

**LA SURVEILLANCE DES GRANDS EVENEMENTS  
CLIMATIQUES A PARTIR D'OBSERVATIONS SATELLITAIRES**

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ET TECHNIQUE OUTRE-MER



## TELEDETECTION 9

---

### LA SURVEILLANCE DES GRANDS EVENEMENTS CLIMATIQUES A PARTIR D'OBSERVATIONS SATELLITAIRES

#### INTRODUCTION\*

Les équipements installés au Centre de Météorologie Spatiale de Lannion (CMS) permettent d'acquérir les données émises par divers types de satellites météorologiques ; on pourrait envisager d'utiliser cette information pour une observation, en routine, d'une grande partie de la surface terrestre, et du continent africain et de son environnement océanique, en particulier. La présente note décrit certaines applications possibles de cette observation.

#### I – GENERALITES

##### I.1 - Détection des champs thermiques de surface.

Un traitement, en temps réel, des informations collectées par METEOSAT, a prouvé qu'une opération de ce type pouvait rendre de grands services aux flottilles de pêche opérant au large des côtes d'Afrique. L'essentiel du travail a consisté à rechercher les structures principales du champ thermique de surface de la mer. Pour cela on a utilisé les données du radiomètre sensible à l'émission infra-rouge thermique du globe, dans les longueurs d'onde de 10,5 à 12,5 micromètres. Pour s'affranchir de l'influence des nuages, qui sont opaques à ces longueurs d'onde, on a eu recours à une synthèse multitemporelle, sur une durée d'une semaine, à raison de deux images par jour (à 11 h 30 et 14 h 30 TU). Les images sont superposées, et une procédure de tri accorde, à chaque point de l'image de synthèse, une valeur qui correspond au maximum de température qui a été observé, parmi les valeurs disponibles, en un même lieu. Cette méthode permet de beaucoup réduire les zones couvertes par les nuages, qui sont plus froides que le sol ou la mer, et se déplacent rapidement.

\* Note rédigée par J. Cîteau, B. Guillot et R.M. Thépenier  
Centre de Météorologie Spatiale - Lannion - France - Mai 1983.

Les champs thermiques ainsi extraits ont été cartographiés, comparés à des données in situ (par le biais des mesures faites à bord des navires marchands, véhiculées par le Système Mondial de Transmission) et expédiés en temps réel, par liaison télécopie ou fac-similé, soit directement aux utilisateurs, soit à des océanographes de l'ORSTOM en poste en Afrique, pour interprétation.

En sous-produit de ce programme, nous avons analysé les résultats fournis par les synthèses hebdomadaires sur le continent. Nous avons ainsi pu mettre en évidence, en Afrique de l'ouest, une séparation souvent nette, pour les températures diurnes au sol, entre les zones sèches et les zones humides. Dans les zones sèches et dépourvues de végétation, c'est la nature des roches qui joue le rôle le plus important ; certaines, comme les sables, ont une forte réflectance ; elles renvoient dans l'espace une part importante du rayonnement solaire, et se réchauffent moins vite que les roches noires (basaltes), qui absorbent au contraire beaucoup d'énergie ; le réchauffement diurne varie aussi en fonction de la capacité calorifique (propre à chaque type de roche), de l'état de la surface (lisse, rugueuse, chaotique, patinée,...), du taux d'humidité (qui peut par exemple être plus élevé en zone fracturée), etc. Ces différences de comportement créent un champ thermique dont les structures, dans l'image de synthèse, reproduisent assez bien la répartition dans l'espace des formations géologiques.

## 1.2 - Les fronts thermiques sur le continent.

La présence de l'eau a une grande influence sur les températures, de deux façons. Elle agit directement, par sa grande capacité calorifique, en augmentant l'inertie thermique, ce qui ralentit les vitesses de réchauffement ou de refroidissement ; elle provoque également l'apparition d'un couvert végétal, dont l'effet modérateur croît avec la densité. A partir d'un certain niveau les effets modérateurs de l'eau deviennent prédominants, et les structures «géologiques» de l'image cèdent le pas à une disposition zonale, «climatique», des températures.

Le secteur de transition est souvent très étroit, au point que l'on peut parler à son endroit d'un véritable *front thermique*. Il peut exister simultanément plusieurs fronts au sein du continent, marquant les limites des déserts (fronts nord et sud saharien), ou des zones humidifiées par la zone intertropicale de convergence (ZITC). Dans la semaine du 17 au 23 juin 1982 (*photo 1*), il y avait quatre fronts :

- le front nord-saharien, et «Atlantique», étiré du Cap Blanc à la Tunisie, interrompu au-delà de Tunis, mais discernable à nouveau vers l'est ;
- le front sud-saharien, aux limites nord (à cette époque) de la ZITC, qui traverse tout le continent, en décrivant différents festons conformes aux contours des grands bassins hydrologiques (delta intérieur du Niger, lac Tchad) ou des massifs montagneux mieux arrosés que les plaines environnantes (Ethiopie) ;
- un front limitant la cuvette congolaise, au sud (saison sèche australe),
- un dernier front séparant les déserts de l'Afrique Australe de la zone de climat plus tempéré de la pointe méridionale du continent.

# PLANCHE I

Synthèse infra-rouge thermique Météosat  
du 17 au 23 juin 1982.



PHOTO 1

Images à 11 h 30, 14 h 30 et 15 h 30 TU. Les couleurs symbolisent des niveaux de température de surface échelonnés du chaud, en noir. ( $\approx 65^{\circ}\text{C}$ ) au froid (blanc) suivant l'échelle indiquée en haut à droite.

Les fronts thermiques de l'Afrique centrale varient dans l'espace et dans le temps, avec les balancements saisonniers de la zone de convergence ; à ce titre ils acquièrent une grande importance pour l'étude du climat, et leur repérage exige une attention particulière.

Les procédés employés jusqu'ici utilisent, faute d'observations in situ, uniquement les données satellitaires. Au sein des images, les fronts apparaissent comme une discontinuité importante, repérable à la console interactive, qui ne ressort pas partout avec la même intensité, en fonction des particularités du milieu ; la rupture peut ne pas être très nette, si elle coïncide avec une autre limite physique qui en atténue les effets (zones d'inondation du côté «sec» du front, par exemple), ou être au contraire très brutale, dans le cas contraire. Souvent une simple coupe nord-sud dans les données suffit à la mettre en évidence et à la localiser de façon assez précise. Sur la figure 1 le front nord de la zone intertropicale de convergence, par 10° Ouest, est localisé aux environs de 13° Nord, à proximité de Nioro du Sahel (Mali), entre le 21 et le 27 octobre 1982.

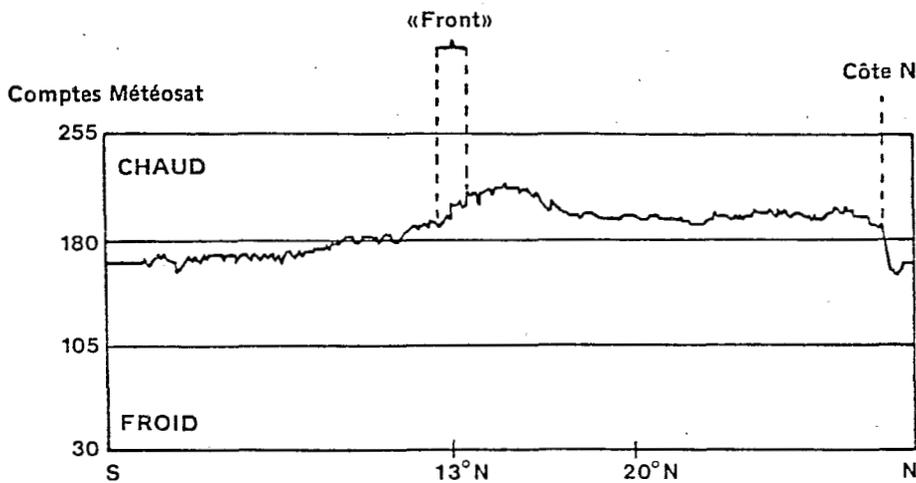


Fig. 1 : Météosat, 21 à 27.10.1982, coupe nord-sud, à 10° Ouest.

L'identification d'un front à un endroit donné peut servir à en définir le niveau thermique, traduit par une fourchette de comptes radiométriques METEOSAT ; moyennant certaines précautions, on utilise cette connaissance pour une extrapolation là où les choses sont plus diffuses, comme sur la figure 2 à 20° Est, au cours de la même période.

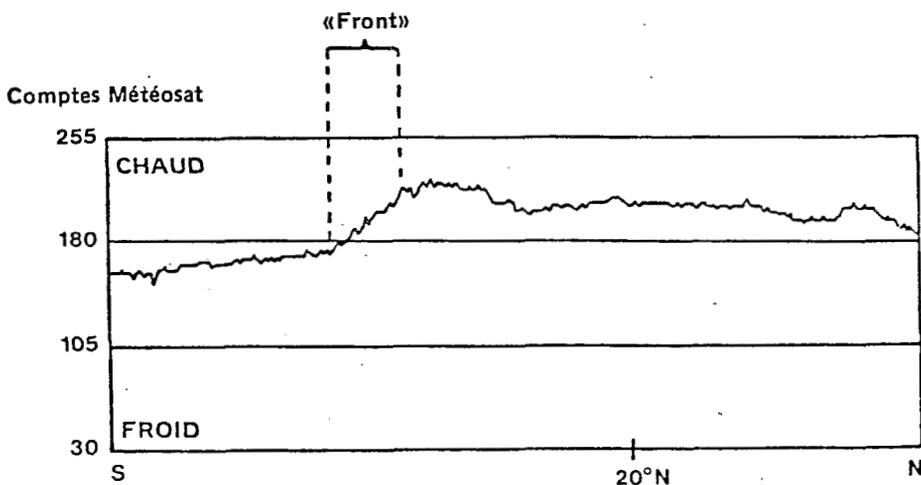


Fig. 2 : Météosat, 21 à 27.10.1982, coupe nord-sud, à 20° Est.

D'autres difficultés peuvent surgir dans l'interprétation, comme par exemple lorsque le front rencontre, dans son cheminement, le «rivage» que constitue la limite entre la forêt équatoriale et les savanes guinéennes. A ce moment là apparaît, dans les valeurs, une rupture très brutale (figure 3). Le «front», très resserré, ne traduit pas une différence d'aridité, mais de végétation ; en l'occurrence le front délimitant la zone intertropicale de convergence ne se situe pas à cet endroit, mais au-delà, quelque part plus au sud.

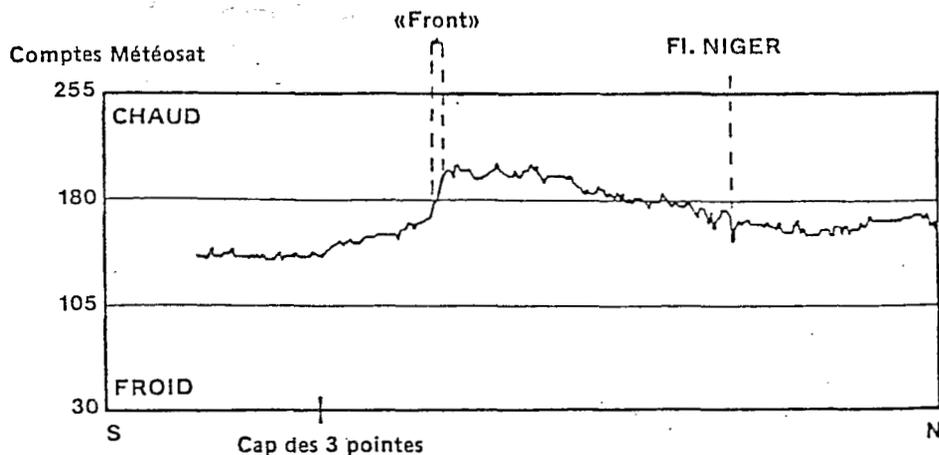


Fig. 3 : Météosat, 20 à 26.01.1983, coupe nord-sud, au Cap des 3 Pointes

L'examen morphologique détaillé des images aide également à situer les fronts ; en zone humide, en effet, l'effet conjugué de l'eau dans les sols et de la végétation imprime à l'ensemble du champ une structure globalement zonale, tandis que les zones sèches ont une organisation thermique tout à fait différente, calquée sur la géologie. Cela apparaît très nettement lorsque le front nord de la zone de convergence intertropicale remonte vers le nord, sur un continent très sec et très chaud, les zones humidifiées de surface masquant progressivement les structures profondes.

## II – VEILLE DES PRINCIPAUX EVENEMENTS CLIMATIQUES EN 1982 - 1983.

D'avril 1982 à février 1983 nous avons observé en routine plusieurs événements climatiques, dont certains au moins sont apparemment liés entre eux, et pourraient être regroupés dans une série logique, synoptique et chronologique, tous s'insérant dans le contexte d'une année exceptionnelle à beaucoup d'égards.

### II.1 - Les remontées d'eaux froides («upwellings») équatoriales.

Chaque année apparaissent à la surface de l'océan, aux latitudes équatoriales, des eaux froides ; ce phénomène se manifeste d'abord sur les côtes orientales, et a pour origine diverses causes, dont l'importance relative est encore mal connue (1), et il débute normalement fin mai - début juin. En avril 1982 nous avons profité des premières images METEOSAT calibrées géométriquement et disséminées par l'Agence Spatiale Européenne pour effectuer une synthèse sur le golfe de Guinée (17 - 21 avril) ; bien nous en prit car nous vîmes dès cette époque un «upwelling» bien développé, au large des côtes du Gabon, installé à cet endroit avec beaucoup d'avance sur sa date moyenne d'apparition, que les cartes américaines GOSSTCOMP (2) n'avaient pas détecté mais dont la présence fut confirmée par une campagne du navire océanographique «Nizery». Cette remontée a été suivie depuis cette époque, et de façon particulièrement fine en juin - juillet, au moment de son plein épanouissement (3) ; l'upwelling a été particulièrement intense et puissant puisqu'il couvrait en juin (du 17 au 23) environ 3700 km d'est en ouest (de la côte du Gabon à 23° ouest) et 700 km du nord au sud, à 7-8° Ouest. Contrairement à ce que l'on observe habituellement il persistait encore en octobre (synthèse du 21 au 27), où une très grande tache d'eau froide subsistait entre 0 et 10° Ouest, et entre 1° Nord et 3° Sud à peu près.

Cette persistance de la remontée, et d'eaux relativement froides entre 3° nord et 10° sud, est à rapprocher de l'absence relative de cyclones, constatée par les météorologistes de Lannion spécialistes de la néphanalyse (ou analyse des nuages) ; cette absence s'accorde en effet avec l'étendue très restreinte des eaux de surface ayant la température requise (26° et plus) pour la naissance et l'entretien des tempêtes tropicales, étendue qui à l'époque (septembre - octobre) se limitait à une zone étroite, proche des îles Bissagos.

(1) cette question a été débattue au cours de journées organisées à l'initiative de l'ORSTOM et du CNEXO, du 1er au 4 juin 1982, au Centre Océanologique de Bretagne.

(2) cartes établies par la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) américaine, à partir de données des satellites à défilement. Ces cartes restituent les températures de surface avec une très bonne précision, mais avec une résolution spatiale médiocre, et avec un arsenal de tests, bâtis sur un fichier historique, qui provoque l'élimination des anomalies, au moins à leurs débuts.

(3) RADENAC (M.H.) Rapport de stage, antenne ORSTOM auprès du CMS, dactyl., juillet 1982, 24 pages, cartes et figures.

## II.2 - Evénements thermiques sur le continent africain.

En octobre on observe aussi un rafraîchissement très net des températures diurnes au sol au nord du Sahara, en même temps qu'une descente très rapide du front thermique nord de la zone intertropicale de convergence. Celui-ci, que nous suivions en routine depuis le mois de mai, a progressé vers le nord jusqu'en août (figure 4), où il culmine à la hauteur du cap Timiris, du 19 au 24 août, soit vers 20° nord. Il est resté à ce niveau jusqu'à début septembre. A ce moment là le front thermique amorce sa descente vers le sud ; il est à 13° Nord fin octobre, et il atteint, fin décembre, les limites de la forêt équatoriale, et la côte du golfe de Guinée, au niveau des savanes de l'estuaire de la Volta.

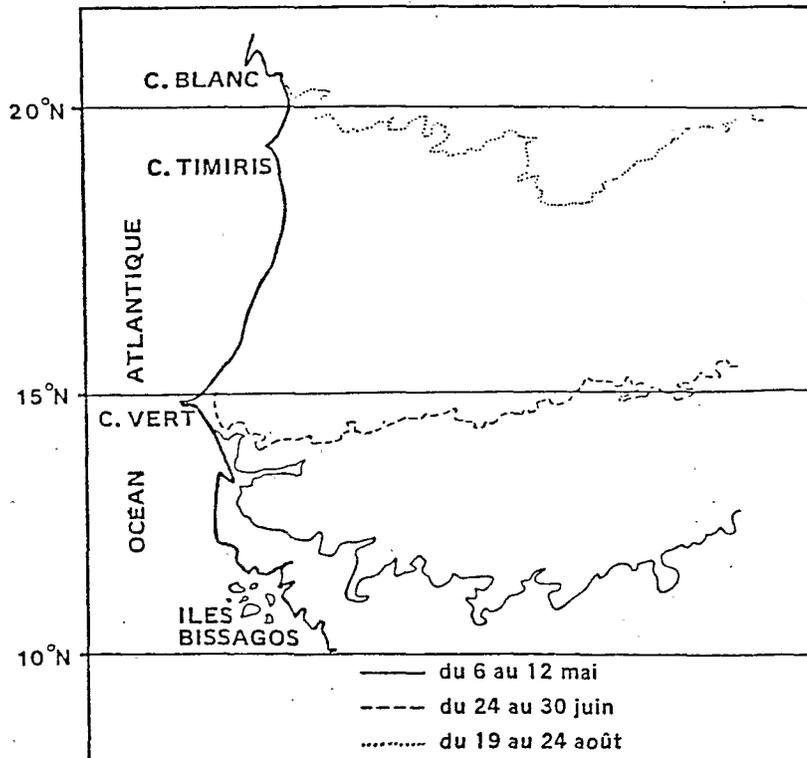


Fig. 4 : Fronts thermiques en Afrique de l'ouest, de mai à août 1982

## II.3 - El niño.

Faute de temps, nous n'avons pu nous intéresser aux événements océaniques qui se déroulaient à la même époque dans le Pacifique Oriental. Notre première synthèse, (du 23 au 29 décembre), au large des côtes du Pérou et de l'Equateur, montre que les remontées permanentes de la côte du Pérou au niveau de Callao étaient complètement recouvertes par des eaux chaudes. Nous avons su par ailleurs que ce phénomène, dit «El niño», parce qu'il se manifeste habituellement aux alentours du 25 décembre (naissance du petit enfant, «El niño») s'était produit depuis déjà quelque temps, et qu'il avait été précédé par un très puissant upwelling équatorial.

Les données fournies par METEOSAT indiquent qu'un phénomène semblable (quoique moins intense) *était en train de se dérouler en même temps dans le sud de l'Atlantique*. Une synthèse du 25 au 28 décembre révèle la présence, entre 20 et 30° Sud, d'une énorme masse d'eaux chaudes (24 à 26°), dont le centre se situe vers 10° Ouest et 24° Sud, et qui se prolonge à l'est par des antennes en direction du Cap, et des côtes de Namibie ; quelques jours plus tard (figure 5) la pointe extrême de ces eaux chaudes a atteint la côte, au nord du Cap, recouvrant une partie des upwellings. Des informations recueillies localement ont confirmé que des eaux chaudes avaient effectivement recouvert les upwellings habituels de la côte ouest, au sud de l'embouchure du fleuve Orange, et que nos estimations des températures étaient justes à moins de 1° près. Il fallait donc s'attendre à ce que cet «El niño sud-atlantique» eut de sérieuses répercussions sur l'industrie des pêches dans le sud de l'Afrique ; d'autre part, une grande sécheresse sévit cette année dans les régions soumises habituellement à des pluies d'été, ce qui concorde avec les données fournies par METEOSAT, les fortes températures diurnes du sol (plus de 50°C) ayant presque atteint la pointe sud du continent.

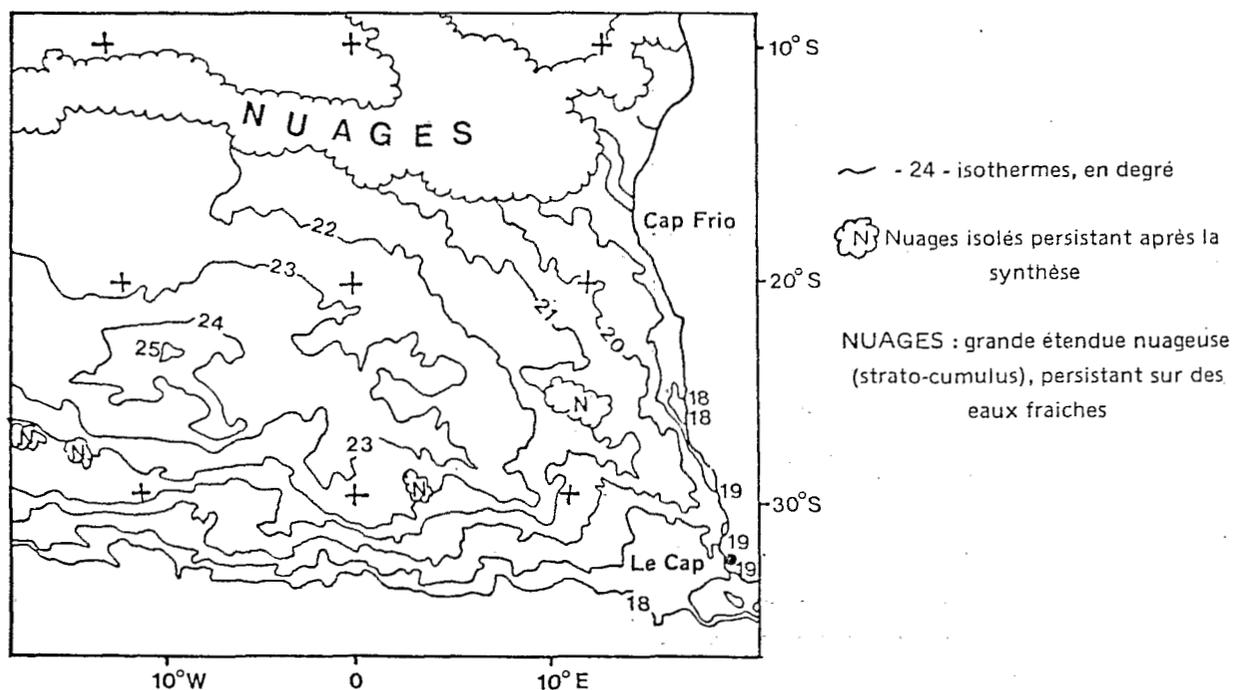


Fig. 5 : Champ thermique Météosat Sud-Atlantique  
du 30.12.1982 au 01.01.1983

«El niño» sud-atlantique a été mal représenté par les cartes GOSSTCOMP , éditées par la NOAA , qui l'ont complètement ignoré au début ; par contre les cartes du même organisme, établies sur la base de données fournies par les navires marchands, le décrivent très bien ; le document édité fin décembre montre une situation identique à ce que nous avons vu, avec une répartition des températures de surface très curieuse, une dorsale d'eaux chaudes, entre 15 et 30° Sud, prenant le relais des eaux plus fraîches qui se trouvent entre 0° et 15° Sud.

On a représenté la répartition des isothermes de surface, pour les 2, 9 et 16 janvier 1983, et on a comparé ces cartes aux champs radiométriques infra-rouge fournis par les synthèses METEOSAT représentés sur les figures 7 (période du 30.12.1982 au 1.1.1983) et 9 (période du 13 au 19 janvier 1983). L'évolution se lit bien, par le déplacement au cours du temps des isothermes (par exemple 20°C et 25°C). La carte du 2 janvier (figure 6) montre l'arrivée à la côte occidentale de l'Afrique du sud, au niveau de Capetown, des eaux chaudes, qui recouvrent complètement l'upwelling côtier ; celui-ci subsiste plus au nord (isothermes, parallèles à la côte, de 18 et 19°C), avec une bulle assez remarquable vers 18° Sud, au large du cap Frio. La courbe de 23°C indique que la masse d'eaux chaudes a une forme très étalée, avec une pointe nette en direction du Cap, que souligne le bec vers l'est des contours pour 19°C et 20°C. La synthèse METEOSAT aux mêmes dates (figure 5) donne la même impression, avec un bien plus grand luxe de détails. On remarque l'étroit liséré d'eaux froides inséré entre la côte et les eaux chaudes. Celles-ci recouvrent les upwellings, en leur imposant une limite ouest convexe, qui implique un mouvement de retrait d'ouest en est.

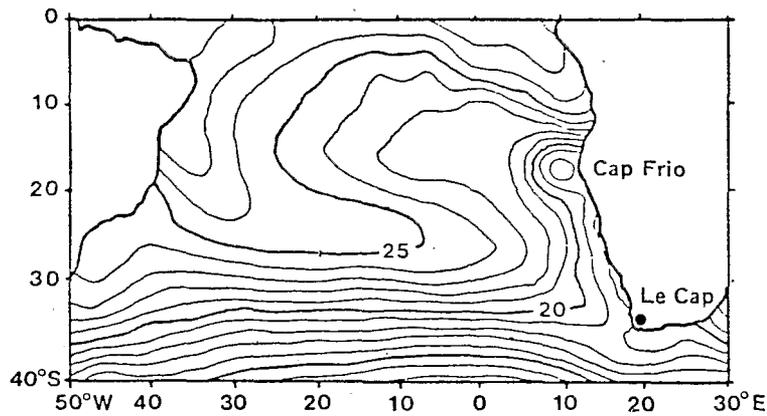


Fig. 6 : Isothermes de surface de l'Atlantique sud, 02.01.1983

Une semaine plus tard (figure 7) la situation paraît à peu près stabilisée.

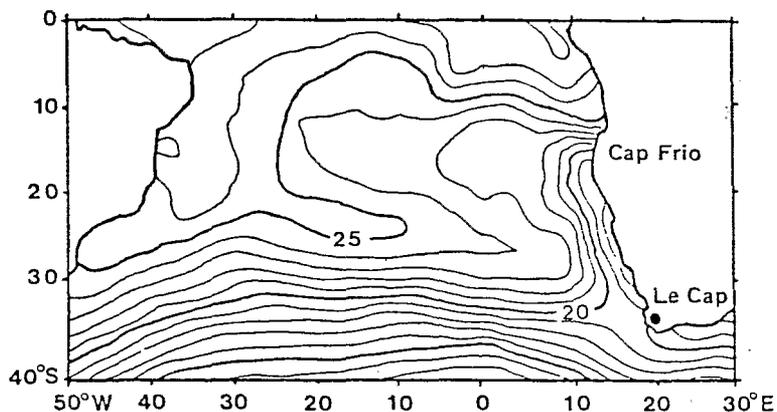


Fig. 7 : Isothermes de surface de l'Atlantique sud, 09.01.1983

A la mi-janvier (figures 8 et 9) les eaux chaudes se sont encore renforcées ; il y a eu un net réchauffement au niveau du cap Frio, et un pont d'eaux chaudes, souligné par l'isotherme 20°C, met en relation les eaux chaudes atlantiques avec celles que véhicule, en sens inverse, le courant des Aiguilles, en provenance du canal de Mozambique. Les upwellings sont au plus bas, et sont interrompus au large de Walvis Bay.

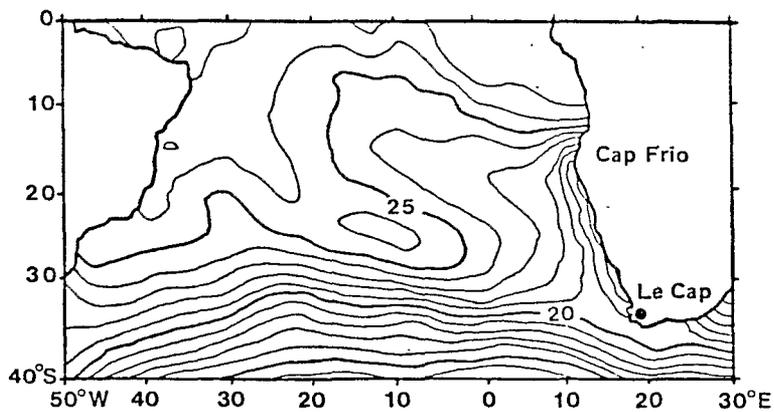


Fig. 8 : Isothermes de surface de l'Atlantique sud, 16.01.1983

#### 11.4 - Surveillance de la zone inter-tropicale de convergence.

La théorie suggère que le phénomène « El niño » est accompagné d'une profonde descente vers le sud de la zone de convergence inter-tropicale. Ce fut encore le cas cette année, puisque celle-ci, que ce soit sur le Pacifique Oriental ou sur le golfe de Guinée, s'est tenue constamment, depuis le mois de décembre, entre 3 et 8° Sud ; les eaux de l'Atlantique étant relativement fraîches, il y a eu très peu de convection au large, à l'ouest du méridien origine ; les nuages de pluie (cumulonimbus) ont par contre été abondants sur le continent, mais plus au sud que la normale : il en a résulté des inondations catastrophiques en Equateur, des pluies sans doute importantes en Angola, mais aussi le maintien du front nord de la zone intertropicale de convergence très au sud ; c'est ainsi que nous avons pu voir un moment, complètement dégagés des nuages qui les recouvrent habituellement, le fleuve Congo et les régions voisines du Lac Victoria.

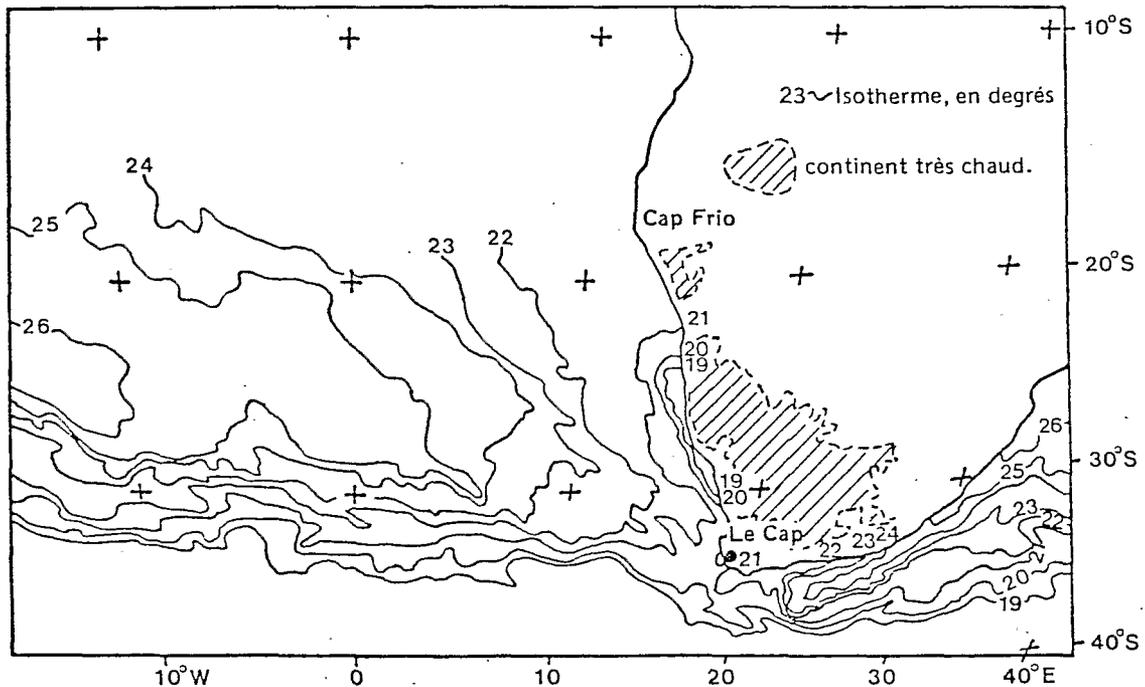


Fig. 9 : Champ thermique Météosat sud-Atlantique, du 13 au 19 janvier 1983

Le Lac Victoria, plus froid, se détachait très fortement de son contexte, la courbe du Congo était bien dessinée, et les limites de la forêt équatoriale apparaissaient en trait continu, d'ouest en est, du Nigéria au lac Albert ; le front thermique, que révèle la coupe nord-sud effectuée à 17° Est (figure 10) est très fort, puisqu'il porte sur une différence de température de plus de 10 degrés en quelques kilomètres (25 comptes météosat sur 1 ou 2 pixels) ; la limite nord de la zone de convergence est en fait au sud du front, comme le révèlent les points chauds isolés qui correspondent aux savanes incluses, probablement desséchées. La limite forêt - savane, à cette époque de l'année, se comporte, sur le plan thermique, comme un véritable rivage, une coupure de même nature (bien que moins intense) que celle qui sépare au même moment l'océan (frais), du continent, (sec et chaud), à la latitude du cap Vert.

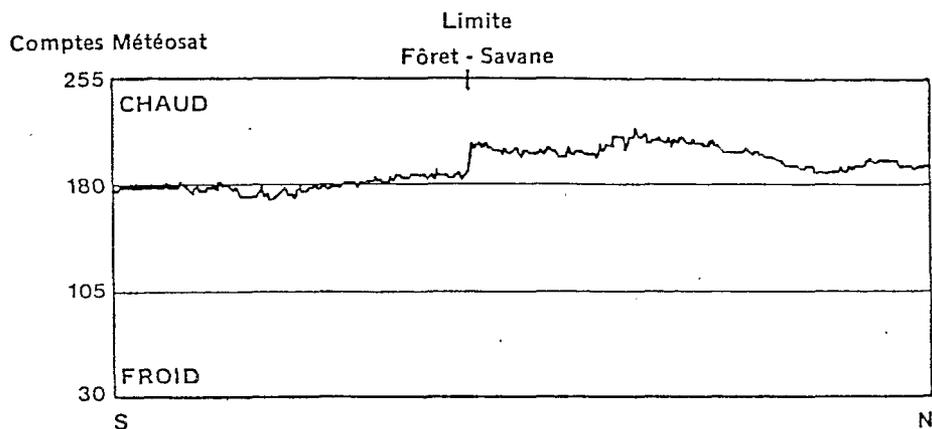


Fig. 10 : Météosat, 01 et 02.01.1983, coupe à 12° Est.

#### II.5 - Evolution de la Zone Intertropicale de Convergence (ZITC) d'octobre 1982 à mars 1983. (voir Planche n° 11).

En complément des observations précédentes on a tenté de reconstituer, à l'aide des photographies archivées à Lannion, le déplacement saisonnier de l'aire couverte par les nuages de pluie liés à la Zone Intertropicale de Convergence. L'analyse a été conduite par R.M. THEPENIER, en utilisant la méthode employée en 1978 - 1979 par H. BERTHOU et A. NOYALET . L'interprétation a été faite sur les données à 11 h 30 TU reçues en routine au CMS. Elle a consisté à distinguer, sur les images, les zones convectives des autres nuages. Les cumulonimbus se distinguent en effet assez aisément par leur forte réflectance, dans le visible, et par leur basse température, dans l'infrarouge thermique. Les enveloppes convectives ont ensuite été délimitées, et repérées dans l'espace, jour après jour, au moyen d'une grille de deux degrés de côté adaptée à la projection METEOSAT. On a ensuite comptabilisé le nombre de jours par mois où des nuages convectifs ont été vus à l'intérieur de chacune des mailles de la grille ainsi créée, et ces nombres ont été traduits en pourcentages.

La figure 11 présente trois cartes particulièrement significatives. Celle d'octobre 1982 montre une faible activité convective en Afrique de l'Ouest, les plus fortes fréquences dans cette région (plus de 20 %) se limitant à la côte du Bénin, de Douala à Abidjan, et à un court tronçon, à la hauteur de Conakry. En fait l'activité convective s'est effondrée au début du mois, à partir du 10, en conjonction semble-t-il avec le refroidissement généralisé à cette époque des eaux du golfe de Guinée.

# Amas nuageux convectifs. Fréquences mensuelles

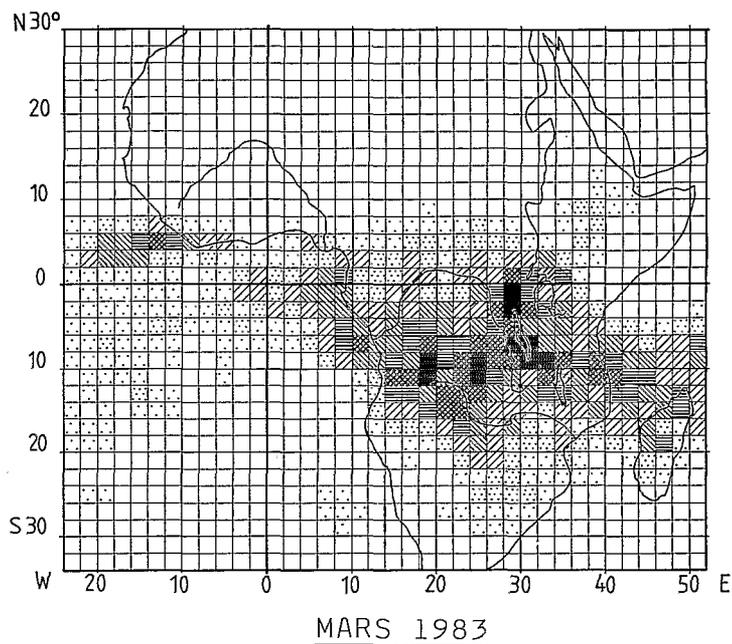
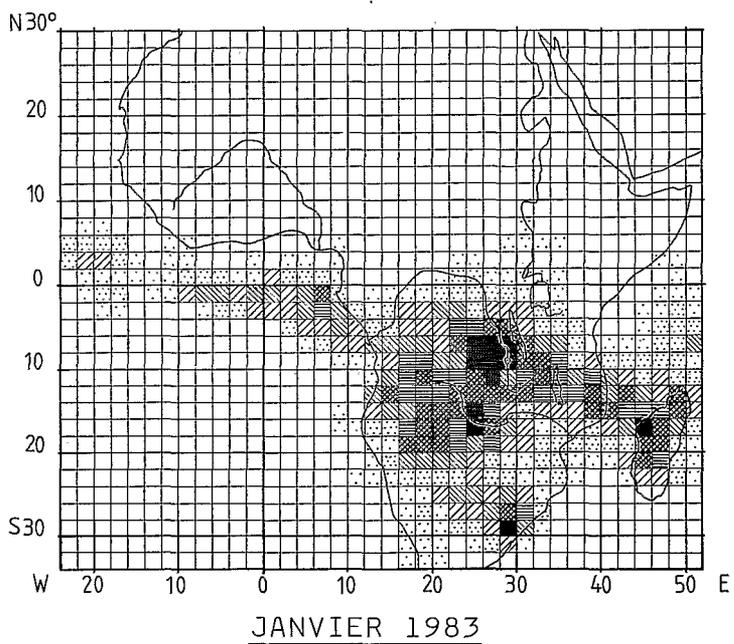
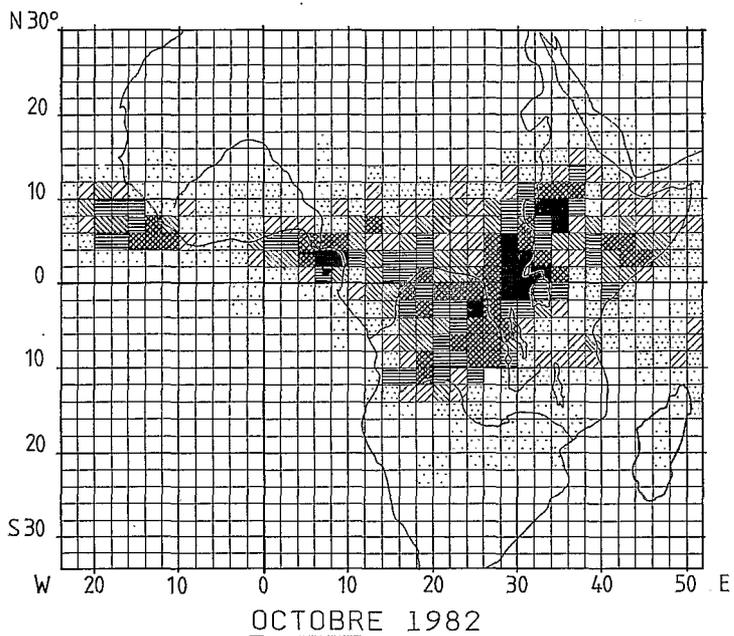
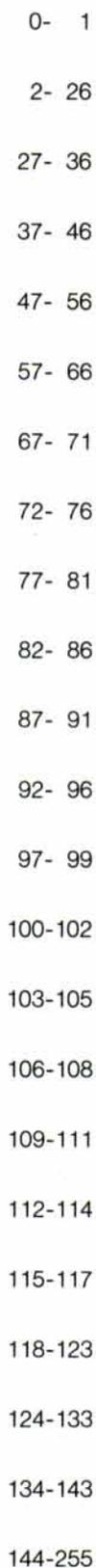
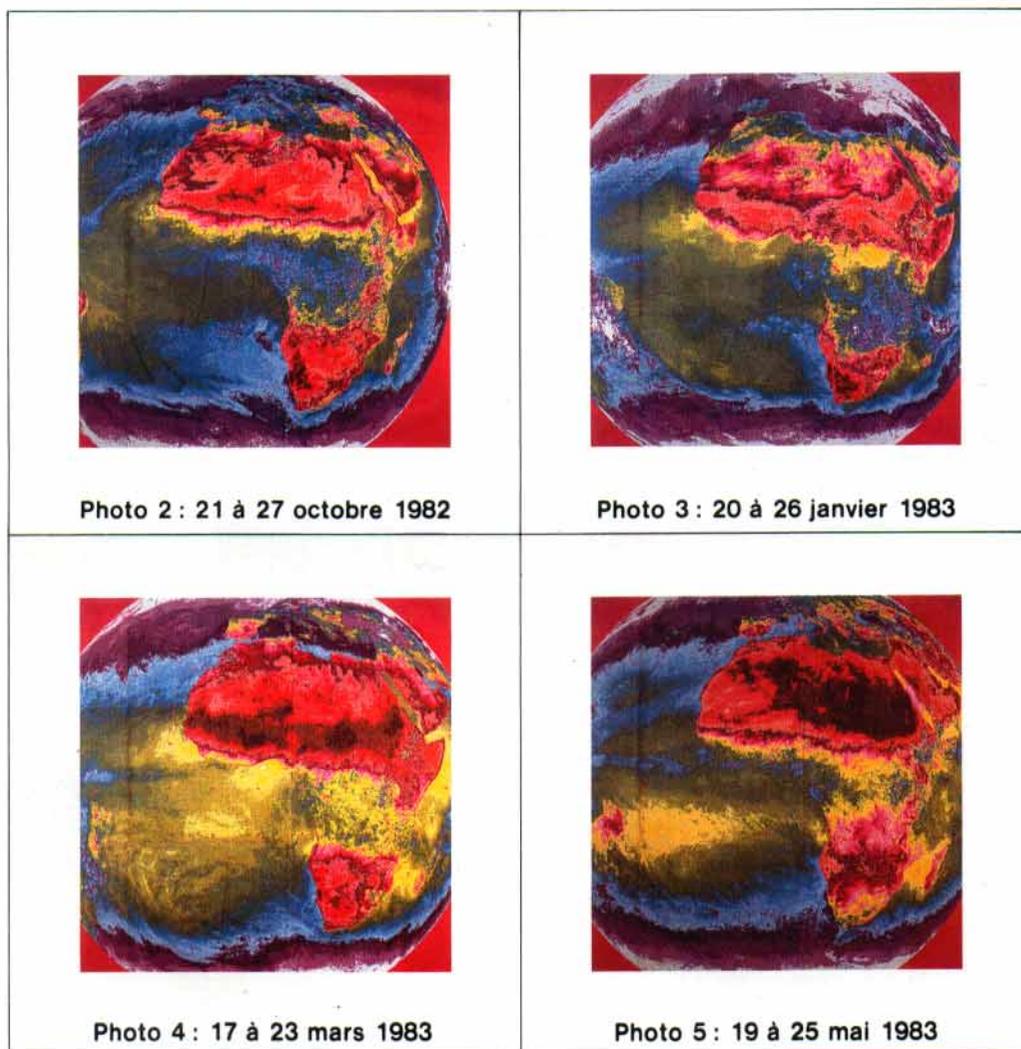


FIGURE 2

# PLANCHE II

Série de situations en infra-rouge thermique, d'octobre à mai 1983.



Les couleurs indiquent des niveaux de température, du chaud (noir) au froid (blanc). La première couleur symbolise l'espace, et la grille Météosat : contours de côte, et coordonnées géographiques, de 10° en 10°.

Le front thermique nord de la zone Inter-Tropicale de Convergence se situe à peu près entre l'ocre clair et le rouge foncé (couleurs 6 et 7)

En janvier la situation peut être qualifiée de catastrophique ; il n'y a pas de convection sur le continent, à l'ouest de  $10^{\circ}$  Est, et la zone de convergence évolue entre  $4^{\circ}$  Sud (à la hauteur du Cap Lopez), le voisinage de l'équateur à  $10^{\circ}$  Ouest, et  $2^{\circ}$  Nord, à  $20^{\circ}$  Ouest. Elle est en fait très peu active, et sur de nombreuses images le golfe de Guinée tout entier est pratiquement libre de nuages.

La carte du mois de mars est intéressante à plus d'un titre ; elle montre d'abord que la convection est toujours faible sur le golfe de Guinée, et presque absente sur le continent ouest-africain, où elle se réduit à une étroite marge côtière entre Abidjan et Conakry. On remarque aussi une répartition faible et diffuse de cumulonimbus sur une grande partie de l'océan, qui correspond approximativement à la distribution des eaux chaudes ; la température de l'eau a en effet beaucoup augmenté depuis janvier, grâce au fort ensoleillement des mois de janvier et de février. Enfin on peut noter l'apparition de zones de pluie au-dessus des eaux chaudes apportées par «El niño» sud-Atlantique par  $10^{\circ}$  Est, et  $26$  à  $28^{\circ}$  Sud.

On a constaté par la suite que la zone convective n'avait repris une activité importante en Afrique de l'Ouest qu'à partir de la mi-avril, et que cette reprise s'est faite d'une façon assez brutale ; on a noté en effet que la zone mouillée atteignait, dès le 10 mai, des niveaux plus élevés en latitude vers le nord qu'en 1982 ; ce développement spectaculaire semble s'être effectué grâce au fort réchauffement des eaux de la mer, qui étaient à un niveau voisin de  $30^{\circ}$  entre  $5^{\circ}$  Sud et la côte. Cependant les remontées d'eaux froides équatoriales se sont manifestées aussi très tôt cette année (vers le 15 avril sur les côtes du Gabon), et elles ont atteint un fort développement à la fin du mois de mai, entre  $10^{\circ}$  et  $30^{\circ}$  ouest ; 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.

**ORSTOM  
PARIS  
1983**

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET  
TECHNIQUE OUTRE-MER

*Direction générale :*

24, rue Bayard - 75008 PARIS

*Service des Publications :*

70-74, route d'Aulnay - 93140 BONDY

O.R.S.T.O.M. Editeur  
Dépôt légal : 2<sup>e</sup> trim. 1984  
I.C.R.N. 1270 0707