

Océan 867

INSTITUT SENEGALAIS DE RECHERCHES AGRICOLES

DEPARTEMENT DES RECHERCHES HALIEUTIQUES ET DE L'OCEANOGRAPHIE

CENTRE DE RECHERCHES OCEANOGRAPHIQUES DE DAKAR-THIAROYE

RADIOMETRIE AERIENNE

RAPPORT PROVISOIRE

par

Alassane Omar BA⁽¹⁾
Hervé DEMARCQ⁽²⁾

(1) Physicien de l'ISRA en service au CRODT.

(2) Océanographe de l'ORSTOM affecté au CRODT.

1

I N T R O D U C T I O N

Le volet "radiométrie aérienne" est l'un des trois volets du projet de Surveillance des Pêches au Sénégal fruit de la coopération sénégaléo-canadienne. Son exécution est confiée au Département des Recherches Halieutiques et de l'océanographie de l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA) à travers le Centre de Recherches Océanographiques de Dakar-Thiaroye (CRODT).

Dans ce rapport nous parlerons successivement du principe de la radiométrie aérienne, de ses buts, des couvertures radiométriques réalisées et des résultats jusqu'à présent obtenus.

1 . PRINCIPE DE LA RADIOMETRIE AERIENNE ET MATERIEL UTILISE

La surface de la mer émet un rayonnement infrarouge qui est fonction de sa température selon les lois du corps noir. La mesure de ce rayonnement permet de connaître la température de cette surface. Cette mesure n'est possible que dans la fenêtre spectrale 8 - 14 microns qui correspond à une bonne transparence atmosphérique, à un maximum de rayonnement émis par un corps noir aux températures ambiantes et à une bonne détectivité des récepteurs.

Le matériel utilisé pour effectuer des relevés thermiques à partir d'un avion est un radiomètre infrarouge qui se compose de deux parties (fig. 1):

- une unité optique : elle permet de déterminer le niveau du rayonnement infrarouge émis par la surface de la mer et collecté par le système de visée. Cette unité optique également appelée oeil optique est dirigée vers la surface de la mer à travers une ouverture pratiquée dans le plancher de l'avion ;

- une unité électronique : elle mesure la différence entre la température de la cible et celle d'un corps noir de référence placé dans l'unité optique dont la température reste stable. Une modulation optique par un miroir permet de viser alternativement le corps noir de référence et la cible. La différence de potentiel entre les deux mesures traduit la température de la cible.

Le radiomètre utilisé au Centre de Recherches Océanographiques de Dakar-Thiaroye est un radiomètre BARNES modèle PRT5. L'angle de visée de son système optique est constitué par une lentille en ITRAN2 déterminant un champ optique θ de 2°, ce qui à une altitude de 500 pieds permet de viser une surface de 8.2m environ. Un filtre limite la réponse spectrale du radiomètre à la fenêtre atmosphérique 8 - 14 microns.

Un galvanomètre incorporé à l'unité électronique du radiomètre affiche la température sur une des trois échelles suivantes :

Echelle Basse	: de -2 à 13°C
Echelle Moyenne	: de 10 à 25°C
Echelle Haute	: de 22 à 37°C. .

Un enregistreur graphique connecté sur une des bornes de sortie du radiomètre inscrit sur papier les variations des tensions (donc des températures) mesurées.

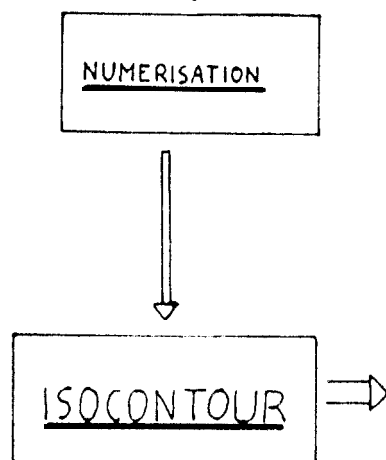
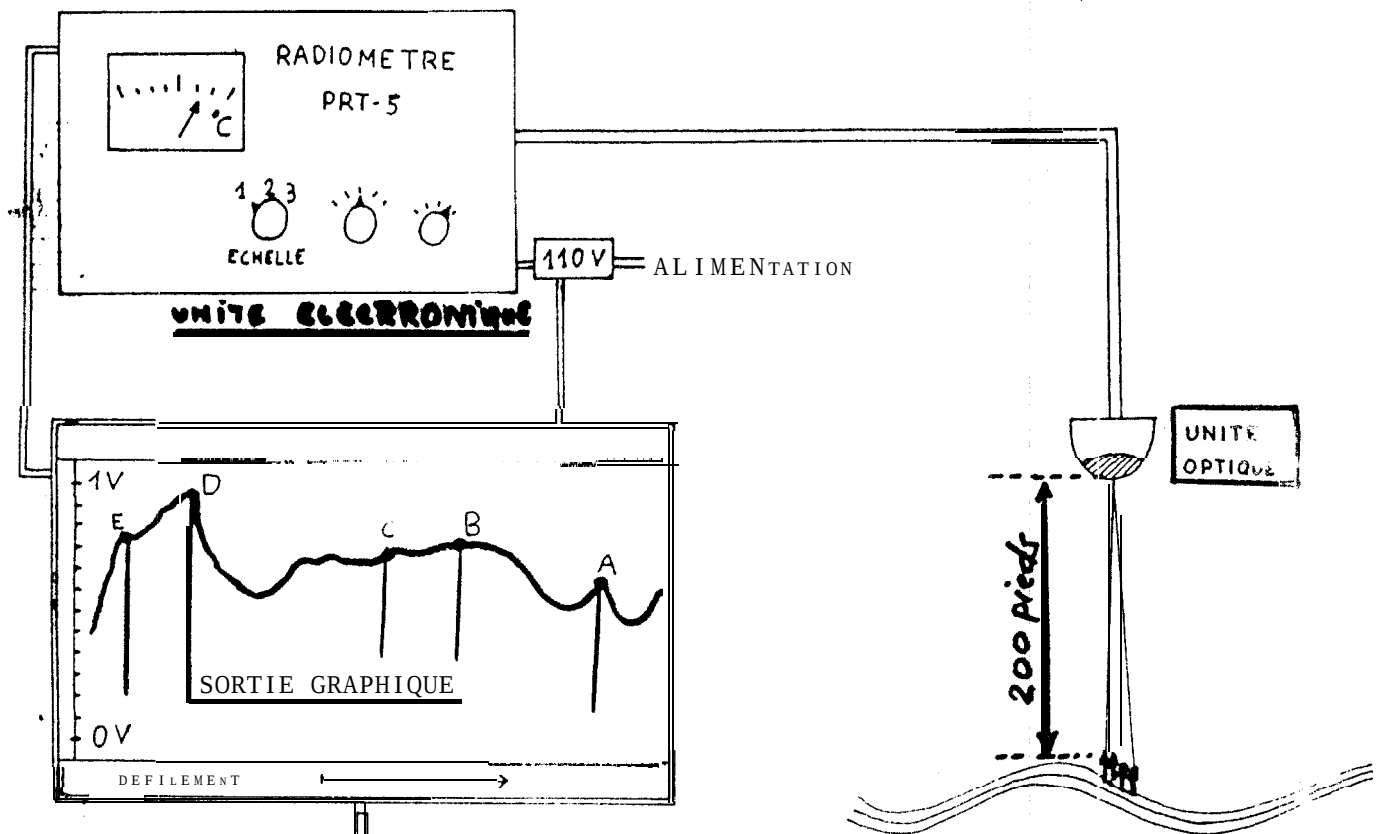
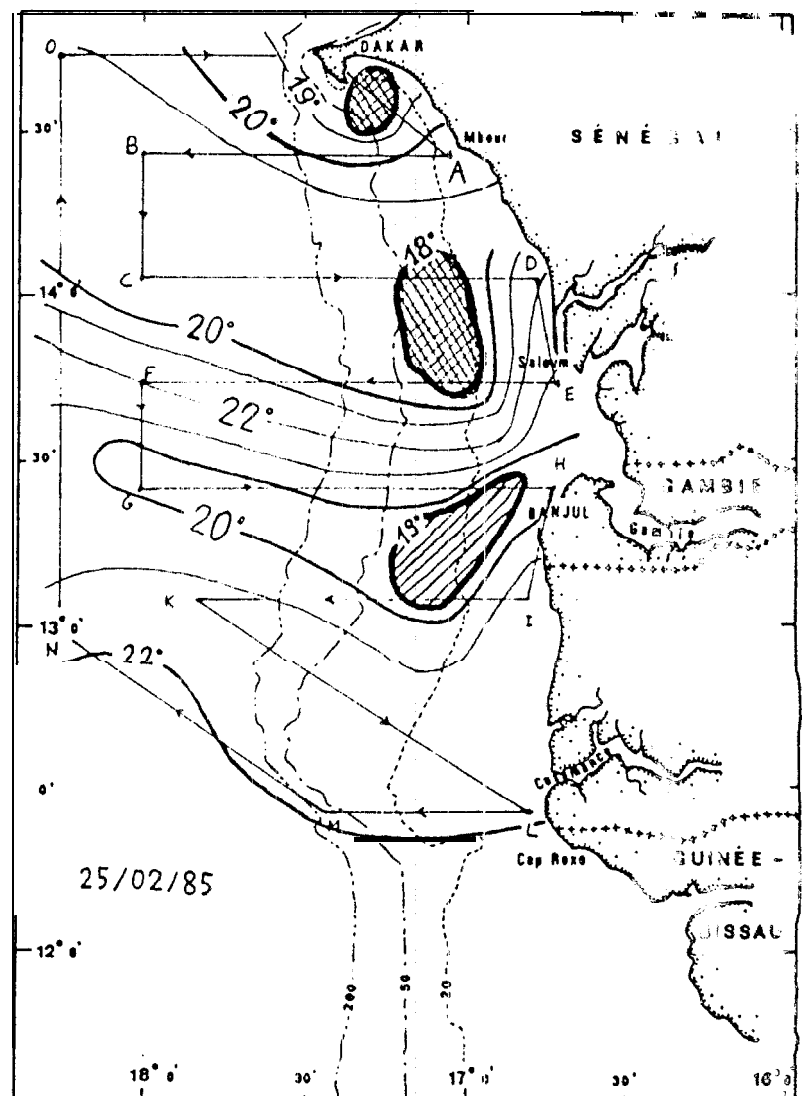


Fig. 1.- Les différentes parties du radiomètre.



La précision des températures mesurées à l'aide d'un radiomètre infrarouge est de l'ordre de 0.2°C . Une telle précision est jugée acceptable pour des études halieutiques. En général, la température radiométrique ne s'écarte de celle mesurée au seau par un thermomètre habituel que dans les cas suivants :

- pendant les grands calmes persistant plusieurs jours : dans ce cas, la température lue au radiomètre est supérieure à celle du seau ;

- pendant certains grands calmes éphémères où la température radiométrique est le plus souvent inférieure à celle du seau en raison de l'évaporation intense au niveau de la pellicule superficielle ;

- lors des survols de masses d'eau au niveau des sources d'upwelling, en raison de l'instabilité de la température de surface ;

- en cas de pluies, brumes ou brouillards au dessus de la mer.

En dehors de ces phénomènes, il est également nécessaire tous les deux mois de procéder à un étalonnage du radiomètre (fig. 2). Cet étalonnage se fait en plaçant sous l'oeil optique du radiomètre une cuve d'eau bien agitée dans laquelle on fait varier la température sur toute l'étendue des trois échelles. Si la température donnée par le radiomètre s'écarte de 0.2°C et plus de celle lue sur le thermomètre plongé dans la cuve, il est nécessaire de procéder à un nouvel étalonnage.

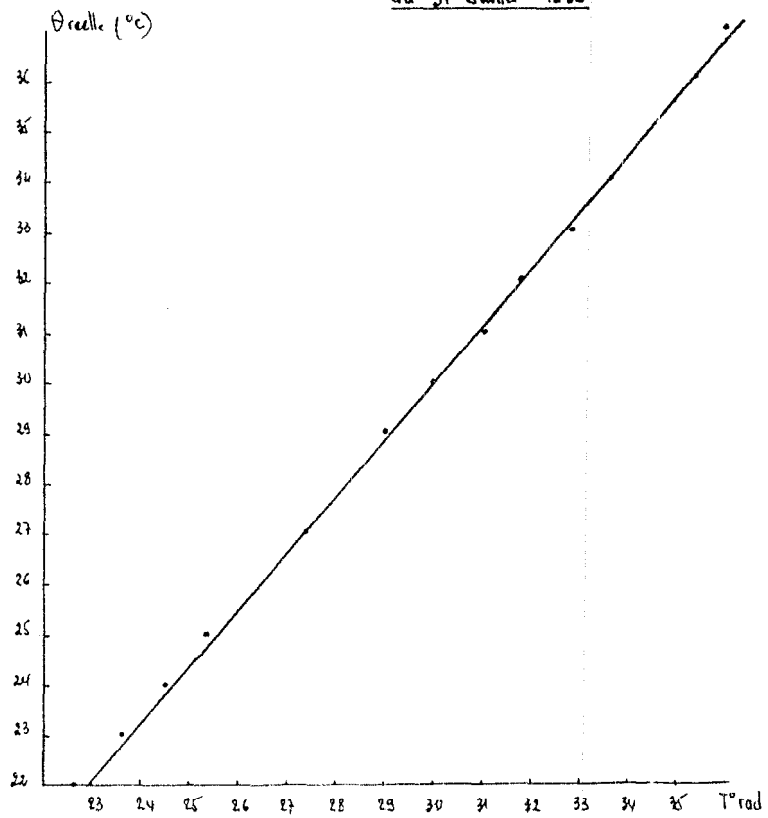
En plus de cet étalonnage, il faut tenir compte dans les mesures radiométriques des corrections dues à la nébulosité et à l'altitude. La fenêtre spectrale 8 - 14 microns du BARNES PRT5 étant sensible à la nébulosité, il convient d'apporter aux mesures lues sur le radiomètre une correction qui est fonction de l'expérience de l'opérateur. Sous un ciel très sombre, à la valeur lue sur le radiomètre il faut ajouter 0.7°C pour obtenir la température réelle sous un ciel pur, la correction est nulle.

La correction due à l'altitude combine les valeurs lues au radiomètre et celles relevées au seau à bord d'un bateau. L'avion effectue plusieurs passages au-dessus du bateau, à différentes altitudes (1000, 500, 200 et 100 pieds). A chaque passage, on note la température lue sur le radiomètre et celle relevée au seau. La différence entre ces deux valeurs donne la correction en fonction de l'altitude. Les vols réalisés sur la côte sénégalaise montrent qu'à 500 pieds, cette correction est de l'ordre de 0.1 à 0.2°C et qu'à 300 ou 200 pieds elle est nulle.

2 . COUVERTURES RADIOMETRIQUES REALISEES

D'octobre 1985 à août 1986, 18 vols (79 heures) de radiométrie aérienne ont été réalisés sur l'ensemble du littoral sénégalais (tabl. 1). Les vols sont répartis de façon inégale entre les zones nord (de Saint Louis à la Presqu'île du Cap Vert), centre (de la Presqu'île du Cap Vert à Banjul) et sud (de Banjul au Cap Roxo). La majeure partie des vols (37 heures) a intéressé la zone centre ; 34 heures de vol ont été réalisées dans la zone nord et 8 h dans la zone sud. Sur les 79 heures, 68 ont été utilisées pendant la saison froide (de novembre à mai) car c'est pendant cette saison que les contrastes thermiques sont les plus marquées.

Etalonnage du Barnes en date
du 31 Juillet 1986

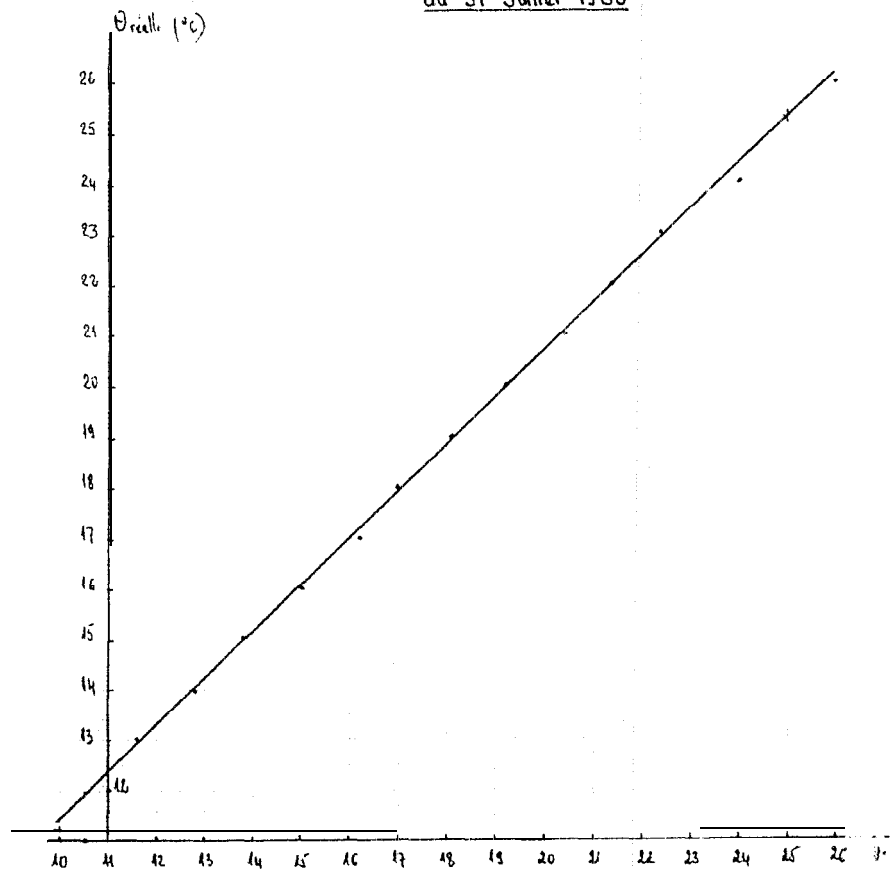


Echelle High

$$r = 0.9996$$

$$\Theta_{\text{réelle}} = 1.1035 \cdot T^\circ \text{ rad} - 3.0501$$

Etalonnage du Barnes en date
du 31 Juillet 1986



Echelle Médium

$$r = 0.9987$$

Fig. 2.- Courbes
d'étalonnage,

3 . CONDITIONS METEOROLOGIQUES PREDOMINANTES

De novembre à mars, les vents sont de secteur nord, avec des vitesses allant de 4 à 10 noeuds. Les températures de l'air ambiant pendant cette période varient de 27 - 28°C en novembre à 20 - 24°C en mars. La couverture nuageuse est nulle et la mer est calme..

En avril et mai prédominent les vents du secteur NNE avec des vitesses voisines de 15 noeuds. La température de l'air est de l'ordre de 21 à 22°C à Dakar, de 27 à 28°C aux embouchures des fleuves Saloum et Gambie et de 32°C au Cap Skirring. La mer est peu agitée à agitée et présente par endroits des crêtes.

En juin, juillet août, les vents sont calmes (0 à 2 noeuds). Le ciel est ouvert à très couvert avec des pluies par endroits. La température de l'air ambiant est de 28°C à Dakar et de 37°C à Ziguinchor.

4 . OBSERVATIONS SUR LA COULEUR DE L'EAU

A chaque fois que cela avait été possible, des observations visuelles sur la couleur de l'eau ont été effectuées. Nous avons remarqué que les eaux dites vertes (donc riches en chlorophylle) étaient toujours localisées au niveau des embouchures des fleuves Saloum, Gambie et Casamance. Au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la côte apparaissent les eaux bleues oligotrophes. Dans la zone nord, nous avons souvent noté des poches d'eaux très turbides au voisinage du Gandiolé. La vitesse du vent étant faible lors de ces observations, ces eaux turbides proviendraient non pas d'un mouvement vertical mais du fleuve Sénégal.

5 . RESULTATS OBTENUS

Les résultats sont exprimés sous forme de cartes avec une interprétation succincte des différentes structures thermiques.

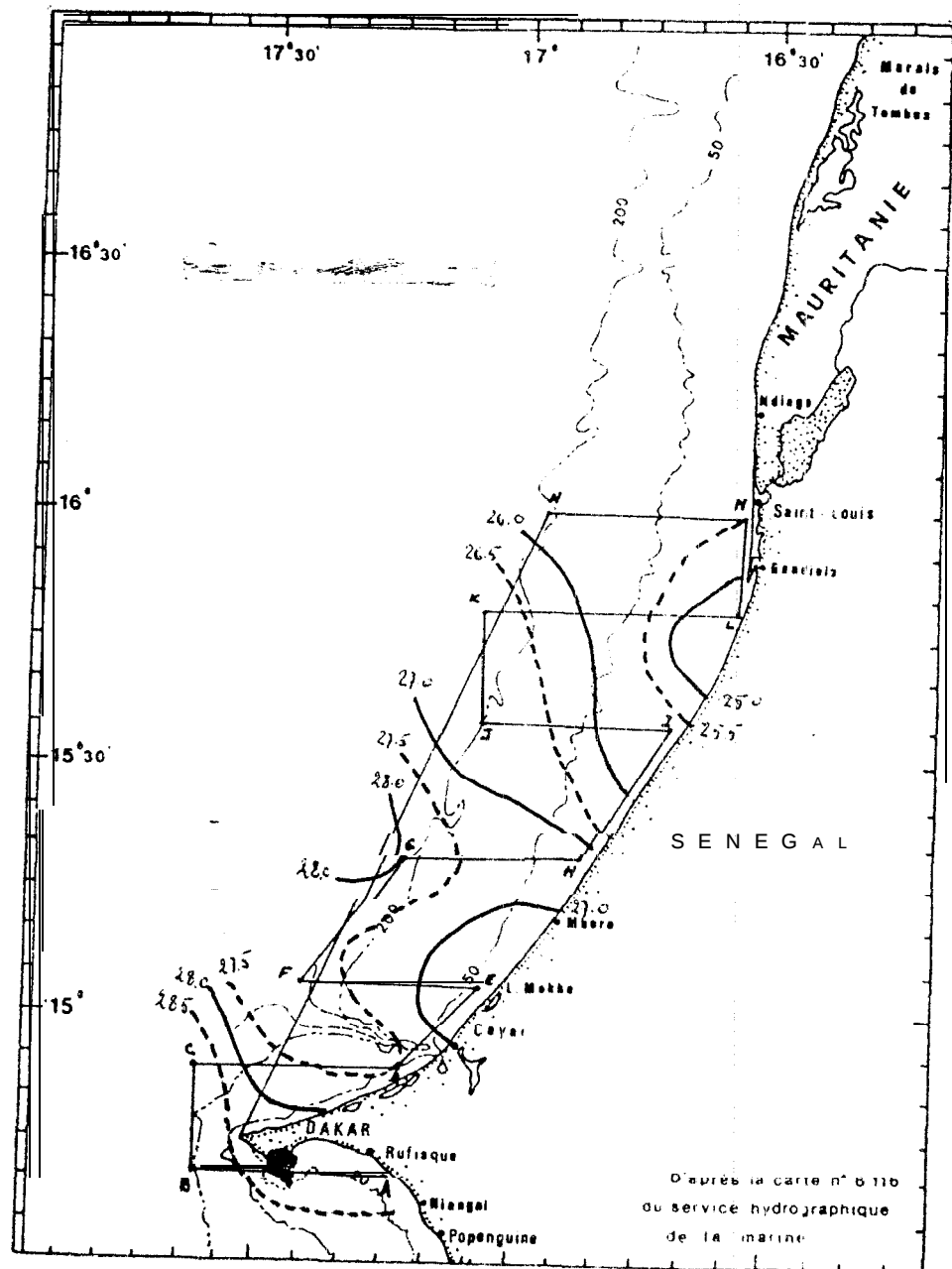


Fig. 4.- Vol du 5 novembre 1985

Les eaux de surface sont chaudes dans toute la zone prospectée exceptée une poche d'eaux relativement froides (25°C) située au voisinage de Saint-Louis. Au fur et à mesure qu'on descend vers le sud, les températures augmentent : 27°C dans la région de Mboro-Kayar, $28^{\circ}5$ à Yoff et Thiaroye. Le gradient thermique entre la frontière nord du Sénégal et la presqu'il du Cap Vert est de $3^{\circ}5\text{C}$.

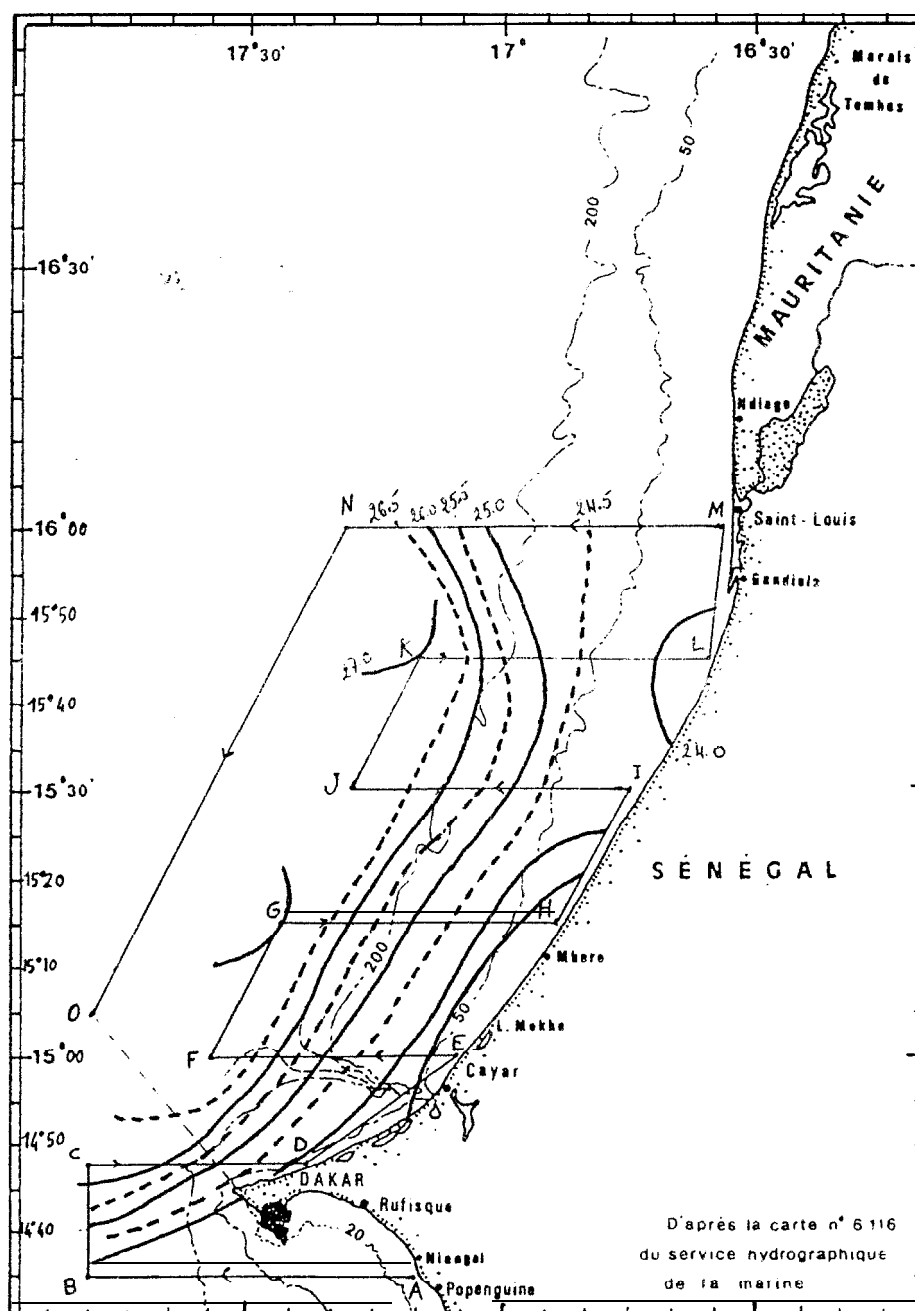


Fig. 6.- Vol du 12 décembre 1985

Les températures à la côte ont augmenté par rapport au vol du 21 novembre. L'isotherme 25°C située à l'ouest de l'isobathe 200 m le 21 novembre s'est rapprochée de la côte. Les températures minimales (23 - 24°C) sont localisées au sud de Saint-Louis (dans le Gandiole) et dans la région Mboro-Kayar. Au large, les températures sont de l'ordre de 26 à 27°C. On note un gradient thermique zonal de 4°C.

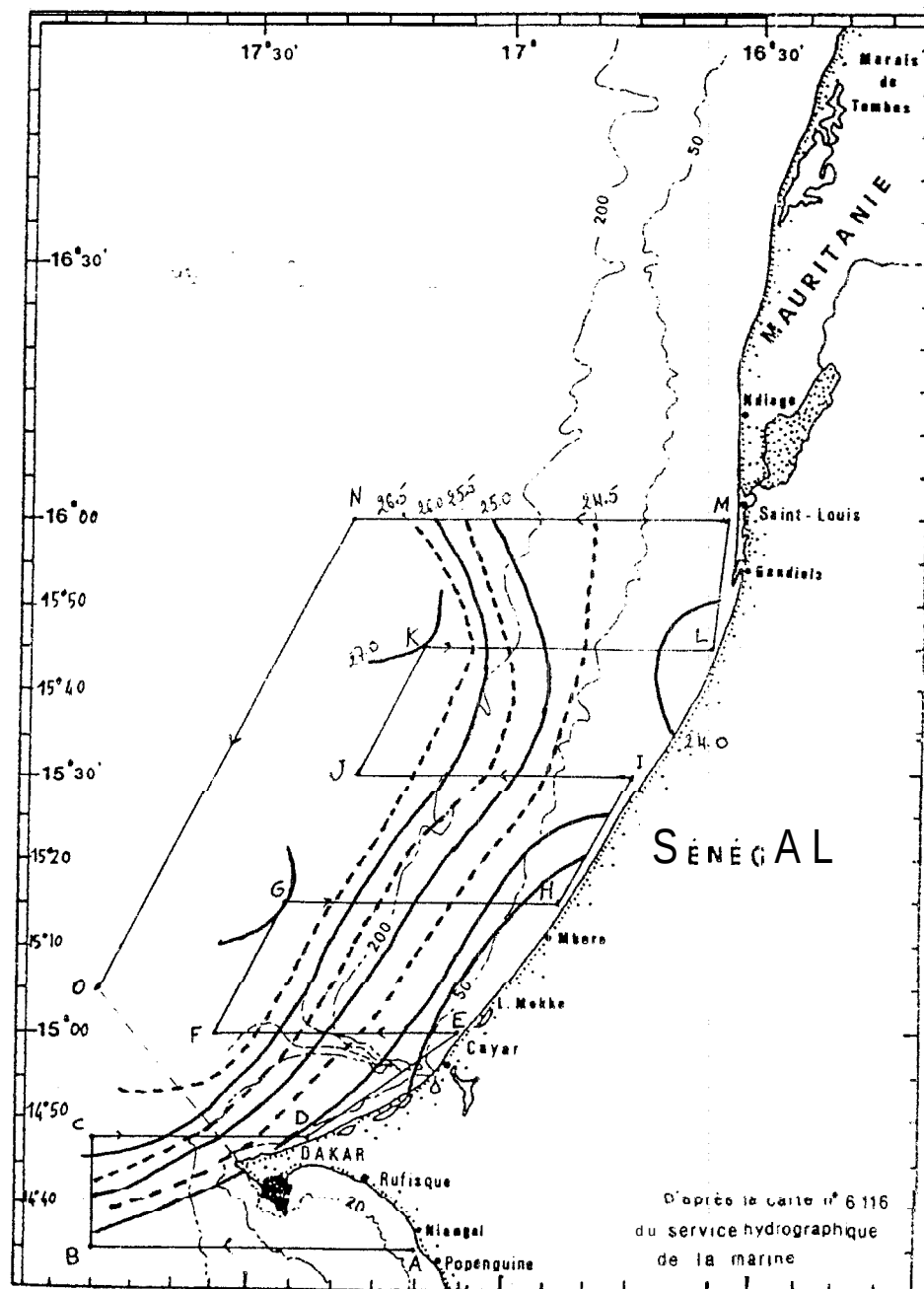


Fig. 6.- Vol du 12 décembre 1985

Les températures à la côte ont augmenté par rapport au vol du 21 novembre. L'isotherme 25°C située à l'ouest de l'isobathe 200 m le 21 novembre s'est rapprochée de la côte. Les températures minimales (23 - 24°C) sont localisées au sud de Saint-Louis (dans le Gardiole) et dans la région Mboro-Kayar. Au large, les températures sont de l'ordre de 26 à 27°C. On note un gradient thermique zonal de 4°C.

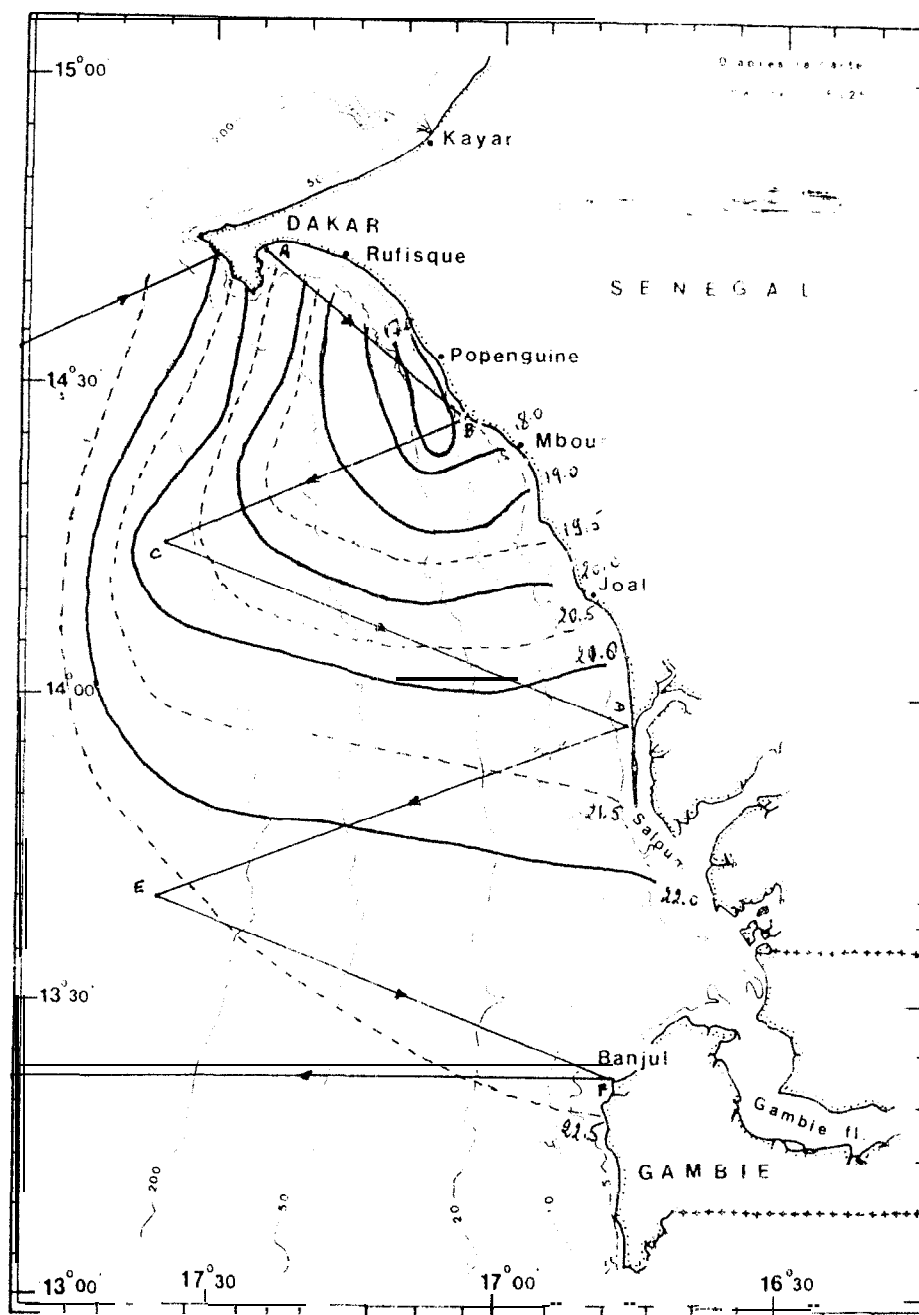


Fig. 9.- Vol du 14 janvier 1986

Toute la zone prospectée est envahie par des eaux froides. Au niveau de la zone Rufisque, Popenguine-Mbour, on note une source de remontée d'eaux froides. Cette source dont le centre se trouve devant Popenguine (17°C) s'étend jusqu'à 17°30W. La température maximale enregistrée au cours du vol est de 28°C (au large de Banjul).

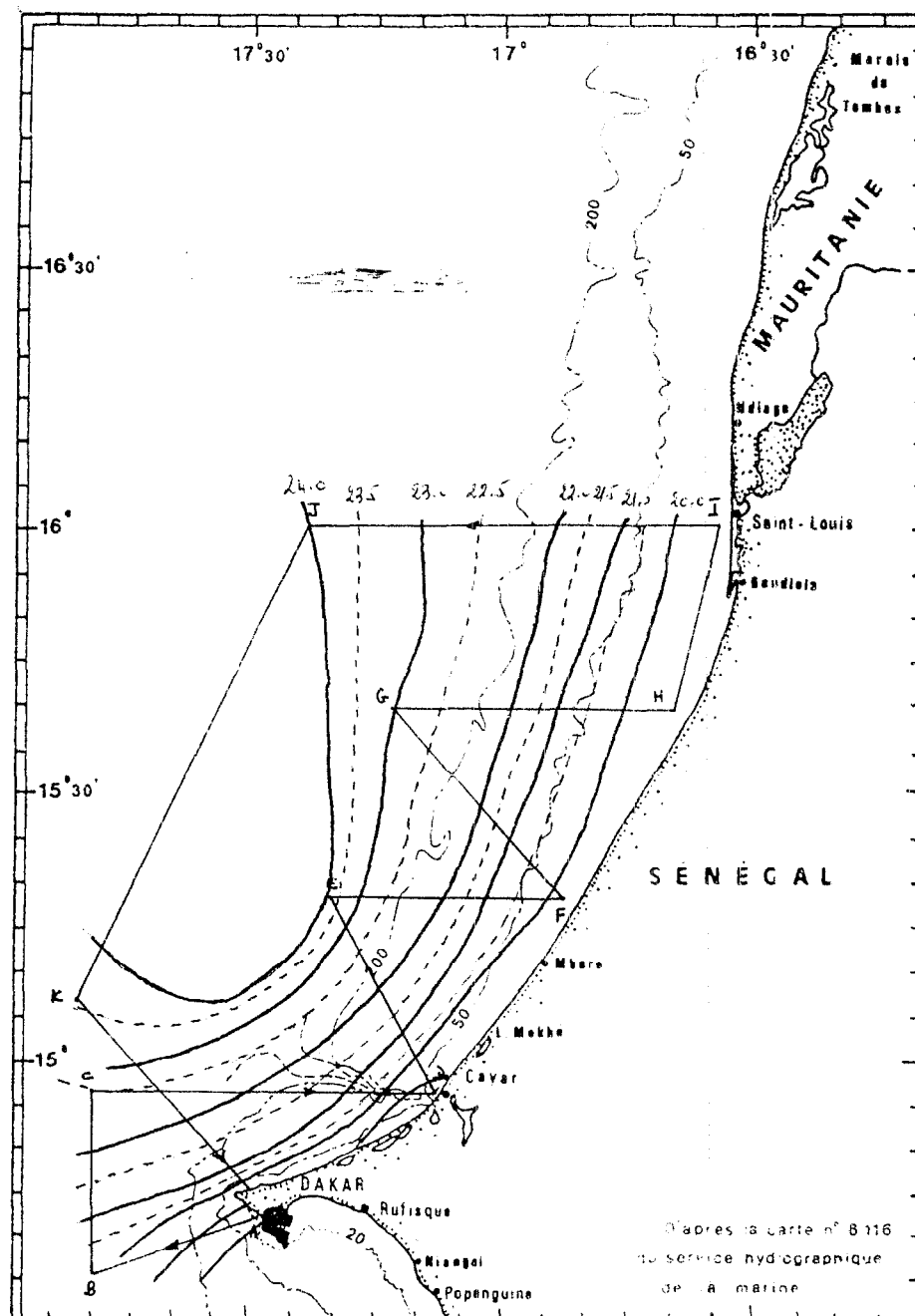


Fig. 8.- Vol du 31 décembre 1985

Les eaux côtières chaudes observées lors du vol précédent dans la même zone (vol du 12 décembre) sont repoussées vers le large (l'isotherme 25°C est située par 17°30' de longitude). Les températures minimales (19 - 20°C) sont enregistrées dans la région de Saint-Louis et au niveau de la presqu'île du Cap-Vert où on note un resserrement des isothermes.

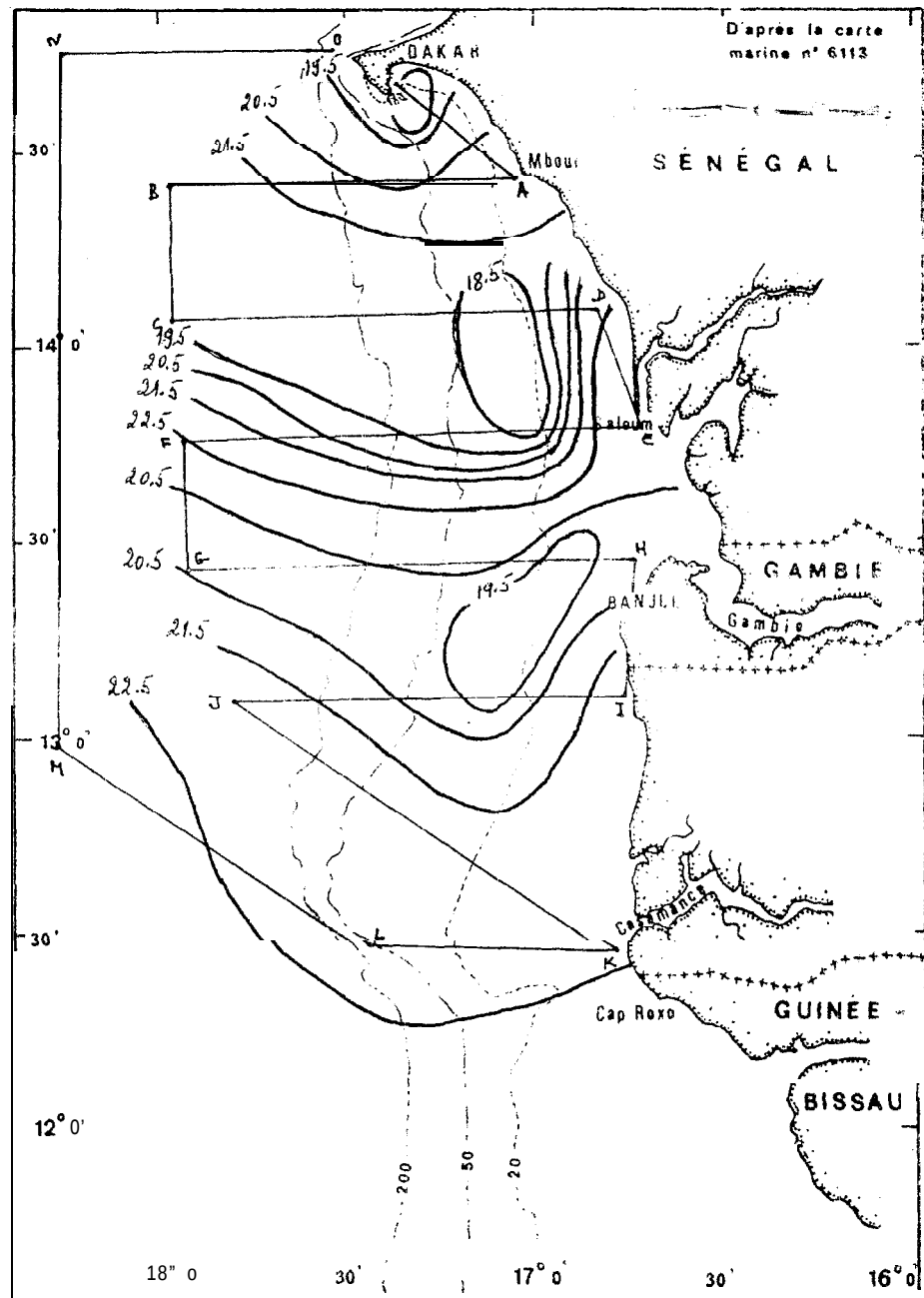


Fig. 11.- Vol du 25 février 1986

Ce vol fait apparaître trois sources d'upwelling :

- une source au niveau de la presqu'île du Cap-Vert (dans la baie de Gorée) comme lors du vol précédent,
- une source au niveau de Joal et qui s'étend jusqu'à l'embouchure du Saloum ;
- une source devant la Gambie.

Les températures minimales sont observées au niveau de ces trois sources (18°C en baie de Gorée, 18°5C à Joal et 19°C devant la Gambie).

Au sud du Sénégal, les eaux restent relativement froides: 22°C en Casamance.

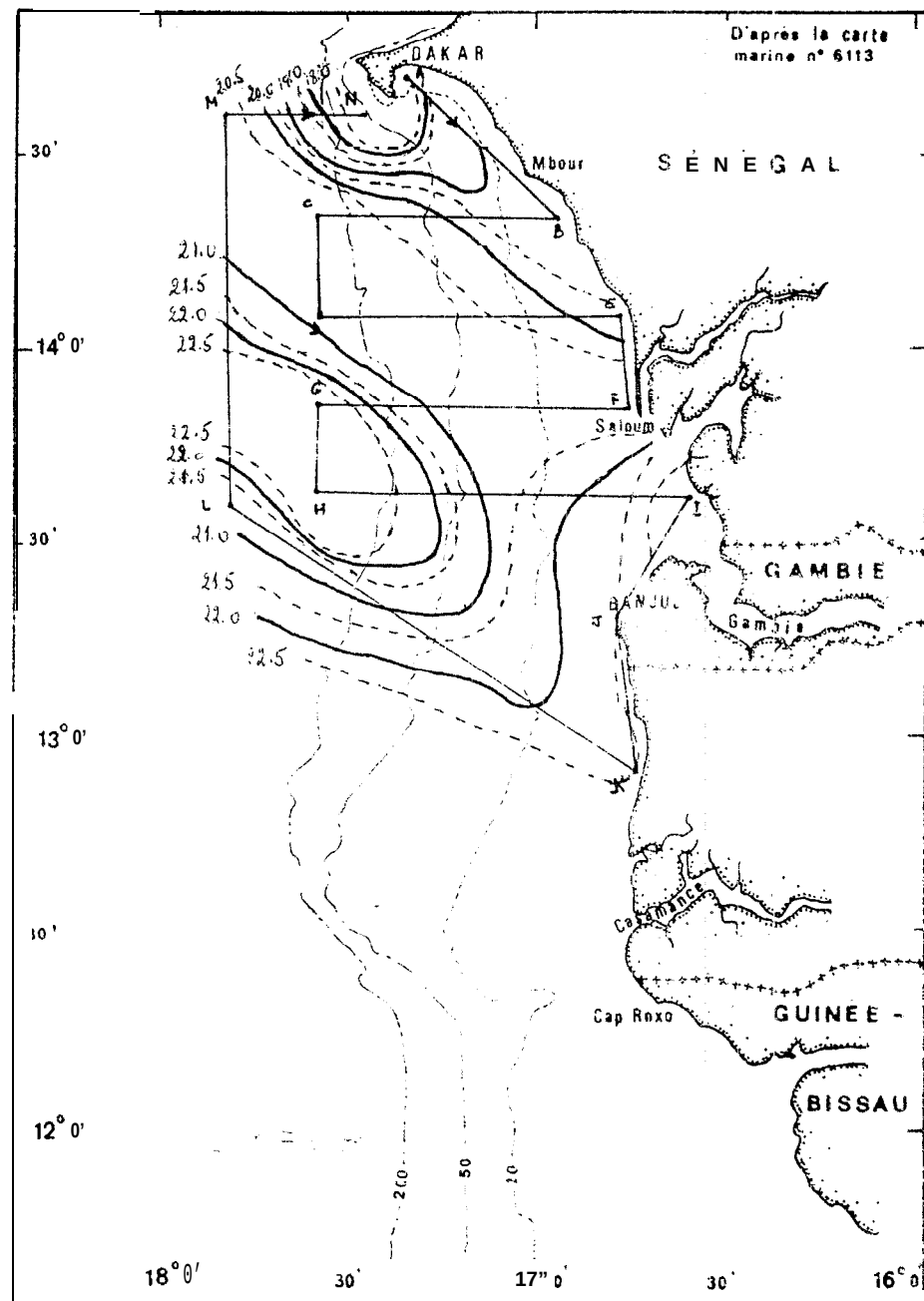


Fig. 10.- Vol du 18 février 1986

Par rapport au vol du 14 janvier, on note un réchauffement des eaux. L'upwelling qui intéressait la zone Rufisque-Popenguine-Mbour a disparu. A sa place, on a une masse d'eau thermiquement homogène ($19^{\circ}5 - 20^{\circ}5$ C) Par contre on note deux cellules de remontée d'eaux froides : une située au niveau de La presqu'île du Cap Vert et l'autre au large de l'embouchure de la Gambie.

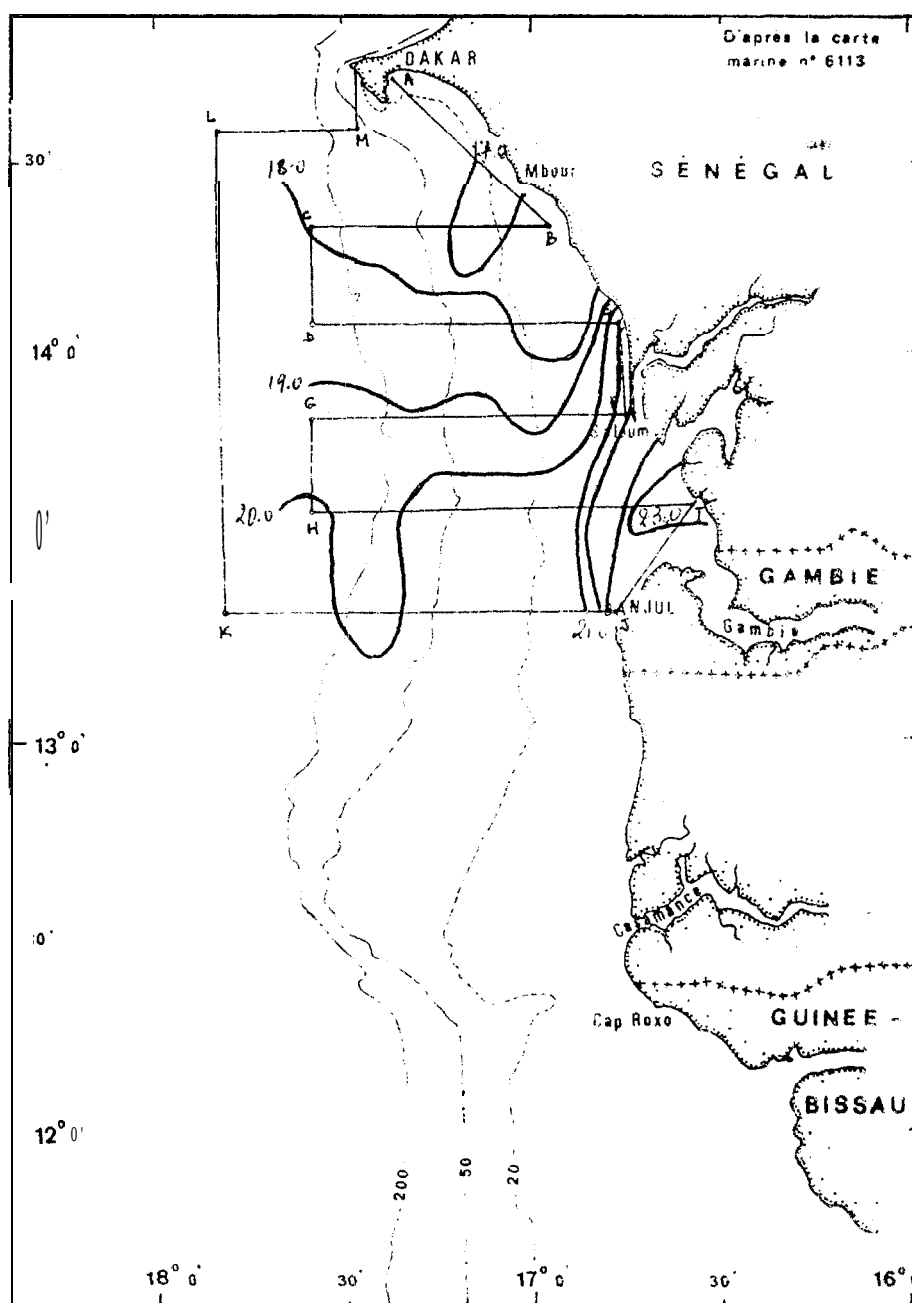


Fig. 13.- Vol du 8 avril 1986

La zone couverte reste encore froide même si un réchauffement des eaux a commencé à se manifester aux embouchures du Saloum et de la Gambie. Toute la Petite Côte (de Dakar à Joal) est envahie par des eaux froides avec un minimum thermique de 17°C à Mbour. Des eaux plus chaudes (20 - 24°C) intéressent la zone gambienne.

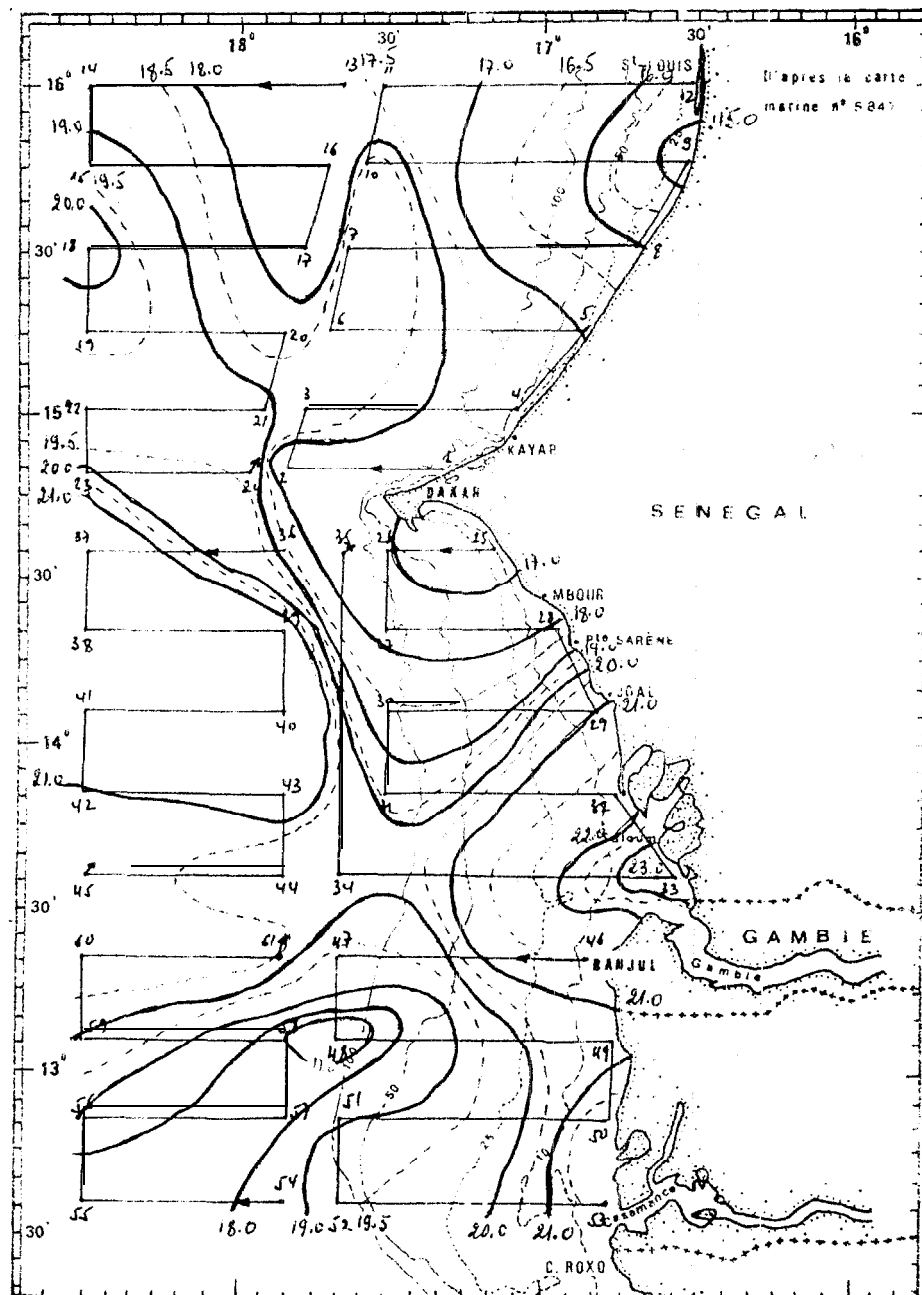


Fig. 12.- Vols des 11, 13 et 15 mars 1986

Ces trois vols ont couvert toute la côte sénégalaise. Dans toute la zone prospectée, les températures de surface restent comprises entre 15°C (zone nord) et 23°C (zone sud). Trois sources d'upwelling sont notées:

- une dans le Gandiolé en zone nord avec une température minimale de 15°C,
- une dans la zone Dakar-Rufisque avec une température au centre de 17°C,
- une au large de la frontière sud-gambienne dont le centre se situe par 17°35 de longitude ouest.

Les deux dernières sources d'upwelling sont séparées par une cellule d'eaux dont les températures diminuent de la côte (23°C) vers le large (20°C). Cette cellule d'eaux

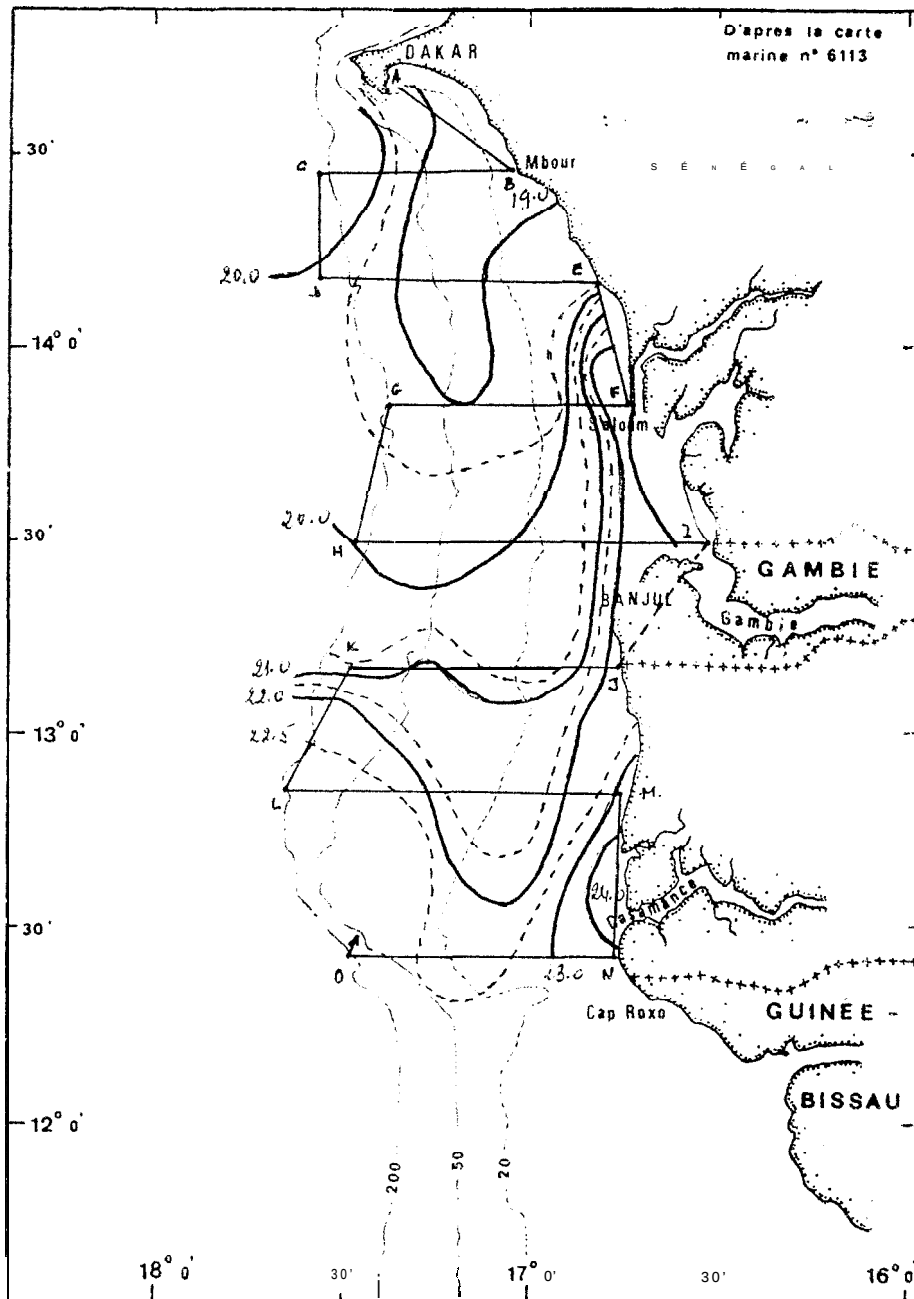


Fig. 15.- Vol du 24 avril 1986

Le réchauffement des eaux de surface constaté lors du vol précédent s'est accentué. Les températures minimale et maximale sont respectivement de 19 et 24°C. Les eaux froides naguère situées devant Mbour ont complètement disparu. A leur place on a une masse d'eau de 19°C qui s'enfonce en doigt de gant jusqu'au large du Saloum. La masse d'eau de 19 - 20°C s'est considérablement rétrécie et n'intéresse plus le plateau gambien. Les eaux à 20-21°C qui étaient accolées à la côte entre l'embouchure du Saloum et la radiale de Banjul se sont développées, envahissant tout le plateau gambien. Toute la zone comprise entre la frontière sud gambienne et la radiale du Cap Roxo est envahie par des eaux dont la température est supérieure à 21°C. Un mince filet de ces eaux se faufile le long de la côte jusqu'à la latitude de Joal. Les eaux à 24°C et plus sont localisées au

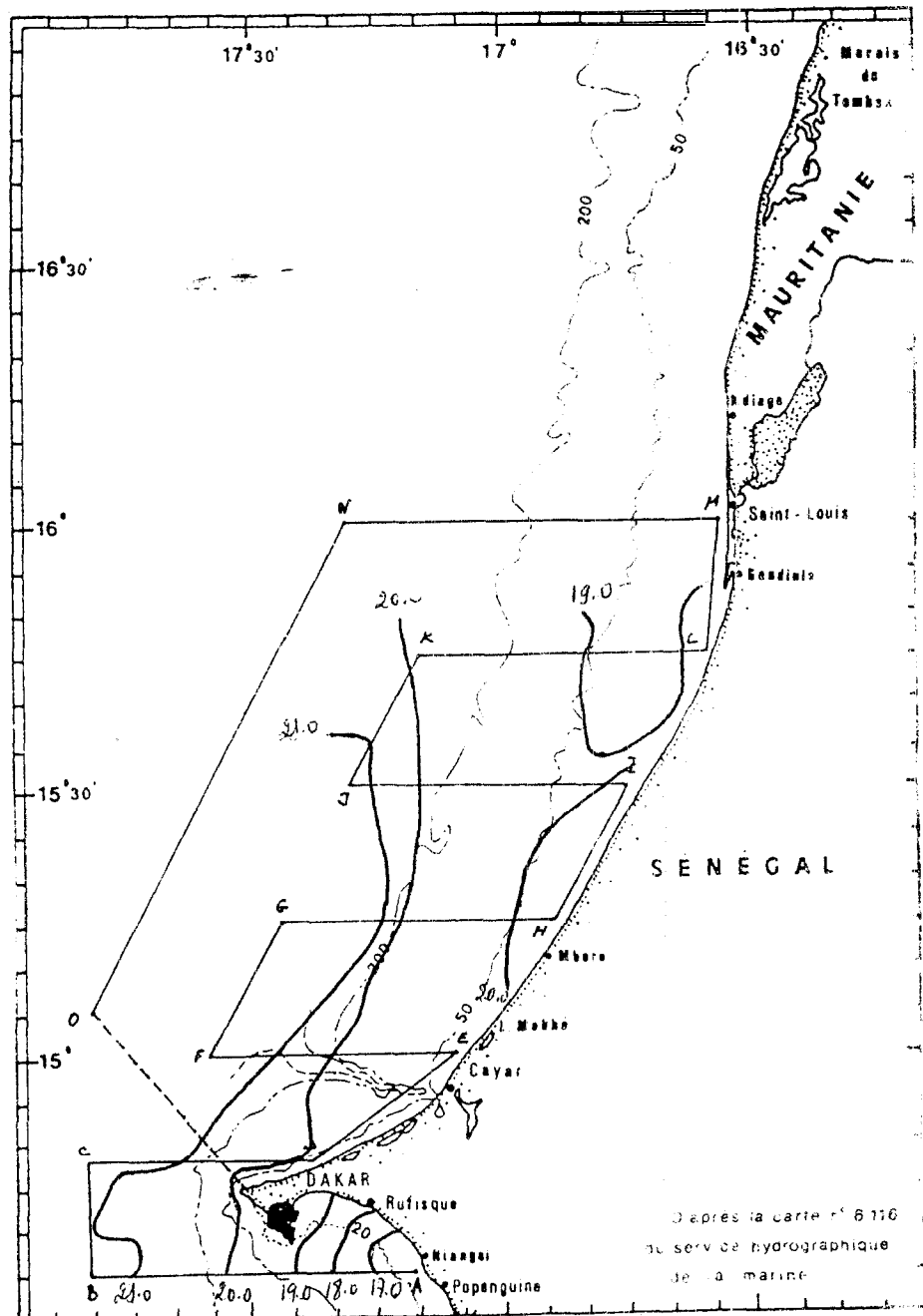


Fig. 16.- Vol du 6 mai 1986

Les températures de surface restent comprises entre 17 et 21°C. Les eaux les plus froides (17-18°C) sont localisées entre Rufisque et Niangal. Au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la côte les eaux se réchauffent. La majeure partie du plateau continental est envahie par des eaux thermiquement homogènes (19 - 20°C).

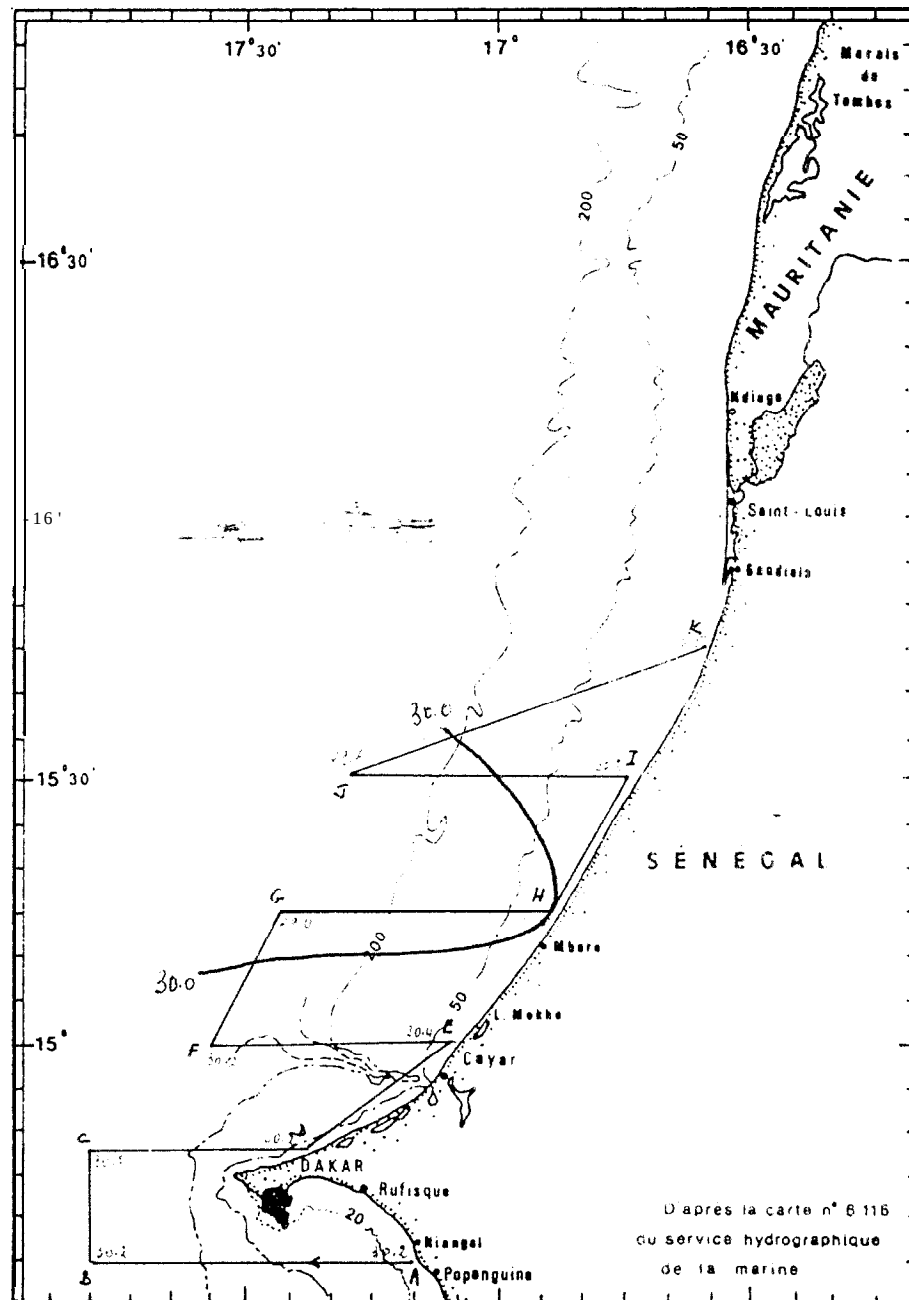


Fig. 17.- Vol du 21 août 1986

La zone couverte au cours de ce vol est thermiquement homogène, les températures variant entre 29°4 et 30°5C soit une augmentation de l'ordre de 10°C par rapport au vol du 06 mai. La température la plus basse, 29°C, est observée après les fonds de 200 m, au large de Mboro et la plus élevée au sud du Gandiolé tout près de la côte.

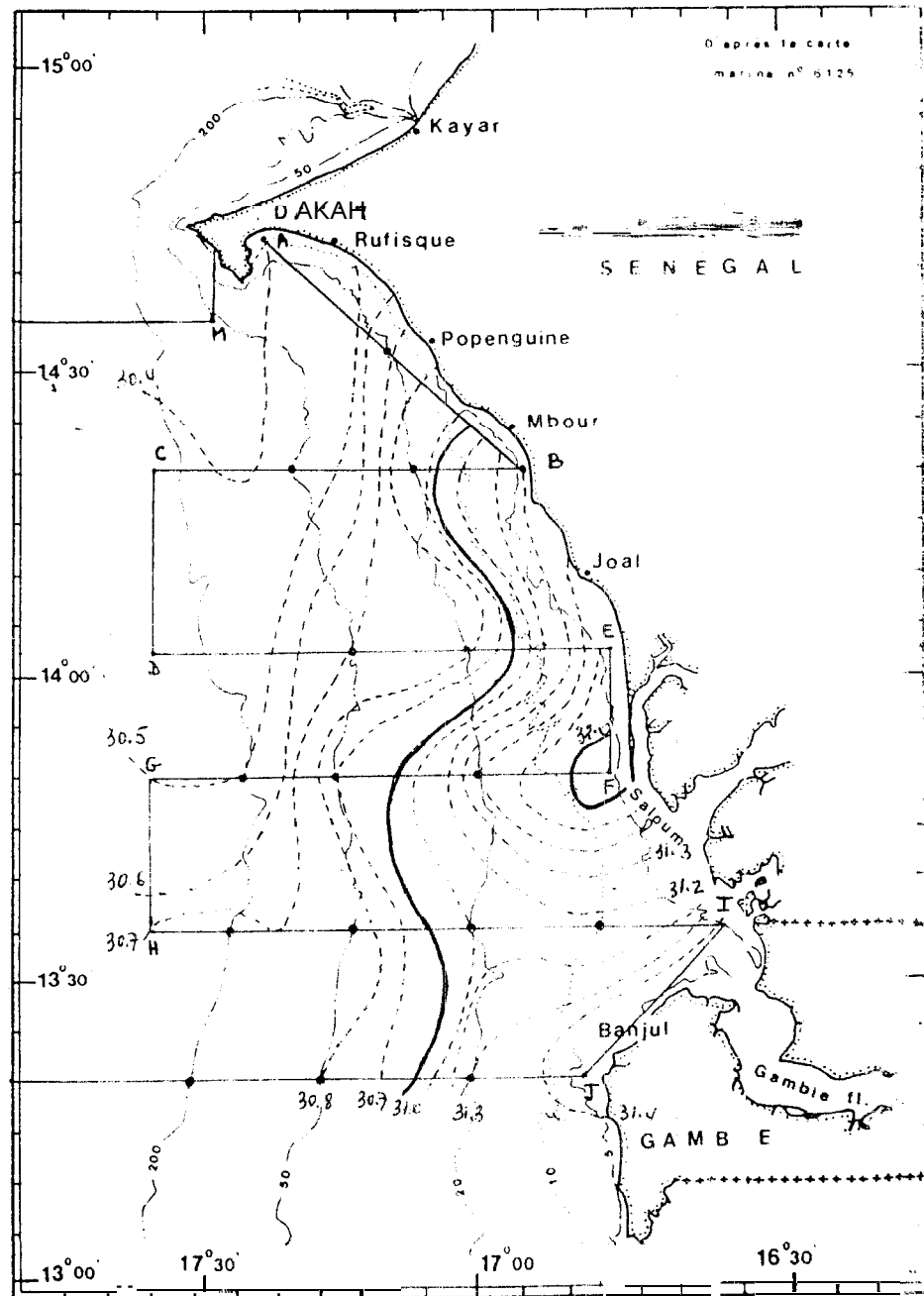


Fig. 18.- Vol du 27 août 1986

Les eaux présentes dans la zone visitée sont très chaudes. Les températures les plus élevées (32°C) sont enregistrées à la côte, dans la zone Joal-embouchure du Saloum. De la côte au large, les températures diminuent légèrement passant de 31°C à 30,6°C.