément.

4. RASMUSSEN (E.M.), HALL (J.M.), *L'important réchauffement du Pacifique de 1982-1983, bulletin de l'OMM, vol. 32, octobre 1983, p. 334-340.*

5. CITEAU (I.), GUILLOT (B.), THEPENIER (R.M.), *La surveillance des grands événements climatiques à partir d'observations satellitaires, dactyl., juin 1983, page 14.*

ment et s'est poursuivi rapidement vers l'ouest ; en juin il avait un aspect absolument identique à celui de 1982, avec 15 jours d'avance environ dans son évolution, une intensité thermique comparable, et une extension dans l'espace sensiblement équivalente, quoique un peu plus faible. Il a persisté en juillet, en présentant des creux thermiques accentués, en août, et on en distinguait encore des traces fin octobre.

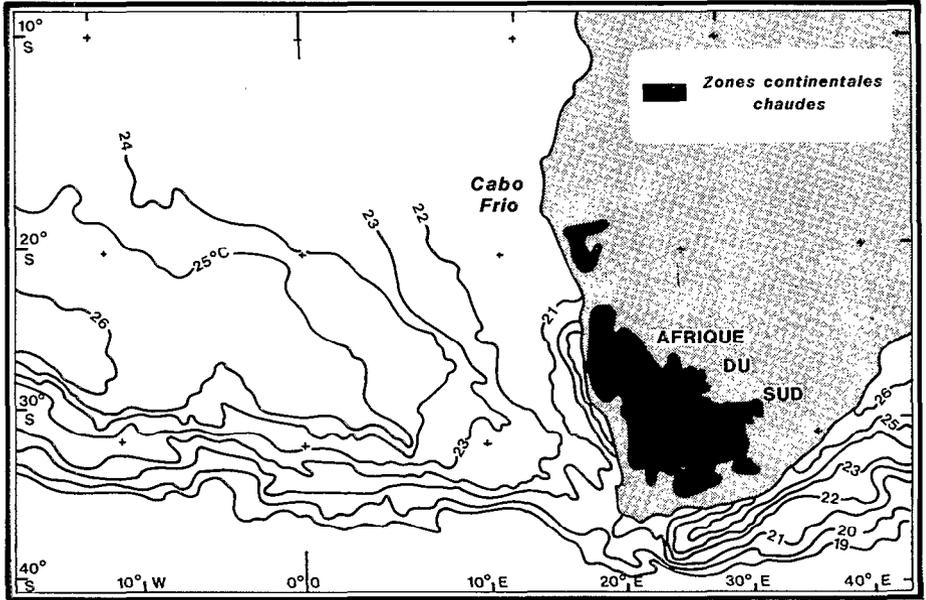


Fig. 4 : Champ thermique Météosat Sud-Atlantique du 13 au 19 janvier 1983.

L'ÉVOLUTION DE LA ZITC

L'évolution de la ZITC est en concordance dans le temps avec les upwellings, car la descente vers le sud des fronts thermiques s'est produite également avec à peu près quinze jours d'avance sur le calendrier de 1982. Le front thermique s'est trouvé plus au sud dès la fin du mois de septembre ; en octobre (fig. 6) il est situé entre les mois d'octobre et de novembre de 1982, et en novembre 1983 entre les mois de novembre et de décembre 1982. Si cette tendance continue le niveau de janvier 1983 sera atteint dès le mois de décembre, ce qui pourrait engendrer sur la côte du golfe de Guinée une sécheresse plus précoce et d'une durée encore plus grande que celle de l'année précédente.

Pour ce qui concerne le Sahel, les effets du raccourcissement de la saison des pluies, et de l'appauvrissement en humidité de la mousson par les upwellings, ont déjà fait sentir leurs effets, et la situation est très préoccupante. Nos informations en provenance du Mali sont sans ambiguïté, et on peut lire dans le bulletin agrométéorologique décadaire (période du 21 au 30 septembre 1983) que « les hauteurs des précipitations du 21 au 30 septembre ont été très inférieures aux normales partout... Le cumul des pluies tombées entre le 1^{er} mai et le 30 septembre demeure généralement très déficitaire : seules la zone du Centre-Est (de Mopti à Koutiala) et les localités de

Bougouni, Bamako... ont un déficit inférieur ou égal à 25 %... ; partout ailleurs, le déficit dépasse 30 % ». La carte insérée dans le texte, que nous reproduisons ci-contre (fig. 7), souligne la gravité de la situation. Les pluies n'ont atteint nulle part au Mali leur niveau moyen, et elles se tiennent le plus souvent entre 40 et 60 % de la normale. Les informations que nous avons reçues du Niger et du Sénégal sont aussi préoccupan-

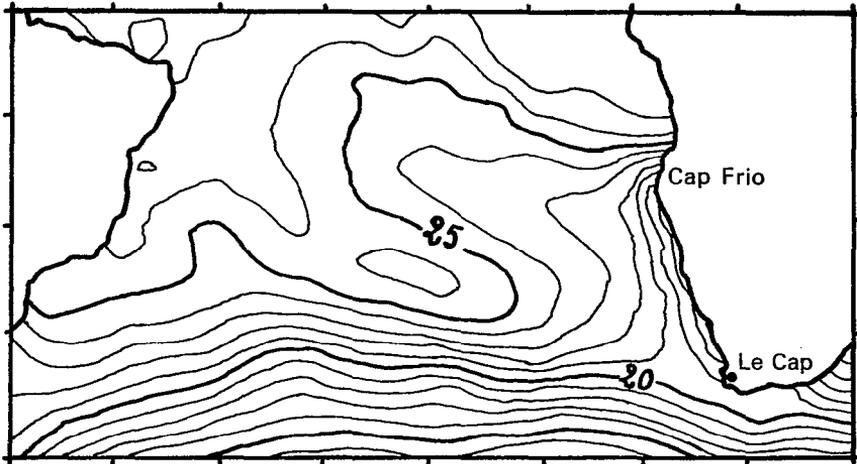


Fig. 5 : Isothermes de surface de l'Atlantique Sud (16-01-1983).

tes, au point que les agronomes en viennent à remettre en cause les schémas de développement mis au point après la catastrophe des années 1971-1973.

Nous nous proposons de faire une analyse plus complète, notamment par une comparaison des cartes des amas convectifs de 1982 et 1983, qui ne sont pas encore toutes établies.

« EL NIÑO »

Au moment où nous écrivons une puissante dérive d'eaux chaudes vers le sud-est de l'Atlantique et les côtes de l'Afrique du Sud est en train de se produire, très semblable à celle que nous avons découverte fin décembre 1982 ; elle progresse de façon sensible vers l'est, et se trouve le 14 décembre 1983 à 27° sud et 6° est.

CONCLUSION

Les deux années climatiques que viennent de subir l'Afrique et son environnement océanique Atlantique se ressemblent donc beaucoup. Le trait majeur qui ressort de nos observations est la répétitivité quasi parfaite, dans le temps, des événements que nous avons pu suivre en veille continue. Si l'on fixe arbitrairement le début de « l'année » climatique à la naissance des upwellings, on a vu apparaître ensuite, dans l'ordre, le développement très grand de ces remontées d'eau froide, et leur persistance anormale,

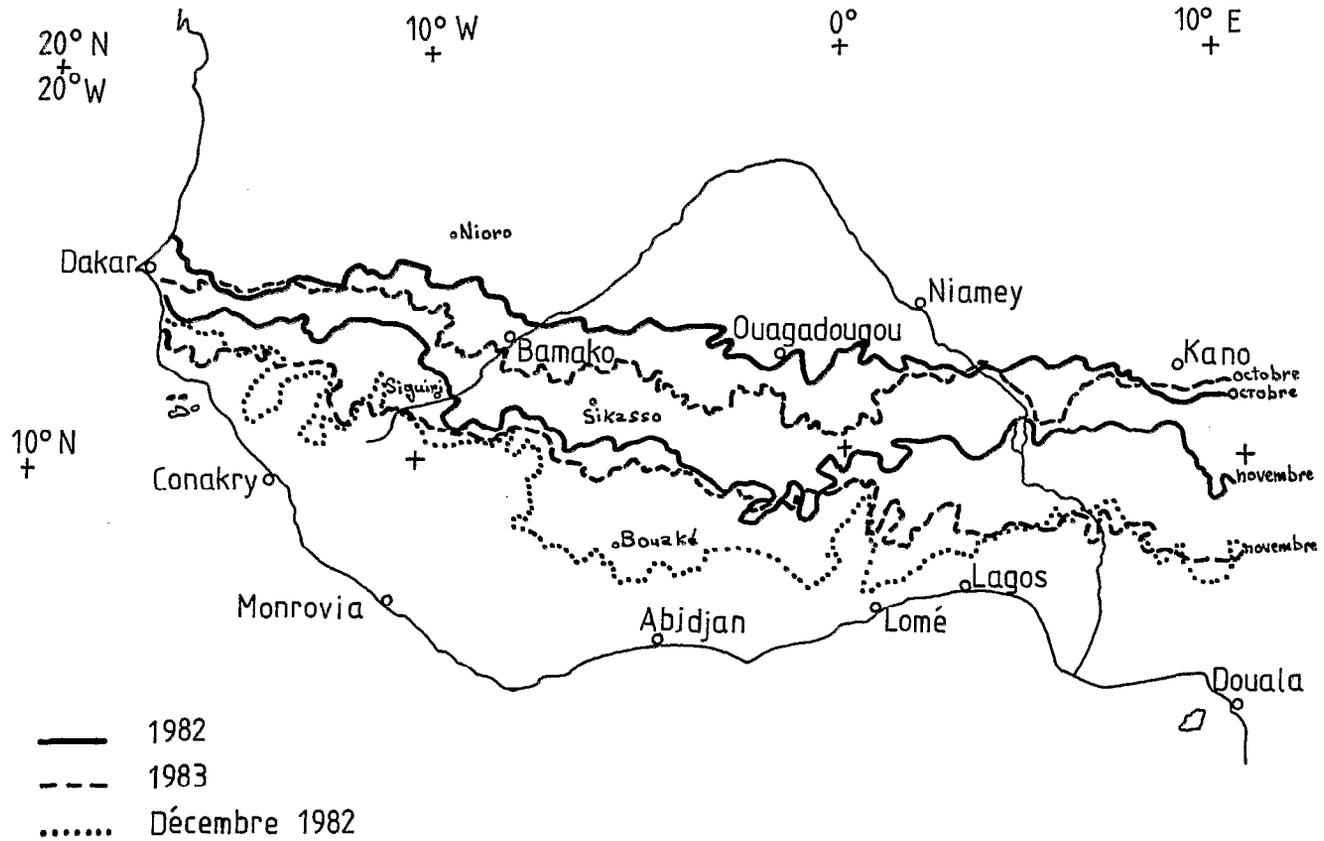


Fig. 6 : Évolution du front thermique (1982-1983):

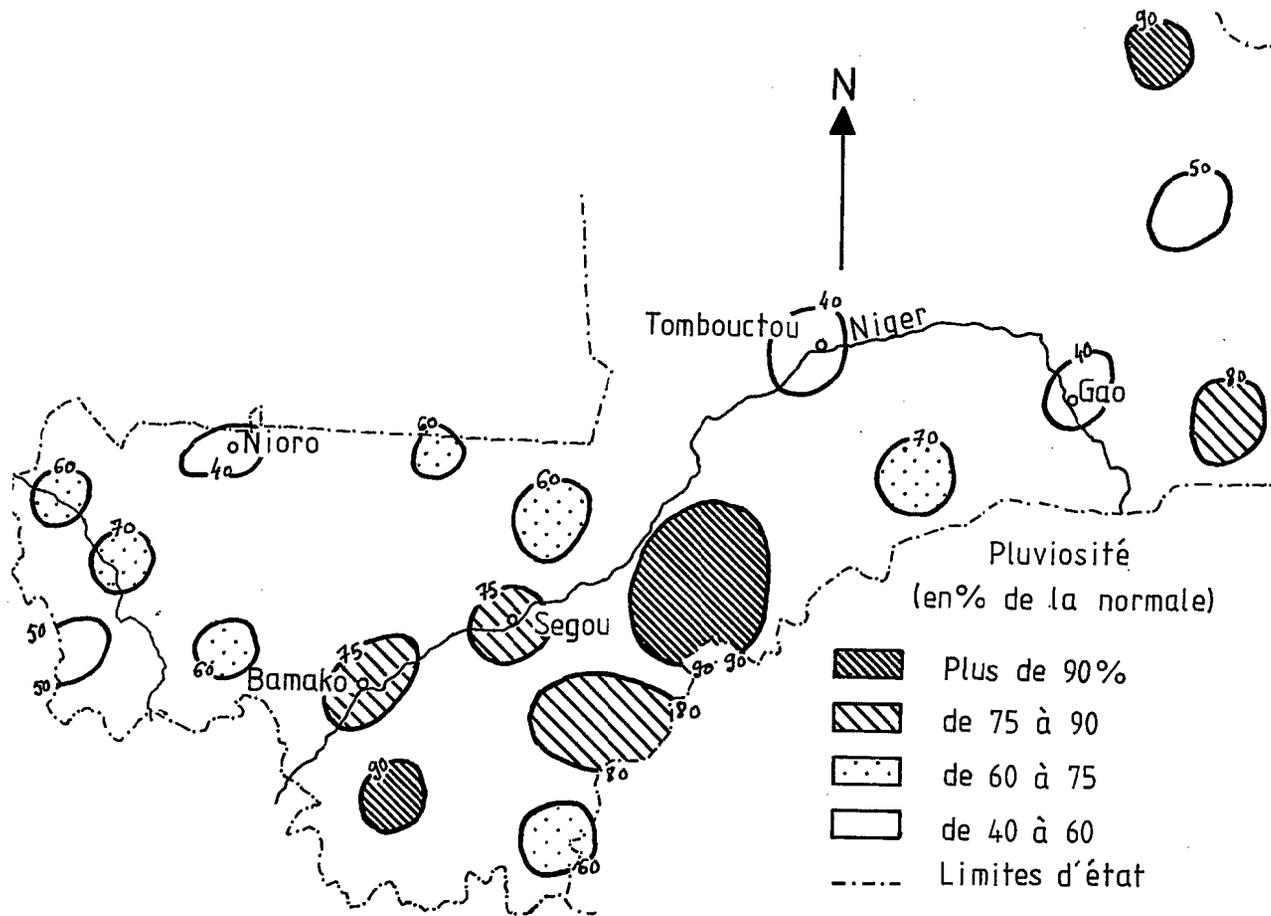


Fig. 7 : Pluviosité au Mali, de mai à septembre 1983.

suivis d'un effondrement de la convection en Afrique de l'Ouest en octobre-novembre, effondrement que le cheminement du front thermique sur le sol permet de suivre de près, et qu'illustrent les cartes des amas convectifs. On peut logiquement penser qu'il y aura aussi à suivre cette année une sécheresse marquée sur la côte du golfe de Guinée, en décembre-janvier, en même temps que des pluies importantes au sud de l'équateur, une sécheresse en Afrique du Sud, et une arrivée d'eaux chaudes sur les côtes au nord de Capetown. Sans aller jusque-là, on peut néanmoins avancer que la date de la naissance précoce des upwellings est un signe annonciateur d'une année climatique anormale. Son emplacement dans le calendrier des événements en fait un argument très important de prévision, utilisable à titre de pré-alerte ; on peut annoncer dès cette époque l'effondrement prématuré des pluies au Sahel (soit avec près de cinq mois d'avance), puis, si les choses prennent le tour que nous avons connu (extension en surface très large des eaux froides, persistance tardive des upwellings) prévoir à son tour la sécheresse sur la côte du golfe de Guinée.

Partant de ces considérations, nous souhaitons mettre sur pied une veille satellitaire améliorée, avec les compléments indispensables de vérités sol, et réaliser une analyse plus approfondie des événements qui viennent de se produire, avec pour objectif la mise au point de modèles empiriques de prévision. L'utilité de ce programme est démontrée par le fait qu'une alerte lancée en 1983 début avril aurait sans doute pu, dans le cadre d'une organisation ad hoc, permettre par exemple aux agriculteurs de changer de types de semences (en choisissant des variétés plus hâtives), et de mieux faire face aux effets les plus dramatiques de la sévère sécheresse actuelle.