

**OPERATION LISTAO :
RECONNAISSANCE DE L'ENVIRONNEMENT PHYSIQUE
EN ATLANTIQUE INTERTROPICAL
A L'AIDE DES SATELLITES METEOSAT ET GOES-E**

J. Citeau, B. Guillot et R. Lae

INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE

OUR LE DEVELOPPEMENT EN COOPERATION

ORSTOM

INITIATION – DOCUMENTATIONS TECHNIQUES
N° 63

TELEDETECTION 10

O.R.S.T.O.M.
PARIS
1984

I.S.B.N. 2-7099-0740-2

O.R.S.T.O.M. Paris 1984

**OPERATION LISTAO :
RECONNAISSANCE DE L'ENVIRONNEMENT PHYSIQUE
EN ATLANTIQUE INTERTROPICAL
A L'AIDE DES SATELLITES METEOSAT ET GOES-E**



J. Citeau, B. Guillot et R. Lae

**Antenne O.R.S.T.O.M.
Auprès du C.M.S. - LANNION - BP 147 - 22302 LANNION CEDEX**

AVERTISSEMENT :

La présente opération n'a pu être réalisée que grâce à différents concours auxquels il nous faut rendre hommage : à commencer par la précieuse collaboration que l'ORSTOM a trouvée auprès de la Météorologie Nationale ; il nous est particulièrement agréable de remercier le Centre de Météorologie Spatiale de Lannion, en la personne de Monsieur LASBLEIZ, chef de centre à cette époque, dont l'aide fut aussi bienveillante qu'efficace ; nous sommes également redevables à Monsieur JEGOU, informaticien du CMS, de l'implantation sur l'atelier « Menhir » du logiciel d'exploitation « Listao » (et de son optimisation en assembleur), nous le remercions pour sa contribution qui fut déterminante à différentes étapes de cette opération. Monsieur LE BERRE, nouveau chef de centre assura le passage de cette expérience au niveau opérationnel et a permis son développement, au niveau global d'une « veille climatique » sur l'Atlantique intertropical.

Qu'il trouve ici l'expression de notre gratitude, pour l'intérêt et l'aide qu'il continue de nous apporter, ainsi d'ailleurs que l'ensemble du personnel du Centre, que nous avons souvent mis à contribution, « à temps et à contretemps ».

Le Secrétariat d'Etat à la Marine Marchande et le CNEXO nous ont apporté un soutien financier qui a permis l'acquisition de matériels (imprimante couleurs, télécopieurs...) et de données ; nous les remercions de leur concours à cette expérience.

RESUME

Dans le cadre du Programme International de Recherches sur le listao Atlantique, une veille météo-océanique a été réalisée depuis le Centre de Météorologie Spatiale de Lannion, avec le double but de fournir un complément de connaissances sur l'environnement du listao et des cartes de température de surface en temps-réel au Bureau d'Aide à la Pêche d'Abidjan, fondé à élaborer des prévisions de pêche à partir de données de différentes origines.

Au terme d'une année et demie d'observations satellitaires régulières, la variété des situations océaniques et climatiques rencontrées, nous permet de dire que pour la plupart des anomalies ou événements majeurs ayant une trace à la surface de l'océan, METEOSAT-2 a assuré une écoute fidèle et parfois même supérieure en qualité aux produits standards qui font référence en la matière. En revanche, en cas de persistance d'amas nuageux, notre exploitation centrée sur la fenêtre IR de 10 à 12 μ de METEOSAT ne fournit qu'une image très dégradée de la surface de la mer, et il est nécessaire d'ajouter des informations venant d'autres fenêtres spectrales (TOVS*) ou de données traditionnelles (Ships, radiosondages) capables d'évaluer l'absorption atmosphérique ou l'humidité dans les basses couches.

Du mois d'août 1981 à janvier 1983, les principaux événements observés furent la précocité, l'ampleur et la durée exceptionnelle de l'upwelling équatorial (avril à octobre 1982) et le développement en décembre 1982 - janvier 1983 d'une anomalie thermique positive que d'aucuns appelèrent « El Nino Sud-Atlantique ».

Une analyse a été entreprise pour tenter de relier certaines données de statistique de pêche aux paramètres de l'environnement ; cette étude n'a pas abouti, mais par contre elle nous a permis de proposer une relation entre la température de surface en Atlantique tropical et la position de la Zone Inter Tropicale de Convergence. Les premiers résultats suggèrent l'utilisation de ce paramètre comme indicateur de la saison marine dans les modèles de prévision de pêche dans le Golfe de Guinée.

ABSTRACT

Owing to the opportuneness of the « Skipjack year », a global watch of the sea surface temperature was undertaken using METEOSAT-2 data, with the aim to improve the knowledge of the environmental conditions during this international program on the Atlantic skipjack, and to furnish in real time, SST maps to a fisheries office in Abidjan.

From August 81 to October 83, the variety of oceanic and climatic conditions observed (with a weak then a strong equatorial upwelling,...) allowed us to say that in major cases the geostationary satellite has furnished a regular and reliable information of the sea surface thermal conditions. In some cases (due to the absence of climatological weight in our processing), METEOSAT SST maps were better than the usual reference (GOSSTCOMP charts). Nevertheless, convective process being the most common feature of the tropical Atlantic area (in normal years), it will be very useful to complete the broad bandwidth IR window (10-12 μ) with either TOVS* or conventional data to take into account humidity content (the maximum value of which lies in low level).

The major observed facts during our operation were : the earliness of the upwelling season (april 82) along the Gabonese coast, followed by a strong and large equatorial upwelling which lasted as late as October 82.

In the southern part of the Atlantic ocean a thermal positive anomaly was observed in December 82 - January 83, spreading towards the coast of South Africa, looking like a « South Atlantic El Nino ».

We were unsuccessful to relate fisheries data to the observed environmental conditions, but on the way, our results suggest some connection between the position of the Intertropical Zone of Convergence and the mean SST value in the equatorial Atlantic. Work in progress confirm this analysis suggesting that ITCZ position give an indication about the on-going season at sea, and can be in a further step be used in fisheries forecast models.

All these operations were conducted from the Centre de Météorologie Spatiale, located at Lannion (France).

*TOVS : *Tiros Operational Vertical Sounder ; this instrument on-board of NOAA series, is equipped with 27 channels, allowing a description of the atmosphere.*

I – INTRODUCTION

Bien que le lancement du premier satellite météorologique remonte à 1960, l'introduction de données satellitaires dans les plans de campagnes océanographiques reste récente, isolée, et voire même contestée quant à leur intérêt, ces critiques reposant, entre autres, sur l'imprécision de la mesure : une quantité d'énergie intégrant les contributions de l'atmosphère et de la pellicule de surface...

De plus, en regard d'autres instruments tel l'AVHRR de NOAA autorisant des méthodes multispectrales d'extraction de la Sea Surface Température (pour température de surface de la mer), ou encore des méthodes multispectrales et multiangulaires (ATSR du futur ERS-1), la fenêtre de 10 à 12 μ de METEOSAT apparaît quelque peu « rustique », mais c'est la seule qui soit aisément accessible pour la couverture du Golfe de Guinée et simple à traiter en raison de l'identité des plans de projection des différentes images. Aussi, à la veille du lancement de METEOSAT-2, le mérite revient-il aux biologistes du programme Listao (ORSTOM, CNEXO, GSG) d'avoir fourni l'opportunité de remettre à jour une chaîne d'exploitation et de diffusion de données satellitaires, conjointement aux campagnes à la mer en Atlantique intertropical, pendant l'année Listao (1981). Un double but a été poursuivi :

a) Une fourniture en temps-réel de cartes de température de surface dans le Golfe de Guinée, au Bureau d'Aide à la Pêche d'Abidjan, dont la mission est d'élaborer des cartes de prévisions de potentialités de pêche à partir de données de différentes origines décrivant le milieu physique et l'écologie des espèces.

Sur ce point notre expérience (« Listao et Télédétection ») tire parti d'une opération similaire mais antérieure, qui avait été réalisée par le CNES, le CNEXO, la Météorologie Nationale et l'ORSTOM (STRETTA et al., 1980). Si la donnée d'origine reste la même (METEOSAT), le choix des réseaux, leur traitement et la diffusion des documents produits l'en distinguent.

b) Un complément d'information sur les paramètres de l'environnement du listao atlantique.

Après la description du milieu, nous avons tenté une interprétation des données de pêche (captures, prises par unité d'effort...) en fonction des structures thermiques ou des composantes climatiques que le satellite a bien mises en évidence (la zone de convergence) ; cette étude n'a pas abouti. Par contre en restant dans le domaine de l'océanographie physique nous avons commencé à documenter la position de la zone intertropicale de convergence dans l'Océan Atlantique en utilisant une imagerie d'archives GOES-E et Météosat. Les résultats préliminaires suggèrent que la position de la zone de convergence donne une indication (2 à 3 mois à l'avance) sur la précocité et l'intensité de l'upwelling équatorial à venir.

Ces considérations (qui le cas échéant pourront être intégrées dans les modèles de pêche) feront l'essentiel de la présente note.

II – METHODOLOGIE - CHOIX ET TRAITEMENT DES DONNEES

Les données utilisées furent celles de la fenêtre IR de 10 à 12 μ de Météosat. Les synthèses hebdomadaires furent élaborées à partir de deux (et quelquefois trois) images quotidiennement sélectionnées à 9H, 11H (et 15H), résultant d'un compromis entre la nécessité d'un recalage en vue d'amers (1) exigeant de bons contrastes terre-mer, et les heures où l'activité convective est minimale (de façon à dégager les régions océaniques). La méthode de reconnaissance des horizons pour le recalage des images n'a pas été retenue en raison des lignes manquantes à l'acquisition ; par ailleurs, le mouvement de nutation du satellite n'est pas pris en compte.

Ces contraintes techniques furent par la suite levées, en avril 1982 quand l'ESOC (Centre Européen de Contrôle de Météosat, situé à Darmstadt) a assuré de façon opérationnelle la dissémination en format AI, d'images parfaitement recalées géographiquement.

La contrainte du calage radiométrique demeure une question délicate comme en témoignent les différentes méthodes de calibration de l'instrument proposées par l'ESOC (MORGAN, 1979), et qui ne sont pas entièrement

(1) Utilisation de données « brutes » en phase pré-opérationnelle.

Comptes radiométriques

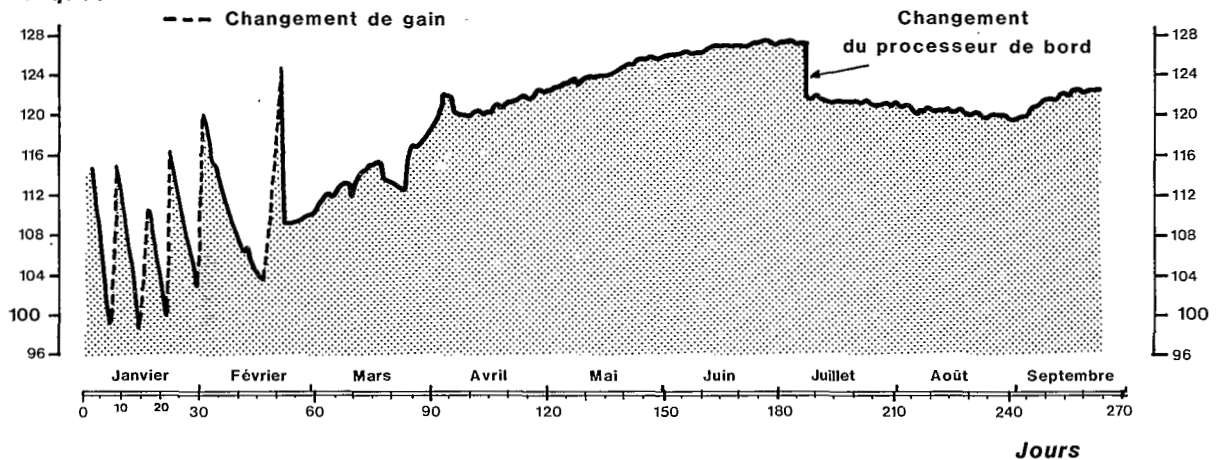


Figure 1 – Variation de la réponse radiométrique du corps noir de Météosat 2 durant l'année 1982.

satisfaisantes (LUTHEJARMS, 1979). Sans entrer dans des considérations très techniques, indiquons que les variations de réponse du corps noir (étalon interne embarqué), et de son compte normalisé (fig. 1), nous ont permis de suivre le comportement du radiomètre (dont le fonctionnement est perturbé aux périodes d'éclipse, au printemps et à l'automne).

L'adjonction des données du canal visible est précieuse pour masquer les phénomènes nuageux, à condition que les heures d'acquisition choisies permettent également l'élimination de la réflexion spéculaire (2). Leur utilisation est restée cependant exceptionnelle, car trop lourde pour la configuration d'exploitation dont nous disposions. Deux exemples de discrimination en Atlantique intertropical illustrent la nécessité de comparaison des deux canaux (IR et Vis) :

- Les vents de sable (fréquents sur la côte sénégal-mauritanienne) prennent un aspect « laiteux » dans le canal visible, tandis que dans le canal thermique, ils apparaissent plus chauds que la mer (observation du 16 au 22 septembre 81) avant de voir leur température décroître en fonction de l'altitude atteinte ;

- Les brumes et nuages stratiformes de basse altitude fréquents sur les côtes gabonaises ont une réponse bien identifiable sur le visible et très mal dans l'infra-rouge, leur température étant très voisine de celle de la mer.

Les images de fin d'après-midi (18 h à 19 h) se sont révélées difficilement utilisables du moins dans le Golfe de Guinée, car l'affaissement des systèmes convectifs à la tombée du jour, y engendre d'immenses champs stratiformes.

- Aucun essai n'a été pratiqué avec des images de nuit ;
- Sur les images de 7 h enfin, un voile de brume court le long des côtes.

Logiciel d'exploitation :

Suivant une méthodologie mise au point à l'ORSTOM (Bureau de Télédétection), un logiciel a été implanté au CMS de Lannion permettant la réalisation de synthèses multitemporelles d'images et de données discrètes (messages-ships) présentées suivant le même champ de projection.

(2) Réflexion du soleil par la surface de la mer.

A l'usage, cependant, et devant l'important flot de données à traiter, il est apparu qu'une routine simple (extraction du maximum de température) rendait compte de la majeure partie des champs thermiques de la surface de la mer et que les résultats mis en évidence pour les zones de « radiance claire » étaient comparables à ceux des cartes américaines du National Weather Service ou des cartes GOSSTCOMP.

Vérités-mer :

Les cartes établies ont été comparées aux données accessibles via le GTS (Global Transmission System), sur lequel sont véhiculés en temps-réel de nombreux paramètres météo-océaniques, dont la température de surface de mer. Les cartes de température de surface élaborées par le National Weather Service (Washington) utilisent d'ailleurs ce réseau de données ; ce sont ces cartes et ces données que nous avons utilisées pour la calibration de Météosat, entre compte numérique (3) et température de surface.

Sur la côte ouest d'Afrique, de la Mauritanie au Libéria, le grand nombre d'observations (400 par semaine) permet de corriger les incertitudes qui entachent les messages-ships. Dans le Golfe de Guinée, en revanche, la densité d'observations pour une zone équivalente tombe à 120 par semaine, réparties principalement sur le « rail » Dakar-Le Cap. L'incertitude des calibrations y est donc plus grande.

La nécessité de procéder à des calibrations radiométriques par zone géographique tient à notre méconnaissance de l'absorption atmosphérique, que l'on peut au premier abord paramétrer par le rapport de mélange (4) dans les basses couches.

Des expériences ont été entreprises au CMS de Lannion pour quantifier l'effet atmosphérique à l'aide du sondeur vertical TOVS (27 canaux), du canal vapeur d'eau de Météosat (5) et, à défaut, à l'aide du réseau de mesures traditionnelles effectuées par les navires marchands (observations météorologiques).

Il se trouve que les années 1982 et 1983 (pendant lesquelles s'est déroulé notre opération) ont vu une prédominance en Atlantique équatorial d'événements « froids » (précocité et ampleur de l'upwelling équatorial) qui seront décrits plus avant : de ce fait, par rapport aux années « normales », où l'activité convective est plus importante, les conditions d'observation furent plus favorables et ont un peu minoré la contribution de l'effet atmosphérique.

III – DIFFUSION DES CARTES THERMIQUES

Deux modes de diffusion furent utilisés : le fac-similé et la télécopie.

En utilisant le réseau fac-similé numérique de la Météorologie Nationale, les cartes émises à partir de Lannion sont parvenues (via Paris) dans de bonnes conditions sur le récepteur de l'ASECNA à Dakar.

Afin de permettre la réception de ces mêmes cartes par des navires en mer, elles furent ré-émises par fac-similé radio dans la bande des 25 mètres (12.305 khz) à partir de l'émetteur de Sainte Assise (Météo-Paris) et dans la bande des 15 mètres (19.750 khz) à partir de l'émetteur de Dakar (Météo).

Ces essais échouèrent en raison de défaillances diverses, techniques et humaines... Cependant, afin de tester techniquement la qualité de la liaison, des réceptions fac-similé furent assurées par la station de l'ASECNA à

(3) L'énergie issue d'une cible (surface de mer) et parvenant au radiomètre (après affaiblissement dans son trajet atmosphérique) est numériquement codée sur 8 bits ; une variation d'un compte numérique correspond (toutes choses égales par ailleurs) à une variation de la température de la cible de 0.5°C environ.

(4) On appelle rapport de mélange dans l'air la quantité, $r = \text{masse de vapeur d'eau (g/kg), masse d'air sec.}$

(5) Gouriou (1984) a conclu à une absence de corrélation entre l'écart T entre température radiative et température vraie, et la valeur du compte numérique du canal vapeur d'eau.

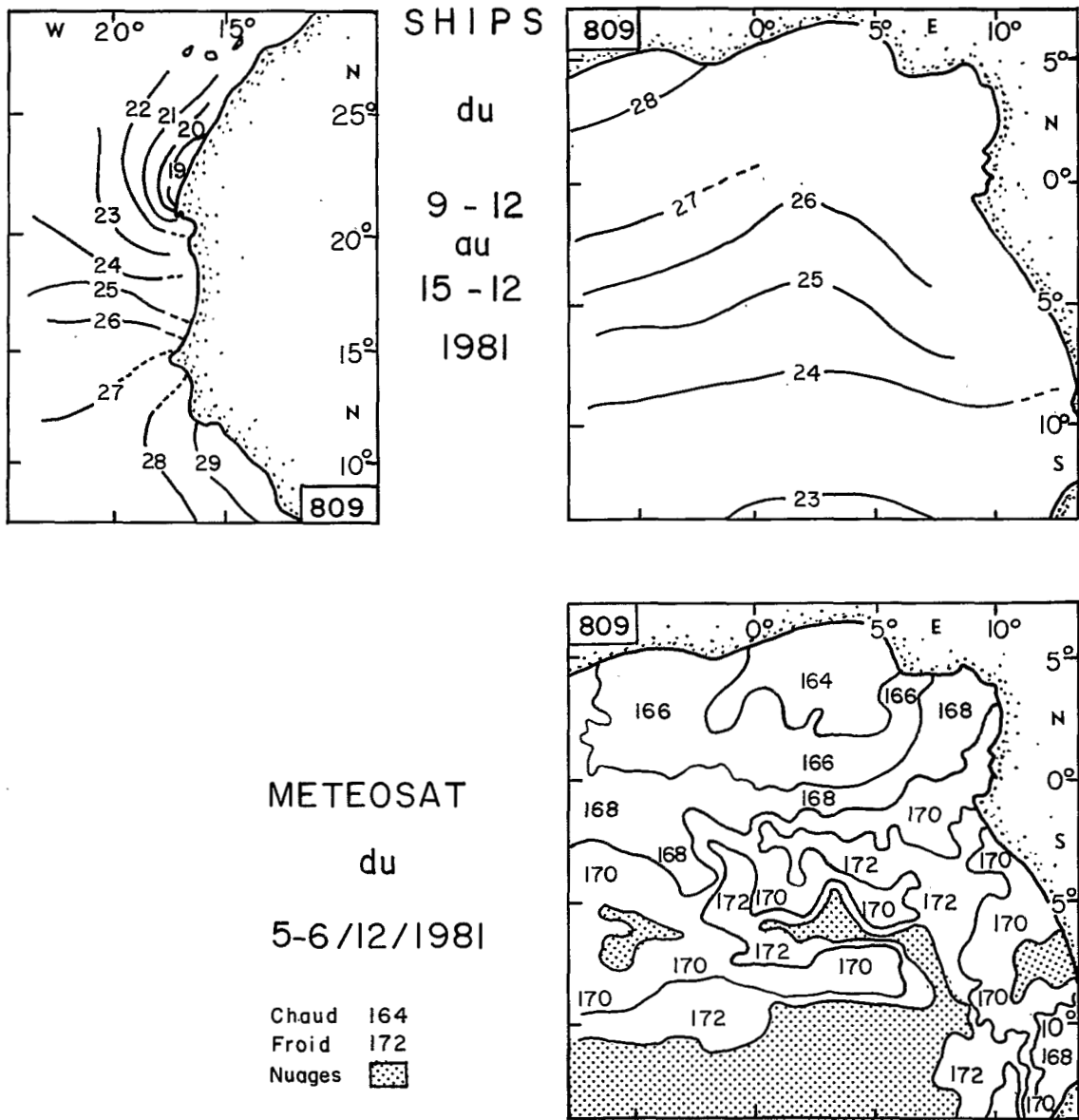


Figure 2 – Exemple de document expédié par fac-similé (analyse Météosat et cartes-ships).

Abidjan ainsi que par le N.O CAPRICORNE au large de Dakar auquel furent transmises deux cartes par semaine pendant la campagne ECHOSAR (fév./mars 83) :

Le document reste de qualité exploitable, mais pourrait être amélioré au prix de choix techniques et de coordinations mieux établies : fréquences, heures d'émission, puissance et ponctualité. A titre de comparaison, indiquons que les cartes russes ASXX dans les mêmes bandes de fréquence (10.950 khz) sont régulièrement reçues dans de bonnes conditions par les thoniers en campagne de pêche dans le Golfe de Guinée.

Les liaisons par télécopie vers le Bureau d'Aide à la Pêche d'Abidjan et vers la mission ORSTOM aux Seychelles n'ont posé aucun problème. La figure 2 est un exemple des documents expédiés chaque semaine par fac-similé, et comprenant les cartes ships et l'analyse METEOSAT.

IV – RESULTATS

a) Revue des conditions océaniques observées depuis Météosat d'août 1981 à décembre 1982.

Si Météosat-2 fut lancé avec le succès que l'on sait en juin 1981, il manqua cependant le rendez-vous que nous attendions pour les campagnes Listao du début de l'année et de l'été 1981 (premières images disponibles du canal infra-rouge en août 81).

A l'aide de campagnes et de données classiques dont certaines issues du CMS de Lannion (messages-ship), Piton et Roy (1982) ont décrit les paramètres hydrologiques de l'environnement et ont conclu à l'observation d'une année (1981) normale dans le Golfe de Guinée.

En fait, la première synthèse d'images (fig. 3) que nous avons établie du 21 au 27 août 81 nuance cette analyse par une absence d'upwelling équatorial en cette fin d'été et un précoce retour des eaux chaudes dans le Golfe de Guinée : en effet, bien que les observations disponibles en archive (données satellitaires) ne soient pas encore très nombreuses pour cette région de l'Atlantique, l'imagerie déjà disponible avec Météosat-1 nous révèle que pour des upwellings équatoriaux bien établis, la trace du refroidissement de surface est parfaitement identifiable (Citeau et al., 1981), même en atmosphère tropicale où l'absorption atmosphérique est très importante ; à la fin août 1978, ce refroidissement était bien perceptible dans le Golfe de Guinée ; en 1982 il devait l'être jusqu'à la fin octobre.

Notre observation satellitaire n'ayant débuté (pour des raisons déjà évoquées) qu'à la fin de l'été nous pouvons seulement conclure que la saison d'upwelling en 1981 fut courte, puisque l'on assiste avant la fin du mois d'août au retour des eaux chaudes.

Les premières images de synthèse pour le mois de septembre 1981 devaient confirmer cette analyse : l'établissement de cartes thermiques avec la seule fenêtre 10-12 μ de Météosat est devenue difficile, voire même impossible de par le développement des systèmes nuageux dans le fond du Golfe de Guinée. Dans cette région de marais barométrique permanent (de 1.010 à 1.013 mb (6), les amas convectifs présents en baie de Biafra trouvent principalement leur alimentation dans la source chaude que constitue l'océan. Au contraire, si des upwellings locaux s'y produisent (Cap Lopez ou côte du Ghana), les couches d'air se stabilisent et... l'observation satellitaire de la surface de mer redevient possible.

(6) Documentation Air-France (1963).

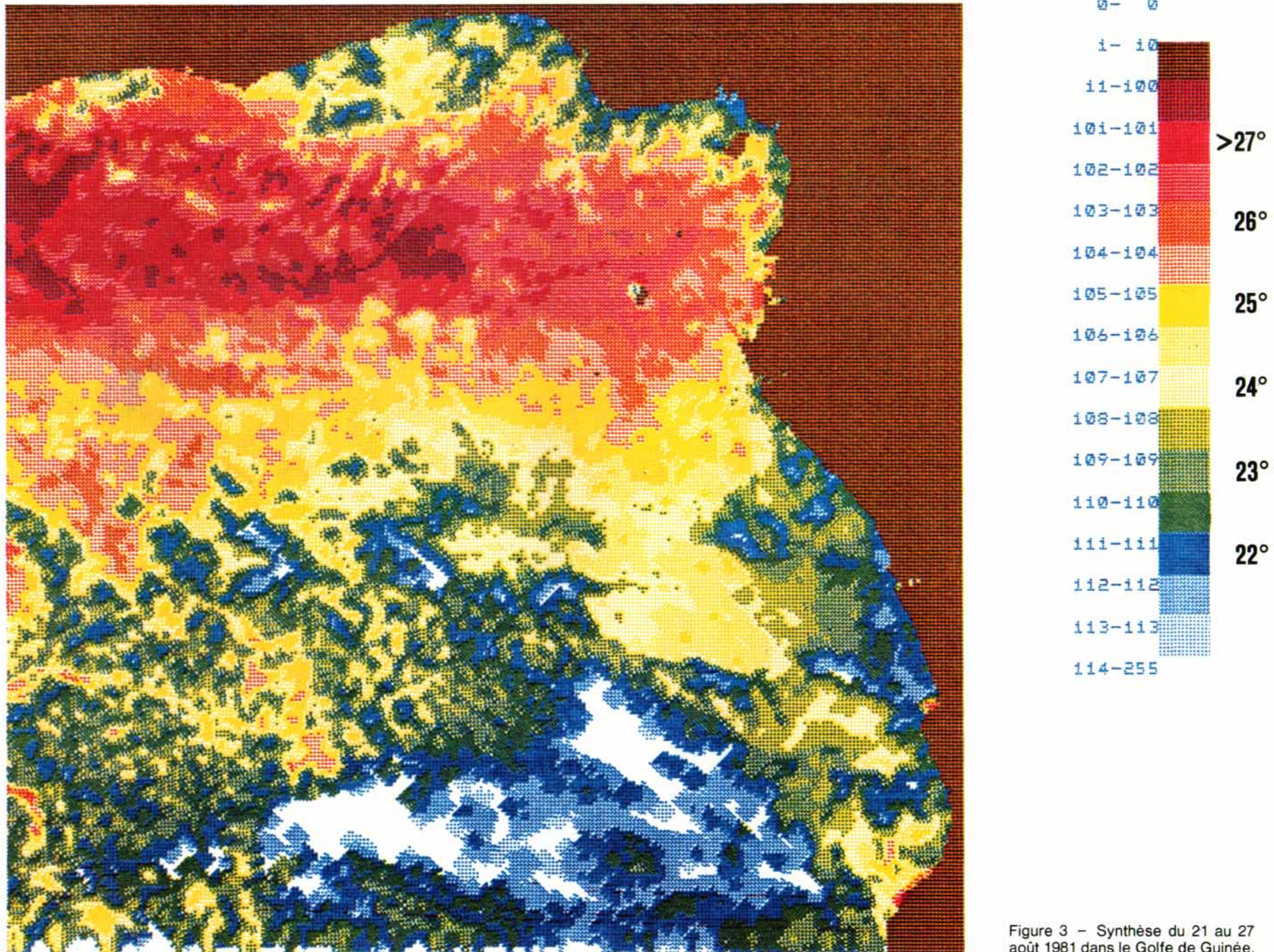


Figure 3 - Synthèse du 21 au 27 août 1981 dans le Golfe de Guinée.

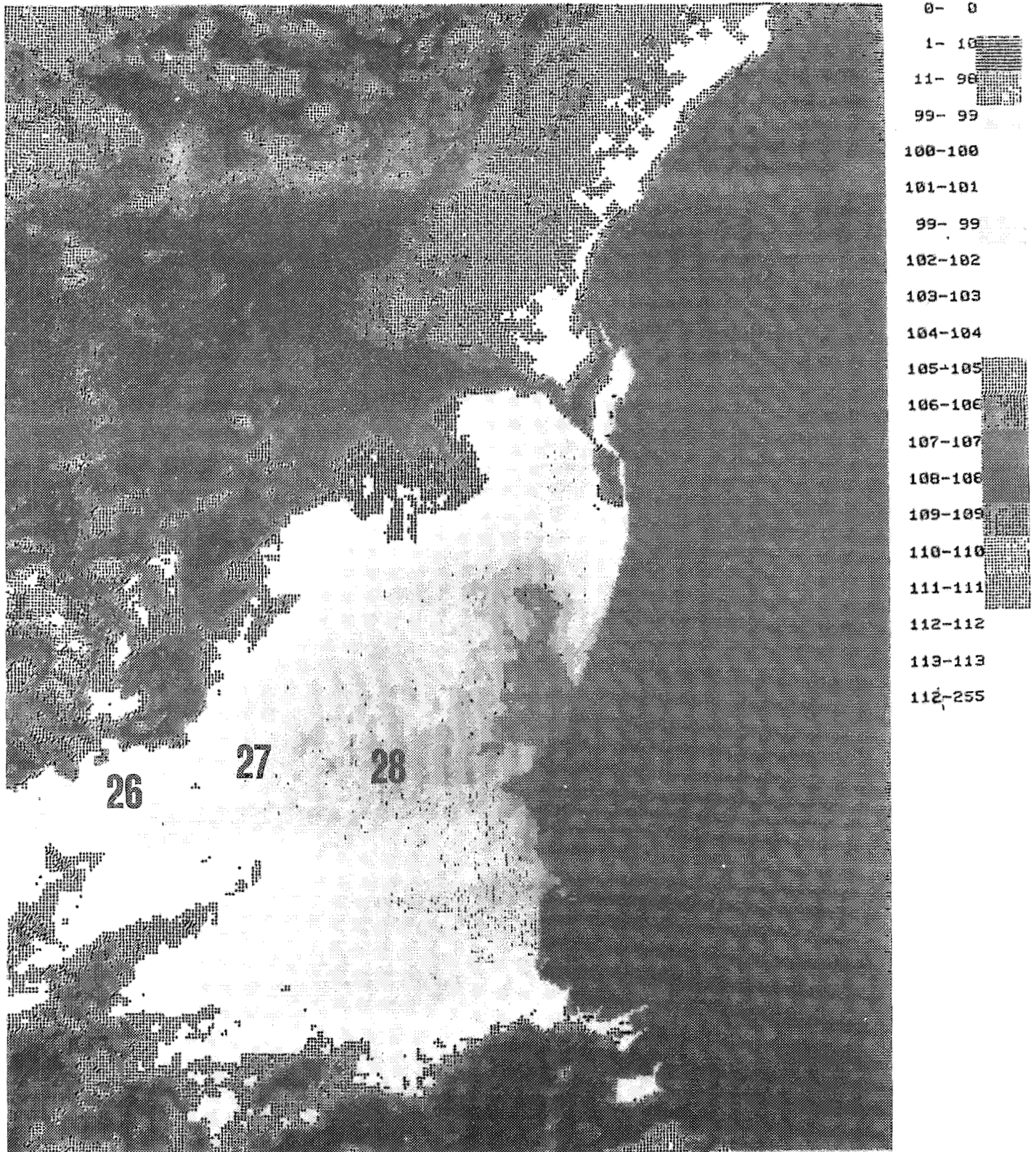


Figure 4a - Synthèse du 7 au 13 octobre 1981 le long des côtes du Sénégal.

A partir de cette date (septembre 81) nous avons alors concentré notre veille satellitaire sur la côte sénégal-mauritanienne (où se déroulait pendant le mois de septembre une campagne de marquage du programme Listao) : ceci nous a permis d'observer la descente vers le sud de la limite frontale entre les eaux nord-atlantiques et les eaux d'origine tropicale (mouvement déjà décrit avec Météosat-1 par Domain, 1979) ; de la série d'images composites élaborées de septembre à novembre 1981 (Citeau et al., 1982), nous avons extrait (fig. 4a) la situation du 7 au 13 octobre où la structure frontale se trouve à la hauteur du banc d'Arguin et y enferme une poche d'eau chaude. Tandis que les côtes mauritaniennes sont le siège d'upwellings, la région située un peu au nord du Cap Vert présente un maximum thermique avec une structure en arcs concentriques dont la réalité est attestée par les mesures à la mer, base d'élaboration des cartes NWS (fig. 4b) ; les océanographes du CRODT (Centre de Recherches Océanographiques de Dakar Thiaroye) ont par ailleurs rapporté pour la fin de l'année 1981, l'existence d'anomalies positives de température et l'apparition de blooms phytoplanctoniques, (Pages, comm. pers.).

D'une manière générale, jusqu'à la fin de novembre, la persistance de températures élevées a été (d'après l'imagerie Météosat) la caractéristique de cette région.

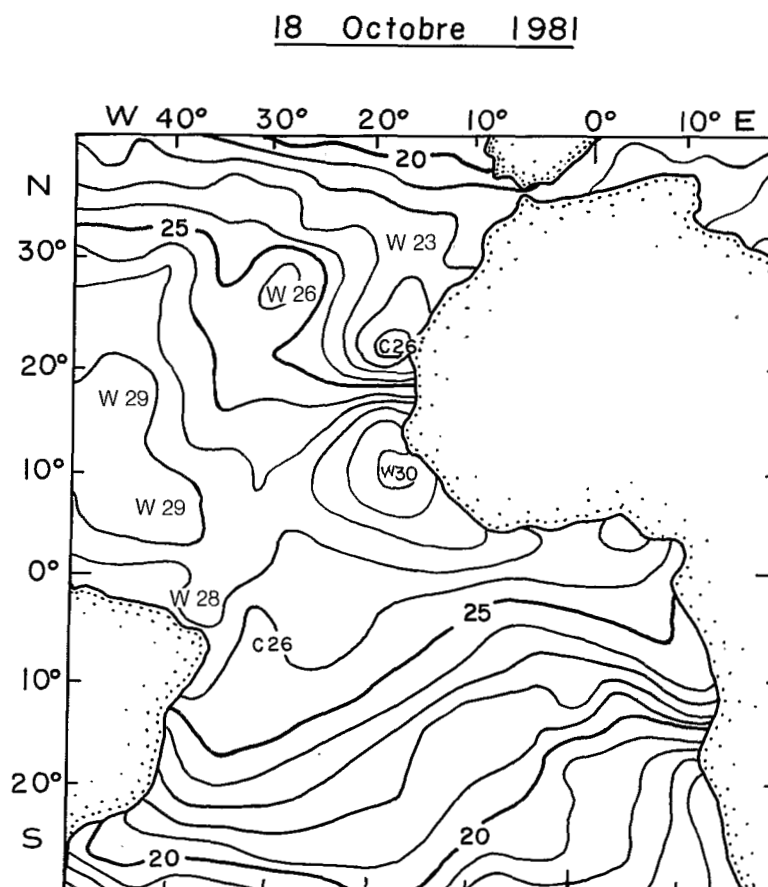
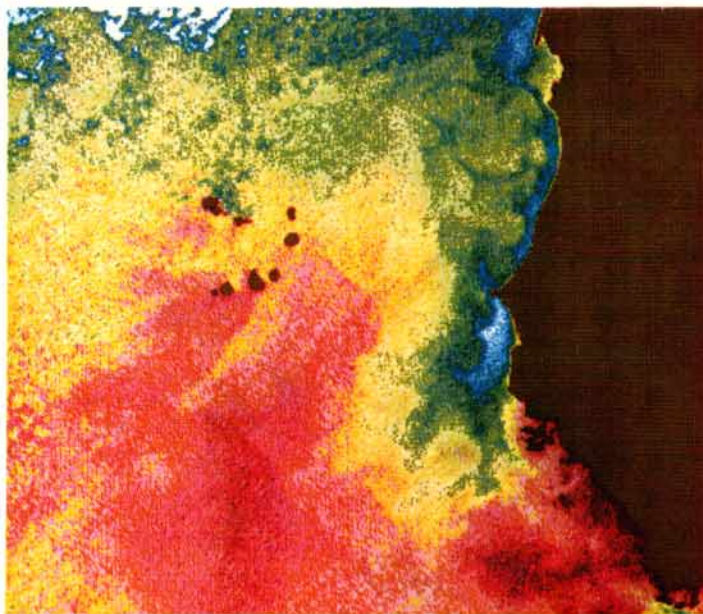
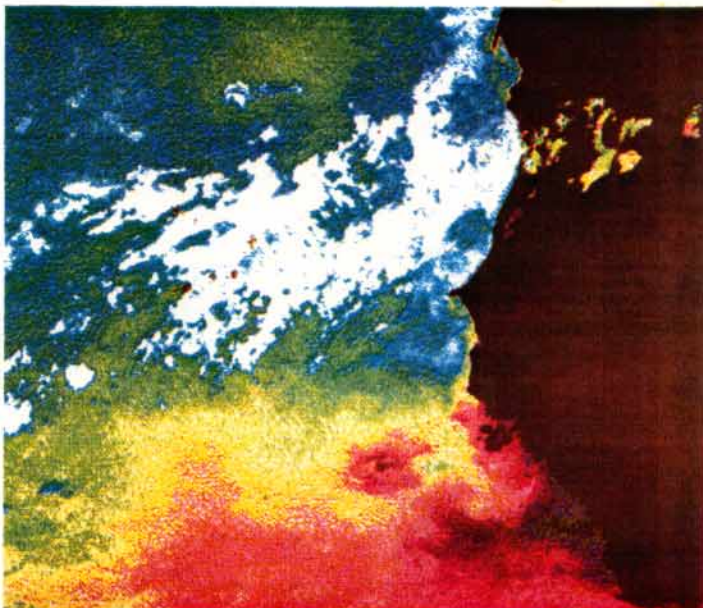


Figure 4b – Carte de température de surface élaborée par le NWS pour la période du 12 au 18 octobre 1981.

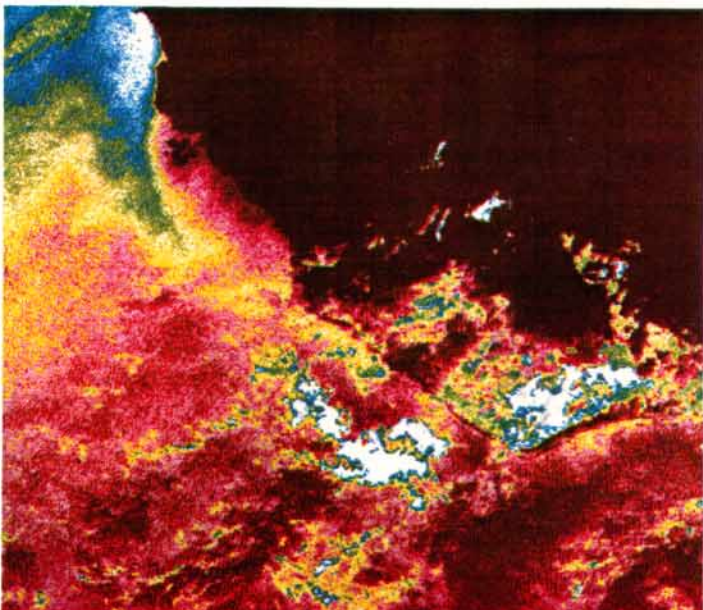
W 26 : Warmer than 26°C.
C 26 : Colder than 26°C.



5a



5b



5c

Un autre enseignement apporté par le satellite concerne le mouvement et la modification des masses d'eaux qui peuvent se manifester de façon plus rapide que celle décrite par les atlas : aux anomalies positives de la fin d'année 1981 devait succéder dès le mois de janvier 1982, une situation d'upwelling fort ; une des illustrations de cet upwelling sénégal-mauritanien (fig. 5a) montre que l'eau froide parvenue en surface et entraînée par la circulation générale se comporte comme un remarquable traceur des systèmes tourbillonnaires visibles au nord et au sud du Cap Vert (les tourbillons mis en évidence pendant la période du 26 au 28 février 82 avaient un diamètre de l'ordre de 120 km).

Les 3 et 4 mars (fig. 5b) ainsi que le 6 mars 1982, une renverse de situation semblait indiquer la remontée d'eaux d'origine sub-tropicale ; en fait, 10 jours plus tard (fig. 5c), une nouvelle intensification du refroidissement au sud de Dakar repoussait la limite des eaux froides bien au sud des îles Bissagos, au voisinage de 10°N.

Cette région dont le coordinateur Listao regrettait la méconnaissance (Pianet, 1982), peut donc connaître deux périodes d'enrichissement, l'une en hiver boréal avec le prolongement de l'upwelling du Cap Vert, l'autre en été dépendant de l'extension de l'upwelling équatorial.

A cette alternance des refroidissements (et à l'inégalité inter-annuelle des saisons d'upwellings), existe-t-il une réponse au niveau des campagnes de pêche ?

Bien que l'étude conduite en ce sens sur l'ensemble de l'Atlantique oriental (de 20°N à 5°S) n'ait pas encore abouti, les données de la flotille FISM (7) de 1978 à 1981, indiquent que dans le secteur des Bissagos (de 5°S à 15°N et de 10°W à 20°W), c'est surtout dans la bordure nord de ce domaine qu'ont lieu les captures des campagnes d'hiver...

(7) Pour franco-ivoiro-sénégal-mauritanienne.

Figure 5a – Synthèse du 26 au 28 février 1982 sur les côtes du Sénégal.

Figure 5b – Synthèse des 3 et 4 mars 1982 le long des côtes du Sénégal.

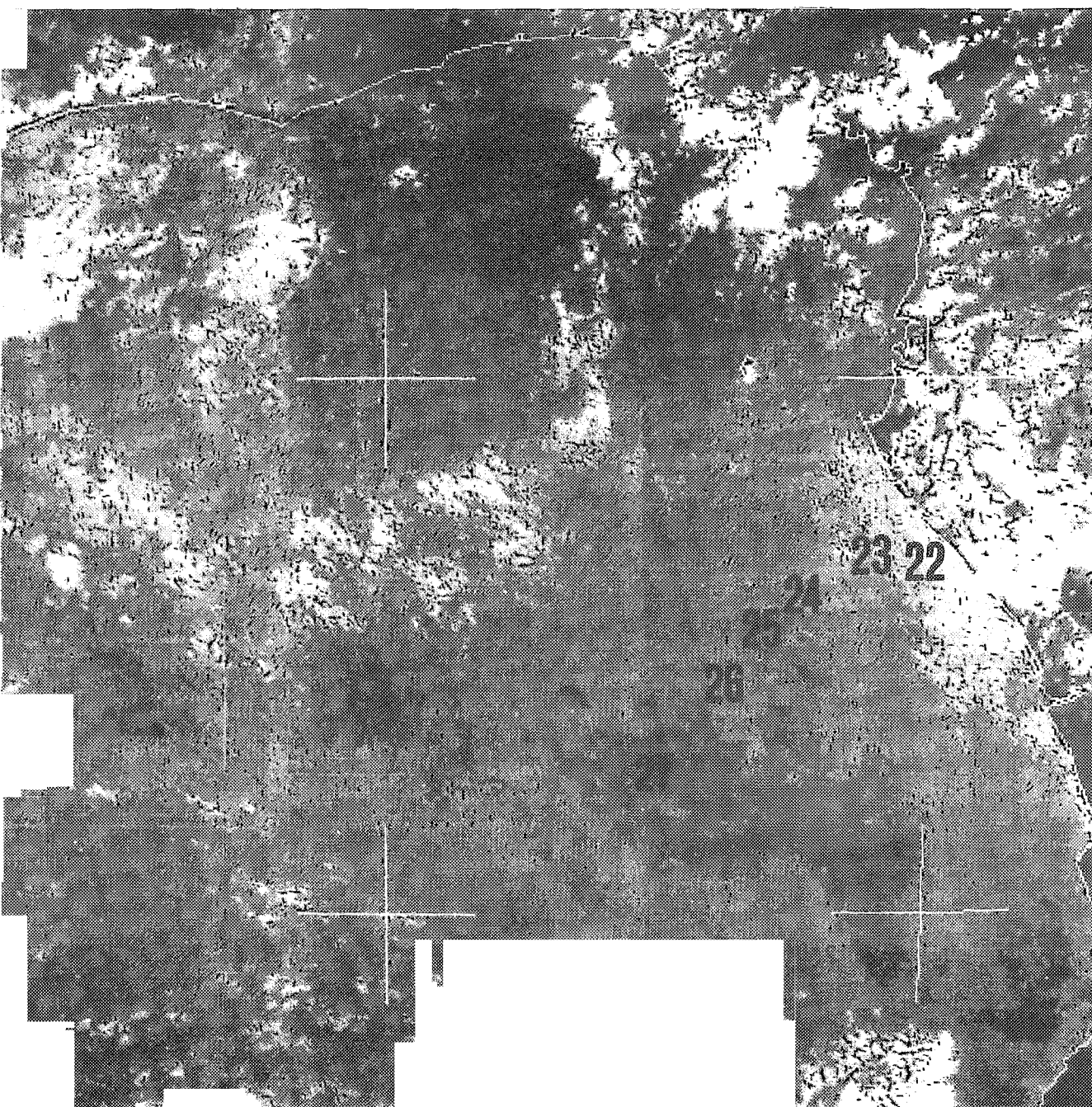
Figure 5c – Synthèse des 17 et 18 mars 1982 le long des côtes du Sénégal.

Dans le Golfe de Guinée, cette chronique au jour le jour des événements marins a été réalisée jusqu'en novembre 82 dans la « configuration d'aide à la pêche » et a été poursuivie au-delà, avec une vision plus générale de l'environnement océanique en Atlantique intertropical et dans le cadre d'un programme de veille climatique.

Les résultats peuvent être résumés de la façon suivante : En 1982, Météosat a permis l'observation d'anomalies thermiques exceptionnelles tant par leur durée que par leur intensité (cette observation faite avec une avance certaine par rapport aux méthodes traditionnelles, se révéla parfois également en avance sur le produit standard élaboré avec les données du satellite NOAA).

L'upwelling congolo-gabonais s'est manifesté de façon précoce dès le 17 avril, période qui par référence aux données historiques appartient à la saison chaude (15 janvier - 15 mai), à telle enseigne que deux campagnes océanographiques y avaient été programmées à ce titre. Les observations à la mer ont confirmé notre analyse (Piton, 1983) ; la figure 6a, établie pour la période du 17 au 21 avril 1982, met en évidence des eaux froides (qui apparaissent en gris-clair) le long des côtes congolo-gabonaises ; dans la partie sud de cette tâche d'eau froide, on distingue nettement à l'estuaire du Congo, la trace thermique des eaux plus chaudes du fleuve. Par calibration relative aux

Figure 6a – Synthèse du 17 au 21 avril 1982 le long des côtes gabonaises.



données « messages ships », on peut évaluer la température des eaux froides identifiées par Météosat peu différente de 21°C. De ce document, nous pouvons rapprocher la carte Gosstcomp, produit standard élaboré par la NOAA, qui montre pour la même période de référence (fig. 6b) et dans la même région une plage dont la température minimale est plus élevée et de l'ordre de 26°C ; nous interprétons cette différence comme due à un poids trop grand de la climatologie dans le logiciel de traitement de la donnée NOAA.

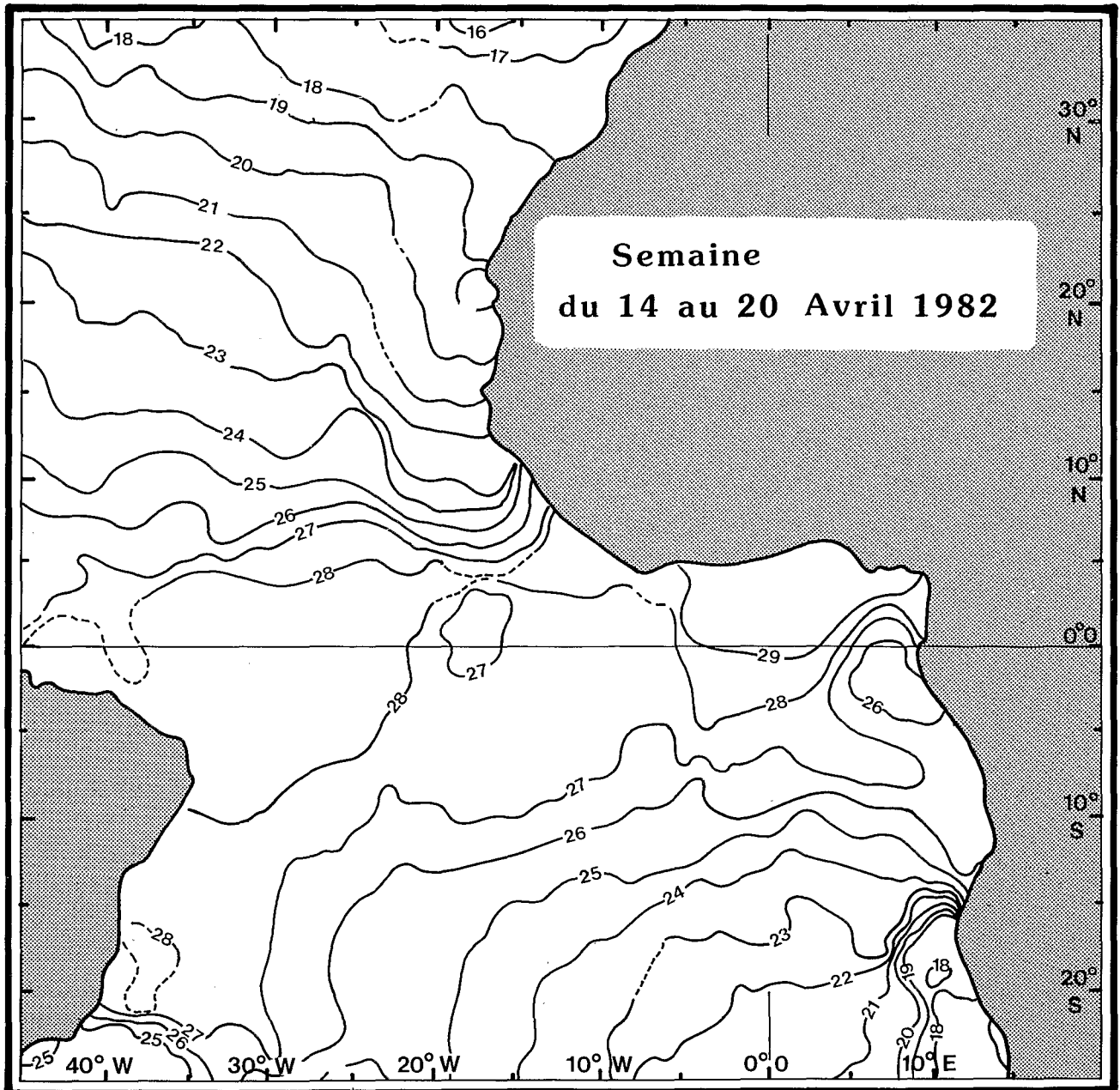


Figure 6b - Carte Gosstcomp établie pour la période du 14 au 20 avril 1982.

A l'upwelling congolo-gabonais a succédé l'upwelling (ou le refroidissement) équatorial dont le développement zonal a été très important puisqu'il atteignait 15°W le 1^{er} juin et 23°W pour la période du 17 au 23 juin 1982 (fig. 7).

Ce refroidissement équatorial exceptionnel par le domaine couvert devait l'être aussi par sa durée, car il était encore parfaitement perceptible en octobre 82 sur les images de synthèse.

Ceci peut être rapproché d'une autre observation fournie également par l'imagerie satellitaire : le nombre de cyclones et de tempêtes tropicales d'origine ouest-africaine recensés depuis 1972 a atteint son minimum en 1982 (Thepenier, comm. pers.) ; la température de surface étant un des facteurs de la cyclogénèse (à partir de 26-27°C), cette observation suggère, pour 1982, l'existence d'anomalies thermiques négatives, en Atlantique tropical.

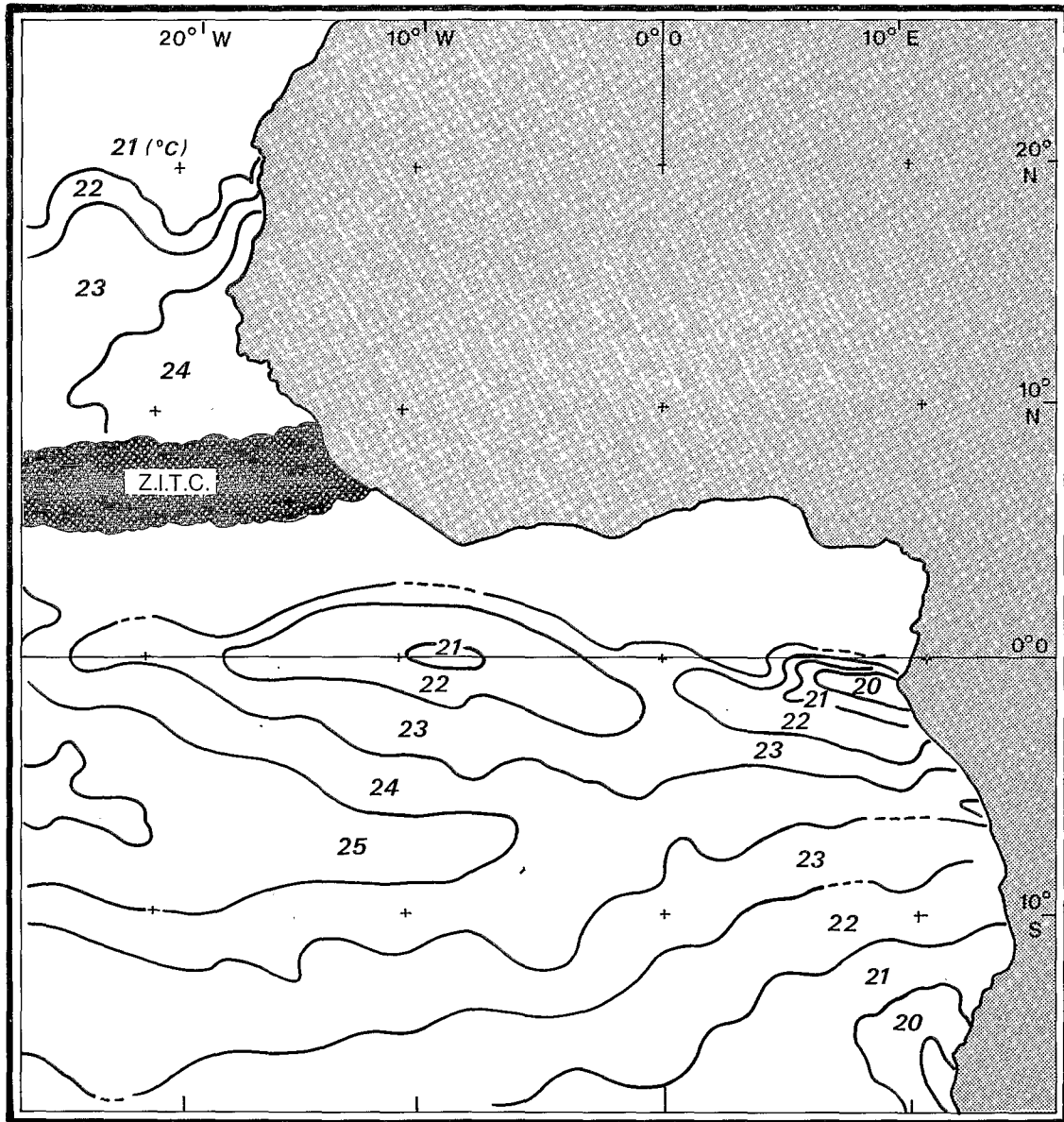


Figure 7 - Synthèse pour la période du 17 au 23 juin 1982.

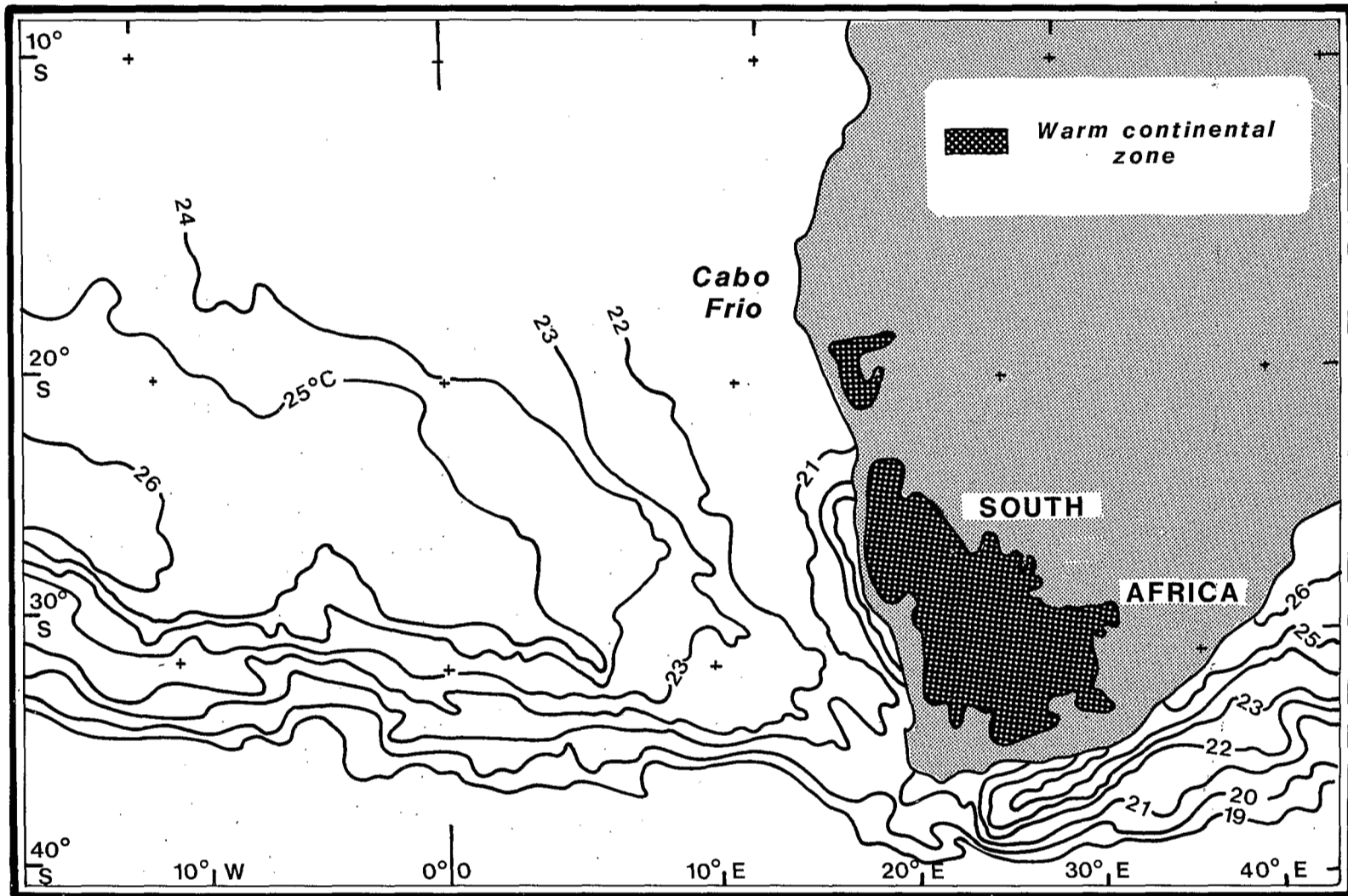


Figure 8 - Champ thermique en Atlantique sud du 13 au 19 janvier 1983.

Plus inhabituelle encore, la fin de l'année 1982 devait révéler une grande anomalie, positive cette fois, en Atlantique sud, dans une région moins fréquemment couverte par les campagnes océanographiques : une synthèse du 25 au 28 décembre montre la présence d'une large étendue d'eau chaude (de 24 à 26°C) centrée vers 10°W et 24°S et dont l'extension suggère un mouvement en direction des côtes sud-africaines ; quelques jours plus tard, en effet, ces eaux chaudes ont atteint la côte au nord du Cap de Bonne Espérance, recouvrant partiellement les upwellings quasi-permanents de cette région (fig. 8) ; nos correspondants d'Afrique du Sud, qui n'hésitèrent pas à appeler ce phénomène « South Atlantic El Nino », ont confirmé notre observation (Shannon, comm. pers.) et ont rapporté l'invasion des plages de Capetown par des physalies, espèce caractéristique des eaux tropicales.

Il est clair qu'à plus ou moins long terme, ces événements ont dû entraîner des réactions sur la productivité des eaux (8) et la capturabilité des espèces.

A défaut d'avoir pu conduire une étude en ce sens, nous avons recherché quelques éléments de compréhension de l'inégalité des différentes saisons d'upwelling, dont les mécanismes intéressent le physicien et le prévisionniste des pêches.

b) Position de la zone de convergence intertropicale et température de surface en Atlantique équatorial.

La vision globale que fournit un satellite géostationnaire incline tout naturellement à raisonner sur de vastes domaines océaniques et l'on se souvient qu'aux grands accidents climatiques du début d'année 83, telles les pluies diluviennes au Pérou furent associées des situations également anormales de la zone de convergence...

La zone de convergence intertropicale dans l'océan Atlantique est assez fréquemment unique et formée d'un arc allant des Caraïbes vers les côtes d'Afrique ; (la branche sud, quand elle existe, forme un arc (convectif) et également dirigé vers l'Afrique, mais articulé sur les côtes du « Nordeste » brésilien).

Avec quelques hypothèses simplificatrices, on peut admettre que cette zone de nuages convectifs, peut-être improprement appelée zone de convergence, représente aussi la zone de basses pressions, délimitant les domaines d'influence des anticyclones de Sainte-Hélène et des Açores ; les vents au sol convergent vers cette zone ; aussi, avons nous admis que la position du minimum de vent, limite des flux d'alizés de NE et de SE (ou du flux de mousson de SW issu de l'alizé de SE), pouvait être déduite de la position de la zone intertropicale de convergence (ZITC).

La documentation Air France (1963) établie pour les besoins des lignes aériennes de l'Afrique de l'Ouest, indique : « le FIT, front intertropical est la limite nord de la masse humide, i.e. la surface de contact entre le flux saharien de NE (souvent appelé harmattan) et le flux de SW souvent appelé mousson de Guinée. Cete couche

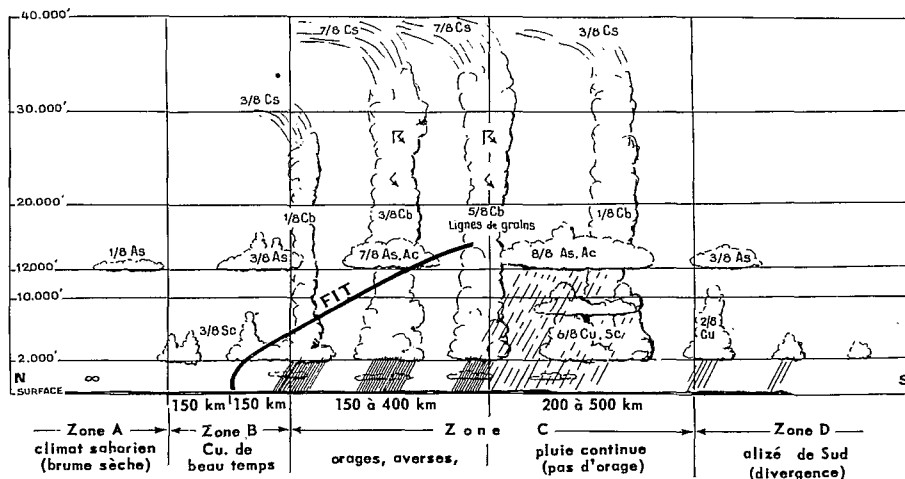


Figure 9a – Coupe type du FIT (d'après Documentation Air France, 1963).

(8) A la fin de l'année 1983 ce phénomène se renouvela avec cependant moins d'ampleur. La chronique économique rapporte une chute de la production des farines de poisson le long de ces côtes (sud-ouest Afrique) en 1982 et 1983.

s'enfonce comme un coin sous l'air très sec saharien. Il ne se passe rien le long de la trace au sol du FIT... C'est nettement plus au sud (150 à 300 km) que se trouvent les nuages à développement vertical important qui déterminent le FIT(9) pour celui qui l'observe d'avion » (fig. 9a).

Des sources plus récentes (HASTENRATH et al., 1977) indiquent qu'en mer le maximum de nébulosité est constamment décalé au sud de la zone de discontinuité de vent (d'environ 350 km) en juillet-août.

En utilisant les données de l'atlas, dû aux mêmes auteurs, nous avons observé qu'en fait le minimum de vent est au sud du maximum de nébulosité de décembre à juin et au nord de juillet à novembre (fig. 9b).

Avec ce schéma simplificateur, nous avons tenté de rapprocher l'évolution des températures de surface des mouvements de la zone de convergence : Sur la figure 10 nous avons repris un document réalisé par Hisard et al., (1981) donnant dans un diagramme espace-temps la température de surface sur le rail Dakar-Le Cap pour 1978 et 1979 ; nous l'avons complété, entre 10°N et 10°S, pour les années 1981 et 1982, à partir du fichier de la Météorologie Nationale ; nous y avons également reporté la variation dans le temps de la position de la zone intertropicale de convergence prise le long de 10°W (longitude moyenne où le rail Dakar-Le Cap coupe l'équateur).

Cette position a été déterminée à l'aide des canaux visibles et infra-rouge de Météosat en utilisant la méthode de Berthoux et Noyalet (détermination des enveloppes convectives) pour les années 1978 et 1979 ; nous l'avons complétée (10) pour les années 81 et 82 avec une méthode voisine (détermination du maximum de brillance (11).

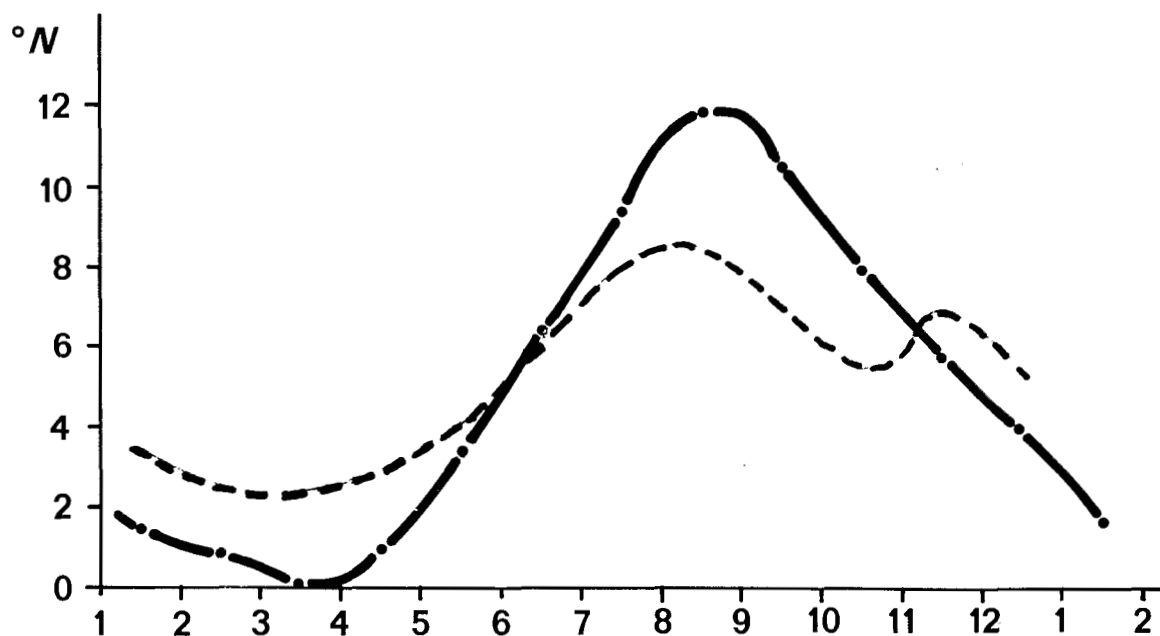


Figure 9b – Position du minimum des vents alizés (trait continu) et position du maximum de nébulosité (trait tireté) le long de 28°W (d'après les données de l'Atlas d'HASTENRATH (HASTENRATH et al., 1977).

(9) La distinction entre FIT et ZITC n'est pas toujours très précise : le FIT est le front marquant des changements de direction du vent ; la ZITC désigne la zone perturbée au sud du FIT.

(10) Le satellite Météosat-2 n'ayant commencé à fonctionner qu'en août 81, nous avons dû utiliser pour la période de janvier à juillet 81, les images composites en projection stéréo-polaire créées par la NOAA, publiées dans la revue mensuelle *Environmental Satellite Imagery*, dont la précision pour ce travail est inférieure au cliché Météosat.

(11) Procédure manuelle (à partir de films).

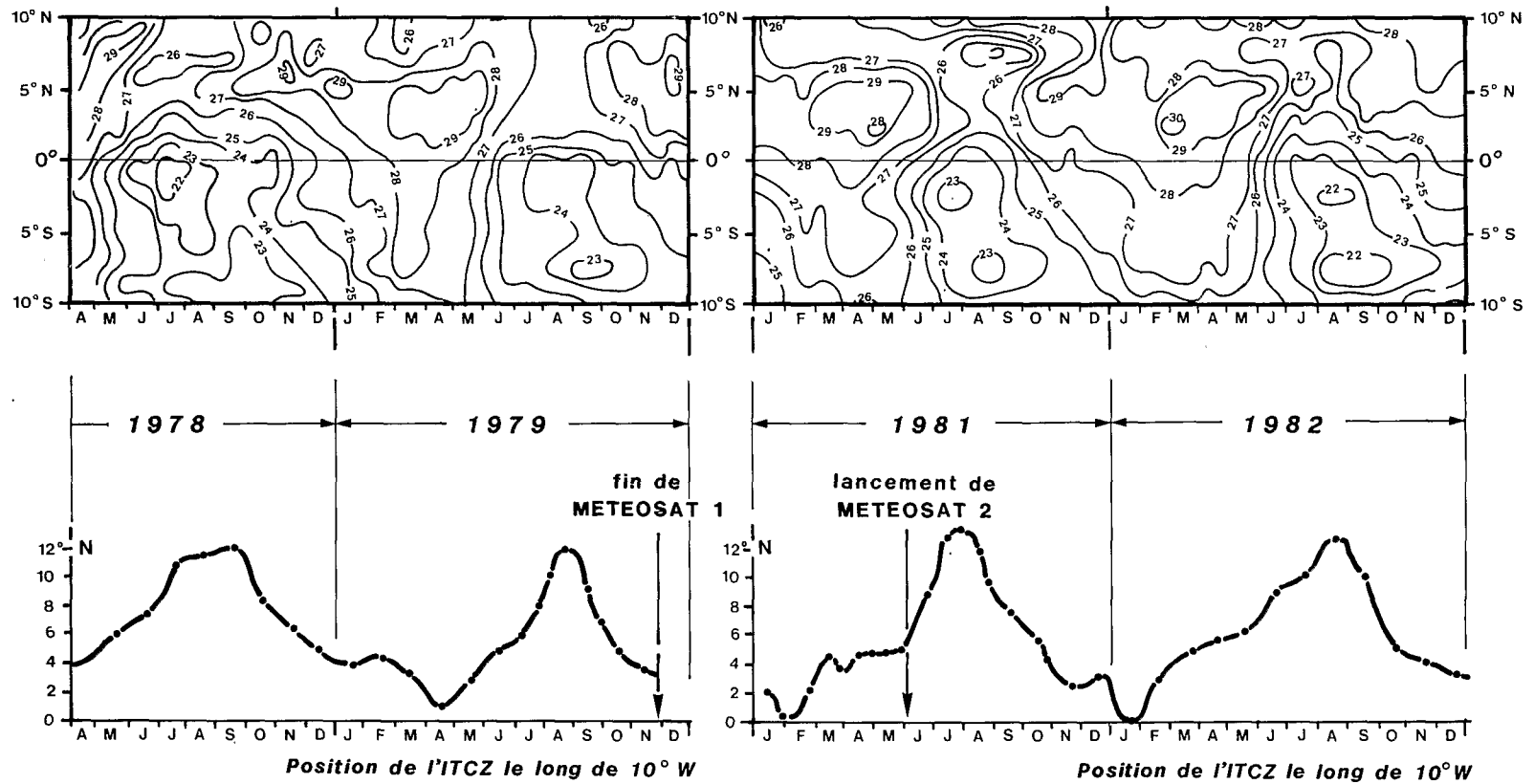


Figure 10 – Evolution des températures de surface et de la position de la zone de convergence le long de 10°W.

POSITION de la Z.I.T.C. le long de 28°W

VALEUR MOYENNE de la TEMPERATURE
de SURFACE (4°N-4°S, près de 10°W)

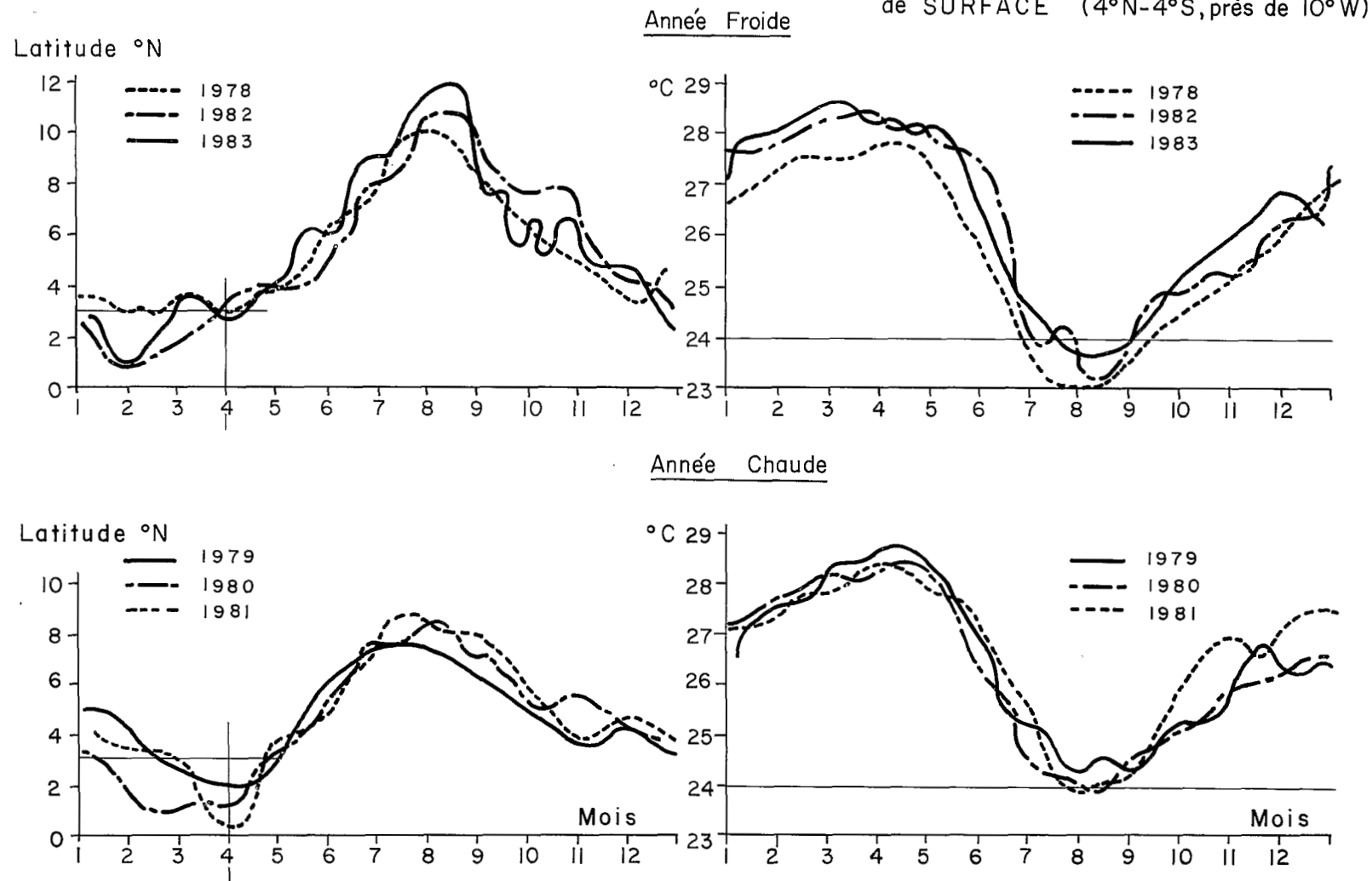


Figure 11 - Evolution de la position de la zone de convergence le long de 28°W et variation de la température moyenne de 10°W de 4N à 4S.

Si l'évolution des températures de surface décrit bien l'intensité des différentes saisons froides (1978 et 1982 ont été des années à upwelling fort par comparaison aux années 1979 et 1981), il semble que la position de la zone de convergence puisse également rendre compte des rythmes saisonniers et de leurs dissemblances : D'une manière générale, le refroidissement équatorial est contemporain de la remontée de l'ZITC et, pour les années d'upwelling fort (1978 et 1982) la région équatoriale reste plus longtemps sous l'influence des « hautes » pressions de l'anticyclone de Sainte-Hélène (une intégration de la position de l'ZITC en fonction du temps permet une comparaison rapide).

Toutefois, la position de la zone de convergence à 10°W est trop sensible aux influences continentales pour permettre des évaluations quantitatives. Aussi, pour amorcer une étude statistique sur plusieurs années de mesures, nous avons représenté en figure 11 la position de la zone de convergence au milieu du bassin Atlantique (28°W) à mi-chemin entre le continent sud Américain et le continent Africain (imagerie GOES-Est) :

Sur cette figure, nous avons regroupé les années 1978, 82 et 83 pour lesquelles le refroidissement équatorial a été relativement fort ; celles pour lesquelles ce refroidissement a été faible (1979, 80, 81) ont été également regroupées. Le tracé de la valeur moyenne des températures de surface prises entre 4°N et 4°S, le long du rail Dakar-Le Cap, permet d'évaluer l'intensité du refroidissement équatorial.

Le tracé de la position de la zone de convergence intertropicale suivant les regroupements qui viennent d'être définis amène les réflexions suivantes :

Aux incertitudes près de notre détermination de la position de l'ZITC (inférieure à 1°), les années à upwelling fort correspondent également à une remontée de l'ZITC plus importante, jusqu'à des latitudes comprises entre 10 et 12°N. En année d'upwelling équatorial moins actif, ces latitudes restent comprises entre 7 et 9°N seulement. De plus, la famille de courbes établies pour les années « chaudes » suggère que la zone de convergence descend, de janvier à fin mars, de façon monotone jusqu'à l'équateur ; ce n'est qu'à partir d'avril que s'amorce la migration vers le Nord, de la zone de convergence. Au contraire, en année « froide », pour la période de janvier à avril, deux schémas sont possibles, soit l'activité de l'anticyclone de Sainte-Hélène maintient l'ZITC entre 3 et 4°N (année 1978), soit l'ZITC poursuit sa descente vers l'Equateur en janvier, puis remonte dès février, de façon monotone et continue jusqu'à sa position extrême nord de l'été (années 1982 et 83).

Comme il est toujours possible, entre deux séries temporelles de faire apparaître d'excellentes corrélations, nous avons conscience de la nécessité d'une longue série pour confirmer ces premières observations. Une telle étude est en cours au CMS de Lannion à partir de l'imagerie d'archive SMS et GOE-E ; on peut toutefois observer que :

– La référence climatologique donnée par les atlas (Hastenrath et al., 1977) fournit une représentation de type année chaude.

– La conjonction entre le maximum de refroidissement équatorial et la position la plus au nord de l'ZITC ne se produit pas chaque année au même moment : en fin juillet pour 1978, à la mi-août en 1982 et 83.

– Des données plus récentes (1984) et publiées dans les bulletins Veille climatique de l'antenne ORSTOM de Lannion ont complété cette documentation des mouvements de l'ZITC et ont permis d'annoncer dès le mois d'avril 84 que la saison d'upwelling équatorial serait de type « année chaude », ce que les observations à la mer ont confirmé par la suite (anomalies positives de 0.5 à 1°C en juin 1984 en Atlantique équatorial).

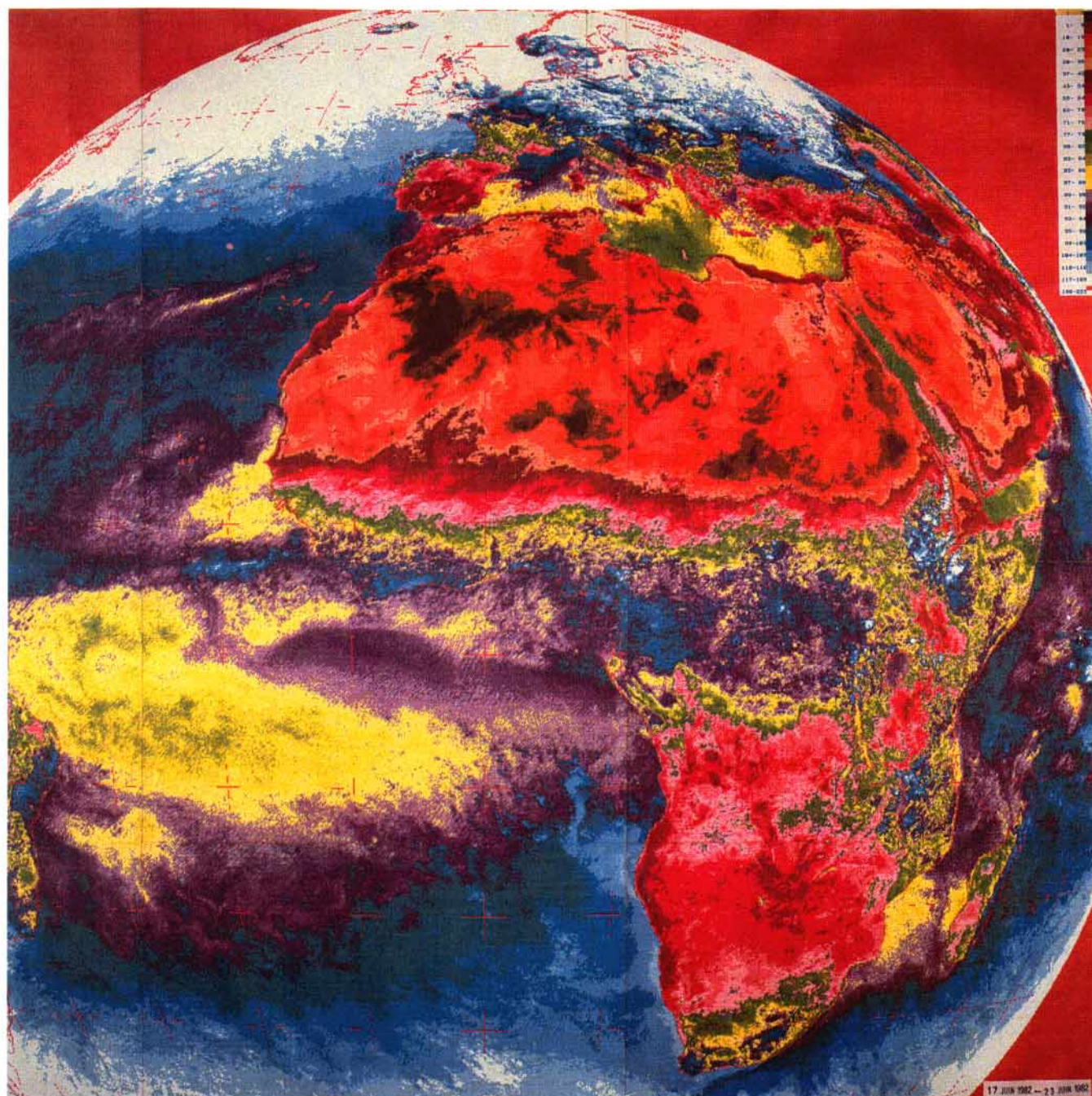
La validité, enfin, du signal de température à 10°W et sa signification pour le reste du bassin Est équatorial est également une question qui ne pourra être résolue qu'avec une imagerie infra-rouge suffisamment bien calibrée pour ne pas recourir aux seules valeurs collectées par les navires marchands. Cependant, faute pour l'instant de méthode rigoureuse de calibration en température de surface, et de correction de l'effet atmosphérique, la comparaison en grandeur relative des synthèses d'images Météosat est déjà riche d'enseignements.

C'est à ce titre que les planches I et II permettent d'apprécier la différence d'extension de l'upwelling équatorial à deux époques voisines du mois de juin, l'une en 1982 (et déjà largement diffusée (Guillot et al., 1982), l'autre en 1984.

On notera en 1982 la continuité de la bande équatoriale d'eaux froides et l'identification précise de sources froides à 0°, 10°W et sur la côte Gabonaise (le minimum de température est de 21°C à 10°W et 20°C à la côte Gabonaise, représenté respectivement en violet foncé et bleu).

PLANCHE I

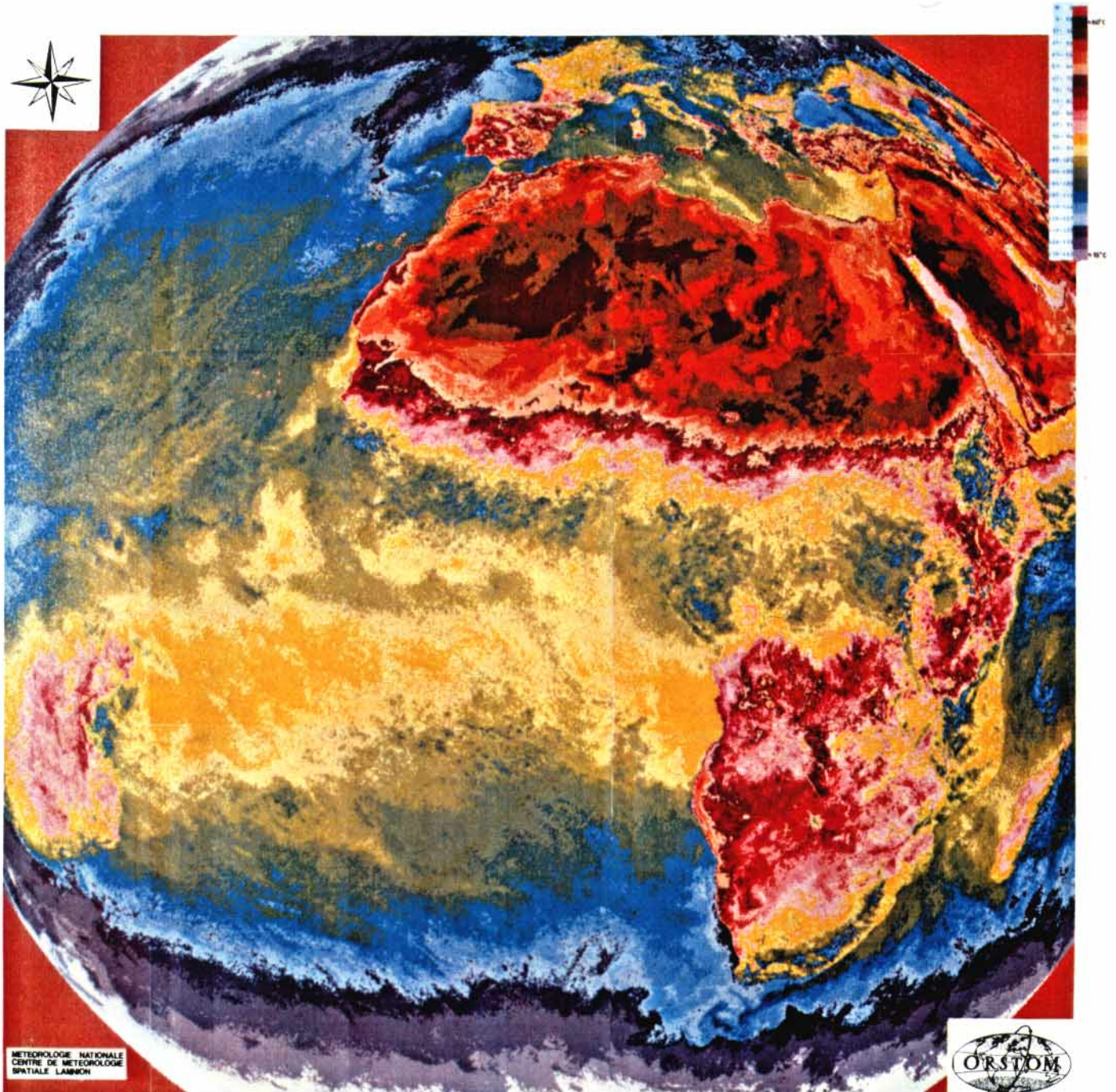
Synthèse infra-rouge thermique Météosat
du 17 au 23 juin 1982



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.

PLANCHE II

Synthèse infra-rouge thermique Météosat
du 14 au 20 juin 1984



Images à 11 h 30, 14 h 30 et 15 h 30. Les couleurs symbolisent des niveaux de température de surface décroissantes depuis 60° (marron foncé) à moins 15° C (violet clair)

En 1984, cet upwelling équatorial est beaucoup moins actif, on ne distingue plus les différentes zones de gradient thermique, mais seulement deux plages froides disjointes dont la température est voisine de 25°C, représentées en vert.

Au large de Saint-Paul de Luanda (10°S, 10°E) des eaux froides sont présentes en 1982 (plage violette, $t^{\circ} \approx 21^{\circ}\text{C}$) ; elles sont remplacées en 1984 par des eaux chaudes (plage jaune, $t^{\circ} \approx 28^{\circ}\text{C}$). L'extension de ces eaux chaudes atteint Cabo Frio (16°S, 12°E) dont le nom rappelle plutôt les upwellings permanents, et l'extension des eaux froides du courant de Benguela qui y siègent habituellement.

On observera aussi la différence de position en latitude de la zone de convergence voisine de 6°N en 1982 et de 5°N en 1984.

Si la relation que nous suggérons entre ZITC et saison marine à l'Equateur s'avérait fiable, il est clair qu'un prévisionniste des pêches opérant dans le Golfe de Guinée pourrait utiliser ce paramètre nouveau dans ses modèles de prévision : En effet, la détermination de la position de l'ZITC, ne requiert pas de moyens très lourds, car toutes les stations météorologiques de la côte ouest d'Afrique sont déjà équipées en réception dite APT/WEFAX (sur film) ; cette information accessible en temps réel, peut être suivie au jour le jour au même titre qu'une station côtière et devrait fournir une façon assez originale pour un océanographe de décrire la situation de surface dans le Golfe de Guinée ou d'anticiper parfois sur le déroulement de la saison à venir.

Ce lien entre l'ZITC et les conditions du milieu a d'ailleurs été perçu par des océanographes aussi bien physiciens que biologistes :

Merle et al. (1983) soulignent que c'est dans la région de l'ZITC que l'océan connaît les modifications les plus importantes en amplitude de l'immersion de la thermocline ; ils associent le déplacement vertical de la thermocline à la migration de l'ZITC.

Plus rares sur ce sujet sont les références émanant d'océanographes biologistes. Nous avons cependant noté un travail de Rolke prévu aux journées du Golfe de Guinée à Brest en juin 82, traitant de la distribution de la biomasse dans les 300 premiers mètres de l'Atlantique Equatorial, et que nous citons :

« The spatial and temporal biomass distribution varied extremely. Neglecting the spatial variations by taking average biomass values of whole particular sections these average values are related to the mean position of the intertropical convergence zone (ZITC) and the mean surface temperature ».

En ce qui concerne le phénomène « South Atlantic El Nino », indiquons que nous avons observé en janvier 83 une position très basse en latitude (2°S) de la zone de convergence prise à 10°E (situation tout à fait identique aux conditions observées à la même époque dans le Pacifique Est). D'autres observations effectuées sur le continent, indiquent bien en effet, qu'en janvier 83, il y a eu un déplacement d'ensemble vers le sud de ce « périmètre humide » qu'est la zone de convergence, accentuant de ce fait les conditions de sécheresse qui prévalaient au nord.

CONCLUSION

La série de données présentées reste encore trop fragmentaire pour conclure et doit être complétée, mais elle nous suggère fortement le sentiment que l'image de la zone de convergence est un indicateur des conditions océaniques présentes sur une grande échelle, voire même de leur tendance.

Dans cette hypothèse, il apparaîtrait que le suivi de la zone de convergence peut fournir à l'océanographe et au prévisionniste des pêches une information temps-réel, car l'imagerie (dite en format « WEFAX ») est disséminée dans toutes les stations Météorologiques de l'Afrique de l'ouest et son traitement reste simple.

Par ailleurs, bien que l'information satellitaire aujourd'hui disponible ne soit pas utilisable par tout temps, elle nous a permis une écoute fidèle des grands événements de l'Atlantique tropical de juin 1981 à janvier 1983.

En ce qui concerne l'opération « Listao et Télédétection » en elle-même après différentes difficultés d'élaboration de cartes (en saison chaude), l'intérêt d'une cartographie temps-réel à l'aide de Météosat a été reconnue malgré les insuffisances des premiers logiciels de traitement. Cette opération, en effet, à la demande du secrétariat d'Etat à la Mer, a été reprise au niveau opérationnel par la Météorologie Nationale opérant depuis son centre de Lannion, avec une contribution en matériel du CNEXO et le concours de l'antenne ORSTOM pour le contrôle et l'amélioration du produit Météosat.

BIBLIOGRAPHIE

- BERTHOU, H. et NOYALET, A. - Sous presse. Utilisation du satellite météorologique géostationnaire Météosat. à paraître dans Initiations. Documentations Techniques, série Télédétection, ORSTOM, Paris.
- CITEAU, J., PITON, B. and VOITURIEZ, B. - 1981 - Remote sensing of the upwelling season in the eastern tropical atlantic ocean. Recent progress in equatorial oceanography : Report of the final meeting of Scor WG 47 in Venice, Italy. April, 27-30, 1981. Nova University Press. Ed., Dania, Florida, pp 283-292.
- CITEAU, J., GUILLOT, B. et JEGOU, C. - 1982 - Réflexions sur une expérience en cours : Le satellite Météosat-2 et les campagnes Listao. 10^e Colloque sur l'exploitation des océans, Paris, Hôtel George V, 20-22 Janvier 1982, ASTEO Ed., 180-193.
- CITEAU, J. - 1984 - Position de la zone intertropicale de convergence d'avril à juin 1984. Veille climatique satellitaire n° 2 juillet 1984, antenne ORSTOM Lannion.
- DOMAIN, F. - 1979 - Le satellite Météosat et l'océanographie. Etude des températures de la mer au voisinage des côtes de Mauritanie et du Sénégal. Initiations et Documentations techniques, n° 42, Télédétection 3, ORSTOM Paris, 1-43.
- DOCUMENTATION AIR-FRANCE - 1963 - Climatologie Afrique. Département des vols. Doc. Nav. Infra. NoM3, 1-145.
- GOURIOU, Y. - 1984 - Correction de l'angle zénithal et utilisation du canal vapeur d'eau pour la correction atmosphérique. Rapport de stage effectué au CMS de Lannion, antenne ORSTOM Lannion 16 p., 7 fig.
- GUILLOT, B. et CITEAU, J. - 1982 - Le globe dans l'infra-rouge thermique. Météosat-2 ou le mérite de la simplicité. Note antenne ORSTOM Lannion 4 p., 2 fig., 1 pl. couleur, éditeur Imprim.
- HASTENRATH, S. and LAMB, P. - 1977 - Some aspects of circulation and climate over the eastern equatorial atlantic. Monthly Weather Review, vol 105, n° 8, august 1977.
- HASTENRATH, S. and LAMB, P. - 1977 - Climatic atlas of the tropical atlantic and eastern pacific oceans. The University of Wisconsin Press, Madison, Wisconsin 53701.15p.97ch.
- HISARD, P. and VOITURIEZ, B. - 1981 - Monitoring equatorial SST in the Atlantic. Tropical Ocean-Atmosphere Newsletter N°6, April 1981.
- LUTHEJARMS, E. - 1979 - Use of Météosat in southern ocean oceanology and southern hemisphere meteorology. CSIR report sea 7918, Stellenbosch, South Africa june 1979, 37 p., 13 fig.
- MERLE, J. and DELCROIX, Th. - 1983 - Double seasonal tilt of the thermocline in tropical Atlantic ocean. Tropical Ocean Atmosphere Newsletter n° 18, May 1983.
- MORGAN, J. - 1979 - Météosat calibration report, issues 3 to 7. MDMD/MET, ESOC, Darmstadt.
- PIANET, R. - 1982 - Rapport du groupe de travail sur le traitement des données de l'année Listao. Dakar 14-25 juin 1982. Doc. ICCAT SCRS/82.1-82.
- PITON, B. et ROY, C. - 1982 - Données d'environnement pour la période juin, juillet et août 1981 dans le golfe de Guinée. Rapport provisoire, Antenne ORSTOM COB Brest 21 p., 67 fig.
- PITON, B. - 1983 - Early surfacing of the equatorial undercurrent water in the eastern gulf of Guinea. Tropical Ocean Atmosphere Newsletter, n° 20, September 1983.
- ROLKE - non publié - The Biomass distribution of smaller zooplankton in the upper 300m of the equatorial Atlantic, I.F.G., Kiel, FRG.
- STRETTA, JM., FAVARD, J-C et CITEAU, J. - 1980 - Météosat et l'expérience d'aide à la pêche. Comptes rendus du 6^e Symposium canadien sur la télédétection 21-31 mai 1980, Halifax, Canada.

