TÉLÉDÉTECTION 3

LE SATELLITE MÉTÉOSAT ET L'OCÉANOGRAPHIE

Etude des températures de la mer au voisinage des côtes de Mauritanie et du Sénégal

F. Domain

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ET TECHNIQUE OUTRE-MER

ORSTOM

ÉDITIONS DE L'OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

RENSEIGNEMENTS, CONDITIONS DE VENTE

Pour tout renseignement, abonnement aux revues périodiques, achat d'ouvrages et de cartes, ou demande de catalogue, s'adresser au :

SERVICE DES PUBLICATIONS DE L'ORSTOM
70-74, route d'Aulnay - 93140 BONDY (France)

- Tout paiement sera effectué par chèque bancaire barré ou par C. C. P., au nom du Service des Publications ORSTOM-C. C. P. : 22.272-21 Y PARIS.
- Achat au comptant possible à la bibliothèque de l'ORSTOM, 24, rue Bayard, 75008 PARIS.

I - CAHIERS ORSTOM

BIOLOGIE
ENTOMOLOGIE MÉDICALE ET PARASITOLOGIE
HYDROBIOLOGIE
HYDROLOGIE
OCÉANOGRAPHIE
PÉDOLOGIE
SCIENCES HUMAINES

séries trimestrielles	Abonnement :	*France*	120 F.	
		Etranger	156 F.	36,30 US dollars
GÉOLOGIE - *série semestrielle*	Abonnement :	*France*	96 F.	
		Etranger	120 F.	28,00 US dollars

II - BULLETIN ANALYTIQUE D'ENTOMOLOGIE MÉDICALE ET VÉTÉRINAIRE

12 numéros par an	Abonnement :	*France*	115 F.	
(15 fascicules)		*Etranger*	130 F.	30,25 US dollars

Dans la collection «INITIATIONS – DOCUMENTATIONS TECHNIQUES» :

n° 34 - TÉLÉDÉTECTION 1

Les satellites d'observation de la terre «LANDSAT» - description sommaire - acquisition des données
42 p., 21x27 - ISBN 2-7099-0487-X _____ **20 F ttc**

n° 39 - TÉLÉDÉTECTION 2

Analyse multivariable - Procédure «Loterie» - Application à l'analyse multispectrale en Télédétection.
78 p., 21x27, ISBN 2-7099-0512-4 _____ **20 F ttc**

INITIATIONS – DOCUMENTATIONS TECHNIQUES
N° 42

TÉLÉDÉTECTION 3

O.R.S.T.O.M.
PARIS
1979

I.S.B.N. 2-7099-0548-5

© O.R.S.T.O.M. Paris 1979

LE SATELLITE MÉTÉOSAT ET L'OCÉANOGRAPHIE

Etude des températures de la mer au voisinage des côtes de Mauritanie et du Sénégal

F. Domain

Océanographe biologiste de l' O.R.S.T.O.M.
Antenne O.R.S.T.O.M.
Centre Océanographique de Bretagne, B.P. 337, 29273 BREST CEDEX

ORSTOM
TÉLÉDÉTECTION

Ce travail a été réalisé grâce à la collaboration très efficace de :

Messieurs FUSEY et BRAUN, de l'Antenne de la Météorologie Nationale auprès du C.O.B. de Brest ;

Monsieur NOEL, responsable de l'analyse numérique des données au Bureau de Télédétection de l'O.R.S.T.O.M. ;

Messieurs CITEAU, VERCESI et MORLIÈRE, océanographes à l'antenne O.R.S.T.O.M. du C.O.B. de Brest.

Nos remerciements s'adressent à la Météorologie Nationale et plus particulièrement à Monsieur LASBLEIZ, Directeur du Centre de Météorologie spatiale à Lannion, qui a mis à notre disposition toutes les données de METEOSAT dont nous avons eu besoin.

Table des Matières

I – LE SATELLITE METEOSAT, LES DONNÉES ET LES MÉTHODES

1.1 - Le satellite et les données radiométriques 9
1.1.1 - Programme météorologique 9
1.1.2 - Le satellite METEOSAT et ses fonctions 10
1.1.3 - L'observation de la terre 10

1.2 - Les données radiométriques 11

1.3 - Principaux facteurs pouvant altérer la qualité des mesures 12

1.4 - Traitement des données numériques 13
1.4.1 - La logique du traitement 13
1.4.2 - Présentation des résultats 13

II – LES RÉSULTATS

2.1 - Rappel des conditions hydrologiques dans la région 15

2.2 - Observation par télédétection de l'évolution des conditions thermiques de surface du 22 mai au 17 septembre 1978 17
2.2.1 - Transition saison froide - saison chaude 17
2.2.1.1 - Description des phénomènes observés 17
2.2.1.2 - Comparaison de ces observations avec les résultats de l'océanographie classique 23
2.2.2 - Saison chaude 25
2.2.2.1 - Description des phénomènes observés 25
2.2.2.2 - Comparaison de ces observations avec les résultats de l'océanographie classique 25

2.3 - Examen de trois situations caractéristiques de saison froide observées par télédétection 25

III – POSSIBILITÉS D'APPLICATION DES OBSERVATIONS PAR TÉLÉDÉTECTION EN OCÉANOGRAPHIE BIOLOGIQUE

3.1 - Étude des migrations saisonnières des populations de poissons 33

3.2 - Aide à la pêche 37

3.3 - Améliorations de l'estimation du recrutement dans les pêcheries 37

IV – CONCLUSION 39

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES 41

QUELQUES EXEMPLES D'APPLICATION DES OBSERVATIONS PAR TÉLÉDÉTECTION EN OCÉANOGRAPHIE 43

RÉSUMÉ –

Ce travail présente un exemple thermique d'exploitation des données du satellite METEOSAT dans l'infrarouge. La région étudiée couvre la zone côtière de l'Atlantique centre-est, de la Guinée-Bissau à la Mauritanie (12 à 24° N). La méthode de traitement des données numériques est exposée : grâce au logiciel METSA, il est possible de comparer entre eux jusqu'à six fichiers, correspondant chacun à une observation à un moment donné, et de n'en conserver que les caractères permanents qui ont une forte probabilité de traduire un phénomène caractéristique de la surface de la mer. On élimine ainsi les agents «perturbateurs» tels que nuages, poussières, etc..

Dans une seconde partie, l'évolution des conditions thermiques de surface en mer, de la Guinée-Bissau à la Mauritanie, est décrite au moyen d'observations par télédétection pour la période allant du 22 mai au 17 septembre 1978. L'évolution des phénomènes observés, notamment la progression vers le nord du front thermique et la régression des upwellings du Cap Blanc et du Cap Timiris, est en accord avec ce que l'on connaît de la dynamique des masses d'eau dans la région.

Enfin, dans une dernière partie, trois possibilités d'application des observations par télédétection en biologie sont évoquées : l'étude des migrations saisonnières des populations de poissons lorsqu'elles dépendent de l'évolution des conditions thermiques, l'aide à la pêche et l'amélioration de l'estimation du recrutement dans les pêcheries.

ABSTRACT –

This paper presents an example of METEOSAT satellite data in infra-red. The concerned country is the Atlantic central-east coastal zone, between the Guinea-Bissau and the Mauritania (12 to 24° N). The method of data processing is explained , by mean of «Logiciel Metsa» it is possible to compare between them six card-index of which each one corresponds to an observation at a given time and keep only permanent characters which have a high probability to represent a characteristic phenomenon of the S.S.T. By this way, disturbing elements, like clouds, dust and so on, are eliminated.

In a second part, sea-surface thermic conditions between 22nd May to 17th September are described by mean of remote sensing from the Guinea-Bissau to the Mauritania. The evolution of observed phenomenon, especially the progress of thermic front to the north and the regression of upwelling of Cape Blanc and Cape Timiris, is in concordance with that is known of the water masses dynamics in the country.

Finally, in a last part, three possibilities of application of remote sensing in biology are noted : the study of fish seasonnal migration when they depend of the thermic condition evolution, fishing assistance and ameliorations of recruiting estimation in fisheries.

A partir du mois de mai 1978, une première exploitation des données du satellite METEOSAT a été entreprise par l'O.R.S.T.O.M. dans le cadre de son Antenne auprès du C.O.B.* à Brest. Elle s'attache à suivre les mouvements méridiens des masses d'eau et le déplacement des fronts thermiques pendant les périodes de transitions hydrologiques, d'une saison à l'autre, au large des côtes sénégalo-mauritaniennes. Cette étude est réalisée dans le but d'étayer et d'illustrer un certain nombre d'hypothèses concernant le déplacement des populations de poissons dans la région. Cette partie de la côte ouest-africaine présente une faible nébulosité, voire une nébulosité nulle, pendant une grande partie de l'année et se prête ainsi particulièrement bien aux études par télédétection à partir de satellites.

Par cette technique, il est possible d'observer de grandes étendues et, par la répétition des observations, de suivre l'évolution des phénomènes qui s'y déroulent. Un autre intérêt de cette méthode est de disposer rapidement, pratiquement en temps réel, de l'information. Il nous semble donc logique de présenter dès à présent, à titre d'illustration des possibilités de la technique, les premières images traitées. Il est satisfaisant de constater qu'elles montrent une évolution spatio-temporelle des caractéristiques thermiques de surface en accord avec ce que l'on sait de la dynamique des masses d'eau dans la région.

I – LE SATELLITE METEOSAT, LES DONNÉES ET LES MÉTHODES

1.1 - LE SATELLITE ET LES DONNÉES RADIOMÉTRIQUES

1.1.1. - Programme météorologique

Le Programme de Recherche sur l'Atmosphère (G.A.R.P. : Global Atmospheric Research Programme) a entrepris de mettre en place cinq satellites géostationnaires afin de réaliser une observation permanente de la plus grande partie du globe terrestre. Ces satellites doivent être placés à 36000 km de la surface de la terre sur des orbites presque circulaires situées dans le plan de l'Équateur. Ils doivent parcourir, dans le sens de rotation de la terre, une orbite complète en 24 heures et apparaître ainsi immobiles par rapport à la terre.

A partir de chaque satellite, la terre est vue à l'intérieur d'un cône d'environ 17° d'angle au sommet. Le système de projection qui en découle donne des images de plus en plus déformées lorsque l'on se déplace du centre vers l'horizon. Aucune observation des régions polaires n'est possible par ce dispositif.

---

* Centre Océanologique de Bretagne.

1.1.2 - Le satellite METEOSAT et ses fonctions

Le satellite METEOSAT est placé au-dessus du point de coordonnées 0° en longitude et en latitude. Il a la forme générale d'un tube de 2,10 m de diamètre et 3,20 m de longueur et dont l'axe est parallèle à l'axe des pôles de la terre. Il est animé d'un mouvement de rotation autour de cet axe, à la vitesse de 100 tours par minute. Il est conçu pour accomplir trois fonctions :

- *Observations de la terre.* Cette fonction prend principalement en compte les besoins pour la météorologie. Le satellite est équipé pour cela d'un radiomètre qui effectue une auscultation complète du globe terrestre toutes les 30 minutes. Les données établies par ce radiomètre sont reçues à la station terrestre de Odenwald-Darmstadt (R.F.A.) qui effectue alors un certain nombre de traitements et d'extractions d'informations.
- *Diffusion des données et des informations extraites.* La station terrestre utilise le satellite METEOSAT comme relais spatial pour retransmettre aux utilisateurs, soit les données brutes, soit les données élaborées.
- *Collecte de données.* Le satellite METEOSAT sert de relais pour la transmission des mesures effectuées par des stations terrestres : stations météorologiques, climatologiques, hydrologiques, océanographiques, ..

Seule, la première fonction est évoquée ici.

1.1.3 - L'observation de la terre

Le radiomètre de METEOSAT est équipé de trois types de détecteurs adaptés à trois canaux différents dans le spectre électro-magnétique.

– Le canal dit **visible** (VIS) dont les longueurs d'onde sont comprises entre 0,4 et 1,1 μm. Ce canal est légèrement plus large que le domaine de sensibilité de l'œil humain (0,4 à 0,7 μm) puisqu'il utilise une partie du rayonnement du proche infrarouge entre 0,7 et 1,1 μm. L'origine du rayonnement est la lumière émise par le soleil et réfléchie par le globe terrestre. Il n'est donc possible d'établir que des images de jour ou, plus précisément, de la partie du globe exposée au soleil. Le résultat obtenu est attrayant, il permet de voir la terre comme on est habitué à voir la lune.

– Le canal dit **vapeur d'eau** (VDE) dont les longueurs d'onde sont comprises entre 5,7 et 7,1 μm. Ce canal est entièrement en dehors du domaine de sensibilité de notre œil. Il correspond à des longueurs d'onde à partir desquelles on obtient une image du contenu en vapeur d'eau de la haute atmosphère. Le globe terrestre prend alors un aspect assez surprenant, enveloppé de formes gazeuses que notre œil ne peut voir habituellement.

– Le canal dit **infrarouge thermique** (IRT) dont les longueurs d'onde sont comprises entre 10 et 12,5 μm. Pour ces longueurs d'onde, l'énergie émise par le soleil est faible par rapport à celle émise par le globe terrestre. D'autre part, l'atmosphère est transparente. L'énergie de ce rayonnement est fonction de la température et de l'émissivité des corps terrestres qui l'émettent. Les documents établis à partir de ce canal peuvent donc être considérés comme des cartes de température radiométrique du globe. Leur aspect est moins surprenant que dans le cas du canal Vapeur d'Eau. Il faut cependant noter que

les calibrations ont été choisies pour faire apparaître correctement les différentes températures des nuages et de la mer. La sensibilité pour les températures plus élevées des zones continentales est moins bonne.

Le radiomètre de METEOSAT dispose donc de trois types de détecteurs. Pour des raisons de sensibilité de ces détecteurs et de quantité d'énergie reçue sur chaque canal, le champ instantané de vue n'est pas le même pour chaque canal.

Pour le canal Visible, il existe deux détecteurs dont le champ de vue instantané est compris dans une pyramide de base carrée et d'angle latéral au sommet de 0,070 mrd. Au point sous le satellite (latitude 0°, longitude 0°), ce champ de vue instantané correspond à un carré de 2,5 km de côté.

Pour les canaux Vapeur d'Eau et Infrarouge Thermique, le champ de vue instantané présente un angle latéral au sommet de 0,140 mrd, il correspond au sol à un carré de 5 km de côté pour le point sous satellite.

Le radiomètre étant entraîné par la rotation du satellite autour de son axe, il observe la terre pendant 1/20e du temps de cette rotation selon une bande d'est en ouest. Les observations effectuées sur cette bande donneront :

- une ligne de l'image INFRAROUGE THERMIQUE,
- une ligne de l'image VAPEUR D'EAU,
- deux lignes de l'image VISIBLE.

Les données analogiques fournies par les détecteurs sont numérisées à bord du satellite et on obtient, pour chaque canal, un nombre proportionnel à l'énergie reçue par le détecteur à partir des points élémentaires de l'image découpés sur la ligne. Pour chaque ligne, il est établi 2500 points en Infrarouge Thermique et Vapeur d'Eau et 5000 points en Visible.

A chaque rotation du satellite, l'orientation du radiomètre est modifiée d'un pas de 0,125 mrd afin d'observer une bande adjacente à la précédente. La succession des bandes s'effectue du sud vers le nord. Il faut 2500 rotations du satellite pour avoir une vue complète du globe terrestre contenu dans un carré. Le satellite effectuant 100 rotations par minute, la vue est établie en 25 minutes, le cycle d'observation recommençant toutes les trente minutes.

1.2 - LES DONNÉES RADIOMÉTRIQUES

Le satellite transmet aux stations de réception au sol des nombres proportionnels à l'énergie reçue par le radiomètre et ceci pour chaque point élémentaire de l'image. Pour le canal VIS, nous avons 5000 lignes et sur chaque ligne 5000 points, soit 25 000 000 de points pour une image complète et à chaque point correspond un nombre compris entre 0 et 63. Pour les canaux VDE et IRT, nous avons 2500 lignes et, sur chaque ligne, 2500 points, soit 6 250 000 points et, à chaque point correspond un nombre variant entre 0 et 255.

Ces informations devraient subir de nombreuses corrections avant d'être mises à la disposition des utilisateurs ; corrections radiométriques prenant en compte les imperfections des détecteurs et les aléas des calibrations ; corrections géométriques nécessitées par les imperfections des mouvements du satellite telles que les nutations résiduelles. En fait, les procédures de corrections sont complexes et n'étaient pas opérationnelles au moment où ce travail a commencé. Nous avons donc utilisé les données brutes reçues par le Centre de Météorologie spatiale de Lannion. L'expérience nous a montré qu'elles sont d'une qualité largement suffisante pour nos besoins.

Le Centre de Lannion nous a communiqué régulièrement des données transformées par leur soin en d'excellentes photographies. Par traitements photographiques adaptés, nous avons pu évaluer la valeur des données. Mais le travail effectif a été fait à partir des données numériques reçues régulièrement sur bandes magnétiques. Seules, les données numériques du canal IRT ont été utilisées.

1.3 - PRINCIPAUX FACTEURS POUVANT ALTÉRER LA QUALITÉ DES MESURES

Dans l'atmosphère, un certain nombre d'éléments sont susceptibles de perturber les mesures effectuées dans l'infrarouge : ce sont essentiellement la vapeur d'eau, sous forme de nuages ou de brumes, et les particules en suspension dans l'air.

Les nuages introduisent les biais les plus faibles, ils se comportent généralement comme des écrans au passage des ondes infrarouge ; les observations par télédétection, à partir de satellites, deviennent alors très difficiles. C'est le cas dans la partie centrale du Golfe de Guinée, généralement occultée par une importante couverture nuageuse.

La présence de brumes est souvent plus gênante car il y a, dans ce cas, modification de la mesure. La vapeur d'eau est en effet plus froide que la mer et a donc tendance à «refroidir», en quelque sorte, l'information. Celle-ci traduit alors une moyenne entre la température de la brume et celle de la surface de la mer. Ces brumes se forment généralement au niveau du littoral en début et en fin de journée et dans les zones de remontées d'eau. L'image thermique a alors tendance à apparaître plus froide que dans la réalité. Cette situation se trouve également en bordure de nuages.

Dans certaines régions, c'est le cas au large de la Mauritanie et du Sénégal, certains régimes de vents peuvent entraîner dans l'atmosphère et loin au-dessus de la mer d'importantes quantités de poussières. Il y a également ici modification du rayonnement radiométrique et introduction d'un biais dans la mesure.

Une des caractéristiques des éléments «perturbateurs» que nous venons de décrire est qu'ils ne se manifestent pas de façon permanente. La méthode de traitement des données numériques utilisées dans ce travail tire parti de cette particularité. Elle permet d'obtenir un maximum de documents d'où sont éliminés les biais d'origine atmosphérique.

1.4 - TRAITEMENT DES DONNÉES NUMÉRIQUES

1.4.1 - La logique du traitement

Les données numériques ont été traitées au C.O.B. à Brest, sur ordinateur HP 21 MX, grâce au logiciel METSA conçu par J. NOEL du Service de Télédétection de l'O.R.S.T.O.M. L'originalité de ce programme est qu'il traite les informations numériques par comparaison entre les données et non par calcul direct. NOEL (1978) en décrit ainsi le principe : «Soit un fichier numérique caractéristique d'une certaine surface. Comparons ce fichier avec un autre fichier de la même surface obtenu peu après (une heure, par exemple) ou obtenu le lendemain à la même heure. Si, en comparant les deux fichiers, on élimine tous les points caractérisés par deux chiffres différents en chacun des deux fichiers (à une certaine sensibilité près), on élimine ainsi toutes les informations qui ont une forte chance de ne pas caractériser un phénomène purement terrestre et qui pourraient prendre en compte un aléa atmosphérique (nuages, pollution, ..). En poursuivant cette élimination à l'aide de plusieurs fichiers suffisamment rapprochés, on peut ainsi isoler un nombre restreint de points «stables» dont les valeurs radiométriques seront caractéristiques d'un phénomène purement de surface. On peut alors relever les points ainsi déterminés, tracer des isolignes et prétendre avoir mesuré un paramètre transparent aux variations atmosphériques.».

Le logiciel METSA que nous avons utilisé permet de comparer jusqu'à 6 fichiers entre eux. Un septième niveau gère les caractères permanents de ces fichiers : il en résulte un document appelé «permanence». Un choix dans le degré de qualité de la permanence est possible : on peut ainsi ne conserver que les caractères permanents dans 2, 3, 4, 5 ou 6 fichiers. Pour notre part, nous avons admis que si un point avait trois fois la même valeur sur six observations, l'information qu'il contenait pouvait être considérée comme stable et avait une forte probabilité de représenter un phénomène caractéristique de la surface de la mer. On obtient ainsi ce que nous avons appelé une «permanence 3 sur 6».

La dernière opération du traitement des données n'élimine pas uniquement les biais d'origine atmosphérique. Nous avons déjà indiqué que le rayonnement électromagnétique était émis par la surface du corps observé,proportionnellement à sa température. On admet donc une certaine homogénéité au travers de la masse de ce corps. En mer, en l'absence de brassage par le vent ou par certains courants, il existe une importante stratification des températures et celle de la pellicule superficielle peut atteindre des valeurs très élevées qui apparaîtraient aberrantes sur des observations en «instantané». Le phénomène n'étant pas constant, ces valeurs sont éliminées lors de l'extraction de la permanence.

1.4.2 - Présentation des résultats

Les résultats sont visualisés sur imprimante à l'aide de caractères typographiques symbolisant les différentes classes de valeurs caractérisant les points (Figure 1). Par réduction, on obtient les images telles que présentées ici. Deux types d'images seront décrits dans ce document :

- images de permanence 3/6 obtenues à partir de 6 jours d'observations (1 fichier par jour à 13 h 30, pendant six jours) ;
- images de permanence 3/6 concernant une journée (6 fichiers à 3 h d'intervalle).

Sur ces images, chaque plage de couleur correspond à une classe relative de température. Ces couleurs sont agencées dans l'ordre du spectre, le violet correspondant aux classes les plus froides.

Fig. 1 : Exemple de visualisation sur imprimante d'une image de télédétection : Région du Cap Blanc, image du 31 mai 1978 à 13 h 00.

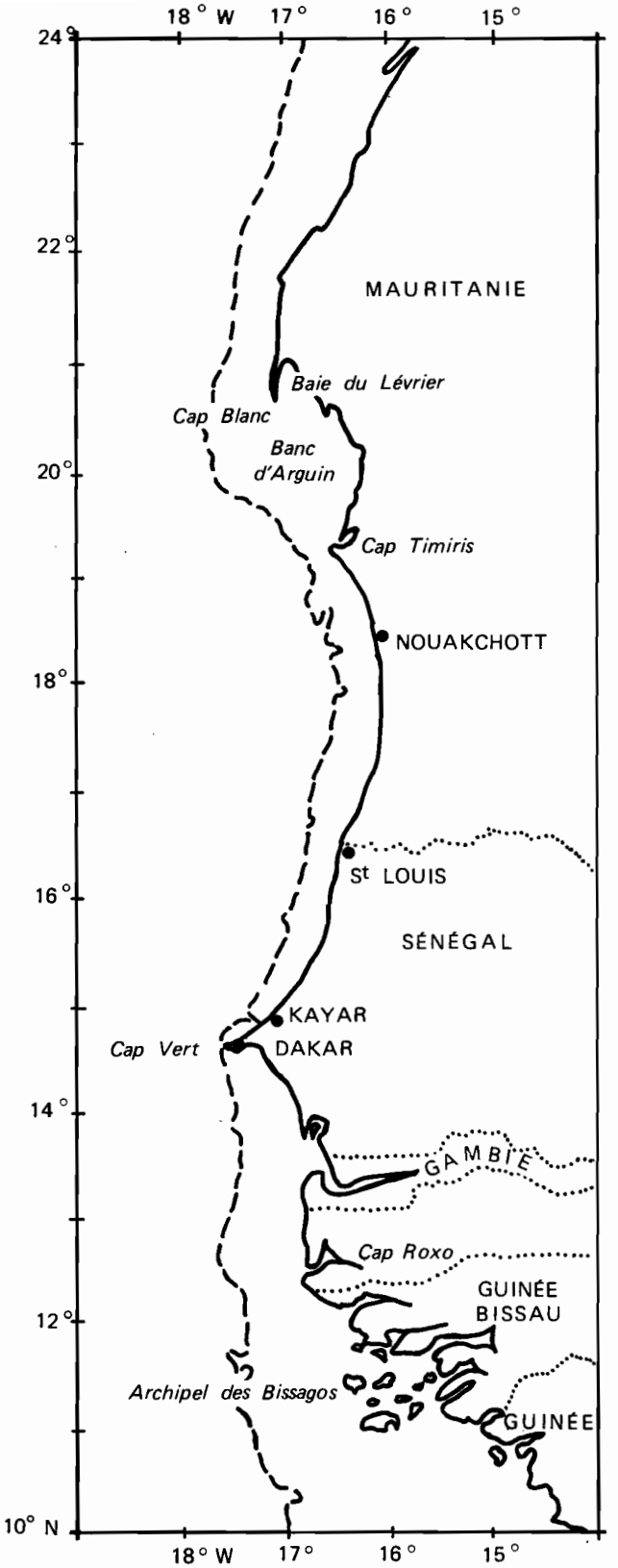


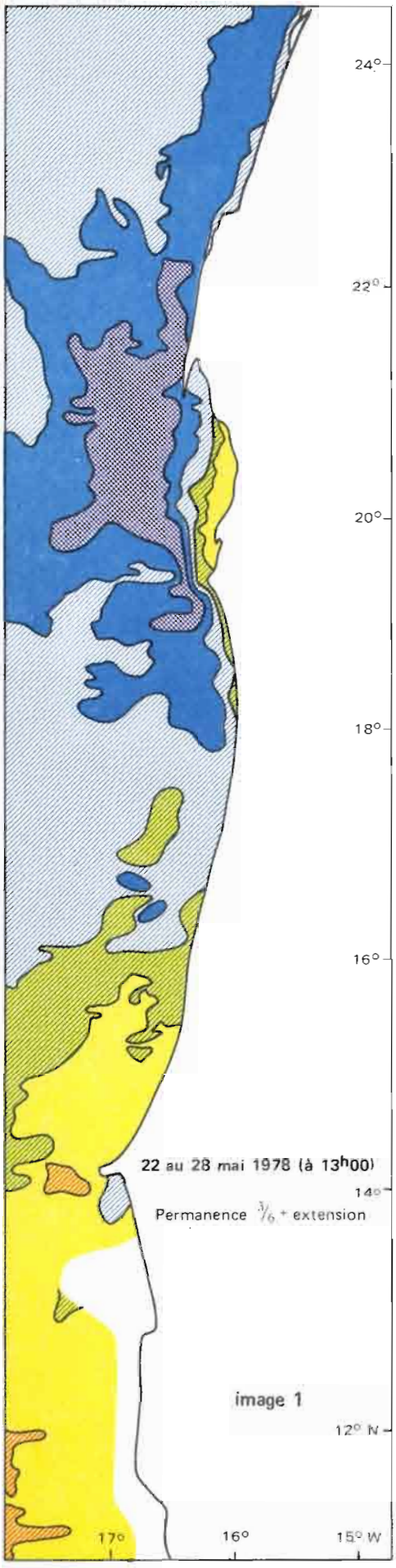
Fig. 2 : Localisation géographique de la région étudiée.

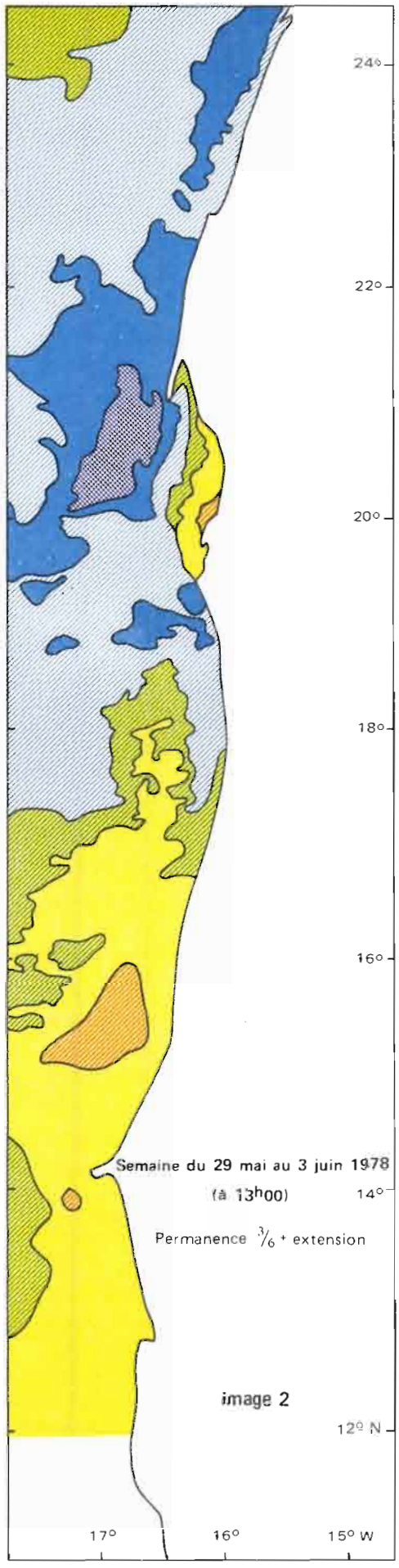
II – LES RÉSULTATS

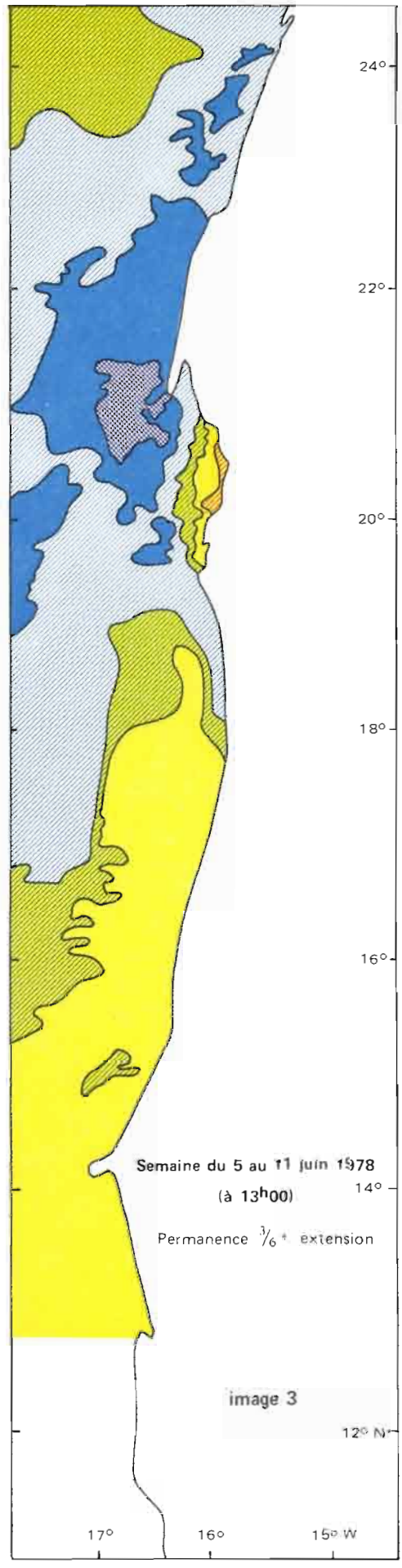
2.1 - RAPPEL DES CONDITIONS HYDROLOGIQUES DANS LA RÉGION

D'un point de vue météorologique, la région (Figure 2) concernée par cette étude se situe dans la zone de balancement du front intertropical (FIT) au nord duquel est établi un régime d'alizés de secteur nord. La zone d'action de ces vents descend jusque vers 10° N en hiver et remonte jusque 21° N en été suivant l'oscillation des systèmes anticycloniques de l'Atlantique. Il en résulte, dans le domaine maritime, une alternance de deux saisons hydrologiques : une saison d'eaux froides en hiver, une saison d'eaux chaudes en été.

La saison froide, qui s'étend de décembre à juin, est marquée par un minimum thermique situé entre les mois de février et avril, variable selon la latitude. Des eaux froides, transportées vers le sud par le courant des Canaries, occupent en permanence la zone au nord du Cap Blanc. Sous l'influence des alizés, il se produit en outre, le long du talus continental, des phénomènes amenant en surface des eaux subsuperficielles froides (upwellings). L'orientation de la côte joue un rôle important dans l'intensité de ces remontées d'eau, ce qui se traduit par des différences notables entre le nord et le sud du Cap Blanc, du Cap Timiris, du Cap Vert et du Cap Roxo. Au cours de l'hiver, les eaux issues des phénomènes d'upwelling envahissent le plateau continental.


24°
22°
20°
18°
16°
14°
12° N
17°
16°
15° W
22 au 28 mai 1978 (à 13h00)
Permanence 3/6 + extension
image 1


24°
22°
20°
18°
16°
14°
12° N
17°
16°
15° W
Semaine du 29 mai au 3 juin 1978
(à 13h00)
Permanence 3/6 + extension
image 2


24°
22°
20°
18°
16°
14°
12° N
17°
16°
15° W
Semaine du 5 au 11 juin 1978
(à 13h00)
Permanence 3/6 + extension
image 3

Lorsque l'on se déplace en latitude, le passage des eaux chaudes aux eaux froides se fait au niveau d'une zone frontale où l'on observe une variation rapide des conditions physico-chimiques. En surface, ceci se manifeste par un resserrement des isothermes. Au cœur de la saison froide (février) ce front atteint sa position la plus au sud, à la latitude de la Guinée.

En mai-juin débute la saison chaude. A cette époque, les alizés font progressivement place, du sud vers le nord, à un régime de vents d'ouest faibles et variables. Les remontées d'eaux profondes cessent dans la partie méridionale du plateau continental. Les eaux froides sont alors progressivement recouvertes par des eaux chaudes d'origine tropicale associées au contre courant équatorial dont une branche remonte le long de la côte vers le nord. Ce processus se poursuit au cours de l'été où la limite d'extension de ces eaux se stabilise au niveau du Cap Blanc. A partir du mois de novembre s'amorce un phénomène inverse de celui qui vient d'être décrit.

En mai-juin, où les alizés peuvent encore souffler par intermittence, l'accident géographique et topographique que représente la presqu'île du Cap Vert a pour conséquence la persistance pendant quelque temps des eaux froides au sud de Dakar, alors que l'influence des eaux chaudes commence déjà à se faire sentir plus au nord.

2.2 - OBSERVATION PAR TÉLÉDÉTECTION DE L'ÉVOLUTION DES CONDITIONS THERMIQUES DE SURFACE DU 22 MAI AU 17 SEPTEMBRE 1978

Les processus que nous venons de décrire, concernant la fin de la saison froide et l'installation de la saison chaude sont parfaitement illustrés par les images 1 à 12.

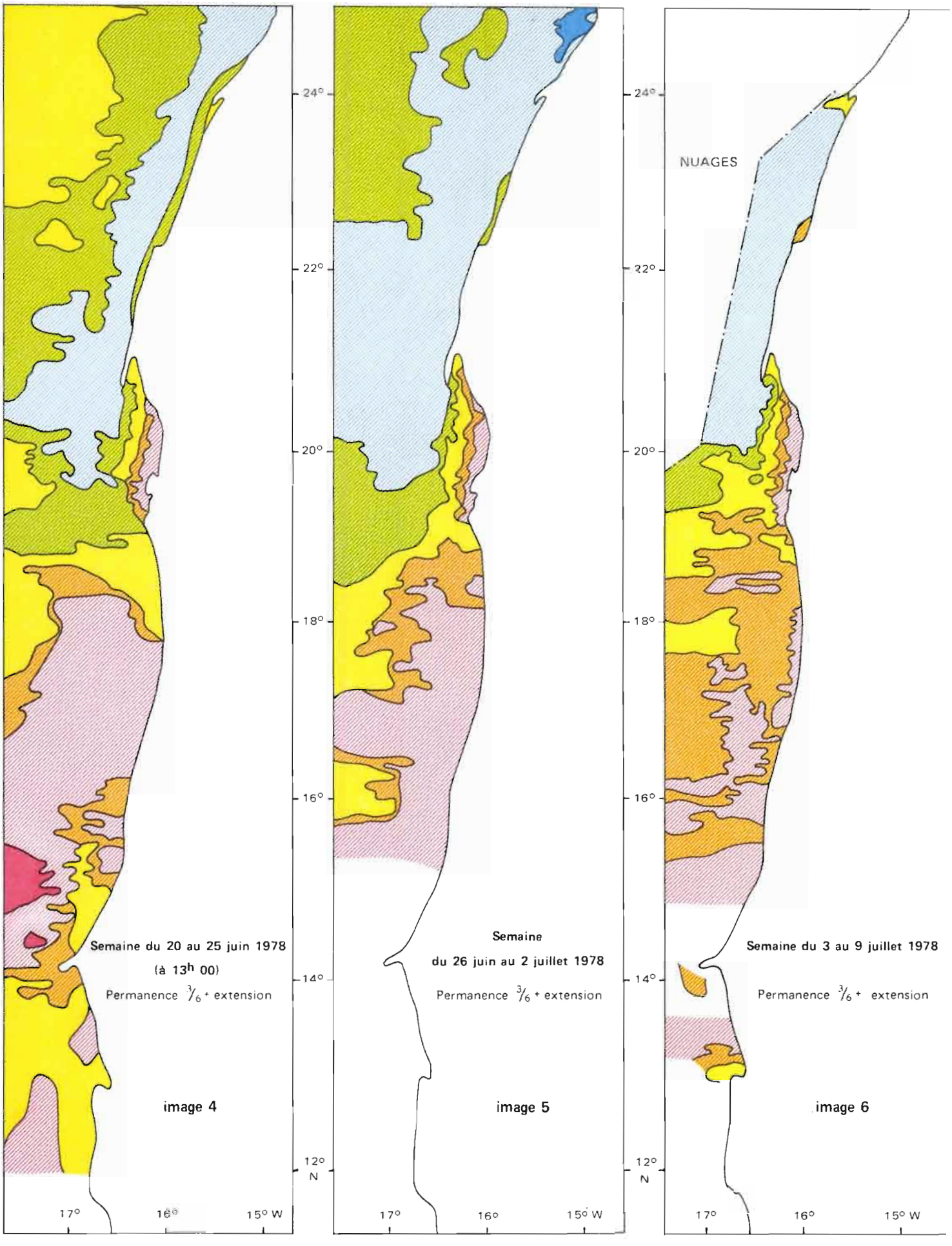
2.2.1 - Transition saison froide - saison chaude (images 1 à 6)

2.2.1.1 - Description des phénomènes observés

L'écoulement des eaux chaudes sur les eaux froides, auquel, en mai-juin, s'opposent de moins en moins les alizés, apparaît bien sur les images 1 à 3 où l'on observe un brusque réchauffement des eaux et une rapide remontée du front thermique vers le nord. Ce réchauffement semble se propager à partir de l'ouest, ou du sud-ouest, plutôt que du sud ainsi que le suggère la présence de langues d'eau chaude à l'ouest de la zone (images 1 et 4). Ceci rejoint d'ailleurs les observations de POSTEL (1953) et ROSSIGNOL (1973). La troncature du bord gauche de l'image ne permet cependant pas de connaître l'étendue et la disposition de ces nappes d'eau.

Simultanément, on assiste à la régression puis à la disparition de l'upwelling situé au sud-ouest du Cap Timiris. Celui du Cap Blanc, qui apparaît très important en mai ainsi que le soulignent d'ailleurs BRULHET (1974) et TIXERANT (1974), se résorbe à son tour.

Dans la semaine du 29 mai au 3 juin, un réchauffement venant de l'ouest est perceptible au large, entre 22° et 24° N et la zone intéressée par les eaux froides se réduit


24°
22°
20°
18°
16°
14°
12°
N
17°
16°
15° W
Semaine du 20 au 25 juin 1978
(à 13h 00)
Permanence 3/6 + extension
image 4
Semaine
du 26 juin au 2 juillet 1978
Permanence 3/6 + extension
image 5
NUAGES
Semaine du 3 au 9 juillet 1978
Permanence 3/6 + extension
image 6

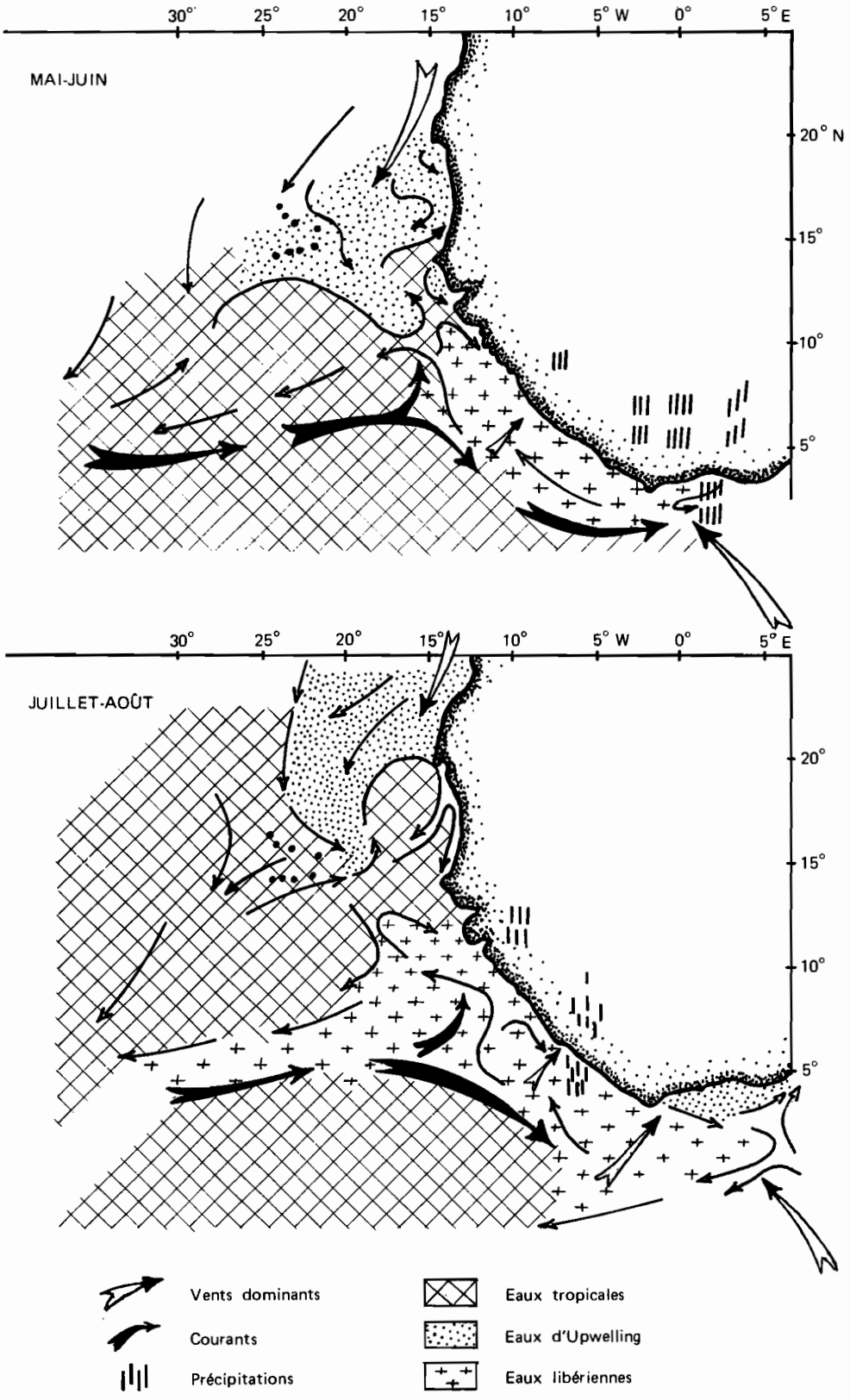


Fig. 3 : Évolution des différentes masses d'eau apparaissant en surface dans l'Atlantique Est entre l'Équateur et 25° N de mai à août (d'après ROSSIGNOL, 1973).

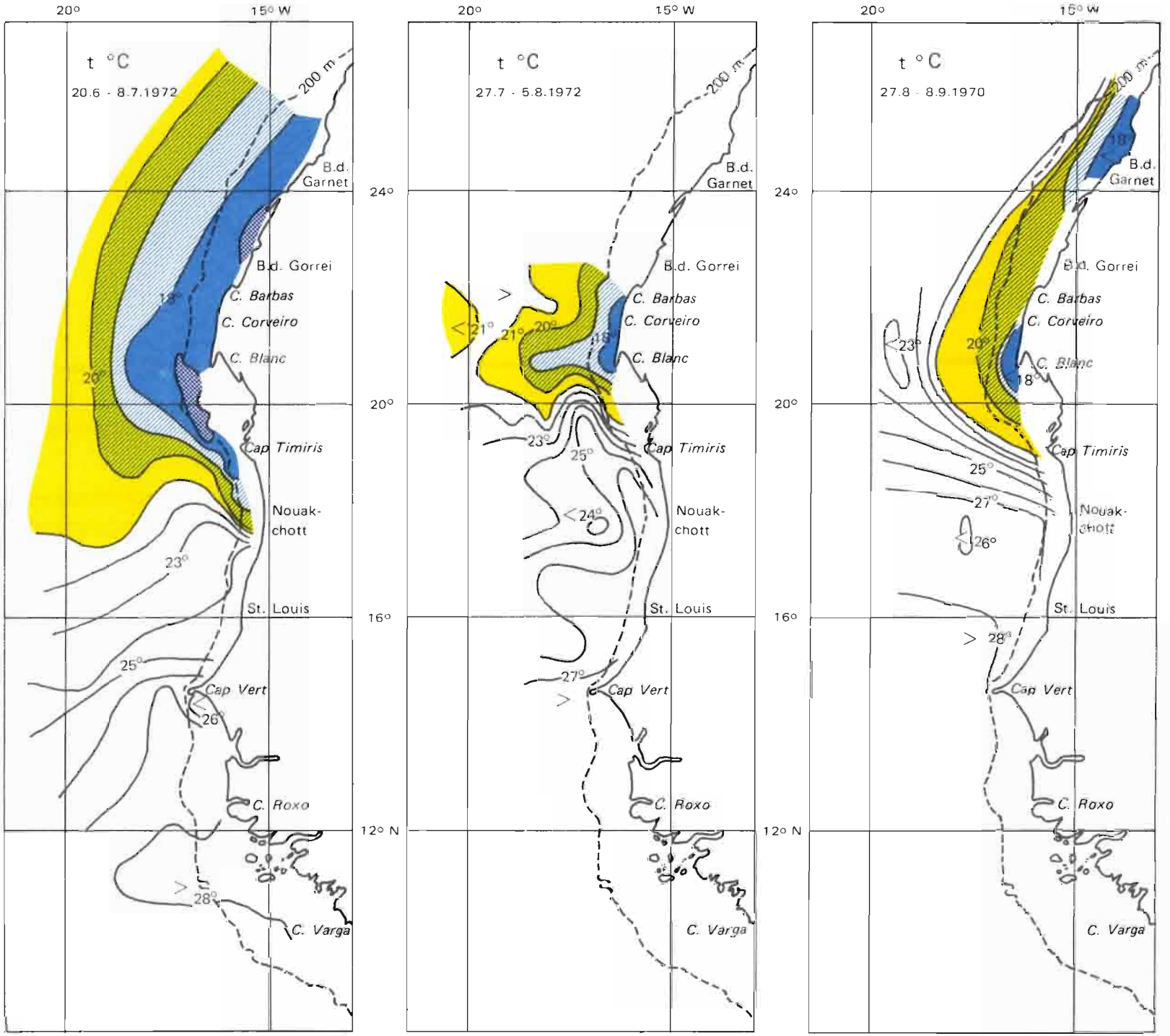


Fig. 4 : Observations de températures de surface effectuées à différentes périodes de l'année, de 1970 à 1972, par le N.O. «Alexander von Humbolt» (d'après SCHEMAINDA *et al*, 1975).

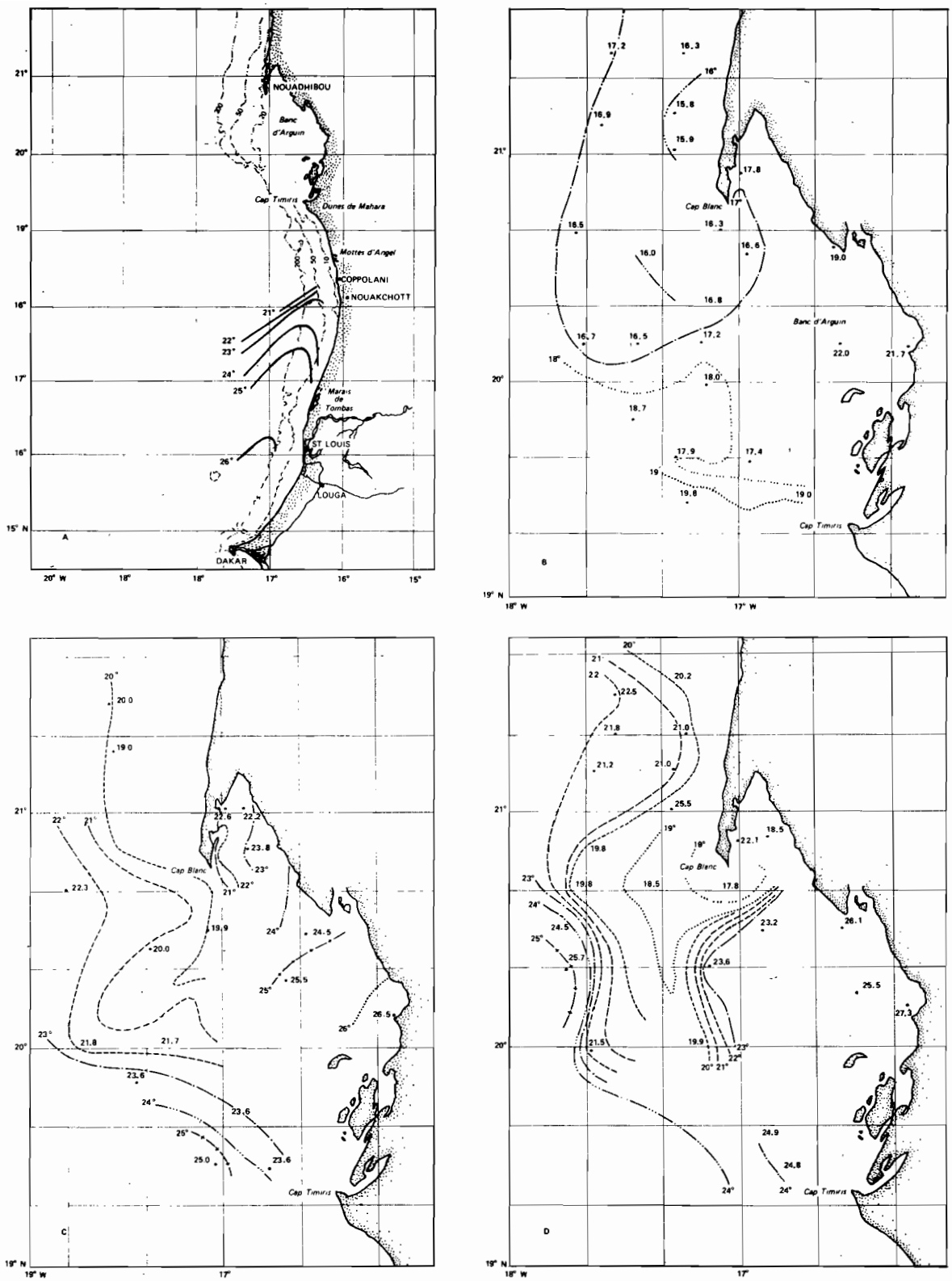


Fig. 5 : Températures de surface mesurées au large du Sénégal et de la Mauritanie (parages du Banc d'Arguin) de juin à septembre (d'après CREMOUX 1971 et MAIGRET 1972).

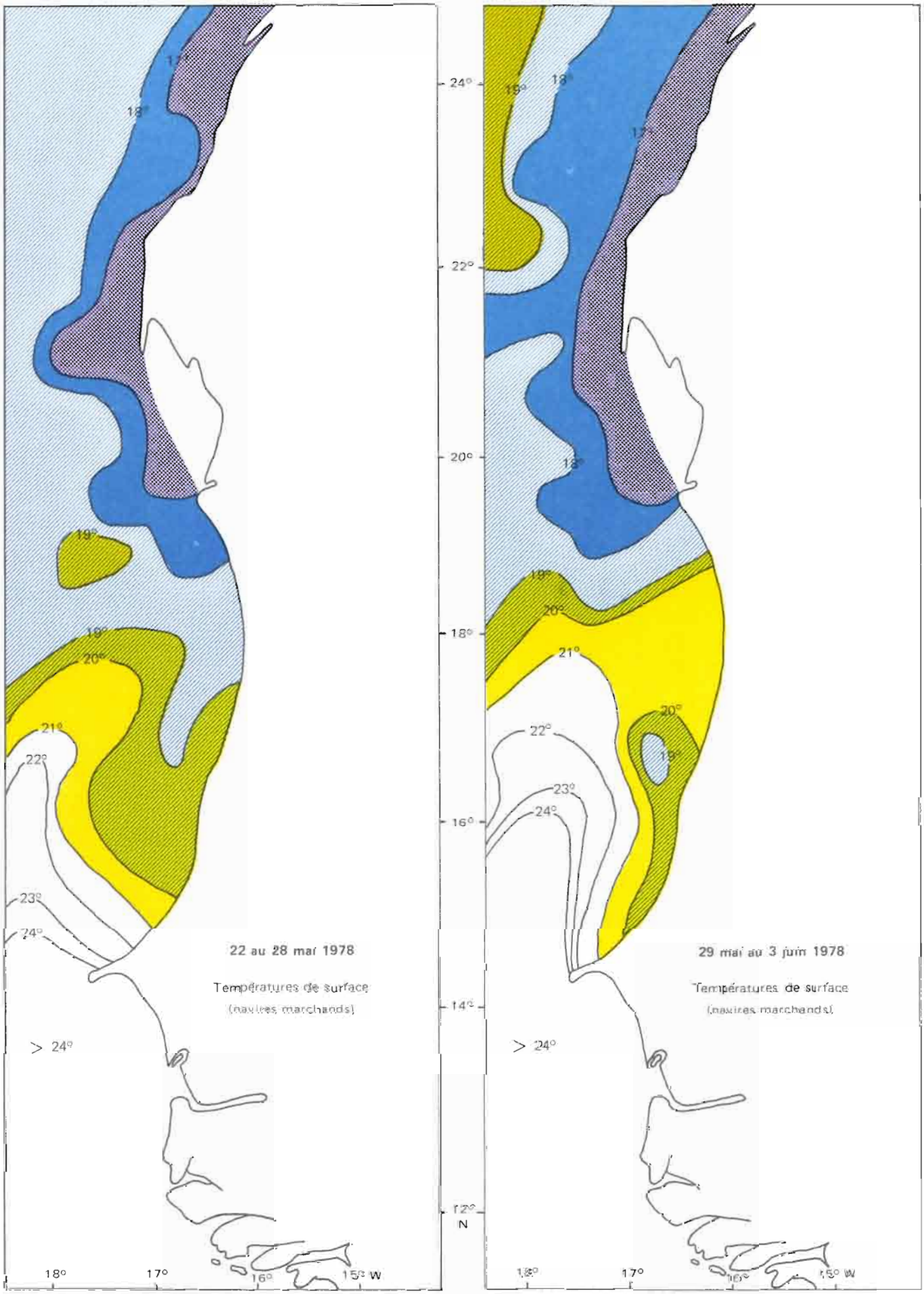


Fig. 6 : Isothermes de surface tracés à partir des mesures des navires marchands du 22 au 28 mai et du 29 mai au 3 juin 1978.

progressivement. Bientôt les seules eaux froides de la région ne se trouvent plus qu'au nord du Cap Blanc.

Pendant ce temps, les eaux du banc d'Arguin, où n'existent que de faibles profondeurs, se réchauffent rapidement et l'on observe une décroissance des températures de la côte vers le large. La dépendance entre les eaux de la baie du Lévrier et les conditions du large du banc d'Arguin, signalée par plusieurs auteurs dont MAIGRET (1972) et TIXERANT (1974), apparaît bien sur la plupart des images.

2.2.1.2 - Comparaison de ces observations avec les résultats de l'océanographie classique

Afin de vérifier la concordance de ces observations avec celles résultant des méthodes classiques de l'océanographie, nous avons comparé les situations observées avec les descriptions des conditions hydrologiques de la région effectuées par plusieurs auteurs ainsi qu'à partir des températures de surface mesurées par les navires marchands à la même époque.

ROSSIGNOL (1973) nous montre, en mai-juin (Figure 3), une configuration du front thermique semblable à celle des images 1, 2 et 3, à savoir une intrusion de direction sensiblement nord-sud, en forme de doigt de gant, des eaux tropicales chaudes dans les eaux froides.

Les isothermes de surface tracés par SCHEMAINDA *et al.* (1975) montrent, pour la même époque de l'année (Figure 4), une situation analogue à ce que l'on peut observer par télédétection : une structure frontale vers 18° N et une zone d'eaux froides s'étendant vers le nord le long de la côte à partir du Cap Timiris. Notons également que pendant la première quinzaine du mois de juin 1970 le N.O. «Laurent Amaro» avait trouvé le front thermique présentant la même allure (Figure 5, A) et à la même latitude.

Enfin, les observations de MAIGRET (1972) devant le banc d'Arguin et le Cap Blanc en juin 1971 (Figure 5, B) montrent une disposition des eaux froides de l'upwelling identique à ce que nous avons observé par télédétection.

Simultanément aux observations par télédétection effectuées du 22 au 28 mai et du 29 mai au 3 juin (images 1 et 2) nous avons essayé d'établir une «vérité mer» en calculant la moyenne, par carré de ½ degré de côté, des températures de surface mesurées par les navires marchands pendant ces deux périodes (Figure 6). Afin de mieux faire apparaître certaines similitudes, nous avons eu recours à des couleurs identiques à celles utilisées sur les images de télédétection. Il serait cependant imprudent, compte tenu des réserves formulées au chapitre 1, de vouloir attribuer telle ou telle température à telle ou telle couleur utilisée pour la figuration des données de télédétection.

Les ressemblances entre les situations décrites par les images 1 et 2 et la configuration des isothermes sur les cartes de la figure 5 sont intéressantes. On note sur les deux types de documents une répartition analogue des eaux froides devant le banc d'Arguin et au nord du Cap Blanc ainsi qu'une configuration identique, en doigt de gant, du front thermique. Une zone d'eaux plus chaudes apparaît également au nord-ouest de la zone, dans les deux cas, au cours de la semaine du 29 mai au 3 juin.

On remarque cependant que les mesures effectuées par les navires marchands tendent à donner aux eaux froides un développement plus important que ce qui est observé par télédétection. Ceci est directement lié à la méthode de mesure. Sur les bateaux, la température est obtenue à partir d'une prise d'eau de mer qui se trouve au niveau de la salle des machines. Sa profondeur sous la surface peut varier d'environ un mètre à plusieurs mètres, voire plus de dix mètres pour les plus gros pétroliers. Les températures de surface communiquées par les navires marchands sont donc, en fait, des températures relevées entre la surface et environ 10 à 15 m de profondeur.

Ceci explique que certains phénomènes décrits à partir d'observations par télédétection présentent des décalages dans le temps ou dans l'espace par rapport aux descriptions issues de techniques de mesure plus classiques. Ainsi, la progression de la couche d'eaux chaudes sur les eaux froides est perceptible par le satellite avant de pouvoir être observée par les navires marchands, ce qui montre bien qu'elle est de très faible épaisseur en début de saison chaude. Ceci est également noté par BAKHAYOKHO (1978) qui signale (Figure 7) que les isothermes 24° et 26° C tracés à partir des observations du satellite N.O.A.A. sont constamment situés au nord de ceux qui sont tracés à partir des mesures des cargos. Le décalage peut atteindre 200 milles de latitude.

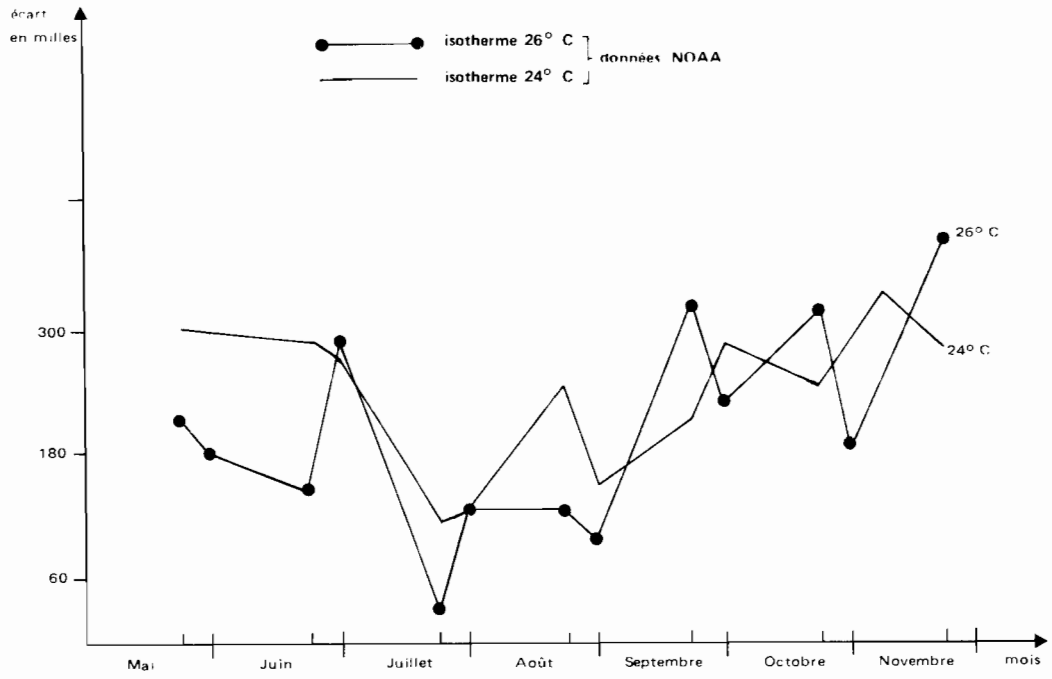


Fig. 7 : Écarts en latitudes, en degrés, entre la position des isothermes 26 et 24°C obtenus à partir de mesures de télédétection (satellite N.O.A.A.) et la position de ces mêmes isothermes tracés à partir des données des navires marchands sur le méridien 18° W entre 10 et 20° N (d'après BAKHAYOKHO, 1978).

2.2.2 - Saison chaude (images 7 à 12)

2.2.2.1 - Description des phénomènes observés

La série d'images prises à partir de la semaine du 10 au 16 juillet montre une situation de saison chaude : le front thermique atteint alors sa position la plus septentrionale au nord du Cap Blanc. Il oscillera dans cette région, entre 21 et 24° N, tout au long de l'été.

Au nord de ce front, les eaux restent froides sur le plateau continental. Il apparaît quelques zones d'eau plus fraîche (images 8, 9 et 10) correspondant soit à des résurgences très localisées soit à des lentilles dérivant vers le sud-ouest et détachées de l'upwelling qui persiste plus au nord devant les côtes du Maroc.

Au sud, le réchauffement continue à s'accentuer et l'on peut observer une diminution de la température de la côte vers le large. Dans la région, les eaux les plus chaudes se trouvent dans la partie sud-est du banc d'Arguin et le long d'une bande côtière située au sud du Cap Timiris entre 17 et 18° N (images 6, 8, 11 et 12). Cette bande d'eau très chaude trouve vraisemblablement son origine sur le banc d'Arguin.

Des formations d'eau plus froide et de faible étendue peuvent apparaître au sein de l'eau chaude, soit au large du banc d'Arguin (image 11), soit plus au sud, entre 16 et 18° N.

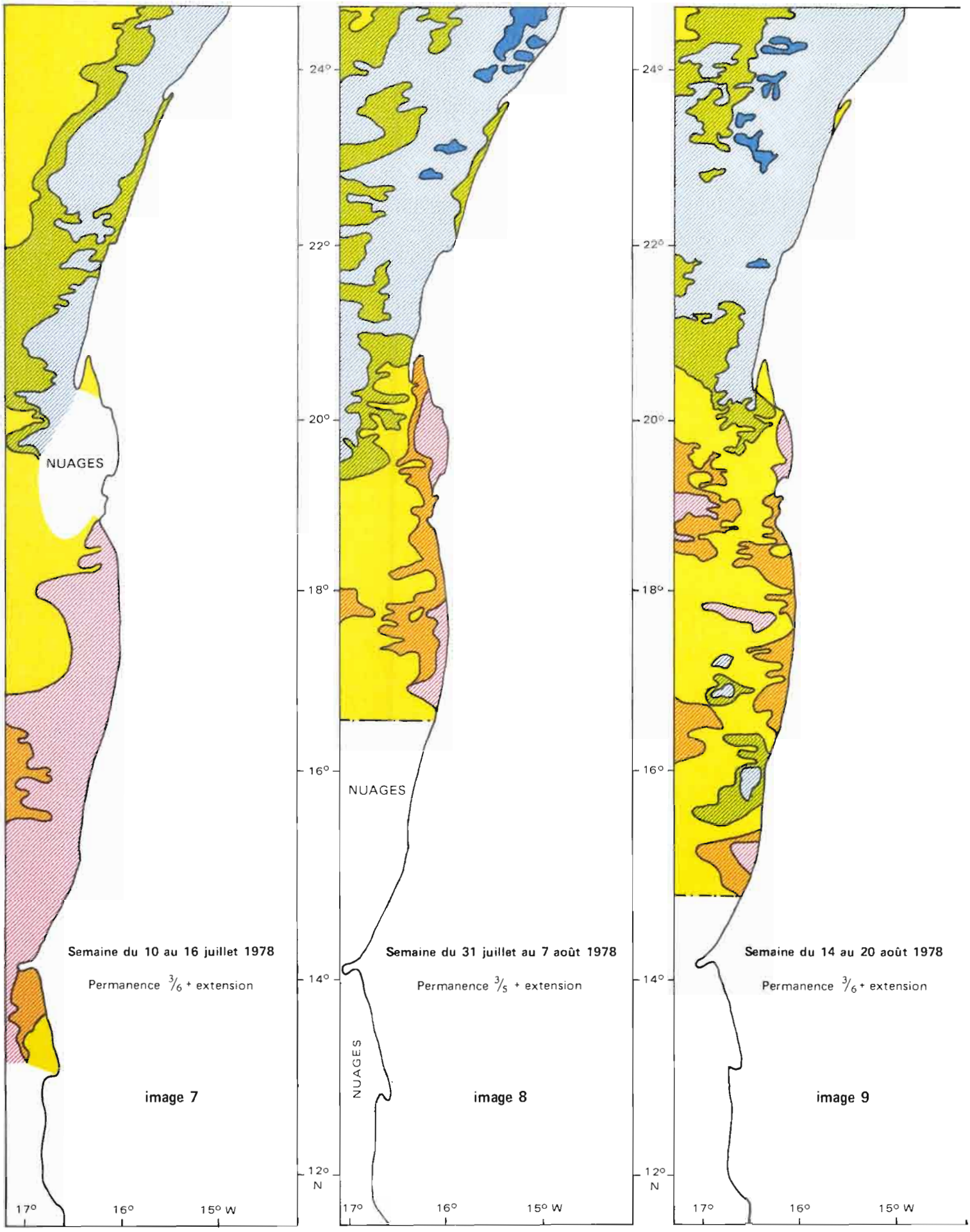
2.2.2.2 - Comparaison de ces observations avec les résultats de l'océanographie classique

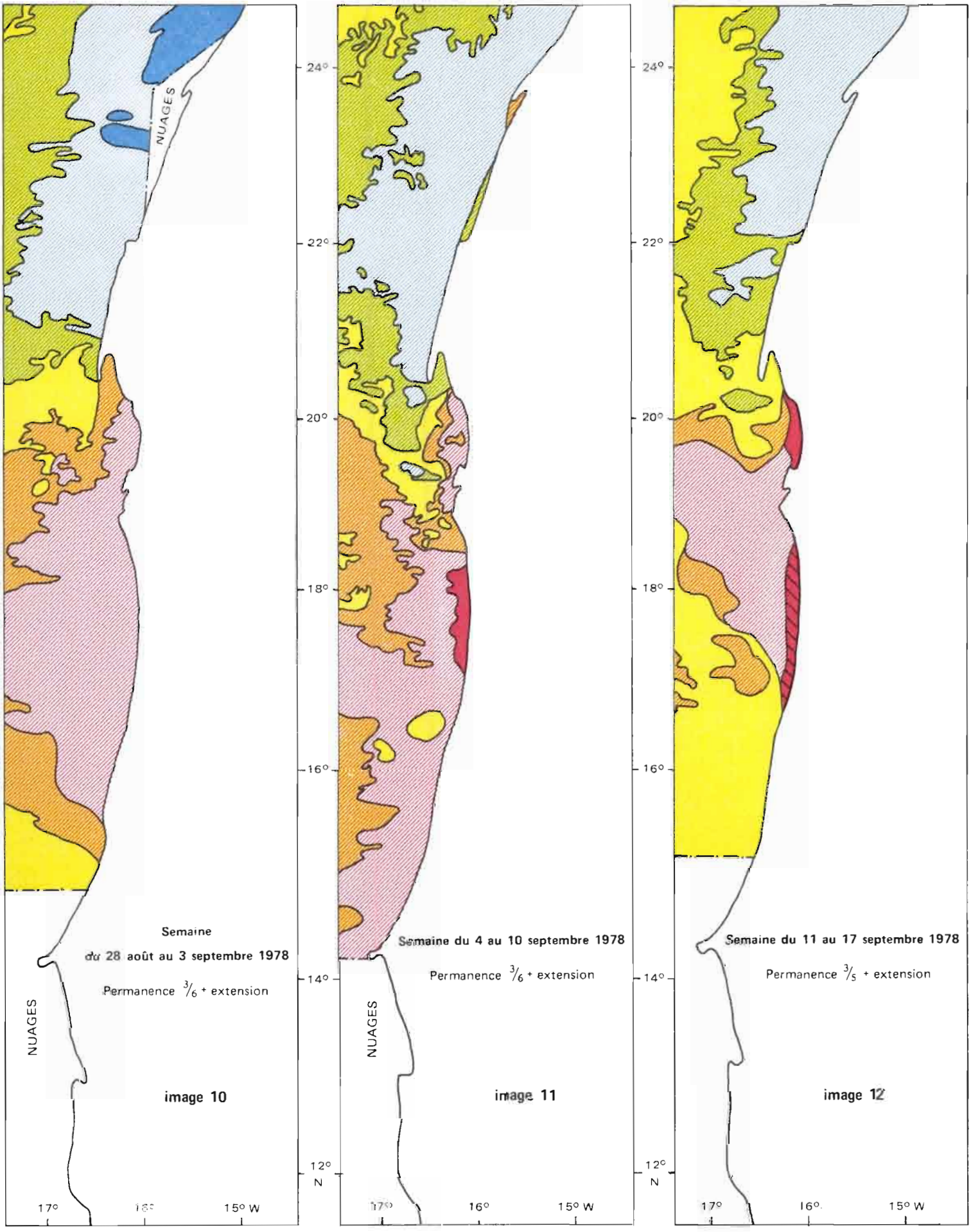
Comme pour la saison froide, il y a concordance entre les observations par télédétection et les descriptions des divers auteurs qui ont étudié la région (BERRIT 1961 et 1962, MAIGRET 1972, ROSSIGNOL 1973, SCHEMAINDA *et al.* 1975, etc ..) : envahissement du plateau continental par les eaux chaudes (Figure 3, B et Figure 4, B et C) avec températures décroissantes de la côte vers le large et front thermique oscillant dans la région du Cap Blanc avec permanence d'eaux froides plus au nord. On retrouve également la disposition des eaux du banc d'Arguin telles que décrites par MAIGRET (1972) avec notamment une formation d'eaux très chaudes au sud-est du banc (Figure 5, C et D).

Enfin, les observations par télédétection des conditions thermiques de surface en saison chaude ne sont pas en contradiction avec la disposition des isothermes tracés à partir des mesures des navires marchands effectuées simultanément (Figure 8 et images 8 et 10).

2.3 - EXAMEN DE TROIS SITUATIONS CARACTÉRISTIQUES DE SAISON FROIDE OBSERVÉES PAR TÉLÉDÉTECTION

Les images des 21 et 22 février, du 17 avril et du 31 mai 1978 (images 13, 14 et 15) montrent des conditions thermiques de surface caractéristiques de la saison froide dans la zone sénégalo-mauritanienne.


NUAGES
Semaine du 10 au 16 juillet 1978
Permanence 3/6 + extension
image 7
24°
22°
20°
18°
16°
14°
12° N
17°
16°
15° W
NUAGES
NUAGES
Semaine du 31 juillet au 7 août 1978
Permanence 3/5 + extension
image 8
Semaine du 14 au 20 août 1978
Permanence 3/6 + extension
image 9


NUAGES
Semaine
du 28 août au 3 septembre 1978
Permanence 3/6 + extension
NUAGES
image 10
24°
22°
20°
18°
16°
14°
12°
N
17°
16°
15° W
Semaine du 4 au 10 septembre 1978
Permanence 3/6 + extension
NUAGES
image 11
Semaine du 11 au 17 septembre 1978
Permanence 3/5 + extension
image 12

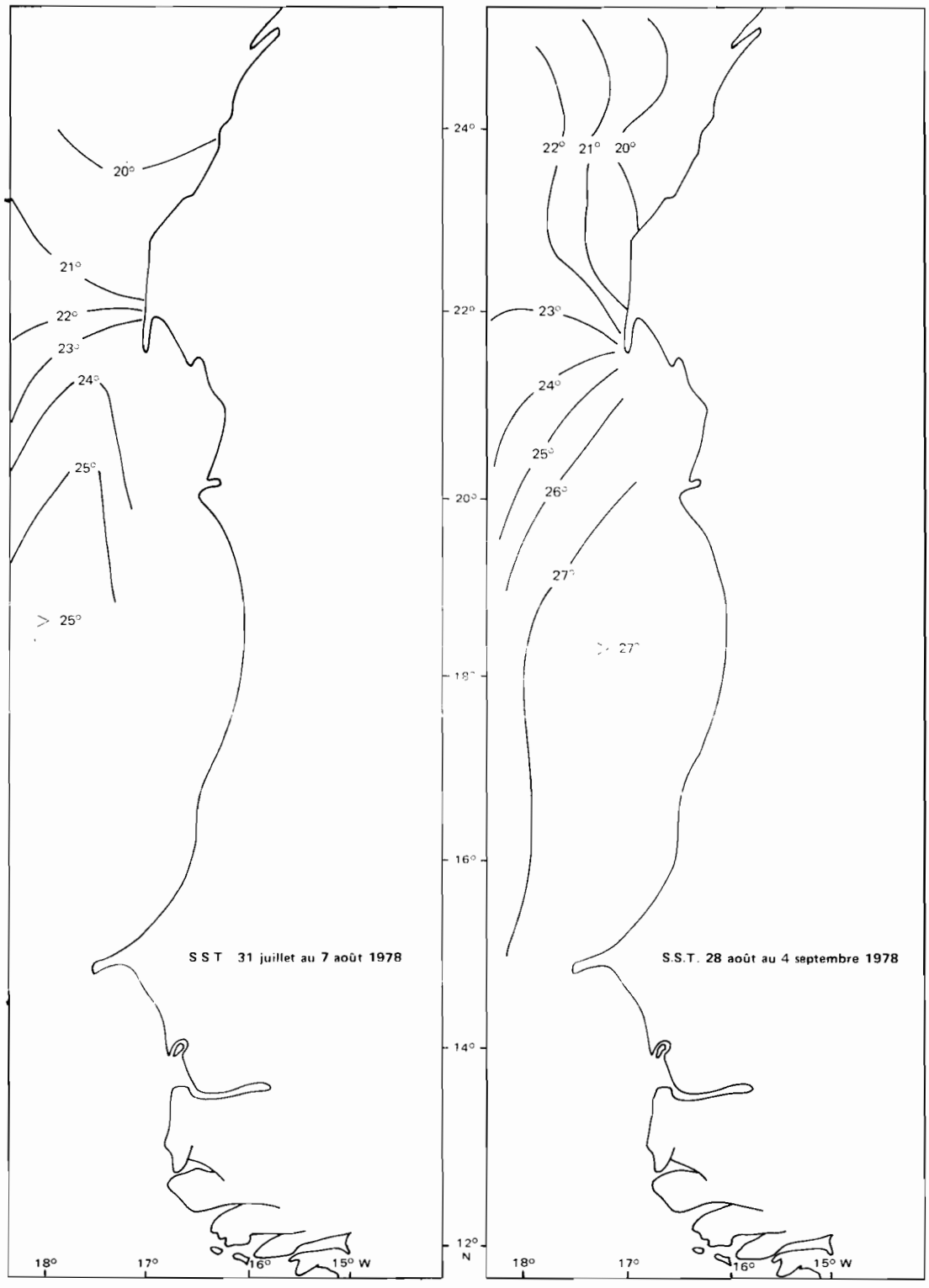
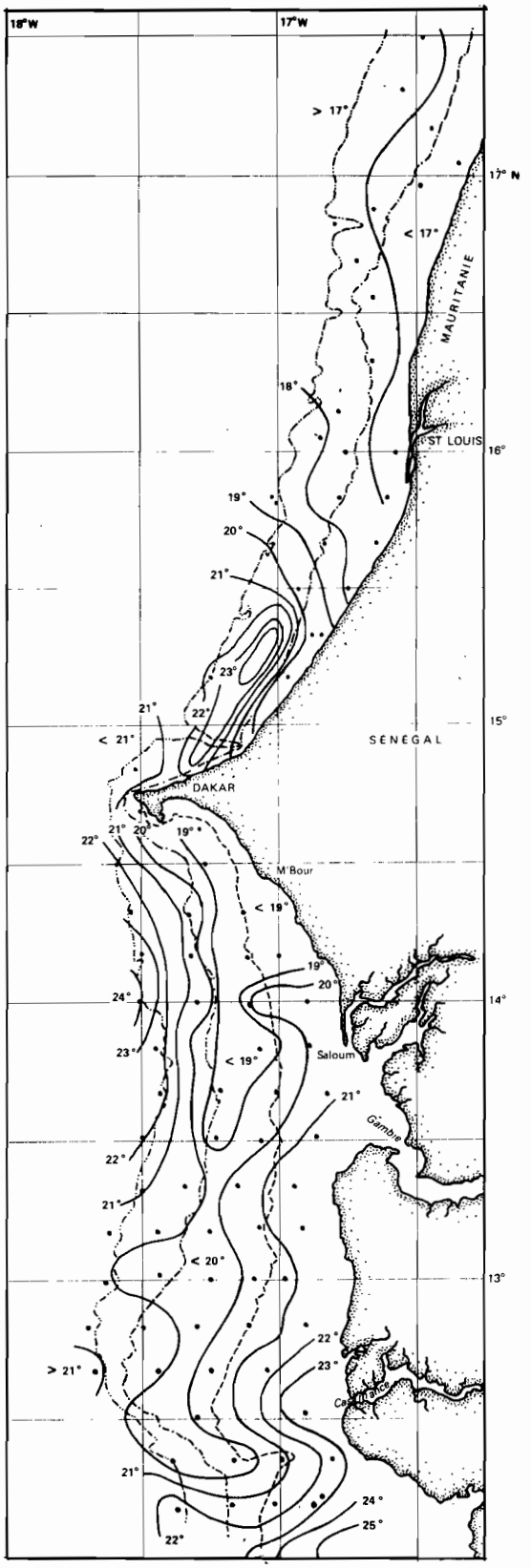


Fig. 8 : Isothermes de surface tracés à partir des mesures des navires marchands, du 31 juillet au 7 août et du 23 août au 4 septembre 1978.



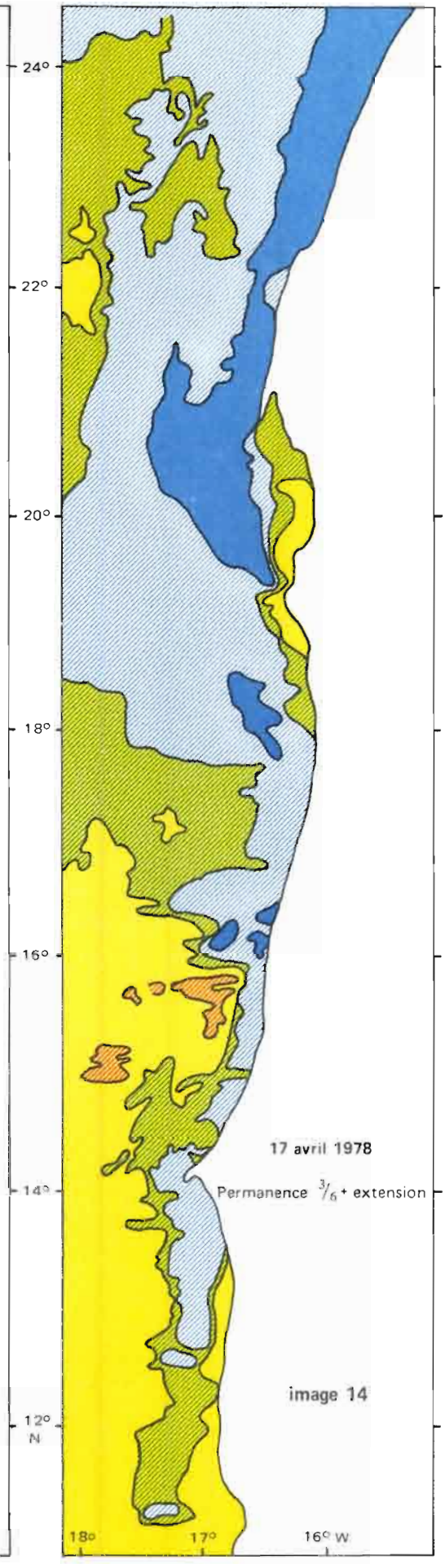
En février et avril, mis à part sur le banc d'Arguin et au sud du Cap Roxo où, près de la côte, persistent des eaux chaudes, le plateau continental est envahi par des eaux froides. Les principales zones d'upwelling apparaissent bien : le long des côtes de l'ancien Rio de Oro, devant le Cap Blanc, au sud-ouest du Cap Timiris et au sud du Cap Vert. On retrouve parfaitement la configuration caractéristique de l'upwelling du Cap Vert décrit par de nombreux auteurs (ROSSIGNOL et MEYRUEIS 1964, ROSSIGNOL et ABOUSSOUAN 1965, CREMOUX 1970 et 1971, ROSSIGNOL 1973, SCHEMAINDA *et al.* 1975) décollé de la côte au sud de 14° N (image 14), tel qu'il était apparu au N.O. Capricorne en 1977, à la même époque de l'année (Figure 9.

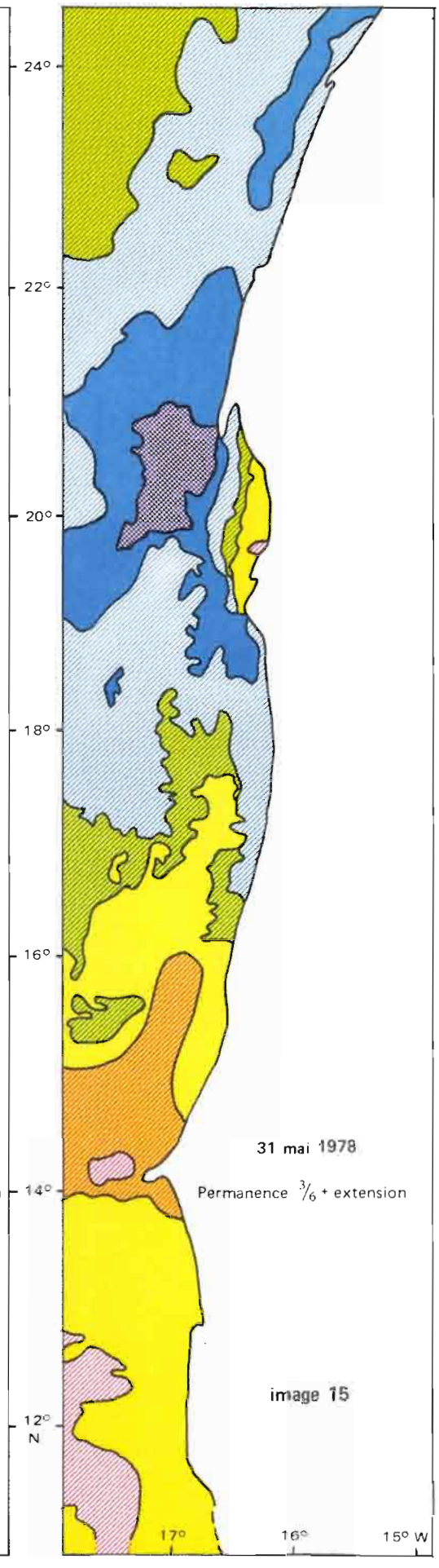
Entre 15 et 18° N, on observe (image 13) quelques lentilles d'eau froide qui semblent détachées de l'upwelling du Cap Timiris. Ceci laisse à penser que la côte nord du Sénégal serait refroidie plus par advection des eaux froides du Cap Timiris plutôt que par l'apparition d'un upwelling dans la région de St-Louis.

Au niveau de Kayar apparaît une avancée des eaux chaudes du large à travers les eaux froides côtières (images 13 et 14). Ceci est également en accord avec les mesures effectuées par le Capricorne en 1977 (Figure 9) et rejoint les observations de CHAMPAGNAT et DOMAIN (1978) qui décrivent cette zone comme hydrologiquement instable et très ouverte aux conditions du large en saison froide.

Fig. 9 : Observations de températures de surface effectuées par le N.O. Capricorne de la Mauritanie à la Guinée, du 16 avril au 10 mai 1977. Campagne CAP 7703 (d'après PRIVÉ et WAGNER, 1977).

NUAGES
21-22 février 1978
Permanence 3/6 + extension
image 13
17°
16° W


24°
22°
20°
18°
16°
14°
12° N
17 avril 1978
Permanence 3/6 + extension
image 14
18°
17°
16° W


24°
22°
20°
18°
16°
14°
12° N
31 mai 1978
Permanence 3/6 + extension
image 15
17°
16°
15° W

Plus au nord, l'upwelling du Cap Blanc peu important en février se développe en avril pour atteindre sa pleine intensité en mai : ceci est également conforme au schéma classique décrit par MAIGRET (1972), TIXERANT (1974) et BRULHET (1974), etc..

Enfin, sur le banc d'Arguin, les hauts fonds apparaissent constamment recouverts par des eaux chaudes qui peuvent s'écouler le long de la côte, vers le sud, par delà le Cap Timiris (images 13 et 14).

D'un point de vue méthodologique, signalons la ressemblance qui existe entre l'image 2 et l'image 15. La première est une permanence 3/6 établie à partir d'une observation tous les jours à 13 h pendant six jours au cours de la semaine du 29 mai au 3 juin. La seconde, également image d'une permanence 3/6, se rapporte à une seule journée de cette même semaine, le 31 mai. La ressemblance entre ces deux images met en évidence une certaine stabilité des caractères observés dans les deux cas : on peut donc penser que l'on a éliminé ici la plupart des «pollutions» atmosphériques (brumes, nuages, poussières) et avoir donc représenté des phénomènes caractéristiques de la surface de la mer.

III – POSSIBILITÉS D'APPLICATION DES OBSERVATIONS PAR TÉLÉDÉTECTION EN OCÉANOGRAPHIE BIOLOGIQUE

Deux des caractéristiques essentielles des observations par télédétection sont : une bonne vue synoptique de l'évolution des phénomènes et la disponibilité de l'information en temps réel ou quasi réel. Il en découle trois possibilités d'application en océanographie biologique :

- l'étude des migrations saisonnières des populations de poissons quand celles-ci dépendent de phénomènes hydrologiques ;
- l'aide à la pêche ;
- amélioration de l'estimation du recrutement dans les pêcheries.

3.1 - ÉTUDE DES MIGRATIONS SAISONNIÈRES DES POPULATIONS DE POISSONS

En mer, les déplacements saisonniers des poissons le long des côtes constituent une adaptation à tirer le meilleur parti du cycle de production des eaux : aux déplacements en latitude des zones frontales, qui limitent le plus souvent des régions à forte productivité primaire et secondaire, correspondent des mouvements des stocks de poissons, qu'ils soient pélagiques (thons, sardinelles, ..) ou démersaux (pagres, mérous, ..). On observe ainsi des déplacements de forte amplitude là où les oscillations en latitude des fronts sont importantes par exemple, en Afrique, le long des côtes de la Mauritanie à la Guinée.

CHAMPAGNAT et DOMAIN (1978) ont décrit les migrations des poissons démersaux de 10 à 24° de latitude nord dans la zone d'oscillation du front séparant la zone tropicale des eaux plus froides que l'on trouve au nord du Cap Blanc. Ils distinguent le comportement des espèces à affinité saharienne (eaux froides) de celui des espèces d'affinité guinéenne (eaux chaudes). Celles du premier type se trouvent d'août à octobre entre 20 et 23° N où elles se nourrissent activement après une période de reproduction. Elles migrent vers le sud à partir de novembre, au fur et à mesure de l'extension des eaux issues de l'upwelling et se stabilisent entre 10 et 16° N en février-mars. C'est une période d'alimentation intense et de maturation sexuelle. En mai-juin, un mouvement vers le nord s'amorce alors que la reproduction débute. Elle atteindra son maximum entre 19 et 21° N de fin juin à mi-août.

Les espèces à affinité guinéenne, moins abondantes, migrent moins et tirent parti de la production induite par l'upwelling en saison froide et de celle liée à la décharge des fleuves en saison chaude. De janvier à juin, ces espèces sont concentrées dans une frange très côtière à l'embouchure du fleuve Sénégal et surtout dans le complexe estuarien qui s'étend du Saloum à la Guinée. En juin se développe un rapide mouvement vers le nord. Les poissons se reproduisent entre l'embouchure du fleuve Sénégal et le Cap Timiris, puis se dispersent dans cette région. Ils regagnent les zones d'estuaire à partir de décembre.

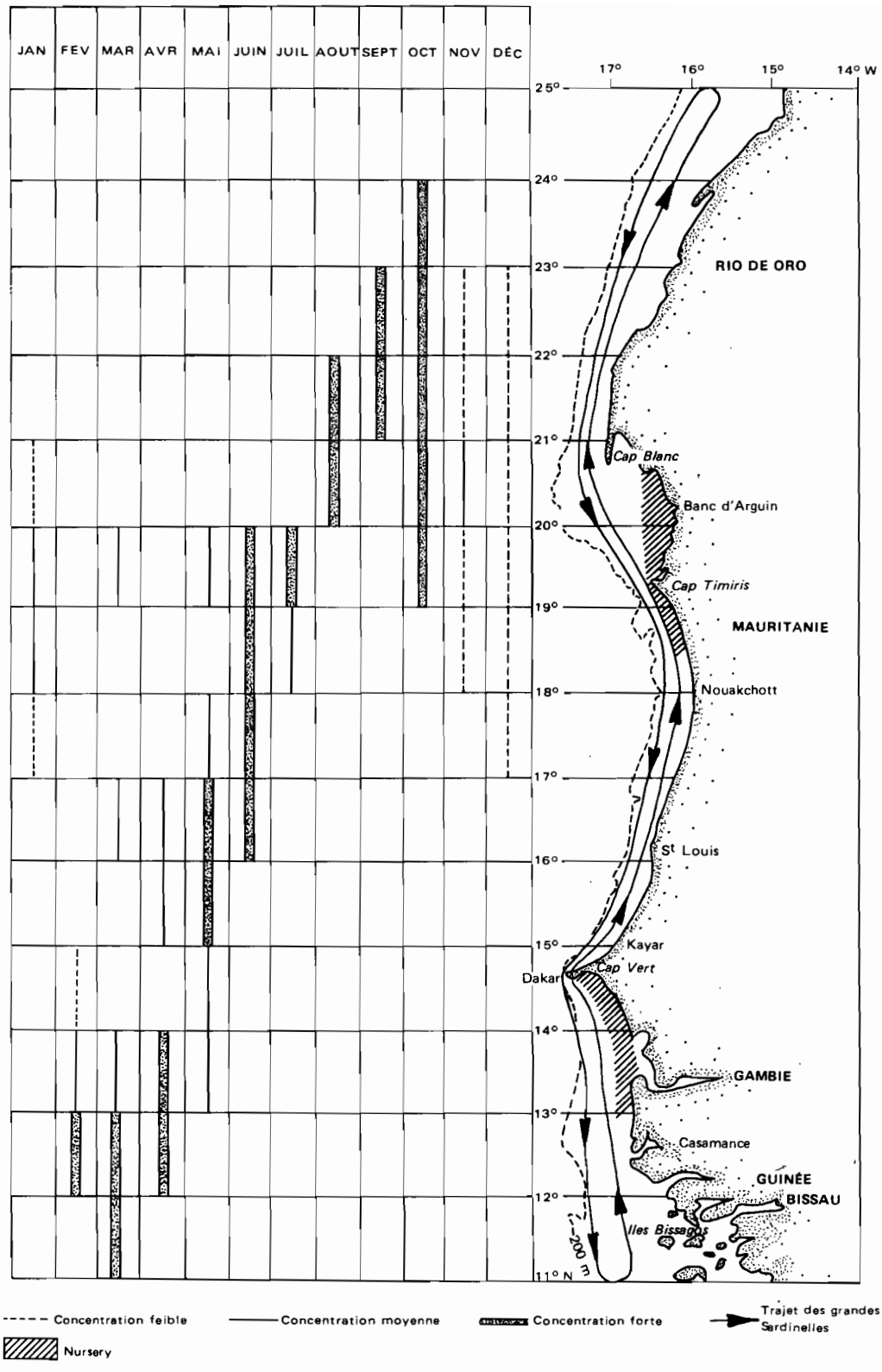


Fig. 10 : Cycle migratoire et localisation mensuelle des principales concentrations de *Sardinella aurita* (d'après BOELY *et al.*, 1978).

Il existe un bon synchronisme entre le déplacement vers le nord du front thermique en mai-juin tel qu'on peut l'observer par télédétection et le schéma donné par CHAMPAGNAT et DOMAIN (1978) des déplacements des espèces démersales dans la région à la même époque de l'année.

Chez les espèces pélagiques (chinchards, sardinelles, thons), des comportements migratoires semblables (Figure 10) s'observent également en liaison avec les modifications saisonnières du milieu : il existe ici aussi un synchronisme entre le déplacement de la zone frontale et les migrations. Ainsi, du 12 au 17 juin 1978, le N.O. Laurent Amaro a trouvé au cours d'opérations de marquage (information ICCAT), des concentrations d'albacores, de listaos et de thons obèses qui se trouvaient par 18°25' N et 16°48' W, c'est-à-dire au niveau de la zone frontale visible à cette position, sur l'image 3.

Simultanément aux observations par télédétection, nous avons suivi (Figure 11) en mai, juin et juillet, pour trois ports piroguiers sénégalais qui sont, du sud vers le nord, Soumbedioune, Kayar et St-Louis, l'évolution de l'effort de pêche (nombre de sorties hebdomadaires des pirogues) qui est lié à la présence du poisson. A Soumbedioune, situé au niveau de la presqu'île du Cap Vert à l'ouest de Dakar, le nombre de sorties varie peu et reste compris entre 500 et 600. Cette pêcherie concerne en effet essentiellement une population de poissons relativement sédentaires qui vivent sur les fonds rocheux proches de Dakar. Elle n'est que peu affectée par les déplacements saisonniers des espèces.

Par contre, plus au nord, on observe le transfert de l'effort de pêche de Kayar vers St-Louis simultanément à la progression du front vers le nord. Ceci apparaît particulièrement bien au cours des semaines du 21 au 28 mai et du 28 mai au 4 juin, qui correspondent aux situations décrites sur les images 1 et 2. Le déplacement rapide du front et des poissons qui l'accompagnent a pour conséquence que la saison de pêche à St-Louis, en mai-juin, est très courte. En juillet, la zone frontale se trouve assez loin vers le nord devant les côtes de Mauritanie et le poisson devient inaccessible aux piroguiers sénégalais. On observe alors une stagnation de l'effort de pêche aux environs de 400 à 500 sorties hebdomadaires.

Si les grands traits du schéma des migrations de la plupart des espèces de la région commencent à être connus, un certain nombre de problèmes subsistent. Ainsi, CHAMPAGNAT et DOMAIN (1978) soupçonnent la zone fosse de Kayar-presqu'île du Cap Vert de jouer un rôle critique dans la limitation des déplacements des espèces démersales. Cette région constituerait un obstacle aux migrations en raison, d'une part de la configuration particulière du fond (fosse de Kayar) et, d'autre part, d'une certaine instabilité hydrologique que, seules jusqu'à présent, des observations très ponctuelles permettent de mettre en évidence.

De même, on comprend mal pourquoi une fraction de la population de sardinelles rondes adultes (*Sardinella aurita*) persiste au nord de 20° N pendant la saison froide (ELWERTOWSKI et BOELY 1971, MAIGRET 1972) alors que la plus grande partie des individus a migré à cette époque jusqu'au large de l'archipel des Bissagos. Il semble qu'ici également des facteurs hydrologiques soient en cause.

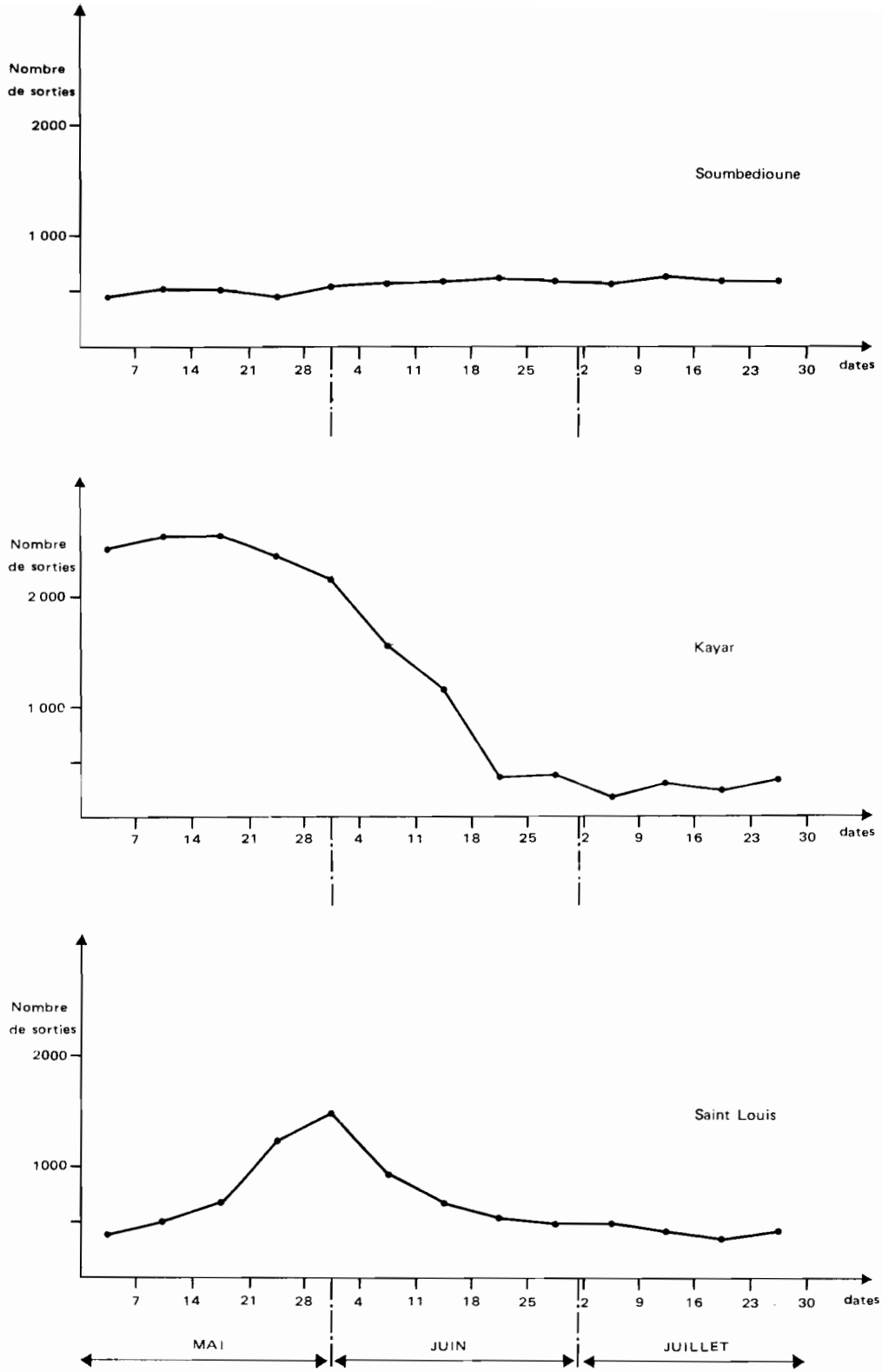


Fig. 11 : Évolution de l'effort de pêche, en nombre de sorties hebdomadaires des pirogues, du 1er mai au 30 juillet 1978 dans les ports de Soumbedioune, Kayar et St-Louis.

En raison de la continuité dans les observations qu'elle permet d'obtenir, la télédétection devrait se révéler être un outil intéressant pour la compréhension de ce genre de problème qui paraît découler de modifications rapides des caractéristiques hydrologiques du milieu que les observations ponctuelles de l'océanographie classique ne permettent souvent pas de percevoir.

3.2 - °AIDE A LA PÊCHE

La télédétection par satellite permet de suivre de façon synoptique l'évolution des structures hydrologiques, dans la mesure où elles sont connues, où se concentrent les poissons et délivre cette information très rapidement, pratiquement en temps réel. Il en résulte que le pêcheur a la possibilité de connaître à tout moment les zones à forte probabilité de pêche et ainsi d'améliorer considérablement sa stratégie. L'impact économique est double : on améliore les tonnages capturés en diminuant le prix de revient notamment la consommation de carburant proportionnelle au temps de recherche du poisson. L'économie d'énergie ainsi réalisée peut être considérable, notamment au niveau de la pêcherie thonière où le temps consacré à la prospection est très élevé. Cette technique est déjà utilisée par les pêcheurs américains dans le Golfe du Mexique pour la pêche des «Menhadens» (*Brevoortia tyrannus*). Au niveau du golfe de Guinée, une étroite collaboration entre l'ORSTOM et INTERTHON* devrait contribuer rapidement à développer cette méthode moderne d'aide à la prospection.

Un autre exemple de possibilité d'applications de la télédétection est fourni par la pêche des sardinelles (*Sardinella aurita*) devant les côtes du Ghana et de la Côte d'Ivoire. Cette espèce est inféodée à des eaux de température inférieure à 26° C qui n'apparaissent en surface qu'en saison froide, au niveau des zones d'upwellings. En dehors de cette période, *Sardinella aurita* vit en profondeur, entre -50 et -100 m, et est inaccessible aux sennes tournantes. On observe ainsi (Rapport du groupe de travail sur la sardinelle, *Sardinella aurita,* des côtes ivoiro-ghanéennes) une forte corrélation entre l'intensité et la durée de l'upwelling et l'importance des captures. Il apparaît donc que la télédétection, en permettant une localisation rapide des upwellings devrait permettre de rationaliser les pêcheries.

3.3 - AMÉLIORATION DE L'ESTIMATION DU RECRUTEMENT DANS LES PÊCHERIES

Les remontées d'eaux froides des profondeurs ou upwellings, amènent en surface des éléments nutritifs permettant le développement d'une importante production primaire qui est la base de la pyramide alimentaire. Il en résulte que les régions d'upwelling sont particulièrement productives et que les poissons, qui y trouvent une nourriture abondante,

---

* Société Coopérative regroupant les thoniers congélateurs français qui opèrent dans l'Atlantique centre est.

s'y concentrent. C'est le cas de la Mauritanie à la Guinée où les eaux sont en quelque sorte fertilisées par trois principales zones d'upwelling : devant le Cap Blanc, au sud-ouest du Cap Timiris et au sud du Cap Vert.

Il existe une relation entre l'intensité de l'upwelling, c'est-à-dire la disponibilité de la nourriture et l'abondance de certaines espèces qui vivent dans la région qui se trouve sous l'influence de cet upwelling. Ainsi, au large de l'Orégon, PETERSON (1973) a montré que les captures du crabe «Dungeness» (*Cancer magister*) pendant sa période de pêche (décembre à août) dépendaient étroitement de l'upwelling d'avril à septembre, dix-huit mois auparavant.

On entrevoit immédiatement qu'une des possibilités de la télédétection, en raison de la vue d'ensemble des phénomènes qu'elle donne, serait de suivre, par des observations de routine, les évolutions d'un indice d'intensité d'upwelling qui serait, par exemple, proportionnel à la surface de l'upwelling sur les images. On disposerait là d'un élément important permettant de prévoir avec un délai fonction de la vitesse de croissance des différentes espèces, le recrutement de chaque espèce dans la pêcherie et ainsi d'améliorer la mise en valeur de la pêcherie.

IV – CONCLUSION

La télédétection par satellite apparaît comme un moyen privilégié d'observation de la surface de la mer dans les régions à faible nébulosité. Le traitement des données numériques par le logiciel METSA semble devoir donner des résultats fiables : dans la partie infrarouge du spectre, où l'on effectue une mesure liée à la température de la surface de la mer, il existe une bonne concordance avec les observations de l'océanographie classique comme les mesures des températures de surface par les navires marchands ou les divers navires océanographiques. L'étude de l'évolution des zones d'upwellings et des fronts thermiques est en accord avec les diverses descriptions de ces phénomènes que l'on trouve dans la littérature concernant la région.

En permettant ainsi de suivre le déplacement des structures hydrologiques riches en nourriture et où se concentrent les poissons, la télédétection se révèle être un outil très efficace pour la description et la compréhension des mécanismes qui déterminent les déplacements saisonniers des espèces. Ceci, joint à la disponibilité en temps réel de l'information, en fait un précieux auxiliaire du pêcheur dans l'élaboration des stratégies de pêche dont elle peut contribuer à diminuer le prix de revient.

Enfin, à moyen ou long terme, la télédétection par satellite, par les moyens qu'elle offre de surveiller l'évolution du milieu marin dans le temps, devrait constituer un élément important des modèles prévisionnels qui seront peut-être un jour à la base d'une stratégie de pêche à l'échelle de l'océan mondial.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES –

ANONYME - Rapport du groupe de travail sur la sardinelle (*Sardinella aurita*) des côtes ivoiro-ghanéennes. Abidjan, 28 juin - 3 juillet 1976. C.R.O.-ORSTOM, Abidjan.

BAKHAYOKHO, M. - 1978 - Bilan des pêcheries thonières sénégalaises (1955-1976). Relation entre l'abondance des captures et les conditions hydrologiques. Mém. D.E.A., Univ. Bretagne occid., Antenne ORSTOM.

BERRIT, G.R. - 1952 - Esquisse des conditions hydrologiques du plateau continental du Cap Vert à la Gambie (températures et salinités). *Bull. I.F.A.N.*, XIV, 3, pp.735-761.

BERRIT, G.R. - 1961 - Contribution à la connaissance des variations saisonnières dans le Golfe de Guinée. Observations de surface le long des lignes de navigation. Première partie. *Cah. Océanog.*, 13, (10), pp. 715-727.

BERRIT, G.R. - 1962 - Contribution à la connaissance des variations saisonnières dans le Golfe de Guinée. Observations de surface le long des lignes de navigation. Deuxième partie. *Cah. Océanog.*, 14, (9), pp.633-643 et 14 (10), pp. 719-729.

BOELY, T., CHABANNE, J., FREON, P., STEQUERT, B. - 1978 - Cycle sexuel et migrations de *Sardinella aurita* sur le plateau ouest-africain, des îles Bissagos à la Mauritanie. Doc. sci. C.R.O. Dakar-Thiaroye (sous presse).

BRULHET, J. - 1974 - Onze années d'observations hydrologiques à proximité du Cap Blanc. *Bull. Lab. Pêche Nouadhibou, Mauritanie,* 3, pp.33-41.

CHAMPAGNAT, C., DOMAIN, F. - 1978 - Migrations des poissons démersaux le long des côtes ouest-africaines de 10 à 24° de latitude nord. Annexe au rapport du Groupe de travail ORSTOM-ISRA sur la reproduction des espèces exploitées du Golfe de Guinée. Dakar, 7-12 nov. 1977.

CREMOUX, J.L. - 1970 - Observations océanographiques effectuées en 1969. I : Stations hydrologiques. C.R.O. Dakar-Thiaroye, Doc. sci. prov. 24.

CREMOUX, J.L. - 1971 - Observations océanographiques effectuées en 1970. C.R.O. Dakar-Thiaroye, Doc. sci. prov. 33.

ELWERTOWSKI, J., BOELY, T. - 1971 - Répartition saisonnière des poissons pélagiques côtiers dans les eaux mauritaniennes et sénégalaises. C.R.O. Dakar-Thiaroye, Doc. sci. prov. 32.

I.C.C.A.T. - 1978 - *Bulletin d'Information,* VIII, 2, août 1978.

MAIGRET, J. - 1972 - Campagne expérimentale de pêche des sardinelles et autres espèces pélagiques, juillet 1970 - octobre 1971. Laboratoire des pêches de Nouadhibou - S.C.E.T. international.

NOEL, J. - 1978 - Introduction sommaire à la télédétection. Note ronéotypée, non publ.

PETERSON, W.T. - 1973 - Upwelling indices and annual catches of Dungeness crab, *Cancer magister,* along the west coast of the United States. *Fishery Bull.*, 71, 902.

POSTEL, E. - 1953 - Observations hydrologiques au large de Dakar. *Ann. biolog. CIEM,* vol. 9.

PRIVÉ, M., WAGNER, J.J. - 1977 - Croisière Capricorne C.A.P. 77.03. Résultats d'observations. Bathythermogrammes (16 avril - 10 mai 1977). C.R.O. Dakar-Thiaroye, Arch. 50.

ROSSIGNOL, M., MEYRUEIS, A.M. - 1964 - Campagne océanographique du Gérard Treca (juin 1962). Étude des masses d'eau et de la circulation dans l'Atlantique oriental (région comprise entre les îles du Cap Vert et la côte du Sénégal et de Guinée) C.R.O. Dakar-Thiaroye, Doc. sci. prov.

ROSSIGNOL, M., ABOUSSOUAN, M.Th. - 1965 - Hydrologie marine côtière de la presqu'île du Cap Vert. C.R.O. Dakar-Thiaroye, Doc. sci. prov.

ROSSIGNOL, M. - 1973 - Contribution à l'étude du «complexe guinéen». Doc. ORSTOM, Centre de Cayenne.

SCHEMAINDA, R., NEHRING, D., SCHULZ, S. - 1975 - Ozeanologische Untersuchungen zur produktions potential der nordwestafrikanischen wasserauftriebs region 1970-1973. *Geodätische u. Geophys. Veröff,* 4 (16), pp. 4-88.

TIXERANT, G. - 1974 - Contribution à l'étude de la biologie du maigre ou courbine sur la côte mauritanienne, *Argyrosomus regius asso Sciaena aquila* Lacépède (famille : *Sciaenidae*). Thèse Doc. Univ., U.E.R. Sciences de la mer et de l'environnement, Univ. Aix-Marseille.

QUELQUES EXEMPLES D'APPLICATION DES OBSERVATIONS PAR TÉLÉDÉTECTION EN OCÉANOGRAPHIE –

Fig. 1 – Exemple de visualisation sur imprimante d'une image de télédétection : région du Cap Blanc, image du 31 mai 1978 à 13 h 00.

Fig. 2 – Localisation géographique de la région étudiée.

Fig. 3 – Évolution des différentes masses d'eau apparaissant en surface dans l'Atlantique Est entre l'Équateur et 25° N, de mai à août (d'après ROSSIGNOL, 1973).

Fig. 4 – Observations de températures de surface effectuées à différentes périodes de l'année, de 1970 à 1972, par N.O. «Alexander von Humbolt» (d'après SCHEMAINDA *et al.*, 1975).

Fig. 5 – Températures de surface mesurées au large du Sénégal et de la Mauritanie (parages du Banc d'Arguin) de juin à septembre (d'après CREMOUX 1971 et MAIGRET 1972).

Fig. 6 – Isothermes de surface tracés à partir des mesures des navires marchands, du 22 au 28 mai et du 29 mai au 3 juin 1978.

Fig. 7 – Écarts en latitude, en degrés, entre la position des isothermes 26 et 24° C obtenus à partir de mesures de télédétection (satellite N.O.A.A.) et la position de ces mêmes isothermes tracés à partir des données des navires marchands sur le méridien 18° W entre 10 et 20° N (d'après BAKHAYOKHO, 1978).

Fig. 8 – Isothermes de surface tracés à partir des mesures des navires marchands du 31 juillet au 7 août et du 28 août au 4 septembre 1978.

Fig. 9 – Observations de températures de surface effectuées par le N.O. Capricorne, de la Mauritanie à la Guinée, du 16 avril au 10 mai 1977. Campagne CAP 7703 (d'après PRIVÉ et WAGNER, 1977).

Fig. 10 – Cycle migratoire et localisation mensuelle des principales concentrations d'adultes de *Sardinella aurita* (d'après BOELY *et al.* 1978).

Fig. 11 – Évolution de l'effort de pêche, en nombre de sorties hebdomadaires des pirogues, du 1er mai au 30 juillet 1978, dans les ports de Soumbedioune, Kayar et St - Louis.

O.R.S.T.O.M.
Service des Publications
S.S.C. BONDY

Les Editions de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer tendent à constituer une documentation scientifique de base sur les zones intertropicales et méditerranéennes, les pays qui en font partie et sur les problèmes posés par leur développement.

CAHIERS ORSTOM *(séries périodiques)*

- **biologie :** études consacrées à diverses branches de la biologie végétale et animale : agronomie, biologie et amélioration des plantes utiles, entomologie agricole, nématologie.
- **entomologie médicale et parasitologie :** systématique et biologie des arthropodes d'intérêt médical et vétérinaire, parasitologie, épidémiologie des grandes endémies tropicales, méthodes de lutte contre les vecteurs et les nuisances.
- **géologie :** pétrologie et cycles des éléments (géochimie) - hydrogéologie - altération et érosion - sédimentologie - stratigraphie - orogenèse continentale - métallogenèse - paléogéographie - structure et évolution des fonds océaniques.
- **hydrologie :** études, méthodes d'observation et d'exploitation des données concernant les cours d'eau intertropicaux et leurs régimes.
- **océanographie :** hydrologie, physico-chimie, hydrodynamique, écologie, caractérisation des chaînes alimentaires, niveaux de production, dynamique des stocks, prospection faunistique (Sud-ouest Pacifique, Canal de Mozambique et environs, Atlantique Tropical Est).
- **hydrobiologie :** physico-chimie, écologie, caractérisation des chaînes alimentaires, dynamique des stocks, action des insecticides sur la faune (Bassin Tchadien, Côte d'Ivoire).
- **pédologie :** problèmes soulevés par l'étude des sols : morphologie, caractérisation physico-chimique et minéralogique, classification, relations entre sols et géomorphologie, problèmes liés aux sels, à l'eau, à l'érosion, à la fertilité.
- **sciences humaines :** études géographiques, sociologiques, économiques, démographiques et ethnologiques.

MÉMOIRES ORSTOM : consacrés aux études approfondies (synthèses régionales, thèses...) dans les diverses disciplines scientifiques (88 titres parus).

ANNALES HYDROLOGIQUES : depuis 1959, deux séries sont consacrées : l'une, aux Etats africains d'expression française et à Madagascar, l'autre aux Territoires et Départements français d'Outre-Mer.

FAUNE TROPICALE : collection d'ouvrages principalement de systématique, pouvant couvrir tous les domaines géographiques où l'ORSTOM exerce ses activités (20 titres parus).

INITIATIONS/DOCUMENTATIONS TECHNIQUES : mises au point et synthèses au niveau, soit de l'enseignement supérieur, soit d'une vulgarisation scientifiquement sûre (40 titres parus).

TRAVAUX ET DOCUMENTS DE L'ORSTOM : cette collection, diverse dans ses aspects et ses possibilités de diffusion, a été conçue pour s'adapter à des textes scientifiques ou techniques très variés quant à leur origine, leur nature, leur portée dans le temps ou l'espace, ou par leur degré de spécialisation (104 titres parus).

Les études en matière de géophysique (gravimétrie, sismologie, magnétisme...) sont publiées, ainsi que certaines données (magnétisme) dans des séries spéciales : **GÉOPHYSIQUE** et **OBSERVATIONS MAGNÉTIQUES.**

L'HOMME D'OUTRE-MER : cette collection, exclusivement consacrée aux sciences de l'homme, est réservée à des textes d'auteurs n'appartenant pas à l'ORSTOM, mais dont celui-ci assure la valeur scientifique (co-édition Berger-Levrault) (10 ouvrages parus).

De nombreuses **CARTES THÉMATIQUES,** accompagnées de **NOTICES,** sont éditées chaque année, intéressant des domaines scientifiques ou des régions géographiques très variées.

BULLETIN ANALYTIQUE D'ENTOMOLOGIE MÉDICALE ET VÉTÉRINAIRE (périodicité mensuelle ; ancienne dénomination jusqu'en 1970 : Bulletin signalétique d'entomologie médicale et vétérinaire) (XXVIe année).

REVUE DE NÉMATOLOGIE (périodicité semestrielle) : cette revue accueille les travaux et les notes concernant les nématodes parasites des plantes, des insectes et les nématodes libres du sol (1re année de parution : 1978).

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. Éditeur
Dépôt légal : 2e trim. 1979
I.S.B.N. : 2-7099-0548-5