

REPUBLIQUE FRANCAISE

Ministère de la Coopération

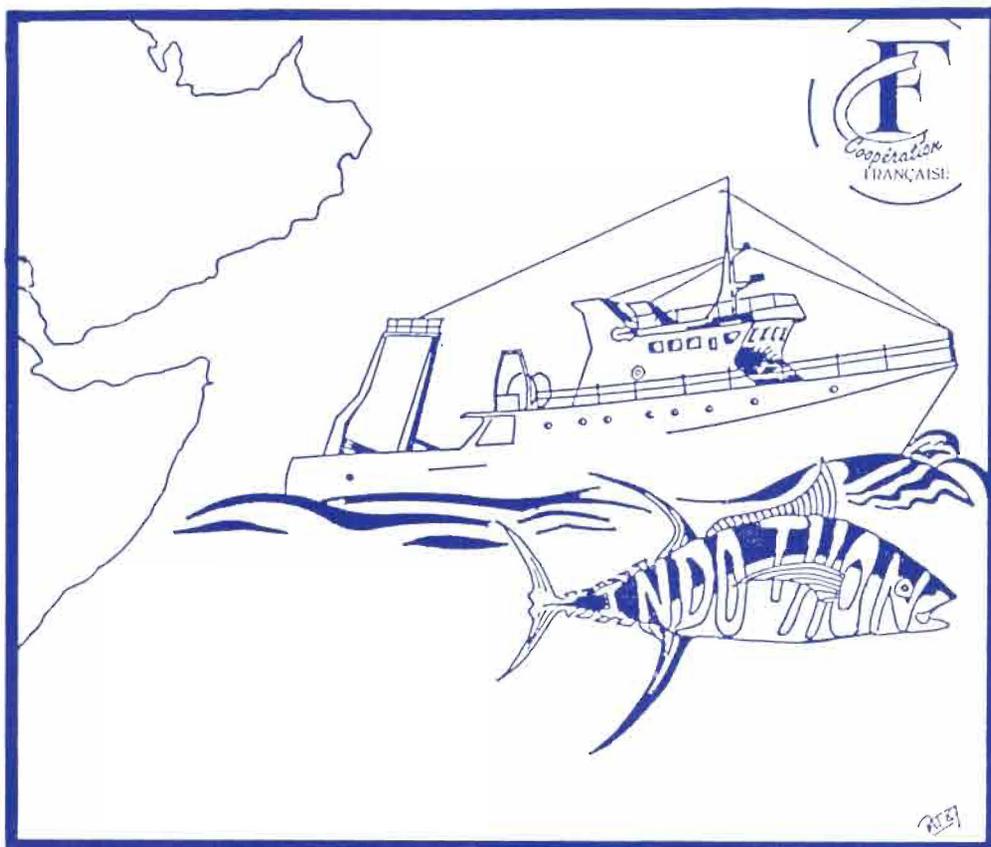
Institut Français
de Recherche Scientifique
pour le Développement en Coopération
(ORSTOM)

REPUBLIQUE DES SEYCHELLES

Seychelles Fishing Authority

LA CAMPAGNE "INDOTHON 01" DU N.O. ALIS DANS LE NORD DES SEYCHELLES

ENVIRONNEMENT ET PECHE THONIERE A LA SENNE



convention FRANCE/SEYCHELLES
n°87/206/01

- FEVRIER 1989 -

REPUBLIQUE FRANCAISE

REPUBLIQUE DES SEYCHELLES

Ministère de la Coopération

Seychelles Fishing Authority

Institut Français
de Recherche Scientifique
pour le Développement en Coopération
(ORSTOM)

**LA CAMPAGNE "INDOTHION 01" DU N.O. ALIS
DANS LE NORD DES SEYCHELLES (3-17 octobre 1987)**

ENVIRONNEMENT ET PECHE THONIERE A LA SENNE

par

F. MARSAC* et B. PITON*

Avec la collaboration de :

G. LABLACHE-CARRARA**

N. JIVAN SHAH**

C. DUPOUY*

A. DESSIER*

Y. DANDONNEAU***

convention **FRANCE/SEYCHELLES**

n°87/206/01

* Centre ORSTOM, IFREMER, BP 70, 29263 Plouzané - France

** Seychelles Fishing Authority, Mahé - Seychelles

*** Centre ORSTOM, Nouméa - Nouvelle Calédonie

AVANT-PROPOS

La valorisation scientifique des trajets de transit des navires océanographiques est une tradition à l'ORSTOM : la campagne ALIZES du N.O. CORIOLIS en 1964 et 1965 et la campagne MUSORSTOM du N.O. VAUBAN en début 1976 entre la France et la Nouvelle-Calédonie en sont les deux exemples les plus connus, sans oublier les 2 campagnes REVES, aux Seychelles en septembre-octobre-novembre 1979 puis en août-septembre 1980 à l'occasion de la venue en France du N.O. CORIOLIS pour travaux de rénovation et de modernisation.

En septembre 1986, a débuté aux chantiers Piriou de Concarneau la construction d'un nouveau bateau océanographique pour Nouméa, l'ALIS, en remplacement du VAUBAN atteint par la limite d'âge ; ce bateau a été lancé le 12 juin 1987 à Concarneau (Cf. annexe 1).

L'idée de valoriser son transit entre la France et la Nouvelle Calédonie via l'océan Indien est donc venue à l'esprit des responsables de l'océanographie de l'ORSTOM, et deux propositions émanant des océanographes du Centre ORSTOM des Seychelles, "INDOTHON" par F. Marsac et "CEPROS" par J.P. Hallier ont été retenues, sous réserve de trouver un complément de financement auprès du Ministère Français de la Coopération.

L'intérêt principal du projet "INDOTHON" dépendait de la date d'arrivée probable de l'ALIS dans l'océan Indien en fin de mousson de sud-ouest, lorsque les conditions climatiques plus clémentes permettent la pêche à la senne dans le grand nord des Seychelles.

Cette époque coïncidant en outre avec les impératifs liés à la navigation entre l'Indonésie et la Nouvelle-Calédonie, tout a été mis en oeuvre pour que l'ALIS soit opérationnel à Djibouti fin septembre 1987.

Il est donc très compréhensible que nous commençons ce rapport en adressant nos plus vifs remerciements aux diverses personnes qui ont contribué à la réalisation de ce pari :

- le personnel des chantiers Piriou,
- les marins de l'ALIS,
- les bailleurs de fonds (Ministère de la Coopération et ORSTOM),
- les informaticiens du Centre ORSTOM de Brest,
- les océanographes du Département "Environnement littoral" du Centre IFREMER de Brest et du Centre ORSTOM de Nouméa.

La préparation technique de la campagne INDOTHON 01, conduite par B. Piton, a été faite au Centre ORSTOM de Brest avec embarquement du maximum de matériel sur le N.O. ALIS à Concarneau avant son départ pour Djibouti le 7 septembre 1987. Ce matériel provenait soit des Centres ORSTOM de Nouméa, Lomé et Pointe-Noire ou encore du département "Environnement du Littoral" du Centre IFREMER de Brest, soit de l'équipement en matériel océanographique de l'ALIS. Le complément de matériel a été embarqué à Djibouti. C'est à Djibouti qu'ont embarqué, le 1er octobre, les scientifiques venant de France :

- **B. Piton**, océanographe-physicien, ORSTOM, Brest ;
- **F. Marsac**, biologiste des pêches, ORSTOM, Seychelles puis Brest, initiateur de la campagne "INDOTHON" ;
- **C. Dupouy**, océanographe-biologiste, ORSTOM, Brest,

et le 3 octobre, ceux venant des Seychelles :

- **G. Lablache-Carrara**, biologiste des pêches,
SFA, Seychelles ;
- **N. Jivan Shah**, biologiste des pêches, SFA, Seychelles.

SOMMAIRE

I. INTRODUCTION

II. OPERATIONS REALISEES ET METHODES UTILISEES

II.1 - *Opérations principales*

II.2 - *Opérations annexes*

III. ENVIRONNEMENT PHYSIQUE ET CHIMIQUE

III.1 - *Les conditions de surface*

III.1.1 - Les conditions météorologiques

III.1.2 - L'hydrologie de surface

III.1.2.1 - La température de surface

III.1.2.2 - La salinité de surface

III.1.2.3 - Les courants de surface

III.2 - *Caractéristiques hydrologiques de subsurface*

III.2.1 - La température

III.2.2 - La salinité

III.3 - *Oxygène et nitrate*

III.3.1 - L'oxygène dissous

III.3.2 - Le nitrate

IV. QUELQUES CARACTERISTIQUES BIOLOGIQUES

IV.1 - *La chlorophylle*

IV.2 - *Le poids sec de zooplancton*

IV.3 - *Quelques repères sur la composition du zooplancton*

V. DESCRIPTION DE LA PECHERIE THONIERE

V.1 - *Les grands traits*

V.2 - *Résultats obtenus en septembre et octobre 1987*

VI. ANALYSE DES TAUX DE CAPTURE

EN FONCTION DES CONDITIONS HYDROLOGIQUES DE SURFACE

VI.1 - *Paramètres physiques*

VI.2 - *Indices d'abondance*

VI.3 - *Tendance générale*

VI.4 - *Analyse des corrélations environnement-pêche*

VI.5 - *Fenêtre environnementale optimale et rendements de pêche*

VII. INTERET DE LA TELEDETECTION SPATIALE
DANS LE SUIVI DES STRUCTURES THERMIQUES SUPERFICIELLES

VIII. CONCLUSION GENERALE

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

LISTE DES FIGURES

FIGURES

I. INTRODUCTION

La pêche thonière à la senne dans l'océan Indien occidental a connu un grand essor à partir de 1984, à la suite principalement des campagnes expérimentales des senneurs français ILE DE SEIN (1980-1981) et YVES DE KERGUELEN (1981-1982) ; en 1987 par exemple, une quarantaine de navires opéraient dans cette zone, comprenant les flottilles française, espagnole, ivoirienne et mauricienne. Cette pêcherie, nouvelle dans la région, a conduit au rassemblement de statistiques précises utilisables en dynamique des populations à des fins de gestion de ressources. Il est donc intéressant d'évaluer l'impact des conditions d'environnement, à savoir le vent, l'état de la mer et les principales caractéristiques du milieu marin (température, salinité et teneur en oxygène dissous), sur l'abondance des bancs de thons et sur leur vulnérabilité vis à vis des engins de pêche. Ces travaux peuvent déboucher sur une détermination approximative des meilleures zones de pêche à telle ou telle époque, et révéler des éléments judicieux dans la rationalisation de l'exploitation d'une flottille moderne.

L'examen de la répartition géographique des prises par unité d'effort (P.U.E.) des senneurs des 4 dernières années (1983-1986) durant les mois de septembre et octobre (fig.1) fait ressortir toute l'importance de la zone située dans le nord des Seychelles, de 5°S à 7°N entre 60°E et 70°E, par rapport aux autres zones potentielles, dans l'est des Seychelles ou entre les Seychelles et Madagascar, par exemple. Il était donc intéressant de saisir l'opportunité qui s'offrait de disposer d'un bateau durant la première quinzaine du mois d'octobre 1987 pour effectuer une campagne océanographique au sein de cette zone apparemment riche en thonidés avec comme objectif principal de trouver dans les structures hydrologiques et physico-chimiques des eaux superficielles et subsuperficielles des explications à ces concentrations saisonnières de thons.

II. OPERATIONS REALISEES ET METHODES UTILISEES

II.1. OPERATIONS PRINCIPALES

L'opération INDOTHON 01 est une campagne classique de couverture d'une zone donnée, dont le principe consiste à sillonner le plus possible cette zone en fonction des possibilités du bateau et à y effectuer un nombre optimum de stations hydrologiques permettant d'obtenir la meilleure description océanographique des 600 premiers mètres. C'est ainsi que de Djibouti à Mahé, il a été parcouru une distance de 3.000 milles et "échantillonné" une surface pouvant être estimée à 1 million de kilomètres carrés (fig.2).

Durant le transit de Djibouti jusqu'à "Error Seamount", il a été effectué 16 prélèvements de surface pour la mesure de la température, de la salinité et, à partir du Cap Guardafui, 9 lancers de sondes bathythermiques XBT avec prélèvements de surface. La campagne de couverture hydrologique proprement dite s'est déroulée ensuite dans les eaux internationales puis seychelloises : elle comprend un réseau de 41 stations hydrologiques qui peuvent être réparties sur 5 radiales de 11°N à 5°S et de 53°E à 61°E.

Chaque station hydrologique, dite de type NANSEN, comprend 16 niveaux de prélèvements de la surface à 650 mètres de profondeur au maximum, pour la mesure de la température, de la salinité et des teneurs en oxygène dissous ; sur les 10 premiers niveaux (de la surface à 150 mètres de profondeur) ont aussi été déterminées les concentrations en nitrite et nitrate. Toutes les mesures et les analyses ont été effectuées à bord de l'ALIS par les méthodes classiques en océanographie, décrites par exemple par Montel et Piton (1980).

Les quantités de chlorophylle contenues dans l'eau des 100 premiers mètres ont été mesurées à partir de filtrations de 10 ml d'eau par niveau de prélèvement, les teneurs en chlorophylle étant déterminées par fluorescence selon la méthode Dandonneau (1982) au Centre ORSTOM de Nouméa.

Simultanément, des filtrations de 500 ml d'eau de mer provenant de la surface et de 10 mètres de profondeur, et, à 9 stations, de la surface à 100 mètres de profondeur, ont été effectuées pour mesurer des teneurs en chlorophylle par des méthodes plus classiques (Strickland et Parsons, 1972) effectuées au laboratoire du Département "Environnement Littoral" du Centre IFREMER de Brest. Suite à l'étude critique des résultats par Dupouy et Aumeerudy (1988), seules les quantités de chlorophylle obtenues par la méthode trichromatique SCOR-UNESCO sont retenues ici.

A chaque station ont été réalisés deux traits verticaux de filet à zooplancton WP-2, à 200 μ de vide de mailles. La récolte du premier trait, de 300 mètres de profondeur à la surface, était recueillie sur gaze à bluter de 100 μ pour détermination des poids sec après étuvage à 60°C au laboratoire "Environnement Littoral" du Centre IFREMER de Brest. Le second trait, de 200 mètres à la surface, une station sur deux, a servi à récolter des échantillons de zooplancton (conservé dans l'eau formolée) pour une analyse qualitative des communautés planctoniques conduite au Centre ORSTOM de Brest par A. Dessier, à la suite de tris faits à la loupe binoculaire.

30 des 41 stations ont aussi fait l'objet de profils en continu de température et de salinité en fonction de la profondeur, de la surface jusqu'à 300 mètres de profondeur à l'aide d'une mini-bathysonde APPLIED MICRO SYSTEMS, permettant d'appréhender des structures verticales fines.

Des observations météorologiques classiques (vent, pression atmosphérique, température de l'air) ont été faites toutes les 6 heures durant toute la campagne, de même que le relevé des dérives fournies par la navigation donnant une idée du courant de surface. Enfin, le thermographe du bord a enregistré la température de surface durant toute la traversée pour signaler les fronts thermiques.

II.2. OPERATIONS ANNEXES

A partir de l'ALIS, il a été hydrographié de façon succincte et positionné le plus précisément possible un haut-fond (sonde minimale : - 191 mètres) non encore signalé sur les cartes marines internationales (Cf. annexe 2).

Un certain nombre de mesures ont été réalisées peu avant INDOTHON 01 par un senseur, le MASCAROI, affecté à mi-temps pour le programme de recherches thonières de l'océan Indien sud-ouest financé par la Communauté Economique Européenne. Ce navire devant traverser la zone étudiée en route directe du Cap Guardafui (ou Ras Asir) à Antsiranana (ex Diégo-Suarez, Madagascar) entre le 15 et le 22 septembre, il a été jugé opportun de demander au Commandant Y. Le Guirriec et au Second Capitaine C. Calvez, d'effectuer des lancers d'XBT ainsi que des prélèvements de surface et des observations de vent ; le bilan s'est élevé à 34 lancers XBT et autant de prélèvements de surface pour la mesure de la température et de la salinité (fig.2).

Dans le même ordre d'idée consistant à connaître les conditions hydrologiques et météorologiques antérieures à la campagne INDOTHON 01, les résultats des traversées du MARION DUFRESNE entre La Réunion et le Cap Guardafui (lancers XBT et dérives déduits de la navigation) effectuées en juillet et août 1987 (Sinode 25 et 26), obtenus grâce à l'obligeance de Michèle Fieux, ont aussi été pris en considération.

III. ENVIRONNEMENT PHYSIQUE ET CHIMIQUE

III. 1. LES CONDITIONS DE SURFACE

Pour avoir un aperçu des conditions météorologiques et océanographiques générales de la région, on peut se référer utilement à Stéquert et Marsac (1986).

III.1.1 - Les conditions météorologiques

Durant son transit de Concarneau vers l'océan Indien, le MASCAROI est passé dans l'ouest immédiat de la zone d'étude INDOTHON le long de 51°E en moyenne, entre le cap Gardafui et le cap d'Ambre, du 15 au 22 septembre 1987, soit une vingtaine de jours avant notre campagne. Il a rencontré des vents de sud-sud-ouest assez forts (20-25 noeuds) du Cap Guardafui jusqu'à 4°N, puis des vents de sud plus faibles (10 à 15 noeuds) entre 4°N et 8°S, et enfin des vents de sud-sud-est (20 à 25 noeuds) de 8°S jusqu'au cap d'Ambre, soit 12°S (fig.3). Ceci est une situation typique du mois de septembre (deuxième quinzaine surtout), période transitoire entre la saison de mousson de sud-ouest et la saison de mousson de nord-est. Durant cette intermousson, le vent se calme dans les deux zones où il soufflait avec force en été boréal, à savoir devant la Somalie (mousson de sud-ouest pouvant atteindre la vitesse moyenne de 15 m/s), et au large du cap d'Ambre (alizés du sud-est jusqu'à 11 m/s en moyenne) (Hastenrath et Lamb, 1979).

Cette tendance à la diminution de la vitesse du vent à cette époque sur la zone étudiée entre les Seychelles et 10°N est confirmée par les observations effectuées du 5 au 17 octobre par l'ALIS : de 10°N à 5°N, la vitesse moyenne du vent est restée voisine de 10 noeuds de secteur ouest en moyenne tandis que de 5°N à 5°S, sa direction est variable et sa vitesse faible, égale ou inférieure à 10 noeuds (fig.3). Ceci est aussi une situation typique du début de l'intermousson d'octobre et novembre. On est donc loin d'une situation anormale dans le champ de vent à laquelle on pouvait s'attendre à la suite des observations sur le recul précoce de la mousson de sud-ouest, observations permettant d'expliquer la fin des précipitations excédentaires dans le sud-est de l'Inde (Hisard, 1987).

III.1.2 - L'hydrologie de surface

Les caractéristiques hydrologiques de surface de cette intermousson seront analysées en tenant compte des effets causés par l'upwelling intense qui a prévalu le long de la côte somalienne en juillet-août sous l'effet de la mousson de sud-ouest.

III.1.2.1 - *La température de surface*

L'océan Indien tropical est un immense "marais thermique", en majeure partie occupée par l'équateur thermique, où la température de surface est de 25°C à 29°C en juillet-août et de 27°C à 30°C en avril-mai.

Hormis les changements saisonniers été/hiver, la seule zone à être le siège d'un grand bouleversement thermique est la zone côtière de la Somalie où la température minimale observée en été boréal peut descendre jusqu'à 13°C près de la côte par 9°N (Foxton, 1965), avec un courant de surface vers l'est-nord-est pouvant atteindre 7 noeuds, sous l'action de la forte mousson de sud-ouest. Les eaux froides sont remontées depuis une profondeur de 300 mètres (Warren *et al.*, 1966). La répartition horizontale de la température de surface entre les Seychelles et Socotra, pour la période d'intersaison du 15 septembre au 16 octobre 1987 est donnée par la figure 4a qui inclut les mesures effectuées par le MASCAROI et par l'ALIS. Le refroidissement dû à l'upwelling (température inférieure à 26°C) se fait sentir jusqu'à une centaine de milles au large de

la côte somalienne. Entre 9°N et 11°N, la température minimale observée à près de 40 milles de la côte est encore voisine de 20°C. Cette eau froide, de moins en moins advectée vers le nord-est, est entourée par une eau nettement plus chaude de température dépassant 30°C dans le golfe d'Aden et 28°C en mer d'Arabie. Un front thermique bien marqué a été observé par l'ALIS (3°C en 1 mille) dans le nord immédiat du cap Guardafui; un autre plus lâche a été trouvé dans l'est de "Error Seamount". La zone couverte par INDOTHON 01 a une température superficielle supérieure à 27°C présentant un gradient croissant vers l'est. L'isotherme 29°C délimite une vaste zone centrée sur l'équateur où la température dépasse 30°C. Cette répartition de la température de surface est très voisine de celle trouvée sur les cartes NWS, périodes du 16 septembre au 1^{er} octobre et du 1^{er} au 16 octobre 1987 (fig.5). Ces cartes montrent en outre des anomalies positives de 0,5° à 1°C à partir de la seconde quinzaine du mois de juin 1987 et de 2°C durant la période du 16 septembre au 1^{er} octobre 1987. Schématiquement, on voit que du 15 septembre au 1^{er} novembre 1987 l'isotherme 28°C "remplace" l'isotherme 27°C habituellement observée, comme en 1986 par exemple .

III.1.2.2 - La salinité de surface

Une des (nombreuses) particularités de l'océan Indien est la relative proximité de vastes zones aux pluviosités très différentes : alors que les quantités annuelles de pluies sont inférieures à 250 mm sur la Mer Rouge, le Golfe d'Aden, le nord-ouest de la mer d'Arabie, elles excèdent 1500 mm autour de l'Inde et 2000 mm entre l'équateur et 10°S, des Seychelles jusqu'à l'archipel indonésien (d'après Schott, 1935, cité dans Tchernia, 1978). Il en découle que la salinité devient un traceur important pour détecter et suivre les masses d'eau superficielles et subsuperficielles.

Dans la zone INDOTHON, les isohalines de surface dessinent deux zones bien distinctes (fig.4b) : une zone à salinités relativement faibles, jusqu'à des valeurs inférieures à 35,4 ‰, le long de la côte somalienne et une zone à salinités élevées jusqu'à des valeurs dépassant 36,2 ‰, provenant de la mer d'Arabie.

De même qu'a été invoqué le phénomène d'upwelling côtier pour expliquer les faibles températures devant la côte somalienne, cet upwelling pouvant solliciter l'eau se trouvant jusqu'à 300 mètres de profondeur, de même faut-il faire intervenir cette eau subsuperficielle pour expliquer la présence d'une eau peu salée le long de la côte somalienne. En effet, l'eau superficielle dessalée du courant sud-équatorial aboutit dans l'ouest de l'océan Indien autour de 10°S avec une salinité de 35,3 à 35,4 ‰. La salinité de cette eau ne peut qu'augmenter lors de son cheminement vers le nord-est par le courant de Somalie, du fait d'un net excédent d'évaporation sur les précipitations dans cette zone en été boréal. Or, des valeurs de salinité voisines de 35,1 ‰ peuvent être trouvées en surface près de la Somalie vers 10°N à cette époque (Warren *et al.*, 1966). Il est trouvé devant la Somalie et jusqu'à 12°N, à des niveaux intermédiaires entre 300 et 600 mètres de profondeur, une eau à salinité minimale inférieure à 35,2 ‰ résultant du mélange, au voisinage de l'équateur, entre l'eau antarctique intermédiaire à faible salinité et l'eau d'origine nord-indienne, l'eau de la Mer Rouge, à salinité plus élevée. Cette eau "équatoriale" est entraînée en été vers le nord sous l'effet de la mousson du sud-ouest (Warren *et al.*, 1966). L'eau de surface à salinité inférieure à 35,4 ‰ trouvée durant INDOTHON serait donc un reliquat de cette eau upwellée devant la Somalie et formée à l'équateur à des profondeurs intermédiaires. Cette eau dessalée fait intrusion vers le nord-est, autour de Socotra, dans la masse d'eau salée superficielle de la Mer d'Arabie et du Golfe d'Aden créant deux fronts halins, l'un tout près du Cap Guardafui, l'autre vers 54°-55°E (fig.4b). Au sud de 5°N et dans l'est de 50°E, il est trouvé des salinités de surface voisines de 35,7 ‰, habituelles dans cette zone de transition entre les eaux salées du nord de l'océan Indien et les eaux dessalées transportées par le courant sud-équatorial.

III.1.2.3 - Les courants de surface

Le phénomène de mousson devant la Somalie, avec alternance des moussons de sud-ouest en été et de nord-est en hiver, provoque des bouleversements importants dans la circulation de surface à moyenne échelle. En particulier durant l'été, l'action du vent très fort de sud-ouest peut induire, du voisinage de l'équateur jusqu'à 13°N, jusqu'à 4 vortex anticycloniques successifs de diamètres compris entre 150 et 250 milles, approximativement centrés sur les parallèles 1°S, 3°N, 8°30'N et 12°N (Swallow et Fieux, 1982 ; Luther et O'Brien, 1985). Le plus important d'entre eux et le plus durable dans le temps est celui trouvé entre 6°N et 12°N (*the Great Whirl*) que l'on peut retrouver encore en période d'intermousson en octobre-novembre (Bruce et al., 1981). Ce tourbillon prend naissance tout près de la côte somalienne dans les parages du Ras Hafer vers 9°N suite à l'accélération brutale du courant de surface, jusqu'à atteindre des vitesses de 7 noeuds.

Les dérives issues de la navigation du MASCAROI et de l'ALIS, rassemblées sur la figure 6a, donnent des indications sur le courant de surface.

Dans les parages immédiats du Cap Guardafui, le courant de surface porte à l'ouest-nord-ouest, vers le Golfe d'Aden, plus important en début octobre (jusqu'à 2,4 noeuds) qu'en mi-septembre : c'est déjà une situation d'hiver boréal, c'est-à-dire de mousson de nord-est, avant l'établissement de cette mousson, comme s'il y avait un appel d'eau vers le Golfe d'Aden et la mer Rouge.

Au large de la Somalie, il est trouvé entre 4°N et 10°N l'ébauche d'une circulation anticyclonique avec une dérive très forte, jusqu'à 3,7 noeuds, vers l'est-nord-est devant la Somalie, puis vers le sud plus au large où il a été trouvé des dérives maximales de 2,5 noeuds : ce sont les traces encore bien marquées du vortex qui s'est développé entre 4°N et 10°N au cours de la mousson de sud-ouest et qui continue à exister durant l'intersaison en octobre-novembre. L'ébauche de ce vortex est trouvée aussi dans la topographie dynamique (fig.6b), qui indique donc une accumulation d'eau centrée sur 7°N/54°E, la vitesse géostrophique maximale à 6°-7°N/55°-56°E étant de 81 cm/s (1,6 noeuds).

Dans l'est de ce vortex, au-delà de 56°E, la circulation superficielle est indéfinie. En revanche, ce qui semble être le contre-courant équatorial, portant à l'est de part et d'autre de l'équateur entre 5°N et 4°S, est plus nettement marqué, la dérive moyenne observée étant voisine de 1 noeud.

III.2. CARACTERISTIQUES HYDROLOGIQUES DE SUBSURFACE

III.2.1. La température

Si les traces laissées par la forte mousson de sud-ouest d'été sont encore visibles en septembre-octobre en surface, elles le sont encore plus en subsurface. En effet, une des conséquences hydrologiques des tourbillons anticycloniques est l'enfoncement de la thermocline par accumulation d'eau en leur centre.

La répartition verticale de la température entre 12°N et 10°S approximativement sur 51°E obtenue à partir des mesures XBT du MASCAROI durant la deuxième quinzaine de septembre souligne bien (fig.7a) cet enfoncement de la thermocline entre 8°N et 4°N : la couche à gradient vertical maximum située vers 40 mètres de profondeur à 10°N, se trouve vers 240 mètres à 7°N, et vers 110 mètres à 1°N.

On assimile souvent l'immersion de l'isotherme 20°C à la profondeur de la thermocline. La figure 8b représentant la répartition de ces immersions montre toute l'importance de l'influence du "grand tourbillon" sur la structure thermique des 300 premiers mètres devant la Somalie entre 2°N et 10°N. Entre 30 et 240 mètres de profondeur, un front thermique très marqué sépare l'eau froide upwellée le long de la côte somalienne de l'eau plus chaude située au coeur du tourbillon : à 100 mètres de profondeur par exemple, la température de l'eau passe de 15°C à 25°C en une centaine de milles du nord vers le sud (fig.7a et 8a), ce gradient horizontal étant vraisemblablement encore plus fort entre la côte et le proche large de la Somalie. En fait, l'upwelling de Somalie est très violent mais ne le reste que relativement peu de temps en juillet et août, d'où "affrontements" localisés avec les structures caractéristiques du milieu tropical établies auparavant.

Ce grand tourbillon existe encore durant la 1^{ère} quinzaine d'octobre lors du passage de l'ALIS qui traverse sa bordure orientale entre 53°E et 55°E, de 7°N à 4°N, avec une température à 100 mètres de profondeur supérieure à 25°C (fig.7c, 7d, 7f et 8a).

Il semble que l'ALIS ait traversé un deuxième tourbillon dans le voisinage de "Error Seamount" dans le sud-est de Socotra, moins important que le précédent mais très bien dessiné sur la coupe C1 C1 (fig.7b) où l'on voit, située entre 55°E et 56°E, un peu au nord de 10°N, une couche d'eau d'une centaine de mètres d'épaisseur où la température est supérieure à 27°C. L'ébauche de ce tourbillon anticyclonique est effectivement visible sur la carte des dérives de la figure 6a ; il peut être assimilé à celui mis en évidence en août, entre 11°N et 14°N dans l'est de Socotra par Luther et O'Brien (1985).

Il est intéressant de noter que les 2 tourbillons mis en évidence pendant INDOTHON se trouvent au voisinage des hauts-fonds "Chain Ridge" (-1778 mètres) et "Error Seamount" (-368 mètres) et correspondent à une élévation du niveau de la mer.

En dehors de ces structures liées aux tourbillons, "héritage" de la forte mousson de sud-ouest en juillet-août, la structure thermique des eaux subsuperficielles dans le reste de la zone est beaucoup moins perturbée et plus représentative du milieu tropical, avec une couche homogène plutôt épaisse, entre 40 et 80 mètres, et des températures à 100 mètres de profondeur généralement supérieures à 22°C (fig.8a). On note cependant au voisinage de l'équateur, une légère, mais significative, remontée de la thermocline vers la surface (fig.7f, 7g et 8b) se traduisant par des températures à 100 mètres de profondeur voisines de 20°C (fig.8a). Serait-ce l'ébauche de la divergence équatoriale, comme le suggèrent, d'ailleurs, les dérives relevées dans cette zone (fig.6a) ? La grande divergence entre le système du courant sud-équatorial et le système des contre-courants équatoriaux est centrée sur 7°S, mais il est possible, au vu de la répartition de la température à 100 mètres de profondeur présentés ici (fig.8a) et de celle présentés dans l'atlas de Wyrtki (1971) qu'il y ait aussi effectivement divergence au voisinage de l'équateur entre 53°E et 70°E.

III.2.2. La salinité

Le nord-ouest de l'océan est caractérisé par une évaporation nettement excédentaire sur les précipitations; il en découle la formation de masses d'eau superficielles, subsuperficielles et intermédiaires marquées par un maximum de salinité s'étendant vers le sud. En revanche, arrivent de l'est de la zone étudiée des eaux superficielles et subsuperficielles dessalées originaires des parages de l'Insulinde, transportées par le courant sud-équatorial, et du sud une eau intermédiaire provenant de la convergence antarctique. D'après l'analyse des masses d'eau faite dans l'atlas de Wyrtki (1971) par la méthode des "core layers", on peut distinguer dans la zone INDOTHON les eaux suivantes :

- l'eau subsuperficielle à maximum de salinité venant de la mer d'Arabie, vers 50 mètres de profondeur,

- l'eau subsuperficielle à maximum de salinité originaire du Golfe Persique au voisinage de l'immersion moyenne 340 mètres,

- l'eau intermédiaire à minimum de salinité issue de la zone équatoriale influencée par l'eau antarctique intermédiaire, vers 400-500 mètres de profondeur,

- l'eau intermédiaire à maximum de salinité provenant de la Mer Rouge vers 700 mètres de profondeur.

A la diffusion et à l'advection généralement lentes dans les océans à ces niveaux subsuperficiels et intermédiaires, s'ajoutent les brassages importants par la forte mousson de sud-ouest le long de la Somalie dans les 300-400 premiers mètres ; il en découle des structures verticales parfois très perturbées visibles sur les figures 9a et 9f.

L'eau de la Mer d'Arabie est largement présente sur toute la zone étudiée à la profondeur moyenne de 30-40 mètres à 10°N, avec des valeurs maximales de 36,26 ‰ (fig.9a), ces valeurs étant sensiblement plus élevées, jusqu'à 36,49 ‰, vers 7°N, à l'immersion moyenne située entre 50 à 100 mètres (fig.9b) ; elle est encore bien définie à 3°N (fig.9c) et jusqu'au voisinage du plateau des Seychelles où les valeurs maximales atteignent cependant à peine 35,60 ‰ (fig.9d et 9e). C'est la structure verticale de cette eau qui est la plus fortement perturbée par le grand tourbillon rencontré vers 7°N, au point de présenter un véritable front halin avec l'eau de faible salinité située le long de la côte somalienne où la salinité maximale n'est que de 35,40 ‰ (fig.9b) ; lorsque ce front est rompu, il est trouvé (fig.9c) une succession de maximum et de minimum dans les 200 premiers mètres. La répartition horizontale de la salinité à 100 mètres de profondeur rend compte (fig.8c) de l'hétérogénéité de cette eau subsuperficielle. Par contre, l'eau dite du Golfe Persique n'est que peu présente sur la zone, car plus confinée vers la côte somalienne comme le montre d'ailleurs l'atlas de Wyrтки : on peut la détecter entre 200 et 400 mètres de profondeur à 7°N (fig.9b et 9e) et à 3°N (fig.9c).

Enfin, la masse d'eau à minimum de salinité, qui surmonte l'eau à maximum de salinité de la mer Rouge, est bien individualisée sur toute la zone entre 300 et 600 mètres de profondeur. En fait, la seule masse d'eau à minimum de salinité bien identifiée à ces profondeurs intermédiaires est l'eau originaire de la convergence antarctique vers 50°S, perdant son identité vers 7°S dans l'océan Indien lorsque sa salinité atteint 34,75 ‰ vers 680 mètres de profondeur (Wyrтки, 1971). Mais on peut admettre que cette masse d'eau à salinité minimum puisse encore étendre son influence vers le nord, au-dessus de l'eau de la mer Rouge, sous l'appellation *Eau Antarctique intermédiaire supérieure*, identifiée dans le canal de Mozambique par Piton *et al.* (1981), "aspirée" par l'upwelling somalien d'été. C'est ainsi qu'on la trouve vers 500 mètres de profondeur avec une salinité voisine de 34,9 ‰ jusqu'à 2°S (fig.9e), sa profondeur moyenne diminuant progressivement jusqu'à 300 mètres à 10°N où sa salinité atteint 35,3 ‰-35,4 ‰ (fig.9a). Le brassage intensif de l'eau devant la Somalie peut reprendre cette eau dessalée jusqu'à ramener à la surface comme vu précédemment, ou à des niveaux intermédiaires sous forme de lentilles comme celle observée à 150 mètres de profondeur avec une salinité de 35,3 ‰ sur la figure 9b, ou même à 50 mètres avec une salinité de 35,4 ‰ (fig.9c).

III.3. OXYGENE ET NITRATE

III.3.1. L'oxygène dissous

Les teneurs en oxygène dissous de l'eau de mer dépendent de processus biochimiques (respiration de la biomasse, oxydation de la matière organique) mais aussi de la circulation et donc des caractères hydrologiques de la masse d'eau superficielle d'origine. Effectivement, une autre particularité de l'océan Indien est le fait qu'il est fermé au nord, quasiment dès 25°N par le continent asiatique, par opposition aux océans Atlantique et Pacifique ouverts vers le nord jusqu'aux latitudes froides. Il s'ensuit que la circulation subsuperficielle et intermédiaire y est plus lente que dans les océans ouverts et que l'eau s'y renouvelle moins vite ; la limite entre cette partie semi-fermée de l'océan Indien où prédominent les influences continentales selon la définition utilisée par Tchernia *et al.* (1958) est située au niveau de la divergence entre le courant sud-équatorial et le contre-courant équatorial, entre 6°S à 9°S. Si l'on ajoute que l'upwelling somalien d'été, prolongé par celui qui se développe dans le sud-est de la péninsule arabique, induit une forte production organique avec en bout de cycle une consommation plus importante d'oxygène par oxydation aux niveaux subsuperficiels, il faut s'attendre à trouver à ces niveaux pourtant relativement proches de la surface des teneurs faibles en oxygène dissous. C'est ainsi qu'au-dessous de la couche superficielle d'une centaine de mètres bien oxygénée (teneurs supérieures à 4 ml/l), il est trouvé une couche d'eau à minimum d'oxygène centrée sur 200 mètres de profondeur en moyenne, dont la teneur va croissant depuis la région nord (0,4 ml/l par 10°N/57°E) (fig.10a) jusqu'aux Seychelles (1,5 ml/l vers 3°N : fig.10c; 2,5 ml/l aux accores du plateau : fig.10b et 10e). L'accroissement progressif vers le sud des teneurs en oxygène dans cette couche subsuperficielle est d'autant plus lent que l'eau intermédiaire sous-jacente originaire de la Mer Rouge est aussi caractérisée par un minimum d'oxygène (teneurs minimales voisines de 1 ml/l vers 700 mètres de profondeur) (fig. 10a,b,c,e et 10f). Ces 2 eaux à minima d'oxygène très marqués "digèrent" peu à peu par diffusion le maximum d'oxygène lié à la couche supérieure de l'eau Antarctique intermédiaire atteignant l'équateur avec des teneurs voisines de 3 ml/l ; ce maximum d'oxygène pouvant être suivi jusqu'à 10°N d'après les coupes présentées, en conformité d'ailleurs avec celles présentées dans l'atlas de Wyrski (1971). Les teneurs en oxygène de l'eau subsuperficielle dans la zone INDOTHON témoignent bien du brassage important des eaux à ces niveaux entre l'équateur et 10°N : les valeurs trouvées à 100 mètres de profondeur varient de 1,75 ml/l au minimum à 4,52 ml/l au maximum (fig.11a) et de 0,46 ml/l à 3,35 ml/l à 200 mètres (fig.11b). Si des teneurs relativement élevées sont associées au grand tourbillon anticyclonique centré sur 7°N, des zones où elles sont très faibles subsistent sur 10°N et 7°N par 57°E-58°E, par exemple, témoignant vraisemblablement d'un faible renouvellement de l'eau plutôt que d'une production intense dans la couche euphotique immédiatement au-dessus.

III.3.2. Le nitrate

Du fait de l'établissement de juin à août d'un upwelling localement intense devant la Somalie, il était intéressant de connaître son impact sur les premiers maillons de la chaîne alimentaire plus au large un peu plus d'un mois après, et dans un premier temps de voir s'il était trouvé du nitrate en surface.

Cet upwelling peut effectivement provoquer d'importants enrichissements en nitrate de l'eau superficielle (jusqu'à 20 $\mu\text{atg/l}$) tout près de la côte, principalement vers 5°N et surtout 10°N (Smith et Codispoti, 1980) en juillet-août. Mais ces enrichissements saisonniers restent très côtiers, les teneurs en nitrate atteignant à peine 1 $\mu\text{atg/l}$ en surface à 300 milles au large. Elles sont effectivement à peine décelables en surface (0,1 $\mu\text{atg/l}$) par 10°N à 300 milles de la côte (fig.12a), et nulles partout ailleurs. Cependant, le gradient vertical est important, des valeurs supérieures à 25 $\mu\text{atg/l}$ étant généralement

trouvées dès l'immersion 120-140 mètres (fig. 12a, b, c, d, e) avec toutefois des valeurs nettement plus faibles, voisines de $10 \mu\text{atg/l}$ à ces immersions, dans le grand tourbillon (fig.12b et 12e). L'influence de ce tourbillon convergent sur l'approvisionnement en nitrate de la couche subsuperficielle est bien montré par la figure 10c où les teneurs en nitrate au milieu du tourbillon sont inférieures à $5 \mu\text{atg/l}$ à 100 mètres de profondeur alors qu'elles atteignent $20 \mu\text{atg/l}$ à 100 milles plus à l'est. La nitracline est relativement proche de la surface, et, si l'on admet que son sommet coïncide avec une teneur de $0,5 \mu\text{atg/l}$, on voit (fig.13a) que le sommet de la nitracline, variant entre 11 mètres et 78 mètres de profondeur est assez fréquemment trouvé au-dessus de 50 mètres, ce qui peut être considéré dans une zone tropicale comme une condition plutôt favorable au développement d'un maximum de chlorophylle et donc d'un maximum de production primaire (Herbland *et al.*, 1983).

IV. QUELQUES CARACTERISTIQUES BIOLOGIQUES

IV.1. LA CHLOROPHYLLE

Il n'est pas facile de comparer entre elles les teneurs en chlorophylle provenant de campagnes différentes, les méthodes de mesures utilisées n'étant que très rarement les mêmes d'une campagne à l'autre. Si l'on considère comme relativement élevées les valeurs de chlorophylle a trouvées en surface en juillet-août 1979 en des zones restreintes vers 4°N et 11°N devant la Somalie, à savoir de 1 à 5 mg/m^3 au maximum et $0,4$ à 1 mg/m^3 en moyenne (Smith et Codispoti, 1980), on peut considérer la zone INDOTHON comme relativement riche en chlorophylle en surface. En effet, les valeurs de chlorophylle a trouvées dans les 10 premiers mètres dépassent fréquemment $0,4 \text{ mg/m}^3$, principalement dans l'est-sud-est de "Error Seamount", et à 60°E - 61°E entre 6°N et 9°N (fig.13a), de même qu'à l'approche du plateau des Seychelles. Les faibles valeurs, inférieures à $0,20 \text{ mg/m}^3$, sont principalement trouvées au sud de 3°N . Ces dernières valeurs se rapprochent de celles trouvées entre Madagascar et l'équateur par Piton et Magnier (1975) ou encore dans l'Atlantique tropical par Herbland *et al.* (1983). En subsurface, les valeurs maximales trouvées sont voisines de $0,5 \text{ mg/m}^3$ vers 50 mètres de profondeur dans les zones pauvres en chlorophylle de surface et sont comprises entre $0,5 \text{ mg/m}^3$ et 1 mg/m^3 dans les zones plus riches. Ce sont des valeurs du même ordre de grandeur que celles trouvées dans la divergence équatoriale de l'océan Atlantique par exemple (Herbland *et al.*, 1983).

IV.2. LE POIDS SEC DE ZOOPLANCTON

Le filet WP-2 à 200μ de vide de maille est censé recueillir la fraction de mésozooplancton de taille comprise entre 200μ et 10 mm, dans les 300 premiers mètres. Le poids sec des différentes récoltes donnent donc une idée de la richesse de l'eau en zooplancton, exprimée en gramme par mètre carré dans les 300 premiers mètres, sans distinction entre les récoltes faites de jour et celles de nuit. Les quantités pesées vont de $0,42$ à $3,80 \text{ g/m}^2$: les plus fortes valeurs sont trouvées dans les parages du grand tourbillon, ainsi que dans le sud-est de Socotra, près de "Error Seamount" (fig.13b). Les plus faibles valeurs sont trouvées par intermittence sur le trajet, en particulier au voisinage de l'équateur. Il est très délicat de comparer ces résultats avec ceux provenant d'autres campagnes car, comme pour la chlorophylle, les méthodes peuvent être très différentes d'une campagne à l'autre. Il est cependant intéressant de signaler que Smith (1982) a trouvé des poids secs de biomasse totale, recueillie au filet "Bongo" avec 223μ de vide de maille en traits obliques de 200 mètres à la surface devant la Somalie en juillet-août 1979, atteignant 5 g/m^2 au maximum, mais avec une moyenne de 2 à 4 g/m^2 . Ces quantités trouvées dans une zone d'upwelling, donc plutôt importantes, ne sont donc

cependant pas très supérieures à celles trouvées durant INDOTHON plus au large un mois après la période d'upwelling intense; ces dernières sont en moyenne supérieures à celles trouvées entre l'équateur et Madagascar par Piton et Magnier (1975).

IV.3. QUELQUES REPERES SUR LA COMPOSITION DU ZOOPLANCTON (A.DESSIER)

19 pêches planctoniques, effectuées une station sur deux entre 200 m et la surface (fig.13b), ont permis une analyse sommaire des communautés zooplanctoniques : identification et dénombrement des principaux genres et espèces de copépodes ainsi qu'un dénombrement global des grands taxons (chaetognathes, ostracodes, salpes, appendiculaires, etc..).

Ces récoltes ont ensuite fait l'objet de deux classifications (classification ascendante hiérarchique, Roux, 1985), l'une prenant seulement en compte les espèces et genres de copépodes présents dans au moins 3 récoltes, l'autre considérant aussi les autres taxons. Dans les deux cas, les partitions isolent fortement les récoltes 8, 9 et 11, la récolte 8 étant la mieux individualisée et constituant une des 3 classes de la partition de la seconde hiérarchie. Les récoltes 1 et 2 présentent aussi, dans une moindre mesure, une certaine originalité. L'heure à laquelle a été effectuée la récolte 10 (vers 13h) explique probablement qu'elle ne soit pas rattachée aux récoltes géographiquement voisines exécutées de nuit ou en fin de journée. Nous retrouvons donc la manifestation, au niveau des peuplements zooplanctoniques, du vortex représenté sur la figure 6b (le grand tourbillon).

Dans la récolte n°8 dominent largement les populations herbivores. L'espèce de copépepe la plus caractéristique en est *Rhincalanus cornutus* ; il faut y ajouter les espèces du genre *Eucalanus* : *E. pileatus*, *E. subtenuis* et *E. attenuatus*, ainsi que *Undinula darwinii*. D'autres espèces herbivores, telles *Calanus minor*, *Canthocalanus pauper*, *Neocalanus minor*, contribuent aussi à l'individualisation de cette récolte. Parmi les autres taxons, les salpes prennent une importance prépondérante avec un effectif de 2 à 300 individus par m³ (de très loin le plus important observé au cours de la campagne).

Dans la classe regroupant les récoltes 9 et 11 les espèces herbivores des genres *Eucalanus* et *Undinula* sont encore bien représentées ; il s'y ajoute des espèces de plus petite taille *Paracalanus aculeatus* et *Acrocalanus gracilis*. Les genres carnivores, tels *Oncaea* et *Euchaeta*, voient leur importance s'accroître. On peut interpréter les communautés représentées par cette classe comme un stade d'évolution plus avancé que celui des communautés figurées par la récolte 8 où dominaient des espèces herbivores de taille relativement grande. Dans cette même région, il faut signaler la capture de quelques individus appartenant à l'espèce *Calanoïdes carinatus*, caractéristique des peuplements de copépodes des zones d'upwelling (Smith, 1982 ; Dessier, 1981, etc..)

Deux autres classes isolent les récoltes 1 et 2. La récolte 1 présente certaines similitudes avec les récoltes 9 et 11 tandis que la 2 semblerait plutôt représenter des peuplements superficiels, ce que pourrait expliquer l'heure de la pêche (vers midi).

Les autres récoltes ne présentent aucune caractéristique particulière. Globalement, le total des copépodes présente un gradient d'abondance décroissante, à la fois ouest-est et nord-sud (maximum dans la récolte 9 : 6 à 700 par m³ ; minimum dans la récolte 19 : 40 à 50 par m³). Une analyse en composantes principales donne une ordination des récoltes par rapport au premier axe très liée à cet effectif (corrélation de 0,9 entre les coordonnées sur cet axe et le total copépodes).

V. DESCRIPTION DE LA PECHERIE THONIERE

V.1. LES GRANDS TRAITS

Les grands thoniers senneurs ne pêchent que durant une saison bien précise dans le bassin de Somalie. Leur activité démarre généralement à partir de mi-août et dure jusqu'à novembre. D'août à octobre, la zone d'action gagne vers le nord (jusqu'à 8°-9°N principalement) puis un repli vers le sud-est s'amorce en novembre (fig.14). Les rendements obtenus par les flottilles sont parmi les plus élevés de l'année, de l'ordre de 25 à 35 tonnes/jour de pêche (sur une base bi-hebdomadaire). Excepté durant la saison 1987, période couverte par la campagne INDOTHON 01, les prises par unité d'effort (P.U.E.) les plus fortes sont enregistrées en octobre. De 1983 à 1987, les mois de septembre et octobre ont regroupé à eux seuls de 20 à 27% des prises annuelles (c'est-à-dire plus de 25 000 tonnes), ce qui montre tout l'intérêt que comporte cette zone. L'essentiel des prises (90%) est réalisé sur épaves dérivantes. L'espèce prédominante est le listao (*Katsuwonus pelamis*) du fait que, concentrée dans les 60 premiers mètres sous les épaves, elle est la première touchée par la senne et par conséquent la plus vulnérable. De petits albacores (*Thunnus albacares*) et patudos (*Thunnus obesus*) se mélangent aussi aux listaos de la couche d'eau superficielle.

Il semble que le début de la saison de pêche dans cette zone soit conditionné par le vent. En pleine saison d'upwelling, des vents violents balayent la région et l'état de la mer qui en résulte rend la manoeuvre du gréement de pêche très délicate, voire dangereuse. Lorsque le vent affirme une tendance à la baisse, qui peut débiter courant août, les unités de pêche commencent leurs opérations. Pour montrer cet effet, nous avons calculé des statistiques moyennes par bateau-jour pour l'ensemble de la flottille, en fonction de la force du vent, de 1983 à 1987 (tableau 1). Volume des captures et nombre de coups de filet subissent une décroissance globale lorsque le vent forçit. Une rapide diminution des captures se produit pour des vents supérieurs à 10 noeuds (à partir de 4 Beaufort). Le coefficient de variation des prises s'élève rapidement entre 2 et 3 Beaufort, traduisant des chances de succès plus aléatoires qu'en situation de vent faible. Ainsi, au fur et à mesure que la mousson de sud-ouest perd de son intensité, laissant la place à l'intermousson, les capacités opérationnelles des thoniers vont en s'améliorant.

V.2. RESULTATS OBTENUS EN SEPTEMBRE ET OCTOBRE 1987

Les statistiques présentées pour les mois de septembre et d'octobre regroupent les flottilles française et espagnoles, alors que les chiffres mentionnés plus haut ne concernaient que la flottille française. Les données espagnoles ont été fournies par la Seychelles Fishing Authority (S.F.A.).

Un récapitulatif des prises par espèce, de l'effort de pêche et des P.U.E., sur une base bi-hebdomadaire, est porté au tableau 2. On note la prédominance du listao (de 76 à 81% des prises), un net accroissement de l'effort de pêche durant la 2ème quinzaine d'octobre, début de l'intermousson, et par contre une diminution nette des P.U.E. dans cette dernière quinzaine. Ce point est intéressant à signaler et nous y reviendrons sur un plan plus général dans l'analyse historique des rendements de pêche et des conditions de l'environnement dans cette zone.

Tableau 1 - Statistiques de pêche par bateau-jour en fonction de la force du vent, dans la région nord-équatoriale, de août à novembre durant les années 1983 à 1986 (C.V.= coefficient de variation, en %).

| Force du vent (Beaufort) | Prises/bateau-jour | | | Coups filet/bateau-jour | | |
|-----------------------------|--------------------|---------|------|-------------------------|---------|------|
| | Max. | Moyenne | C.V. | Max. | Moyenne | C.V. |
| 1 | 110,3 | 53,4 | 32,8 | 2,1 | 1,5 | 20,0 |
| 2 | 83,9 | 50,3 | 29,6 | 2,2 | 1,5 | 20,0 |
| 3 | 90,0 | 45,4 | 58,8 | 1,8 | 1,3 | 38,0 |
| 4 | 57,8 | 34,8 | 56,0 | 1,5 | 1,3 | 7,7 |
| 5 | 57,5 | 41,2 | 55,8 | 1,0 | 1,0 | |

Tableau 2 - Prises, effort et P.U.E. des thoniers français et espagnols, sur une base bi-hebdomadaire, entre le 16 septembre et le 31 octobre 1987.

| PERIODE | Albacore | Listao | Patudo | Total | J. Pêche | P.U.E |
|----------|-----------------|------------------|---------------|-------|----------|-------|
| 16-30/09 | 1691 (18,3%) | 7513 (81,1%) | 59 (0,6%) | 9263 | 431 | 21,5 |
| 1-15/10 | 2196 (20,8%) | 8283 (78,3%) | 97 (0,9%) | 10576 | 412 | 25,7 |
| 16-31/10 | 1436 (17,9%) | 6129 (76,4%) | 459 (5,4%) | 8024 | 461 | 17,4 |
| Total | 5323 (19,1%) | 21925 (78,7%) | 615 (2,2%) | 27863 | 1304 | 21,4 |

La répartition de l'effort est conforme à la situation habituellement rencontrée depuis 1983 (fig.15). La distribution des prises par coup de filet, par quinzaine et par carré de 30 milles nautiques de côté (fig.16) montre que les secteurs les plus productifs (prises/coup supérieures à 100 tonnes) se situent entre 3° et 5°N, de 50° à 54°E. Les principales caractéristiques physiques et biologiques de cette zone sont :

- une rapide remontée de la thermocline du nord vers le sud, délimitant la partie méridionale du grand tourbillon (cf fig.7a); la zone du gradient plus prononcé identifié entre 9° et 10°N n'a malheureusement pas été prospectée par les senneurs;
- de fortes teneurs en oxygène dissous, atteignant 4 ml/l à 100 m de profondeur;
- proximité de biomasses zooplanctoniques élevées dans la couche 0-200 m qui est celle où listaos et albacores se nourrissent activement.

Par conséquent, durant septembre et octobre 1987, une grande partie de la ressource en thon accessible à la senne était concentrée dans un habitat "frontière" caractérisé par une variation rapide des paramètres physiques du milieu sur des distances relativement courtes. Compte tenu des exigences physiologiques des thons, et particulièrement vis-à-vis de l'oxygène dissous (Sharp, 1979), il n'est pas surprenant de trouver un regroupement de la ressource dans des eaux bien oxygénées. Cette remarque est d'autant plus valable pour le listao, l'espèce prédominante, que sa demande en oxygène dissous, se situant au-delà de 3 ml/l, est la plus forte parmi les thons tropicaux. Les courants qui dispersent les floraisons phytoplanctoniques issues de l'upwelling, le broutage par les zooplanctontes au cours de la dérive des eaux dans le grand tourbillon, la présence de systèmes frontaux à la périphérie du vortex créent des conditions favorables au développement de réseaux trophiques supérieurs qui aboutissent aux thonidés. Outre ces conditions environnementales, l'accumulation d'épaves dérivantes rassemblant les bancs dispersés dans le secteur, et vraisemblablement le "piégeage" même provisoire de ces épaves dans le tourbillon, contribuent à accroître les potentialités de pêche en particulier pour les engins de surface.

VI. ANALYSE DES TAUX DE CAPTURE EN FONCTION DES CONDITIONS HYDROLOGIQUES DE SURFACE

Ce chapitre prend en compte l'ensemble des données disponibles depuis le début de la pêche commerciale française à la senne dans l'océan Indien (période 1983-1987) pour décrire de façon plus globale les processus physiques qui pourraient expliquer l'évolution des rendements au cours de la saison de pêche dans la région nord-équatoriale.

VI.1. PARAMETRES PHYSIQUES

Nous avons considéré le vent à la surface de la mer et la température de surface . Ces paramètres sont habituellement récupérés sur le fichier des message-ships, les relevés provenant des navires marchands qui, le long de leurs lignes de navigation, émettent sur le Système Mondial de Télécommunications (S.M.T.). Cependant, dans cette étude, nous avons préféré utiliser les données similaires récoltées par les navires en pêche et consignées sur les livres de bord. La raison est que ces données montrent une meilleure homogénéité et qu'elles décrivent avec précision les conditions de surface sur les lieux même des opérations de pêche. Généralement, les mesures sont faites 1 à 2 fois par jour par chaque thonier.

VI.2. INDICES D'ABONDANCE

Deux principaux paramètres ont été calculés: la prise par coup de filet et la prise par coup de filet portant (c'est-à-dire faisant l'objet d'une capture). Ils traduisent différents états d'accessibilité de la ressource :

- la prise par coup de filet peut être perçue comme un estimateur de la disponibilité de la ressource sans pour autant préjuger de sa vulnérabilité vis-à-vis de la senne du fait que l'ensemble des coups de filet, nuls et portants, sont pris en compte ;

- la prise par coup de filet portant renseigne sur la taille des bancs (au moins sur leur fraction capturable) et intègre le facteur vulnérabilité.

Ces paramètres sont calculés pour les coups de filet sur épaves dérivantes, qui regroupent 90% des prises totales, et pour l'ensemble des coups de filet (épaves et mattes libres combinées).

Compte tenu de la nette prépondérance des coups sur épaves, nous avons préféré utiliser des rendements par coup de filet plutôt que des rendements par jour de pêche (P.U.E.). En effet, la forte concentration des espèces sous les épaves et le fait que, bien souvent, le coup de senne sur épaves est unique dans la journée (à l'aube) font que le premier type de rendement reflète mieux le niveau d'abondance de la fraction capturable de la population qu'une P.U.E. ramenée à la journée.

VI.3. TENDANCE GENERALE

Les observations physiques et les rendements ont d'abord été regroupés en strates de 5 degrés-quinzaine. A partir des valeurs moyennes dans chaque strate, nous avons pu décrire l'évolution globale de la zone (fig.17). Deux constations peuvent d'ores et déjà être faites :

- les évolutions inverses de la vitesse du vent et de la température de surface à la fin de la mousson d'été, ce qui est guère étonnant, l'upwelling disparaissant peu à peu au cours de la décroissance en intensité du vent. Le réchauffement des eaux est du à la fois à la disparition de l'upwelling, à une réduction de l'évaporation et à un brassage vertical moindre.

- une non-linéarité du processus associant la production thonière aux conditions de milieu, ce qui introduit au concept de *fenêtre environnementale optimale* apte à favoriser la capturabilité des bancs. Cette fenêtre semble plus dépendre du vent que de la température de surface. Nous avons vu que le vent est un facteur limitant de l'activité de pêche et dans le cas présent, les meilleures conditions seraient réalisées durant des périodes de vent modéré (forces 2 à 3 Beaufort) faisant suite à une période de vent fort.

Cet effet à *retardement* qui semble exister dans le processus d'enrichissement, et qui se traduit par une élévation des prises par coup de filet, peut être analysé quantitativement.

VI.4. ANALYSE DES CORRELATIONS ENVIRONNEMENT-PECHE

La distribution non-normale des paramètres et l'utilisation d'une échelle qualitative pour le vent nous ont conduit à utiliser un coefficient de corrélation de rang (Spearman). Ces méthodes non paramétriques sont particulièrement bien adaptées aux données présentant des évolutions monotones telles que celles décrites dans cette étude.

La figure 18 montre que les valeurs maximales de prises par coup de filet sont atteintes dans les carrés 7 et 8 (60 t), ce qui peut être mis en relation avec la plus grande intensité de l'upwelling dans sa partie nord durant la mousson, entraînant de larges floraisons phytoplanctoniques (fig.19) et une biomasse zooplanctonique élevée (cf IV.3). C'est en effet dans le carré 7 que les plus importantes récoltes de zooplancton ont été faites durant INDOTHON 01. L'évolution des prises par coup de filet sont très variables d'un carré à l'autre.

Deux type de corrélations ont été calculées : des *corrélations directes* entre paramètres physiques et données de pêche des mêmes strates spatiotemporelles, et des *corrélations croisées* prenant en compte un déphasage d'une quinzaine entre les paramètres physiques et les données de pêche des mêmes carrés de 5 degrés. Cela consiste donc à corréler température et vent d'une quinzaine Q avec les prises par coup obtenues dans le même carré durant la quinzaine Q+1. Les résultats sont réunis dans le tableau 3.

Les corrélations directes ne conduisent qu'à un seul résultat significatif, qui est obtenu entre les rendements combinant épaves et mattes et la température de surface. Les prises par coup sont inversement reliées à la température. Les autres combinaisons restent non significatives.

En revanche, les corrélations croisées sont hautement significatives (2.5% \ll 1%). Elles traduisent le fait que de brusques coups de vent et les refroidissement superficiels qui leur sont associés tendent à accroître la production durant la quinzaine qui suit. A l'inverse, la diminution d'intensité du vent et le réchauffement superficiel se soldent par une moindre disponibilité de la ressource et une décroissance de la taille des bancs présents. On assiste en fait à un éparpillement apparent de la biomasse thonière qui peut être le résultat combiné de moins bonnes conditions de milieu en particulier sur le plan trophique mais également (on ne peut l'exclure) d'une surexploitation locale résultant de la forte capturabilité des bancs d'épaves durant les semaines précédentes.

VI.5. FENETRE ENVIRONNEMENTALE OPTIMALE ET RENDEMENTS DE PECHE

Une représentation tridimensionnelle des prises par coup (regroupées en classes de 10 t) en fonction de la vitesse du vent et de la température de surface met en évidence une gamme de valeurs physiques rassemblant les plus fortes occurrences de chaque classe de rendement (fig.20). Cette crête s'étend de 25° à 27°C en température et de 2 à 3 Beaufort en vent.

Une autre délimitation de la fenêtre environnementale est donnée à la figure 21. Nous avons retenu l'espace des prises par coup de filet dépassant 40 tonnes. On s'aperçoit que cet indice traduisant une importante disponibilité de la ressource va en se rétrécissant au cours de la saison de pêche. Les prises par coup de filet portant supérieures à 50 tonnes sont contenues dans la zone sombre: elles montrent que la concentration en larges bancs se produit préférentiellement dans une gamme thermique allant de 26° à 27°C et dans des conditions de vent faible à modéré (1 à 3 Beaufort, soit 3 à 10 noeuds).

Tableau 3 - Régression entre conditions de surface et taux de capture dans la région nord-équatoriale durant les années 1983 à 1986.
 Coefficient de corrélation de Spearman.
 Rendement 1 : prise par coup de filet.
 Rendement 2 : prise par coup de filet portant.
 Sst : température de surface

a) corrélations directes

| TYPE DE PRISES | | RENDEMENT 1 | RENDEMENT 2 |
|----------------|------|-------------|-------------|
| épaves | sst | - 0,281 | - 0,228 |
| | vent | 0,247 | 0,178 |
| combinées | sst | - 0,419 * | - 0,275 |
| | vent | 0,290 | 0,199 |

b) corrélations croisées

| TYPE DE PRISES | | RENDEMENT 1 | RENDEMENT 2 |
|----------------|------|-------------|-------------|
| épaves | sst | - 0,479 ** | - 0,423 * |
| | vent | 0,582 ** | 0,543 ** |
| combinées | sst | - 0,462 * | - 0,399 * |
| | vent | 0,517 ** | 0,530 ** |

Niveaux de signification : (*) 2,5% (**) < 1%

VII. INTERET DE LA TELEDETECTION SPATIALE DANS LE SUIVI DES STRUCTURES THERMIQUES SUPERFICIELLES

En associant ces résultats à ceux obtenus dans le canal de Mozambique (Marsac, 1988), l'élément commun qui se dégage est la concentration de la ressource vulnérable dans les eaux les moins chaudes (25° à 26°C dans la zone nord-équatoriale, 26° à 27°C dans le canal de Mozambique). Par ailleurs, des vents trop forts, de vitesse supérieure à 20 noeuds, nuisent à la capturabilité des bancs. Un compromis reste donc à trouver. Au nord de l'équateur, il peut être intéressant de surveiller l'évolution du vent à partir du mois d'août pour démarrer la pêche dès qu'une tendance significative à la baisse se fait sentir. Ensuite, lorsque les eaux dépassent 28°C, la saison de pêche touche à sa fin dans cette zone. Dans le canal de Mozambique, il semble que l'évolution soit moins typique: il faudra de préférence rechercher les secteurs ayant été soumis pendant les 2 ou 3 semaines précédentes à des coups de vent ponctuels.

Il ressort de ces constatations que la mise à disposition rapide (à l'échelle de la semaine) de données de température et de vent peut aider à définir une stratégie de conduite de flottille de thoniers. L'analyse de champs thermiques de surface provenant des mesures des satellites défilants dans l'océan Indien occidental a été conduite à partir d'une méthode mise au point par Gohin (1987), faisant appel à la théorie des variables régionalisées (Matheron, 1965). Fondée sur une analyse de la structure du champ des valeurs de température, elle permet de calculer une valeur du paramètre et l'erreur associée aux noeuds d'un réseau maillé à partir d'observations inégalement réparties dans l'espace. Cette méthode d'estimation est connue sous le nom de *krigeage*. C'est ainsi qu'une cartographie de l'upwelling somalien a pu être réalisée à partir de données GAC (Global Area Coverage) délivrées par le satellite NOAA-9, auxquelles ont été incorporées des valeurs de température provenant des bateaux marchands (Gohin et Marsac, 1989). La carte du 8 au 15 juin 1985 (fig.22) fait clairement apparaître 2 pôles de refroidissement le long de la côte somalienne, sur 4°N et 10°N, situation conforme à celle observée lors de campagnes océanographiques (Brown *et al.*, 1980). De telles images produites en séquence à partir d'une station de réception régionale aideraient à localiser des zones cibles dont les conditions correspondraient à celles qui viennent d'être décrites.

Il est possible de réunir en une seule image de synthèse, couvrant une période de plusieurs jours, des données d'origines diverses (METEOSAT, NOAA, navires) afin de produire une thermographie réaliste dont la précision peut être évaluée grâce à l'approche géostatistique. La saison la plus propice à un suivi régulier des structures thermiques superficielles ne couvre que 6 mois de l'année, de mai-juin à novembre, en raison d'une moindre couverture nuageuse et de contrastes thermiques marqués liés à la mousson de sud-ouest.

VIII. CONCLUSION GENERALE

L'upwelling somalien provoqué par les forts vents de la mousson de sud-ouest en juillet-août n'a pas la réputation d'être un upwelling très productif: si l'eau superficielle s'enrichit en nitrate, elle reste pauvre en plancton et en poissons et les oiseaux de mer sont rares (Ramage, 1969). Ceci est vraisemblablement dû à la brutalité du phénomène qui bouleverse les conditions hydrologiques de surface en l'espace de quelques jours. Des mortalités massives de poissons (diodons et balistes) ont même été constatées par Foxton (1965).

Il n'en reste pas moins que la zone hauturière située devant la Somalie "hérite" en octobre de conditions courantométriques et hydrologiques établies en juillet-août le long de la côte somalienne, en particulier du *grand tourbillon* et des structures qui lui sont liées: enfoncement de la thermocline, front subsuperficiel, brassage d'eau dans les 200 premiers mètres, enrichissements en zooplancton.

L'analyse des relations avec la pêche thonière met bien en évidence l'effet positif des structures hydrologiques instables sur la concentration des thons dans un secteur et le fait que des décalages dans le temps doivent être pris en compte pour expliquer une partie de la variabilité des rendements en fonction de l'évolution hydroclimatique. Ces décalages peuvent être estimés de quinze jours à 3 semaines dans la zone nord-équatoriale. L'intensité des variations dans la distribution des paramètres physiques (autrement dit les dérivées des paramètres) semble appropriée pour expliquer l'évolution à court terme de la disponibilité et de la vulnérabilité de la ressource.

Ces résultats peuvent contribuer à délimiter des zones potentielles de pêche dans cette région océanique. Il serait d'un grand intérêt de pouvoir suivre en temps réel l'évolution des conditions hydrologiques grâce aux satellites (température principalement) et aux bateaux marchands (dérive de surface, vent, profils thermiques verticaux). L'intégration de toutes ces données permet de décrire un contexte hydrologique et de le comparer aux conditions requises dans la fenêtre environnementale optimale. En ultime analyse, les secteurs comprenant le meilleur compromis entre température, vent et structure thermique de subsurface peuvent être identifiés et communiqués aux navires en pêche.

Cette application dirigée vers la conduite de flottille ne doit pas faire oublier les lacunes qui subsistent encore, en particulier au niveau de l'identification précise des processus physico-chimiques qui conduisent aux concentrations massives de grands pélagiques dans certaines régions océaniques. C'est dans ce sens que devraient s'orienter les recherches touchant à l'environnement des thons et à la dynamique de leurs déplacements.

=====

BIBLIOGRAPHIE

- Aumeeruddy R., 1988 - Etude des structures chlorophylliennes au large de la Somalie et dans le Golfe d'Aden au moyen de la télédétection "couleur de l'eau" (CZCS). Mémoire de D.E.A., Université de Brest : 28 p.
- Brown C.R., Bruce J.G. and Evans R.H., 1981 - Evolution of the sea surface temperature in the Somali basin during the Southwest monsoon of 1979. *Science Wash.*, (209) : 595-597.
- Bruce J.G., Fieux M. and Gonella J., 1981 - A note on the continuance of the Somali eddy after the cessation of the Southwest monsoon. *Oceanol. Acta*, 4 (12) : 7-9.
- Dandonneau Y., 1982 - A method for the rapid determination of chlorophyll plus phaeopigments in samples collected by merchant ships. *Deep Sea Research*, 29 (5A) : 647-654.
- Dessier A., 1981 - La production planctonique : phytoplancton et zooplancton, *in* : Milieu marin et ressources halieutiques de la République Populaire du Congo, A. Fontana, ed. sci., *Trav. et Doc. de l'ORSTOM*, (138) : 75-150.
- Dupouy C. et Aumeerudy R., 1988 - Résultats des traitements des chlorophylles "océan Indien, INDOTHON". Manuscrit non publié.
- Foxton P., 1965 - A mass fish mortality on the Somali coast. *Deep Sea Res.*, (12) : 17-19.
- Gohin F., 1987 - Analyse géostatistique des champs thermiques de surface de la mer. Thèse de Docteur-Ingénieur, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris.
- Gohin F. et Marsac F., 1989 - Estimation de la température de surface de la mer à partir des données satellites AVHRR sous format GAC. Application à l'océan Indien occidental. En préparation.
- Hastenrath S. and Lamb P.J., 1979 - Climatic atlas of the Indian ocean. Part I : Surface climate and atmospheric circulation. The University of Wisconsin press, USA.
- Herbland A., Le Borgne R., Le bouteiller A. et Voituriez B., 1983 - Structure hydrologique et production primaire dans l'Atlantique tropical oriental. *Océanogr. trop.*, 18 (2) : 249-293.
- Hisard P., 1987 - Un bilan de la mousson 1987 sur l'Inde. *Bull. de liaison Climat*, (14).
- Luther M.E. and O'Brien J.J., 1985 - A model of the seasonal circulation in the Arabian sea forced by observed winds. *Prog. Oceanogr.*, 14 : 353-385.
- Marsac F., 1988 - Pêcheries de thons tropicaux de l'océan Indien occidental, *in* : Télédétection satellitaire et pêcheries thonières océaniques, J.Y. Le Gall, ed. sci., *FAO Doc. Tech. Pêches* : 121-135.
- Matheron, 1965 - Les variables régionalisées et leur estimation. Masson et Cie, Paris, 305 p.
- Montel Y. et Piton B., 1980 - Méthodes de mesures et d'analyses utilisées au Centre de recherches océanographiques ORSTOM de Pointe-Noire. *Doc. Sci. ORSTOM Pointe-Noire*, (629 SR).

- Piton B. et Magnier Y., 1975 - Remarques sur la circulation et les caractéristiques hydrologiques de la couche superficielle entre Madagascar et l'Equateur. *Cah. ORSTOM, ser. Océanogr.*, (2) : 117-132.
- Piton B., Pointeau J.H. et Ngoumbi J.S., 1981 - Atlas hydrologique du Canal de Mozambique (océan Indien). *Trav. et Doc. de l'ORSTOM*, (132), 41 p.
- Ramage C.S., 1969 - Indian ocean surface meteorology. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 7 : 11-30.
- Roux M., 1985 - Algorithmes de classification. Méthode et programmes, *Phelizon coord., Masson ed.*, Paris, 151 p.
- Sharp G.D., 1979 - Areas of potentially successful exploitation of tunas in the Indian Ocean with emphasis on surface methods. Rome, FAO, IOFC/DEV/79/47, 55 p.
- Smith S.L. and Codispoti L.A., 1980 - Southwest monsoon of 1979 : chemical and biological response of Somali coastal waters. *Science*, 209 : 597-600.
- Smith S.L., 1982 - The northwestern Indian ocean during the monsoons of 1979 : distribution, abundance and feeding of zooplankton. *Deep Sea Res.*, 29 (11A) : 1331-1353.
- Stequert B. et Marsac F., 1986 - La pêche de surface des thonidés tropicaux dans l'océan Indien. FAO, *Doc. Techn. Pêches*, (282), 213 p.
- Strickland J.D.H. and Parsons T.R., 1972 - A practical hand-book of seawater analysis. *Fish Res. Board of Canada, Bull.* 167.
- Swallow J.C. and Fieux M., 1982 - Historical evidence for two gyres in the Somali current. *Journ. of Mar. Res.*, 40, suppl. : 747-755.
- Tchernia P., 1978 - Océanographie régionale. Description physique des océans et des mers. *ENSTAED*, Paris, 257 p.
- Tchernia P., Lacombe H. et Guibout P., 1958 - Sur quelques nouvelles observations hydrologiques relatives à la région équatoriale de l'océan Indien. *Bull. Inf. COEC*, X, 3 : 115-143.
- Warren B., Stommel H. and Swallow J.C., 1966 - Water masses and pattern of flow in the Somali basin during the southeast monsoon of 1964. *Deep Sea Res.*, 13 : 825-860.
- Wyrtki K., 1971 - Oceanographic atlas of the International Indian Ocean Expedition. National Science Foundation, Washington, DC, 531 p.

=====

ANNEXE 1

LE NAVIRE OcéANOGRAPHIQUE ALIS : quelques caractéristiques

- Construit aux chantiers Piriou de Concarneau en 1986-1987 ;
- Lancé à Concarneau le 21 juin 1987 ;
- Navire de recherche océanographique polyvalent de type chalutier pêche arrière, portique arrière basculant, disposant de 2 laboratoires (sec et humide).

- Longueur : 28,40 mètres
- Largeur : 7,60 mètres
- Tirant d'eau : 3,55 mètres
- Jauge brute : 198,80 tx
- Jauge nette : 77,80 tx
- Puissance : 800 chevaux

- Eau douce : 20 000 litres
- Combustible : 45 000 litres
- Autonomie : 15 jours

- Climatisation centrale
- Equipage : 12 hommes
- Scientifiques: 5-6

- Classification VERITAS : 13/3E.

- Armé à la grande pêche

- Basé à Nouméa à partir de 1988.



ANNEXE 2

HYDROGRAPHIE SUCCINCTE D'UN HAUT-FOND

Les hauts-fonds sont souvent repérés par les thoniers qui effectuent de bonnes pêches dans leurs parages. C'est ainsi qu'un haut-fond de sonde voisine de 200 mètres non inscrit sur les cartes marines a été mis en évidence par les pêcheurs au nord immédiat de l'équateur sur 56°E et signalé aux océanographes qui dépouillent leurs fiches de pêche.

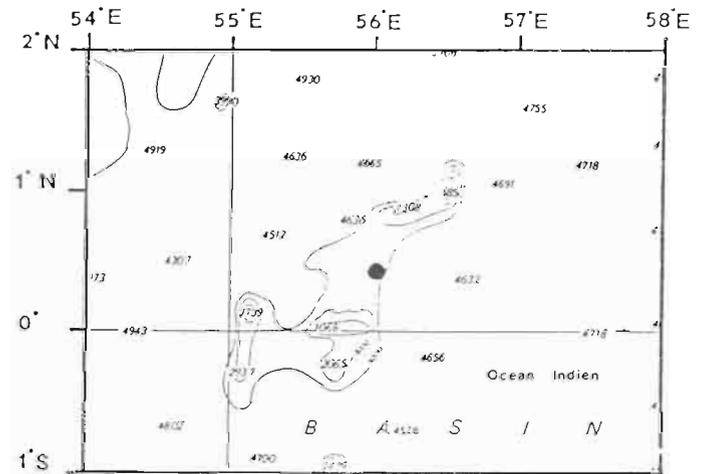
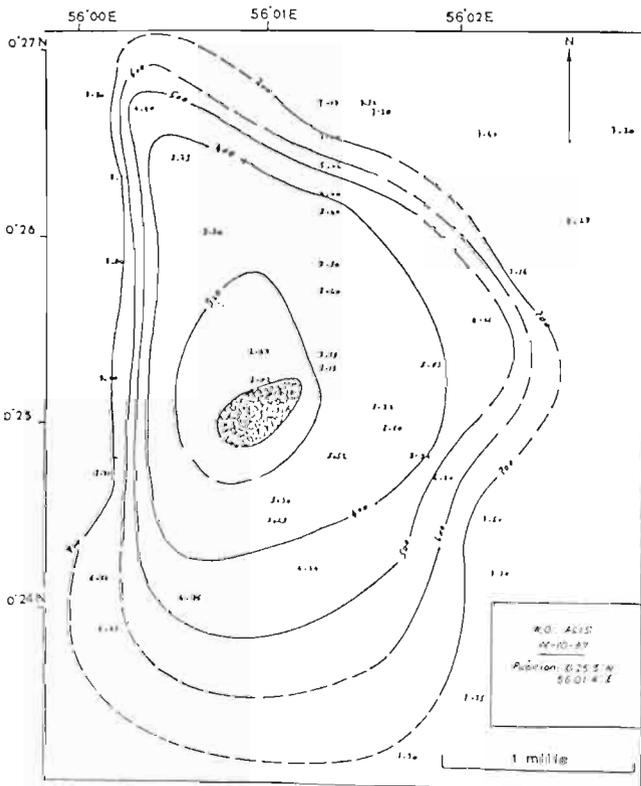
Le N.O. ALIS a trouvé ce haut-fond le 14 octobre 1987 à 6h45 par 0°25'5 N et 56°01'4 E : un seul point satellite par MAGNAVOX bi-fréquence et système TRANSIT, précision 200 mètres environ, le navire étant stoppé.

Positionnement des sondages au radar à partir d'une bouée radar ancrée sur le haut-fond (sondeur SIMRAD 810).

Sonde minimum trouvée : - 191 mètres.

Ce haut-fond a été noté par le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine, à Brest.

Ci-joint la cartographie de ce haut-fond.



LISTE DES FIGURES

Fig.1 - Localisation de la pêcherie et prises par unité d'effort (en tonnes par jour) des flottilles française et ivoirienne dans l'ouest de l'océan Indien tropical en septembre et octobre durant les années 1983 à 1986. Origine des données : fichier ORSTOM Seychelles.

Fig.2 - Trajet du thonier-senneur MASCAROI entre le Cap Guardafui et Antsiranana (Madagascar) du 15 au 22 septembre 1987. Opérations réalisées : (+) XBT, prélèvements de surface, météorologie et estimations de la dérive.

- Trajet du N.O. ALIS durant INDOTHON du 3 au 17 octobre 1987. Opérations réalisées :

- (x) XBT et prélèvements de surface,
- (.) stations hydrologiques et traits de filets zooplancton, météorologie en routine toutes les 6 heures, estimation de la dérive.

Fig.3 - Les vents (vitesse et direction) rencontrés par le MASCAROI du 15 au 22 septembre 1987 et par le N.O. ALIS du 3 au 17 octobre 1987.

Fig.4 - Répartition horizontale de la température (a) et de la salinité (b) de surface du 15 septembre au 17 octobre 1987.

Fig.5 - Evolution de la répartition horizontale de la température de surface (SST) établie tous les 15 jours par le National Weather Service (NWS, USA), de mi-juin à mi-novembre, années 1986 et 1987.
(0.2 : anomalie par rapport à la moyenne).

Fig.6 - a) Dérives déduites de la navigation du MASCAROI et du N.O. ALIS, du 15 septembre 1987 au 17 octobre 1987.

b) Lignes de courant de surface déduites des anomalies de hauteurs dynamiques de la surface par rapport à 500 décibars.

Fig.7 - Répartition verticale de la température (degrés Celsius) de la surface à 700 mètres de profondeur au maximum, le long des radiales :

a) coupe CMCM du cap Guardafui jusqu'au nord de Madagascar, à partir des XBT effectués par le MASCAROI, approximativement sur 51°E.

b) coupe C1C1 du N.O. ALIS, approximativement sur 10°N.

En encadré, situation de la coupe présentée.

Fig.7 (suite) - Répartition verticale de la température le long des radiales :

c) coupe C₂C₂ sur 7°N.

d) coupe C₃C₃ sur 3°N.

e) coupe C₄C₄ sur 1°N.

Fig.7 (suite) - Répartition verticale de la température le long des radiales :

f) coupe C₅C₅, de 10°N à 4°S, approximativement sur 57°E.

g) coupe C₆C₆, de 9°N à l'équateur sur 59°E.

Fig.8 - a) Evolution de la profondeur de l'isotherme 20°C, du 15 septembre au 17 octobre 1987.

b) Température à 100 mètres de profondeur, du 15 septembre au 17 octobre 1987.

c) Salinité à 100 mètres de profondeur, du 3 au 17 octobre 1987.

Fig.9 - Répartition verticale de la salinité (‰), de la surface à 700 mètres de profondeur au maximum, le long des radiales :

a) coupe C₁C₁ approximativement sur 10°N.

b) coupe C₂C₂ sur 7°N.

Fig.9 (suite) - Répartition verticale de la salinité le long des radiales :

c) coupe C₃C₃ sur 3°N.

d) coupe C₄C₄ sur 1°N.

Fig.9 (suite) - Répartition verticale de la salinité le long des radiales :

e) coupe C₅C₅, de 10°N à 4°S, le long de 55°E.

f) coupe C₆C₆, de 9°N à l'équateur, le long de 59°E.

Fig.10 - Répartition verticale de l'oxygène dissous (ml/l) de la surface à 700 mètres de profondeur au maximum, le long des radiales :

a) coupe C₁C₁ sur 10°N.

b) coupe C₂C₂ sur 7°N.

Fig.10 (suite) - Répartition verticale de l'oxygène dissous le long des radiales :

c) coupe C₃C₃ sur 3°N.

d) coupe C₄C₄ sur 1°N.

Fig.10 (suite) - Répartition verticale de l'oxygène dissous le long des radiales :

e) coupe C₅C₅ de 10°N à 4°S le long de 55°E.

f) coupe C₆C₆ de 9°N à l'équateur le long de 59°E.

Fig.11 - a) Teneurs en oxygène dissous à 100 mètres de profondeur.

b) Teneurs en oxygène dissous à 200 mètres de profondeur.

c) Répartition des teneurs en nitrate à 100 mètres de profondeur.

d) Profondeurs auxquelles les teneurs en nitrate sont égale à 0,5 μatg/l.

Fig.12 - Répartition verticale des teneurs en nitrate (μatg/l) de la surface à 200 mètres de profondeur, le long des radiales :

a) coupe C₁C₁ sur 10°N.

b) coupe C₂C₂ sur 7°N.

c) coupe C₃C₃ sur 3°N.

Fig.12 (suite) - Répartition verticale des teneurs en nitrate le long des radiales :

d) coupe C₄C₄ sur 1°N.

e) coupe C₅C₅ de 10°N à 4°S le long de 55°E.

f) coupe C₆C₆, de 9°N à l'équateur le long de 59°E.

Fig.13 - a) Teneurs en chlorophylle a dans les 10 premiers mètres, mesurées par la méthode SCOR-UNESCO.

b) Valeurs de poids secs (g/m²) de zooplancton (meso-zooplancton) dans les 300 premiers mètres. l = numéro de station "zooplancton qualitatif".

Fig.14 - Répartition de l'effort de pêche de 1983 à 1986.

a) août

b) septembre

c) octobre

d) novembre

Fig.15 - Répartition de l'effort de pêche des flottilles française et espagnole en septembre et octobre 1987.

- a) du 16 au 30 septembre
- b) du 1 au 15 octobre
- c) du 16 au 31 octobre

Fig.16 - Répartition des prises par coup de filet des flottilles française et espagnole, par carré de 30 milles nautiques, en septembre et octobre 1987.

- a) du 16 au 30 septembre
- b) du 1 au 15 octobre
- c) du 16 au 31 octobre

Fig.17 - Distribution des rendements de pêche et des conditions de surface (température et vent) dans la zone nord-équatoriale, de août à novembre, durant les années 1983 à 1987.

Fig.18 - Distribution des rendements de pêche et des conditions de surface (température et vent) par carré de 5 degrés, dans la zone nord-équatoriale, de août à novembre, durant les années 1983 à 1987.

Fig.19 - Carte de couleur de l'eau (teneur en chlorophylle) du 26 août 1979 obtenue par traitement d'une image CZCS du satellite Nimbus-7 dans la zone nord-équatoriale (d'après Aumeeruddy, 1988).

Fig.20 - Fréquence d'apparition des classes de prises par coup de filet en fonction de la force du vent (a) et de la température (b) dans la zone équatoriale durant les années 1983 à 1987.

Fig.21 - Fenêtre environnementale de conditions de surface rassemblant les plus forts taux de capture dans la zone nord-équatoriale.

Fig.22 - Carte de température de surface mettant en évidence l'upwelling de Somalie, du 8 au 15 juin 1985, réalisée par superposition de données satellitaires (AVHRR sous format GAC, NOAA-9) et de données in situ.

==--==--==--==--==--==--==

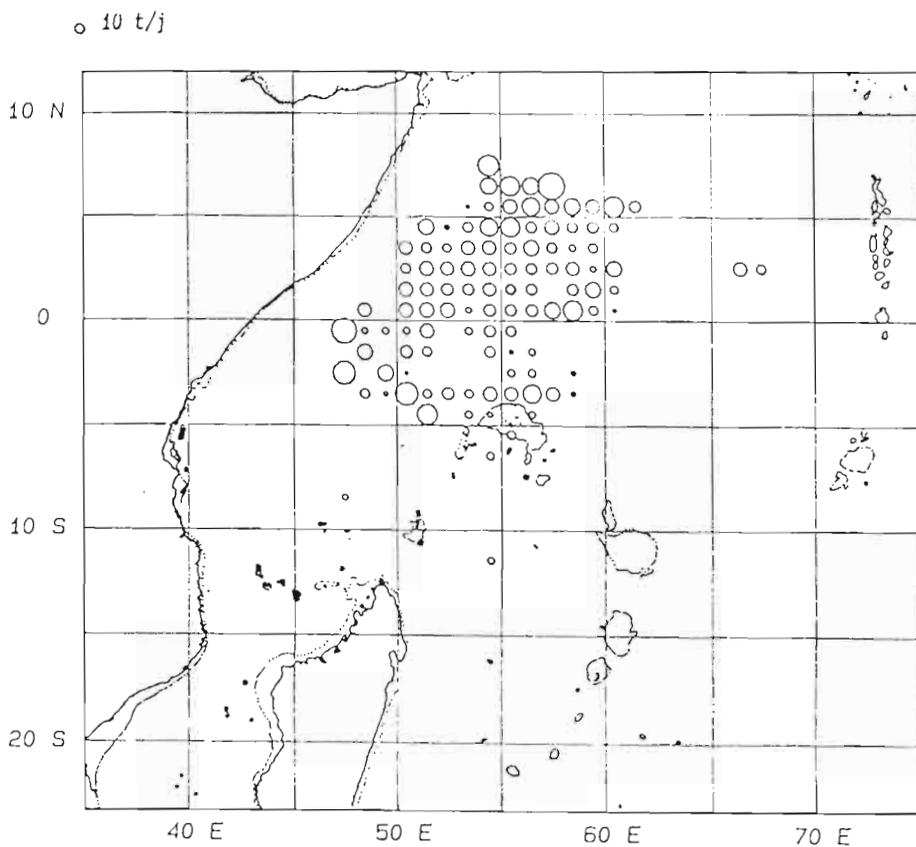


Fig.1 - Localisation de la pêche et prises par unité d'effort (en tonnes par jour) des flottilles française et ivoirienne dans l'ouest de l'océan Indien tropical en septembre et octobre durant les années 1983 à 1986.

Origine des données : fichier ORSTOM Seychelles.

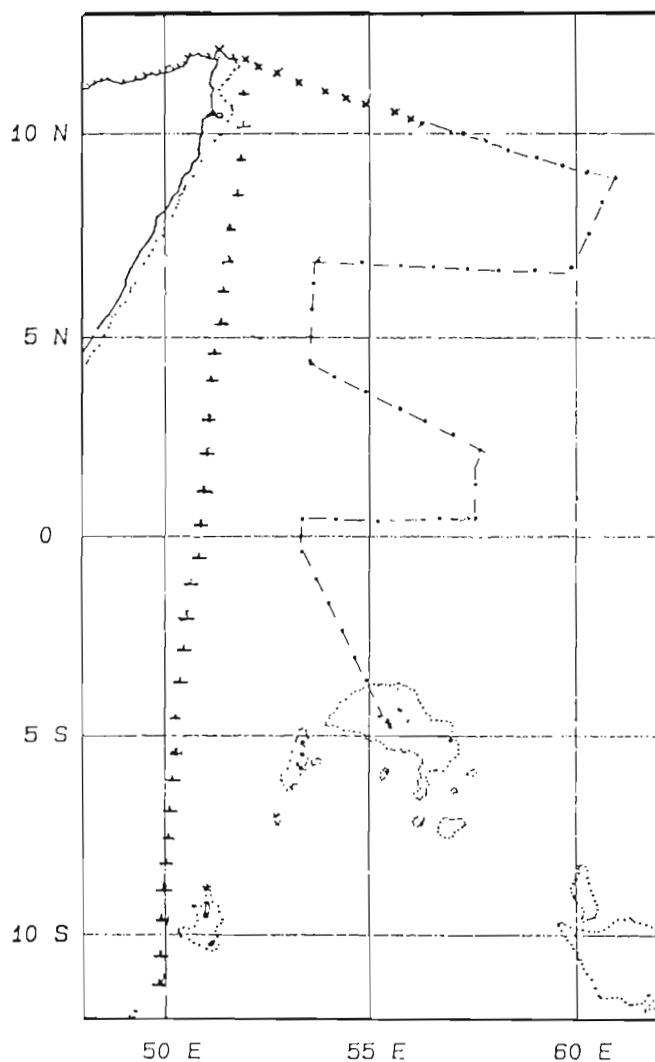


Fig.2 - Trajet du thonier-senneur MASCAROI entre le Cap Guardafui et Antsiranana (Madagascar) du 15 au 22 septembre 1987.

Opérations réalisées :
 (±) XBT, prélèvements de surface, météorologie et estimations de la dérive.

- Trajet du N.O. ALIS durant INDOTHON du 3 au 17 octobre 1987.

Opérations réalisées :
 (x) XBT et prélèvements de surface,
 (.) stations hydrologiques et traits de filets zooplancton, météorologie en routine toutes les 6 heures, estimation de la dérive.

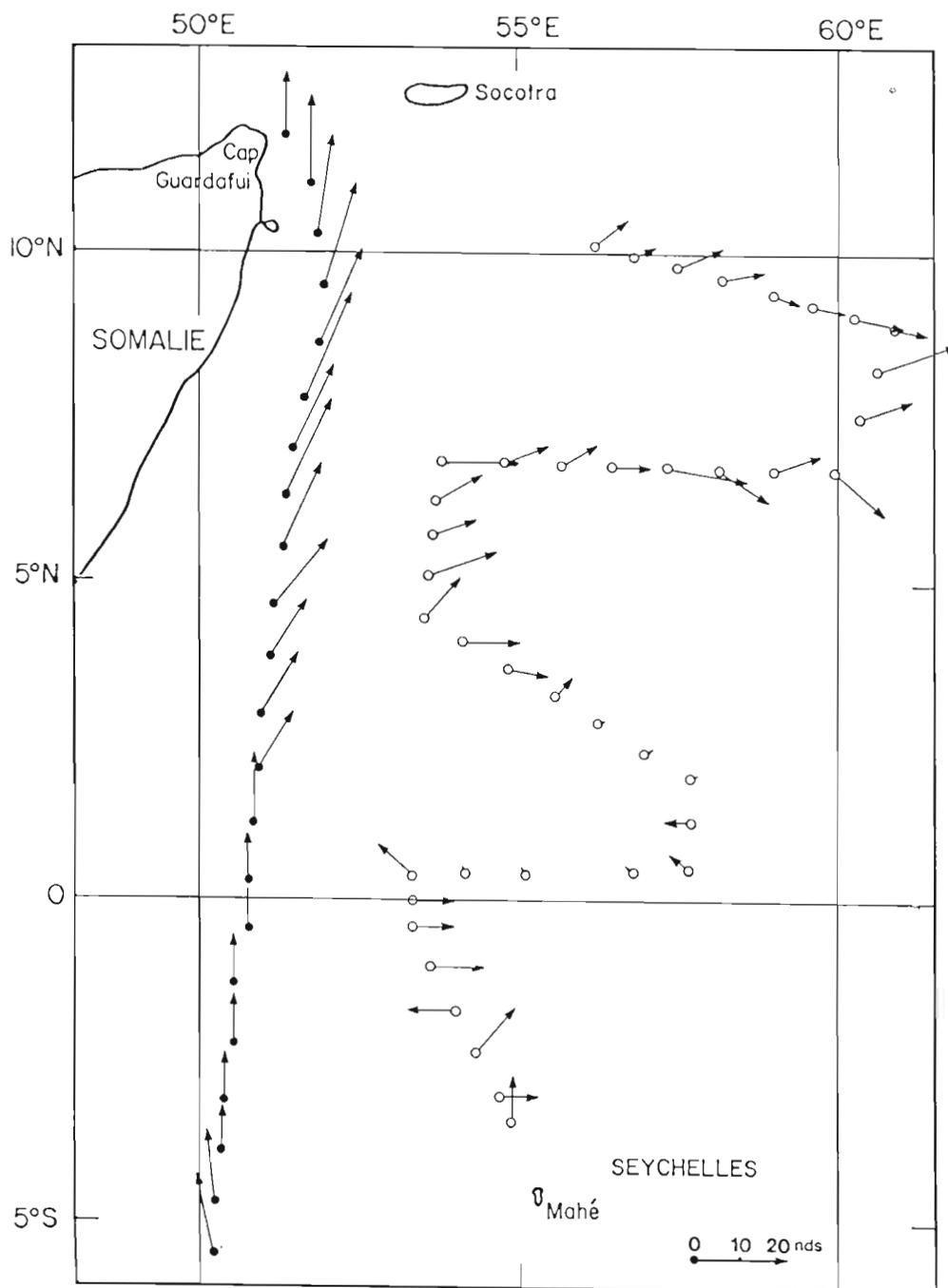


Fig.3 - Les vents (vitesse et direction) rencontrés par le MASCAROI du 15 au 22 septembre 1987 et par le N.O. ALIS du 3 au 17 octobre 1987.

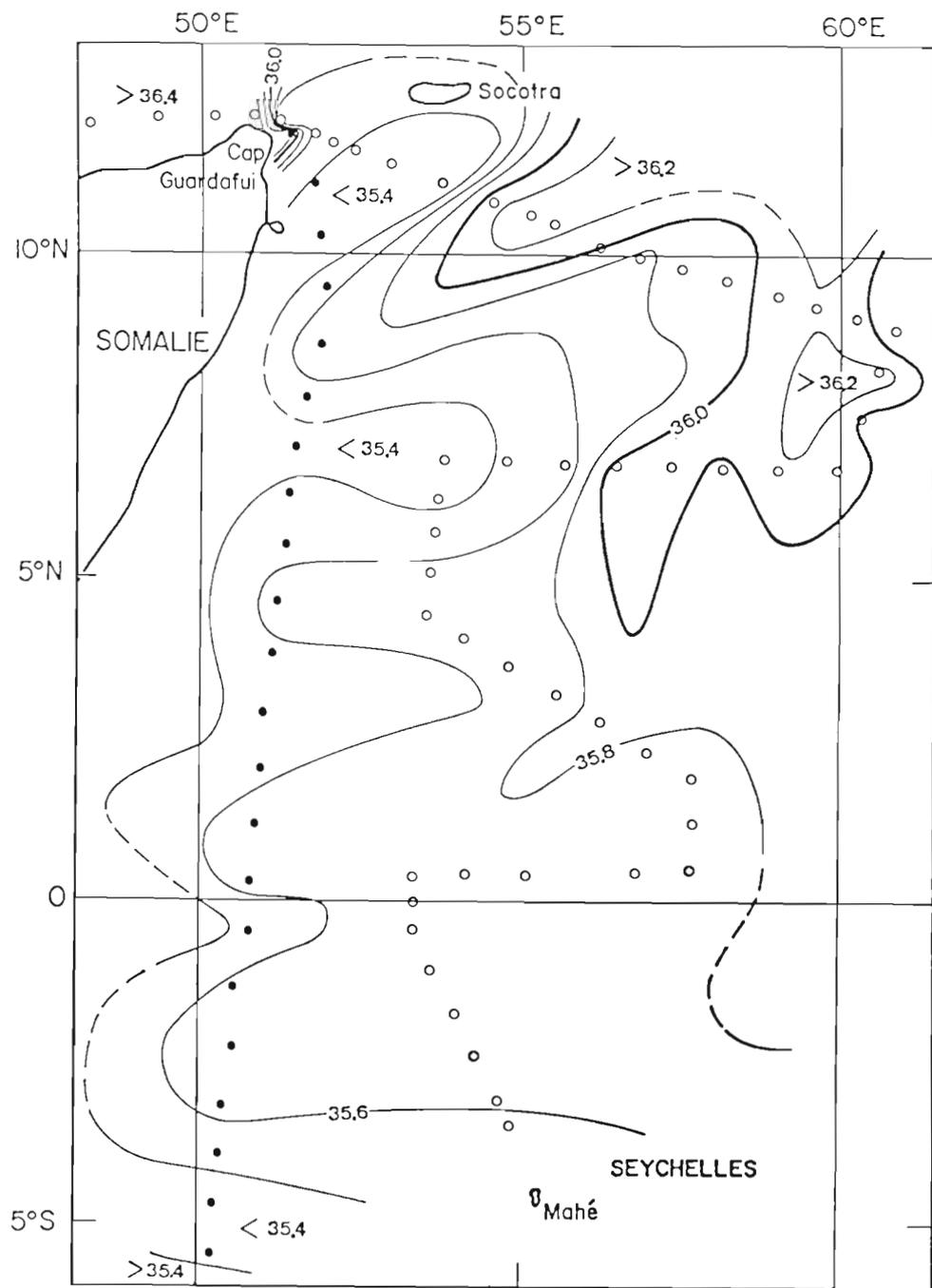
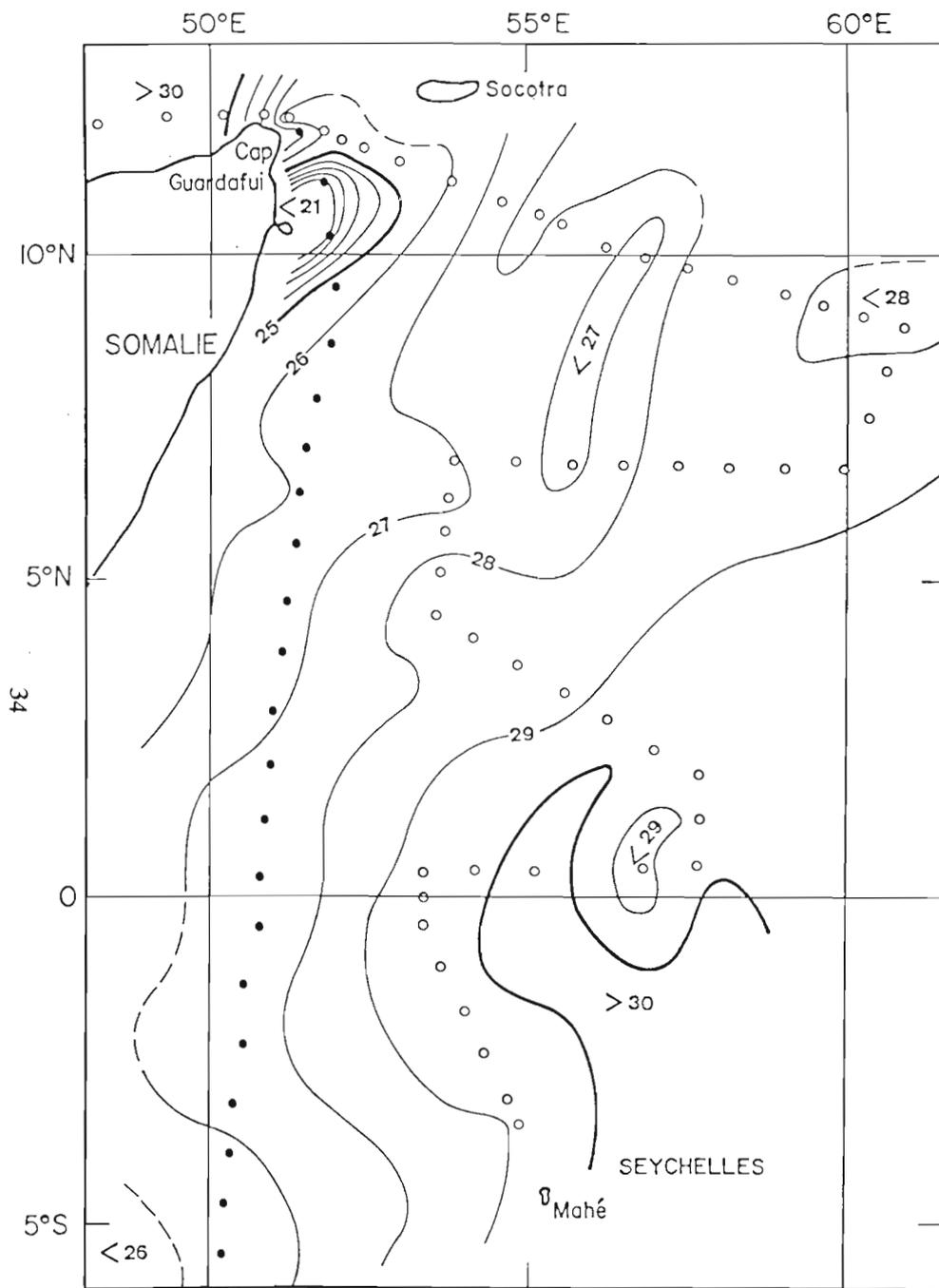


Fig.4 - Répartition horizontale de la température (a) et de la salinité (b) de surface du 15 septembre au 17 octobre 1987.

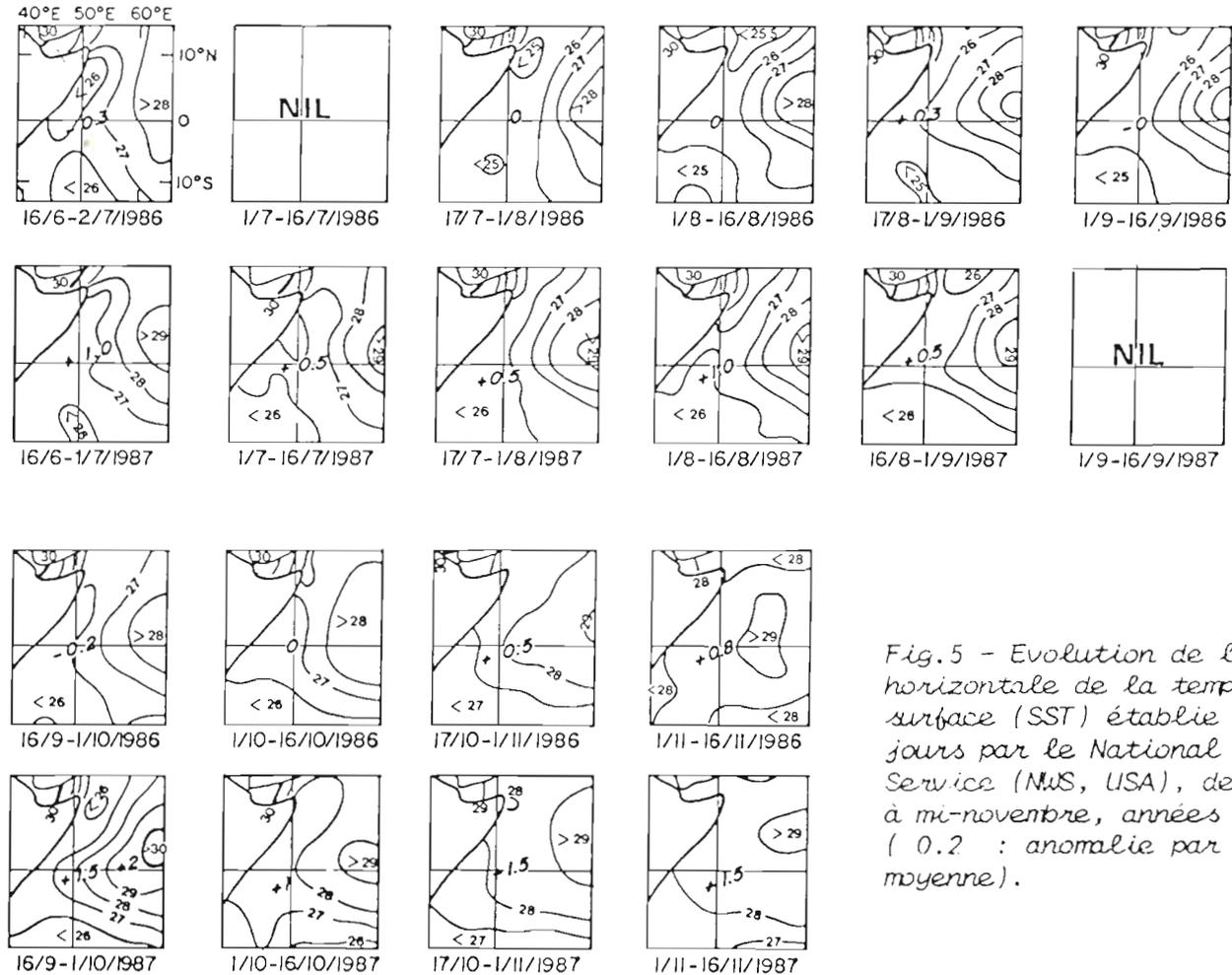


Fig.5 - Evolution de la répartition horizontale de la température de surface (SST) établie tous les 15 jours par le National Weather Service (NWS, USA), de mi-juin à mi-novembre, années 1986 et 1987. (0.2 : anomalie par rapport à la moyenne).

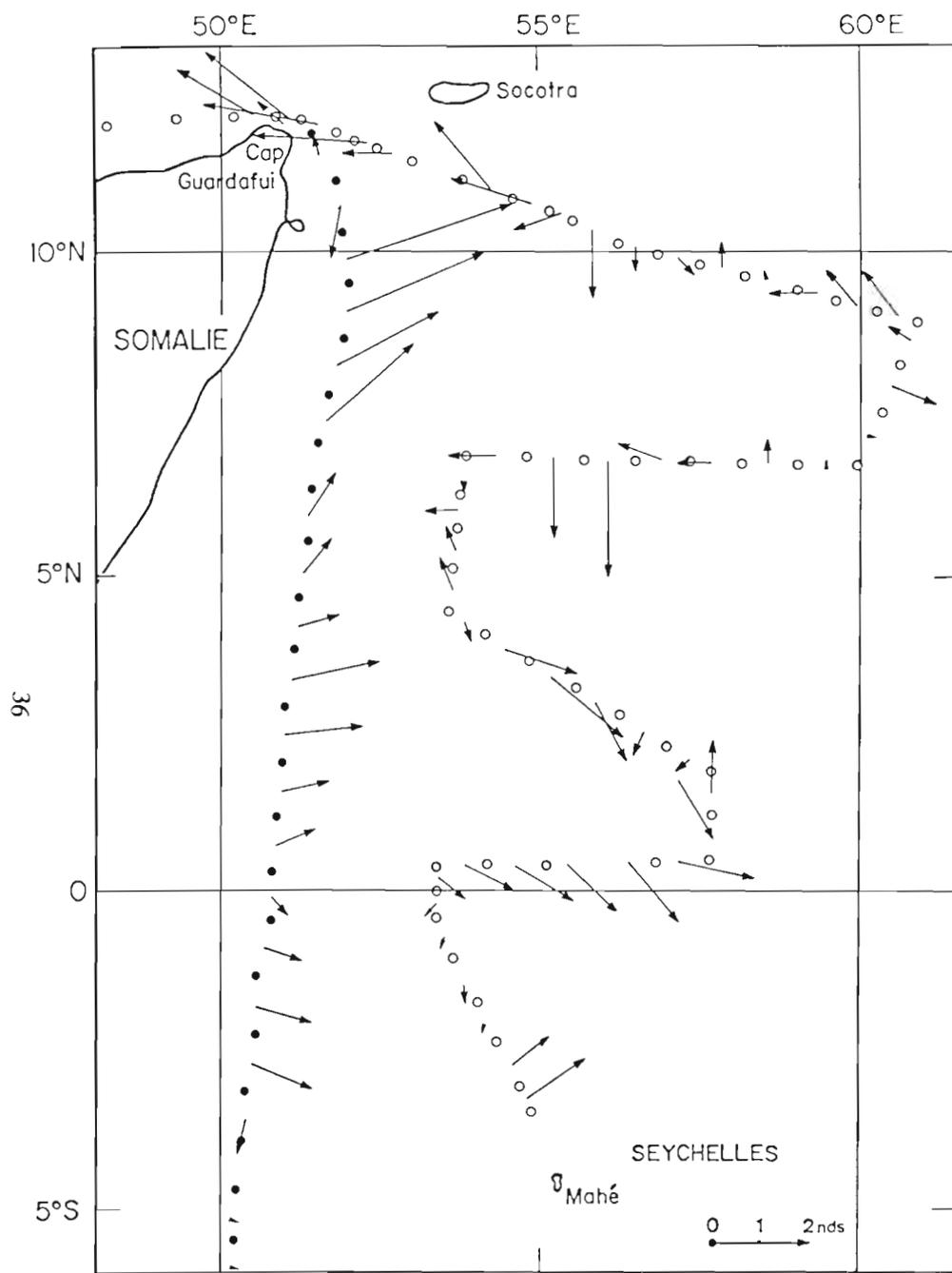


Fig.6 - a) Dérives déduites de la navigation du MASCAROI et du N.O. ALIS, du 15 septembre 1987 au 17 octobre 1987.

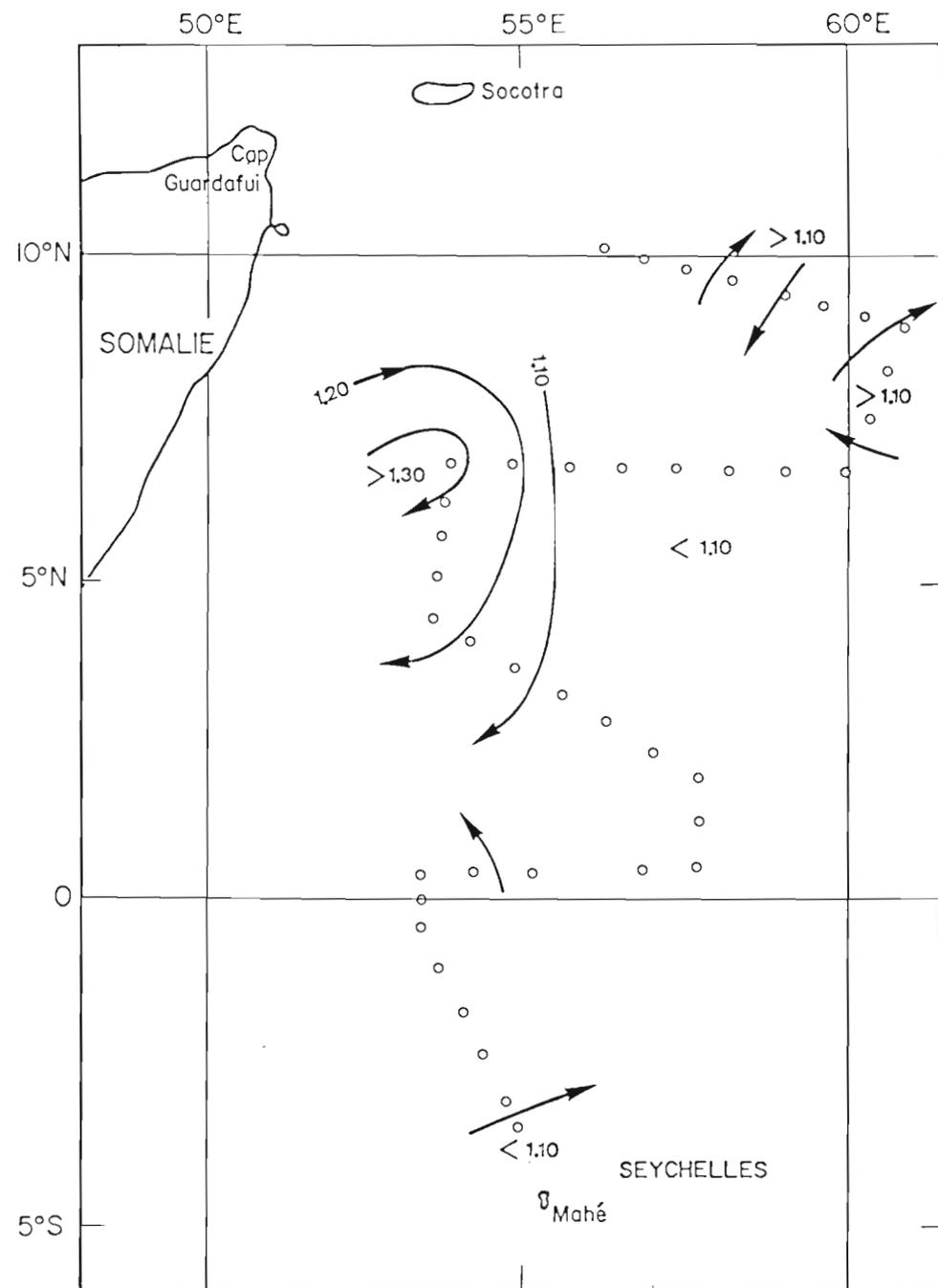
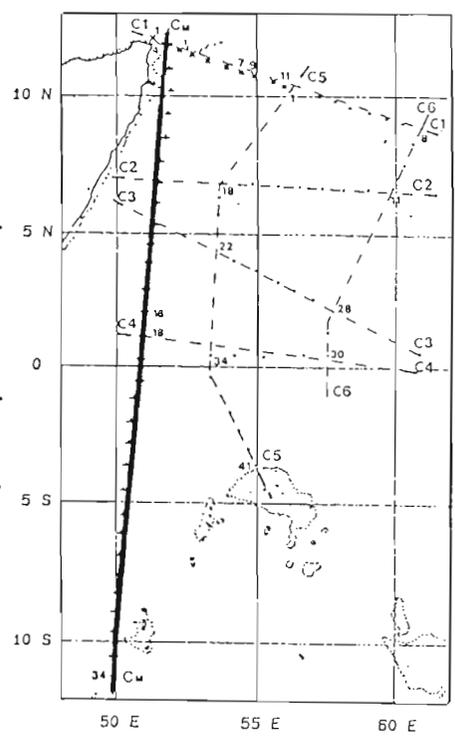
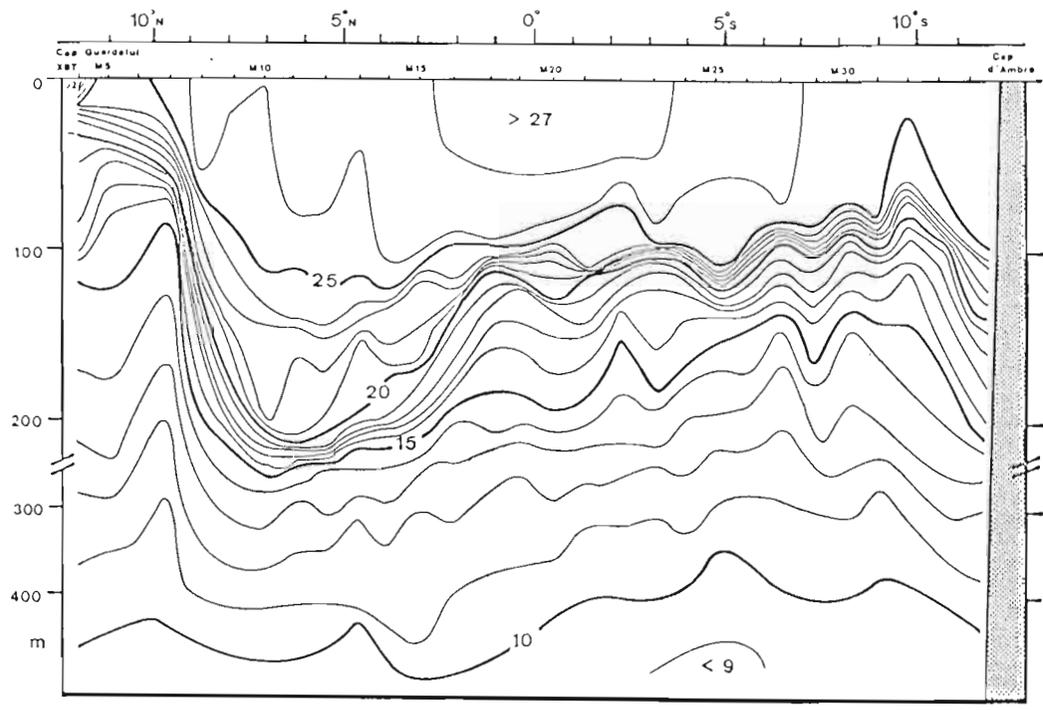
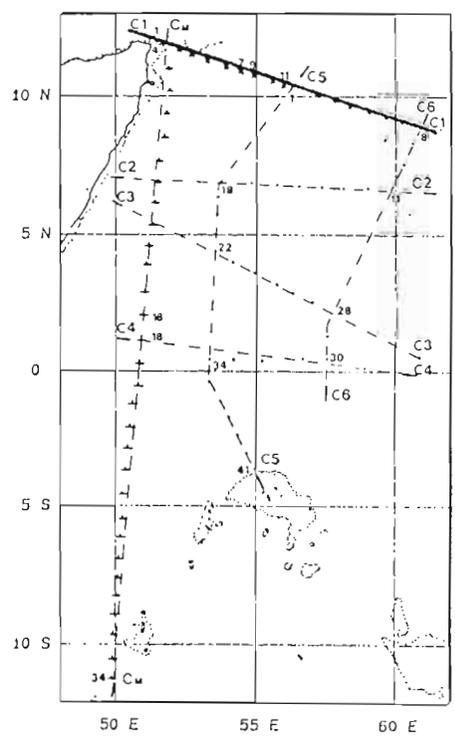
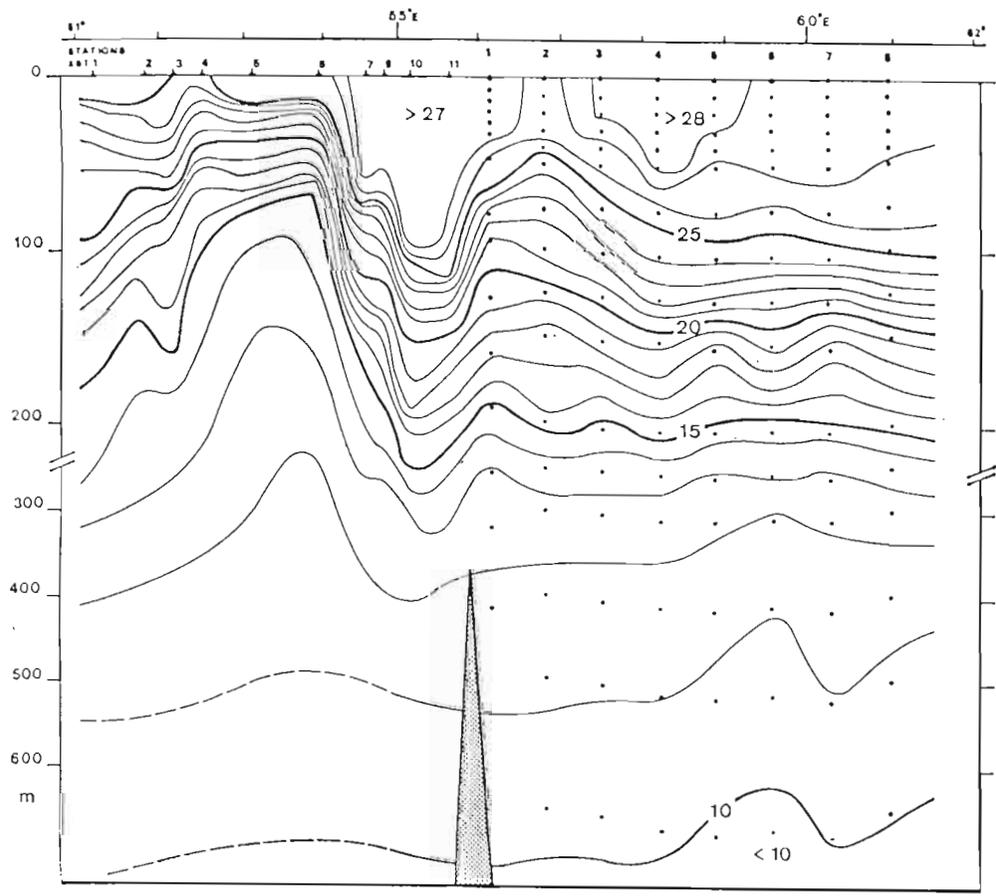


Fig.6 - b) Lignes de courant de surface déduites des anomalies de hauteurs dynamiques de la surface par rapport à 500 décibars.

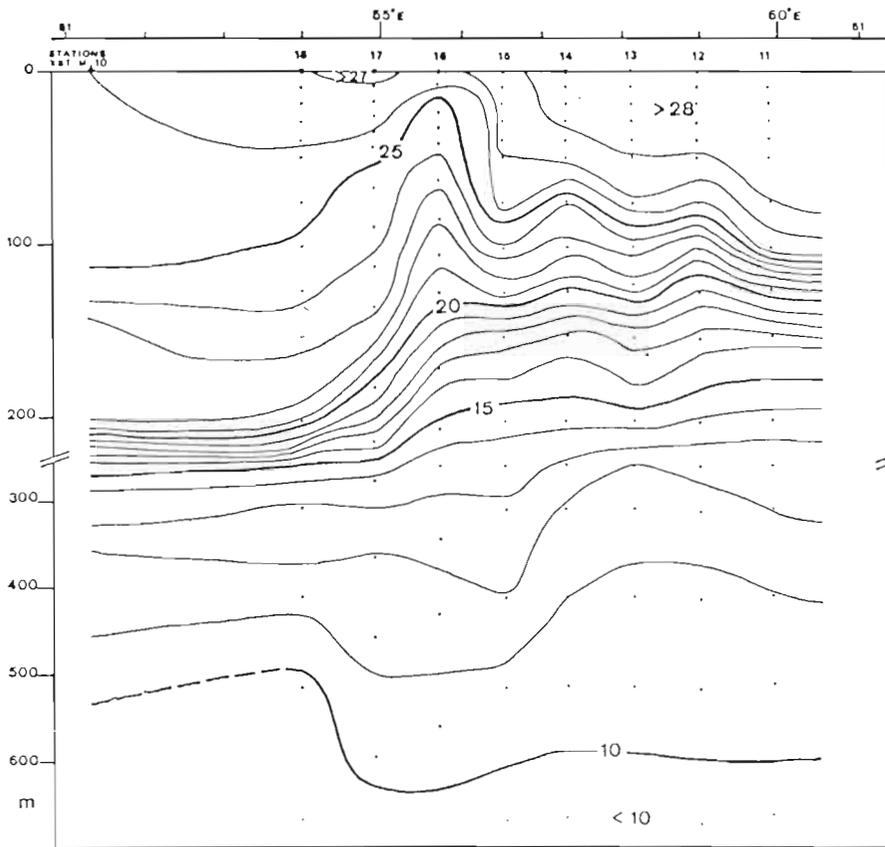


a) coupe C1C6 du cap Guardafui jusqu'au nord de Madagascar, a partir des XBT effectués par le MASCAROI, approximativement sur 51°E.

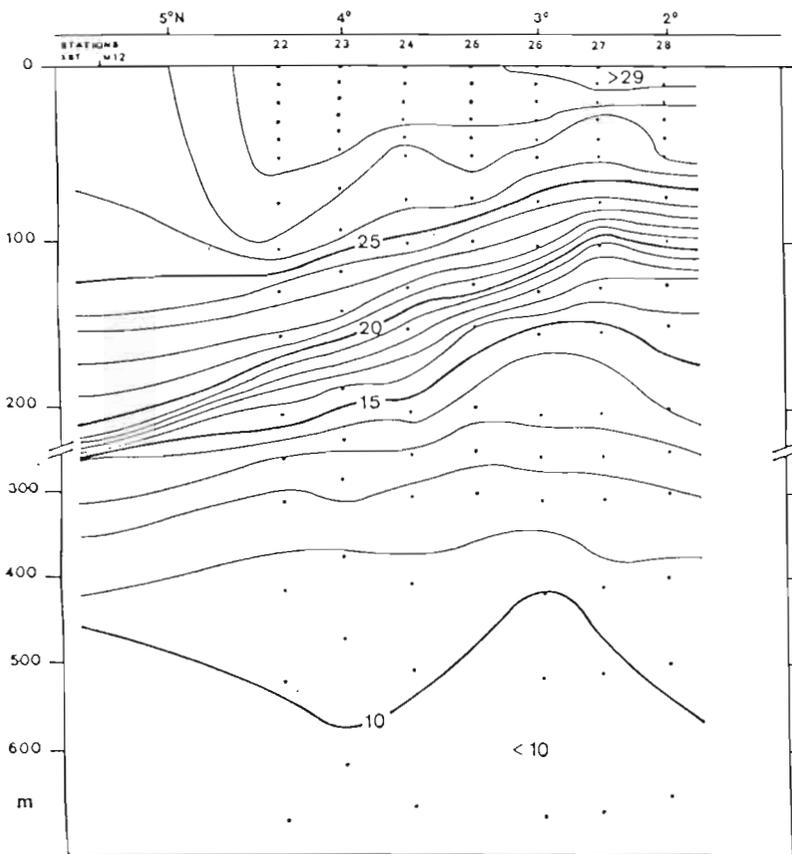
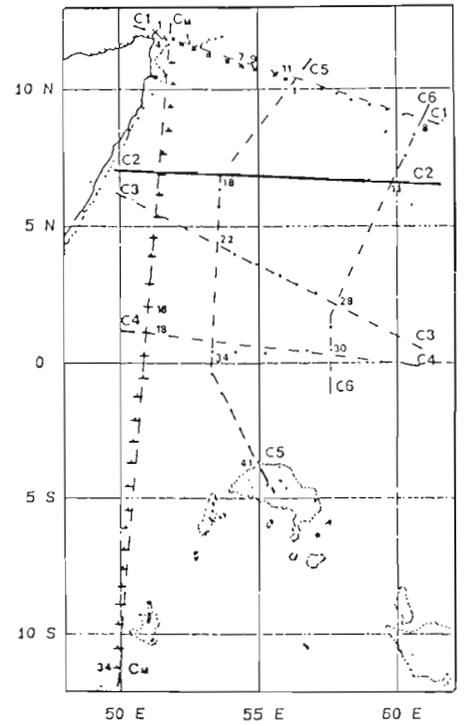


b) coupe C1C1 du N.O. ALIS, approximativement sur 10°N.

Fig.7 - Répartition verticale de la température (degrés Celsius) de la surface à 700 mètres de profondeur au maximum, le long de radiales. En encadre, situation de la coupe présentée.



c) coupe C2C2 sur 7°N.



d) coupe C3C3 sur 3°N.

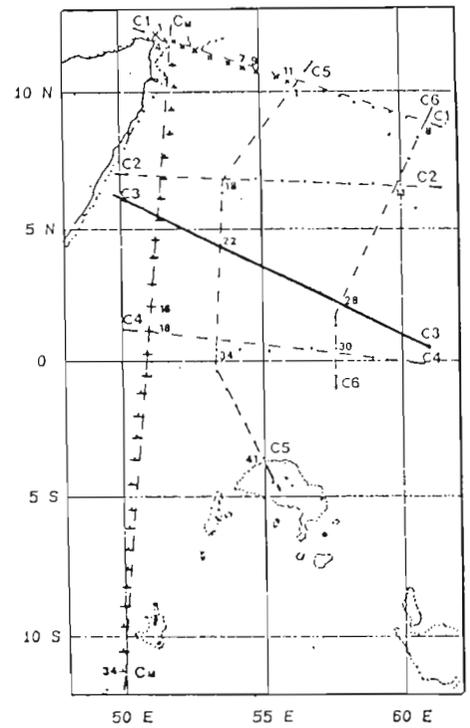
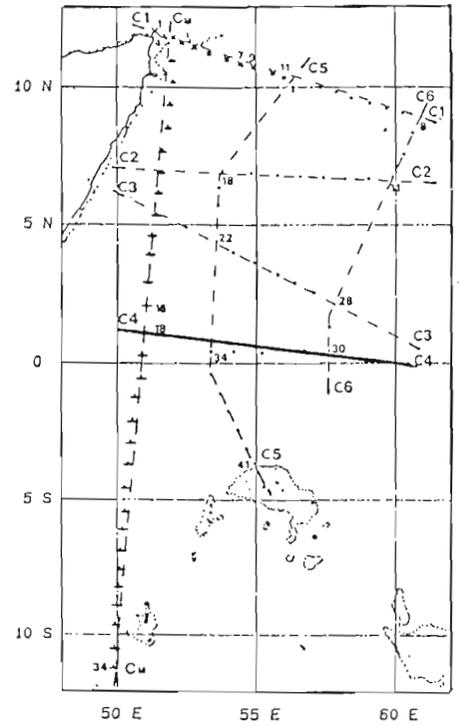
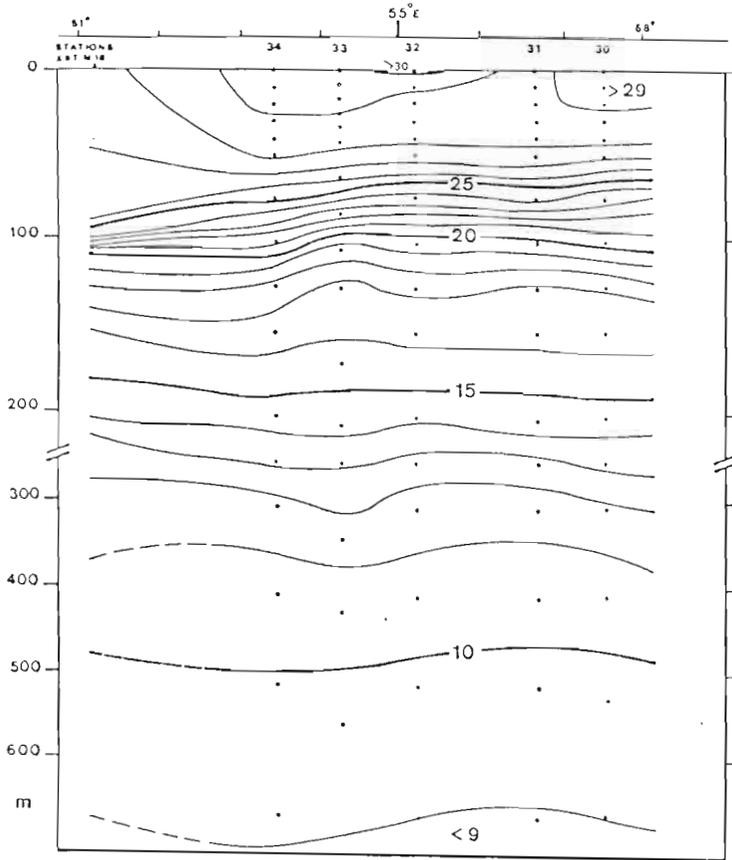
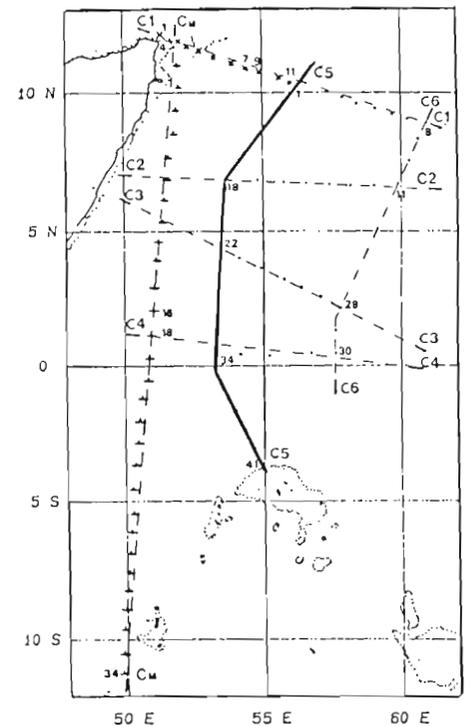
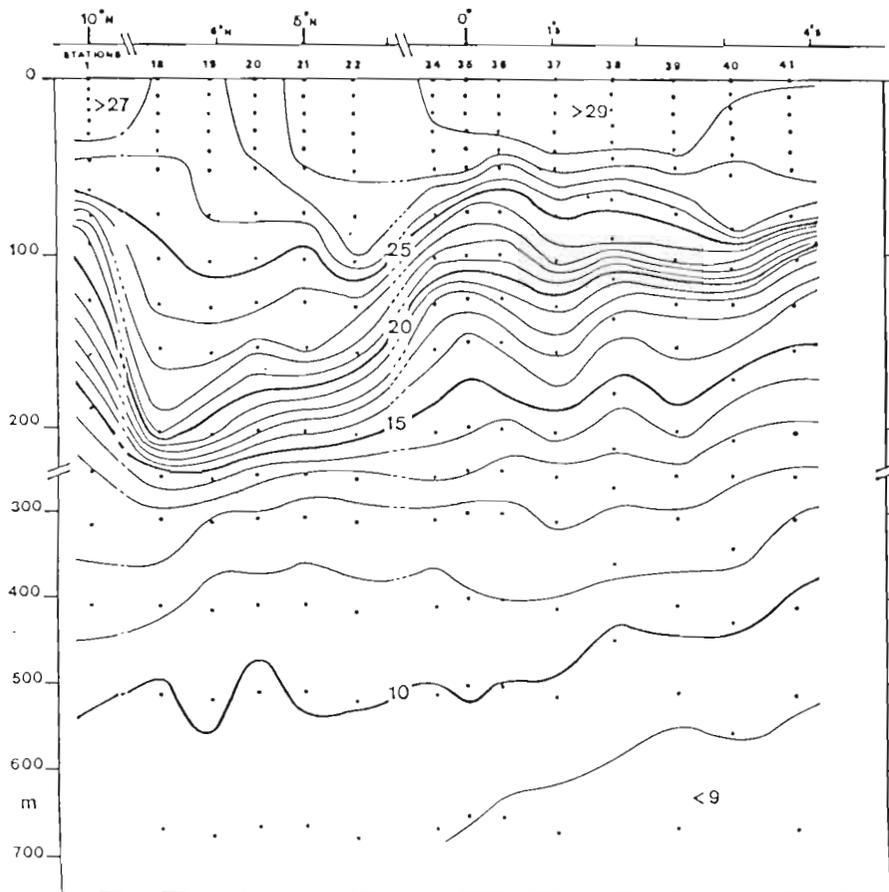


Fig.7 (suite) - Répartition verticale de la température le long des radiales :

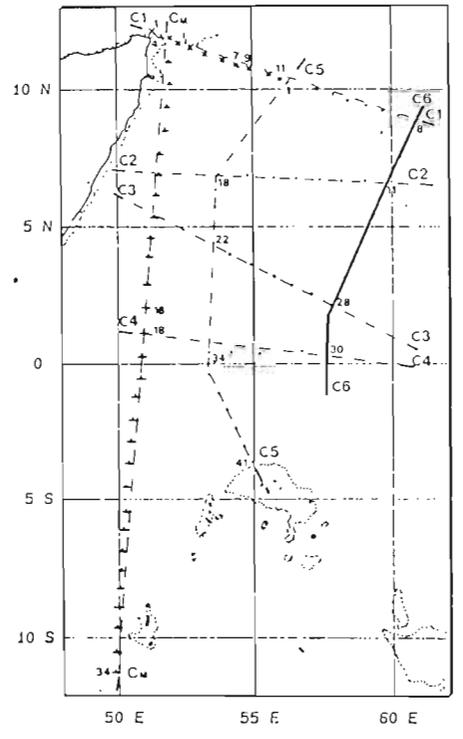
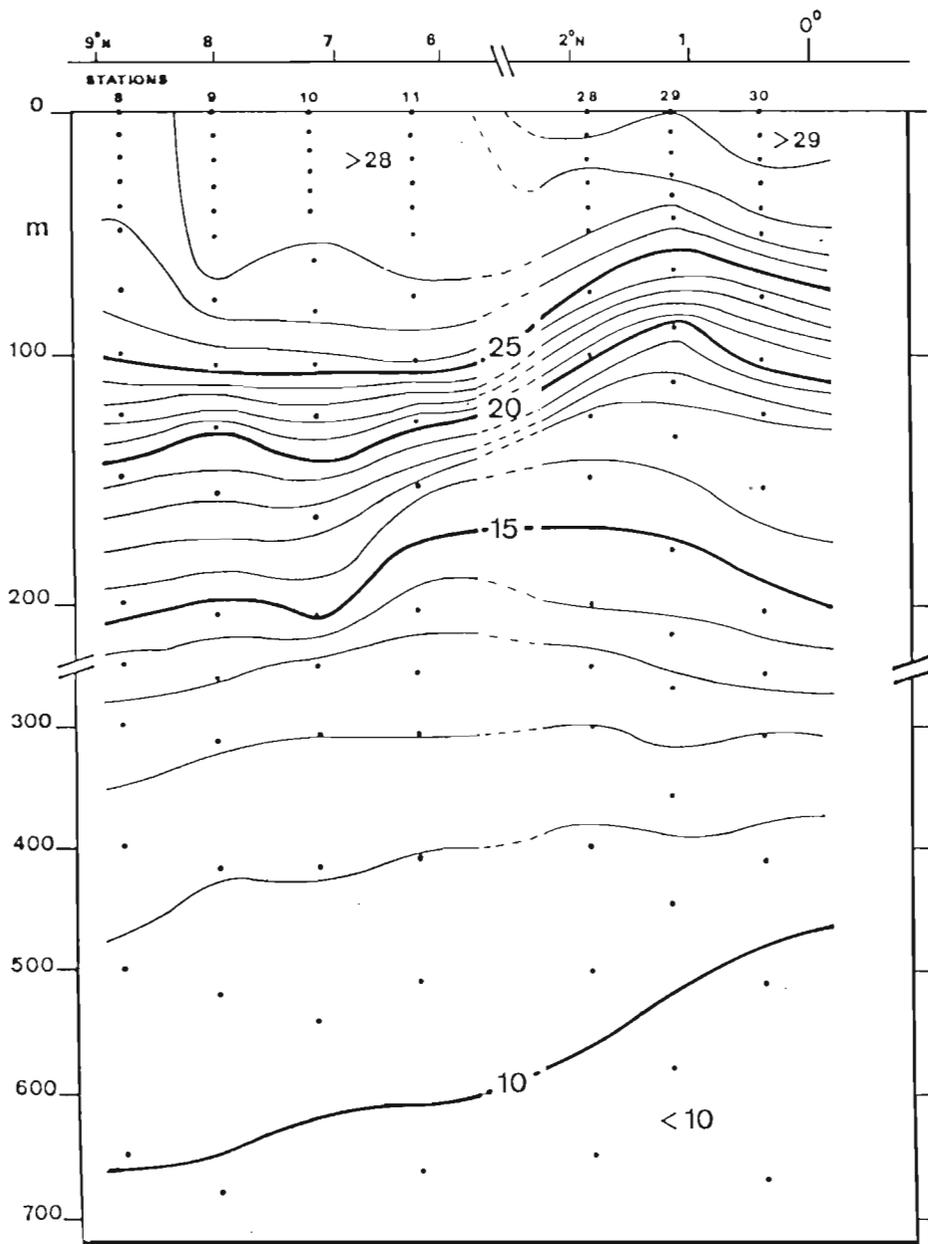


e) coupe C4C4 sur 1°N.



f) coupe C5C5, de 10°N à 4°S, approximativement sur 57°E.

Fig.7 (suite) - Répartition verticale de la température le long des radiales :



g) coupe C6C6, de 9°N à l'équateur sur 59°E.

Fig.7 (suite) - Répartition verticale de la température le long des radiales :

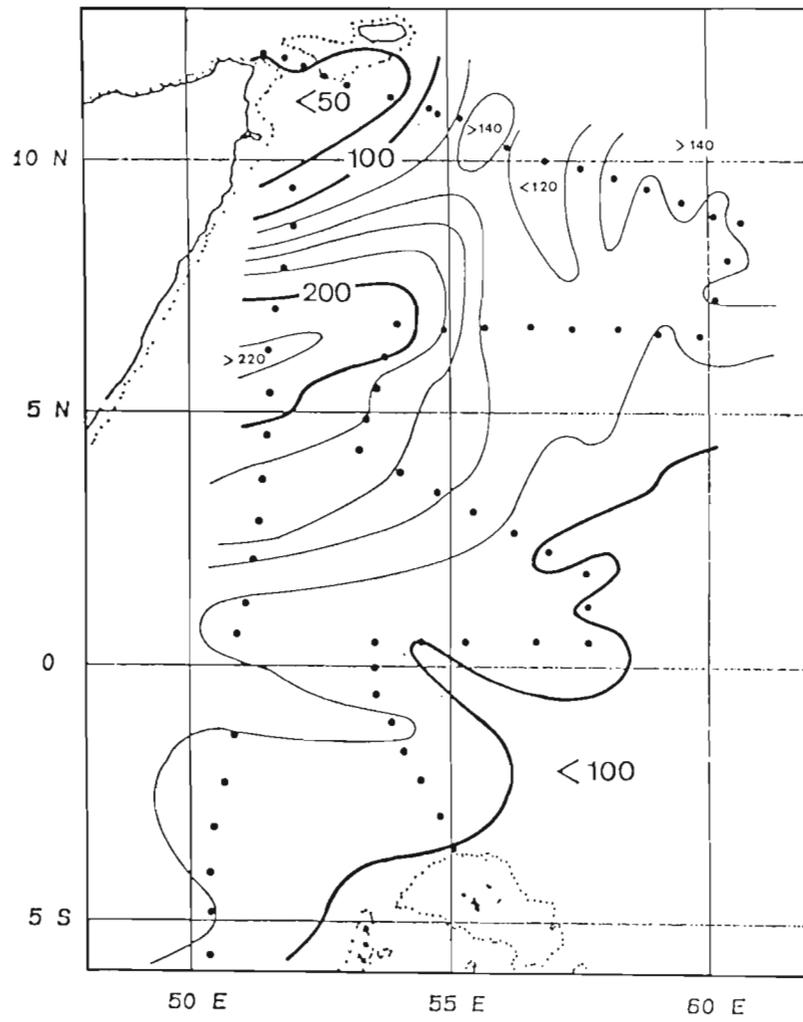


Fig.8 - a) Evolution de la profondeur de l'isotherme 20°C, du 15 septembre au 17 octobre 1987.

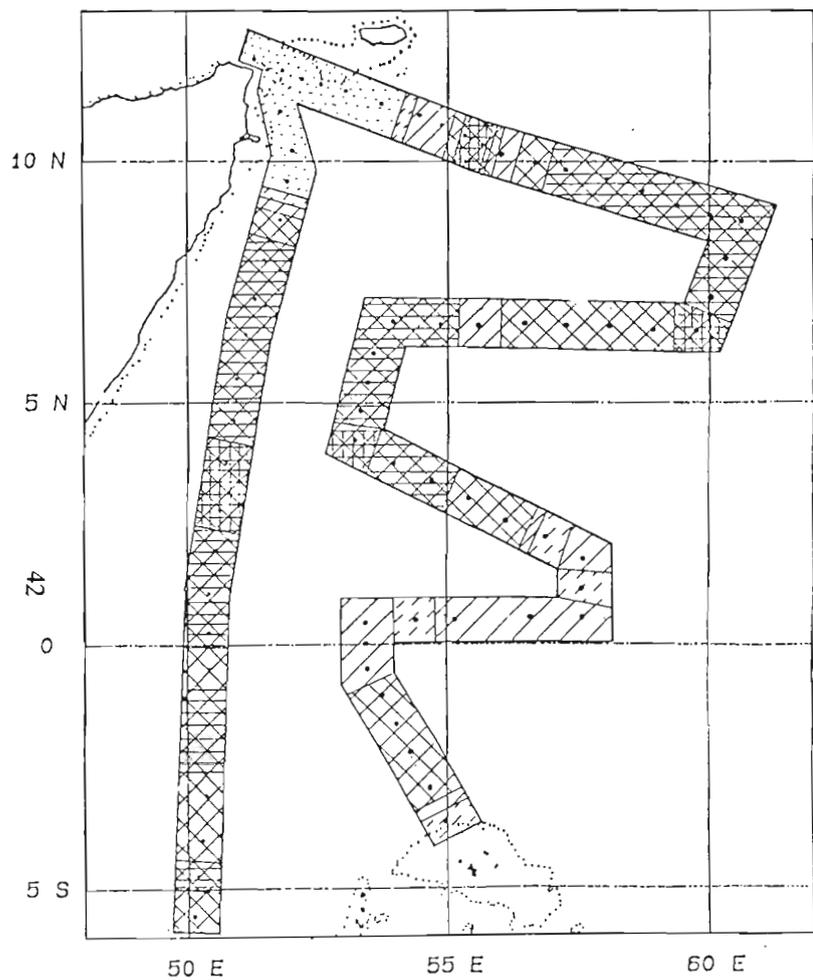


Fig.8 - b) Température à 100 mètres de profondeur, du 15 septembre au 17 octobre 1987.

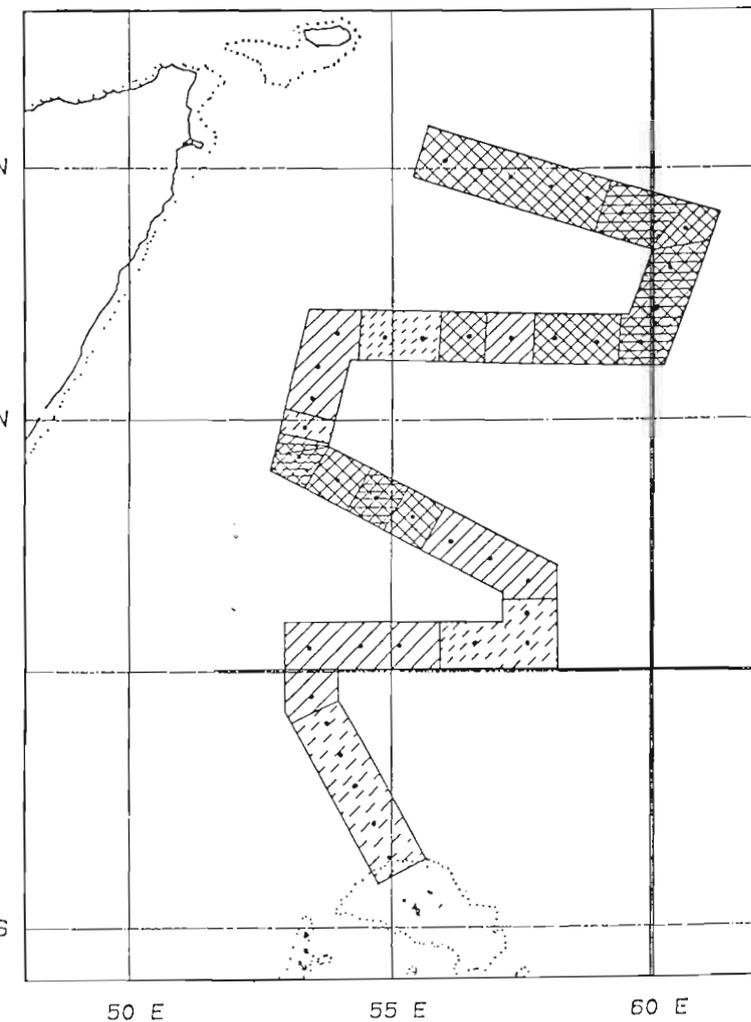
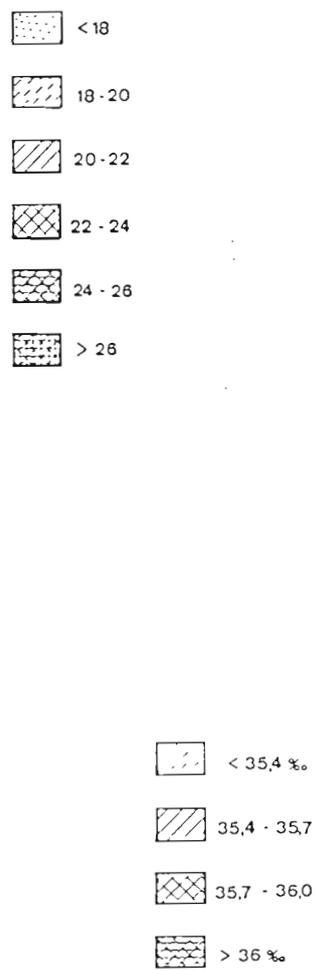
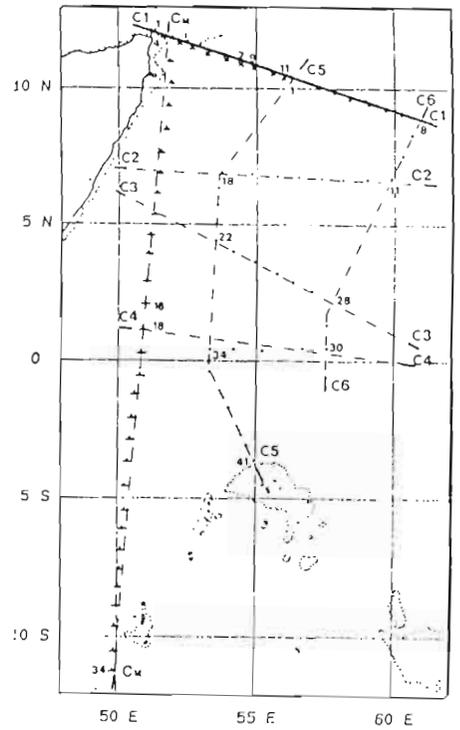
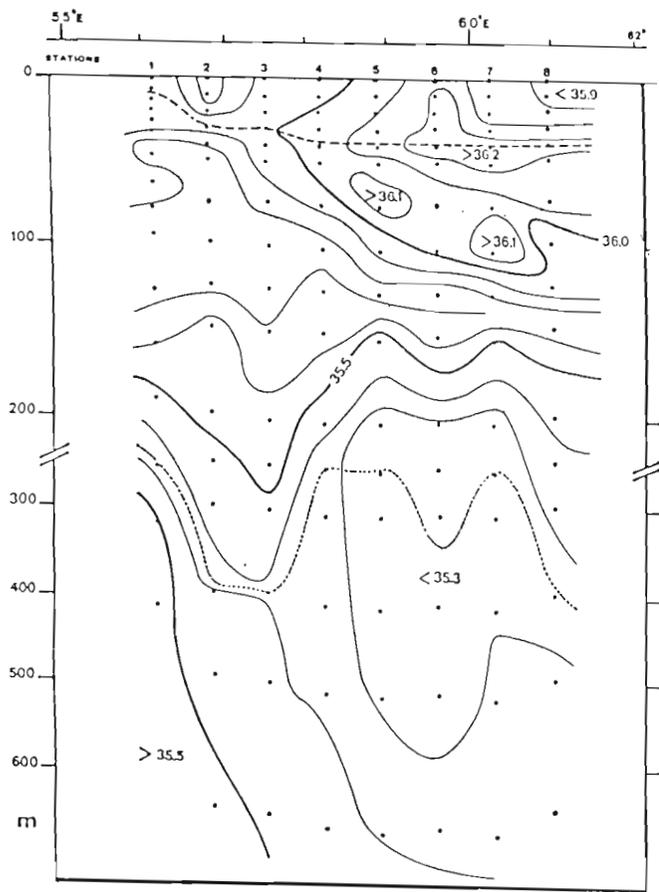
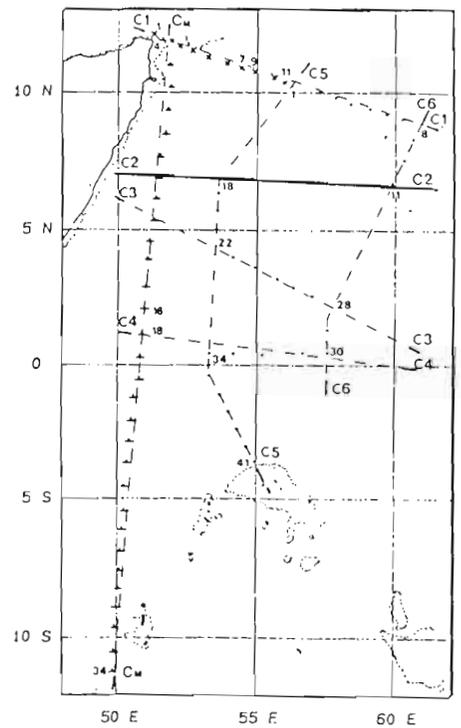
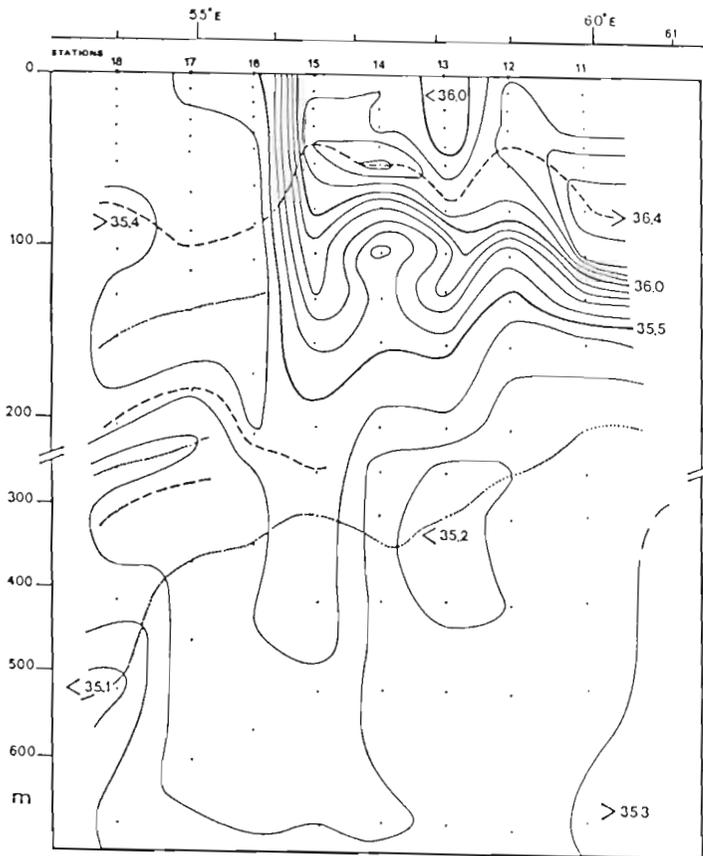


Fig.8 - c) Salinité à 100 mètres de profondeur, du 3 au 17 octobre 1987.

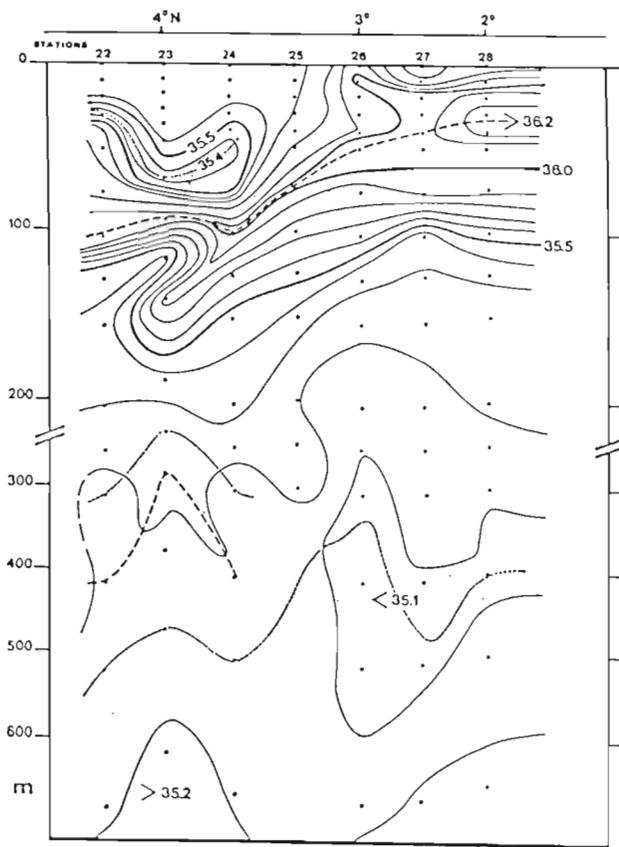


a) coupe C1C1 approximativement sur 10°N.

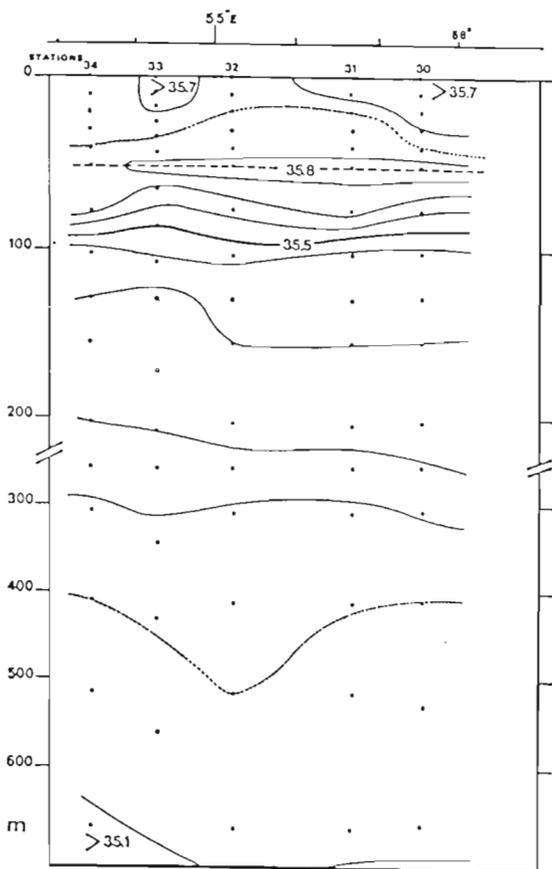


b) coupe C2C2 sur 7°N.

Fig.9 - Répartition verticale de la salinité (‰), de la surface à 700 mètres de profondeur au maximum, le long des radiales :



c) coupe C3C3 sur 3°N.



d) coupe C4C4 sur 1°N.

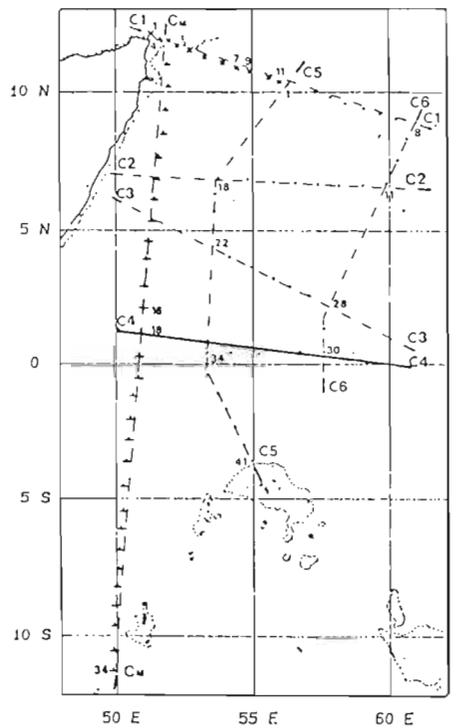
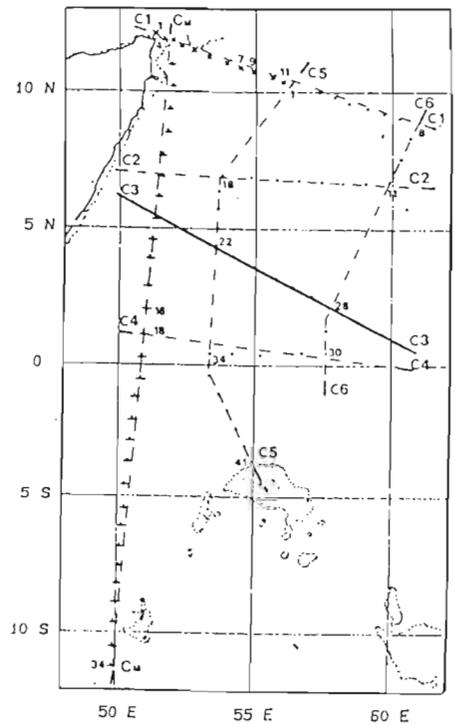
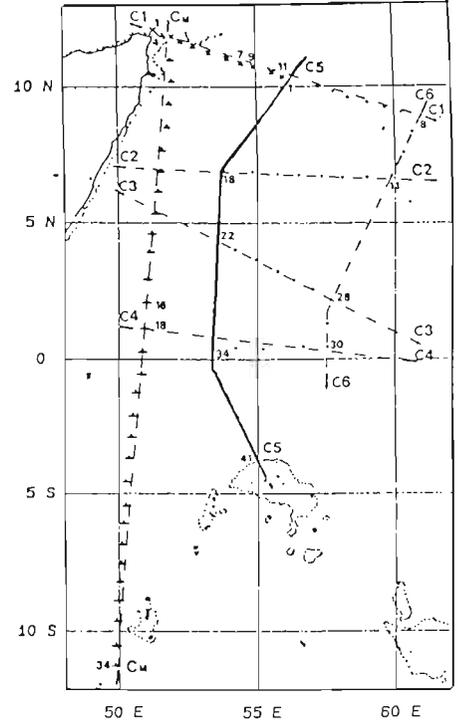
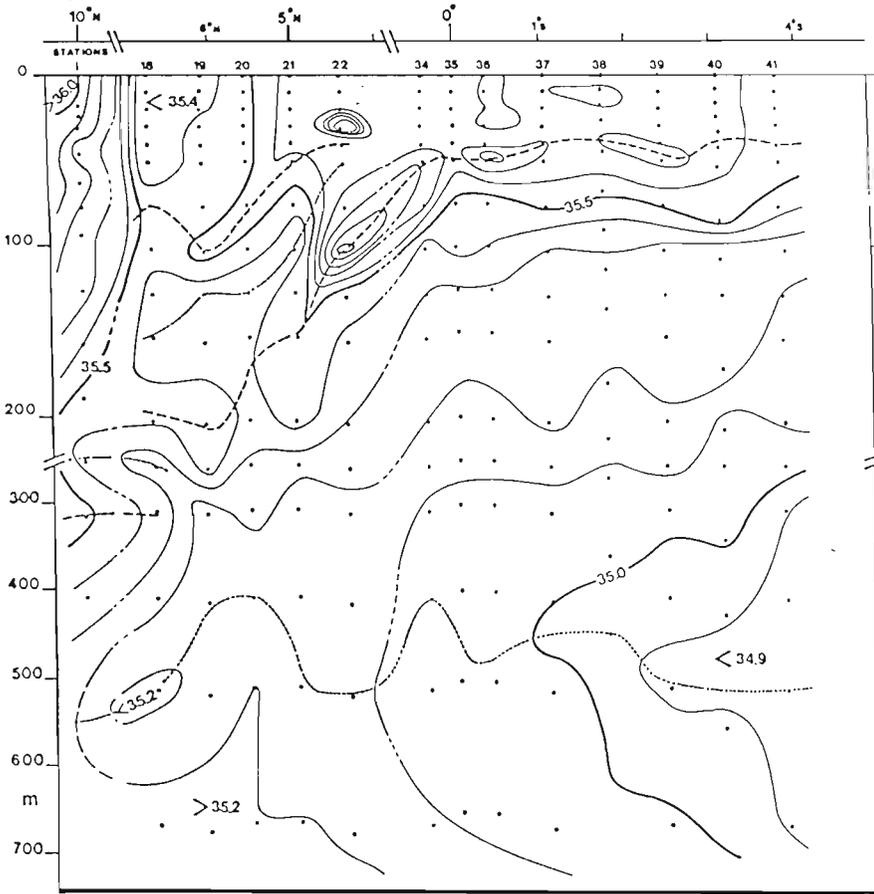
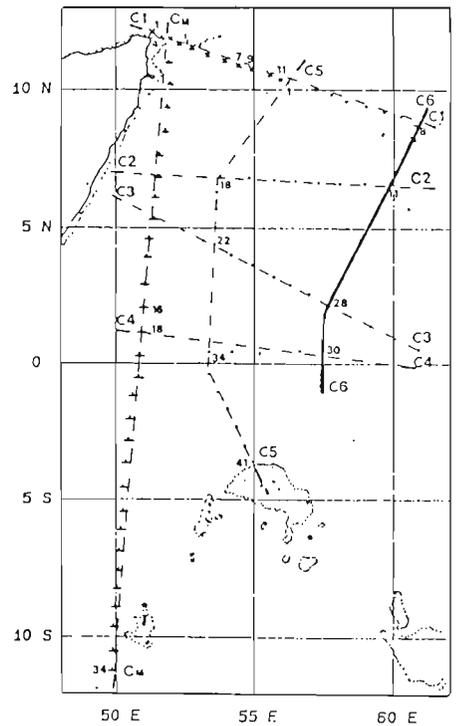
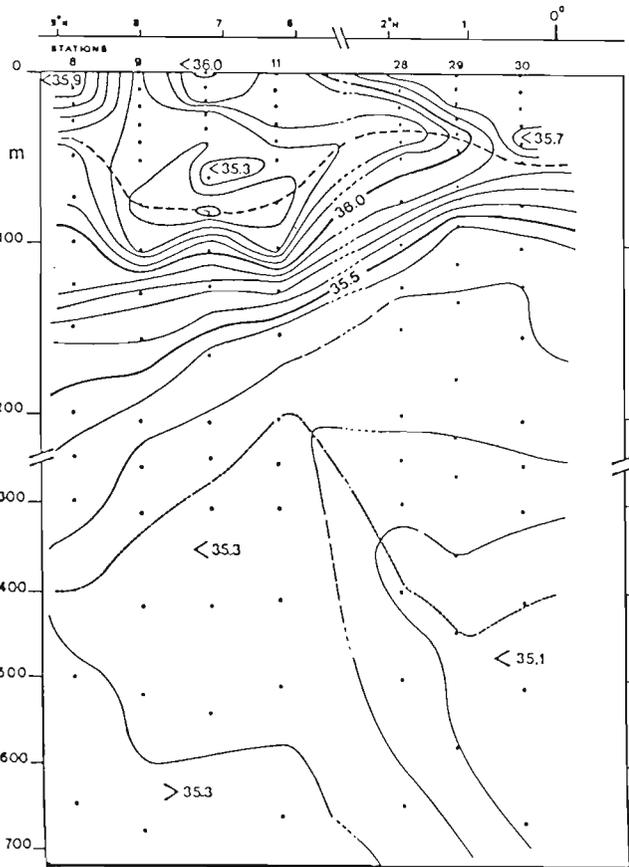


Fig.9 (suite) - Répartition verticale de la salinité le long des radiales :

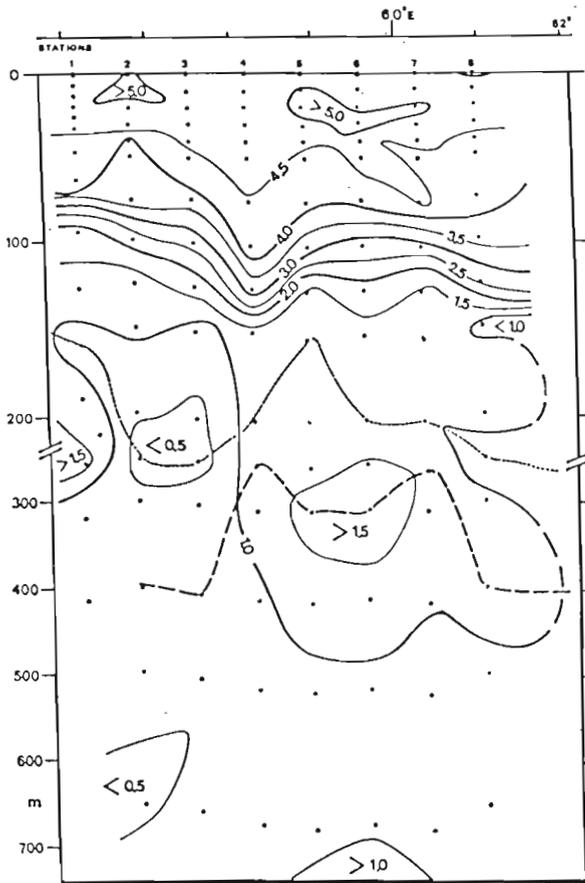


e) coupe C5C5, de 10°N à 4°S, le long de 55°E.

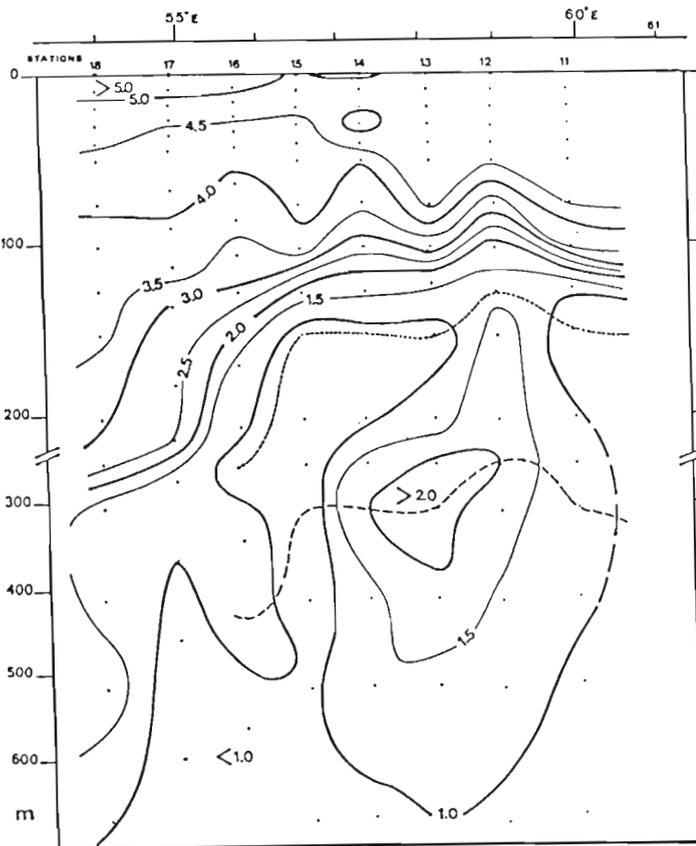
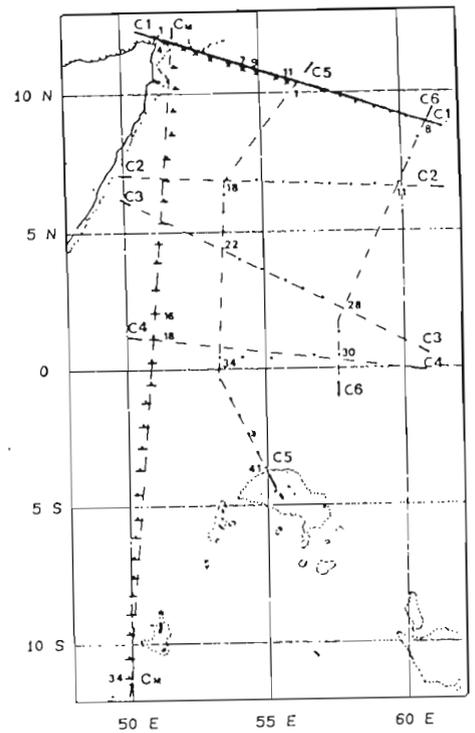


f) coupe C6C6, de 9°N à l'équateur, le long de 59°E.

Fig.9 (suite) - Répartition verticale de la salinité le long des radiales :



a) coupe C1C1 sur 10°N.



b) coupe C2C2 sur 7°N.

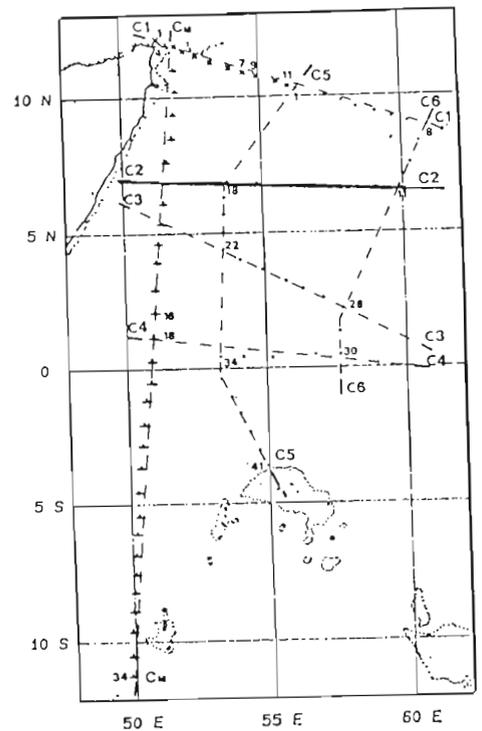
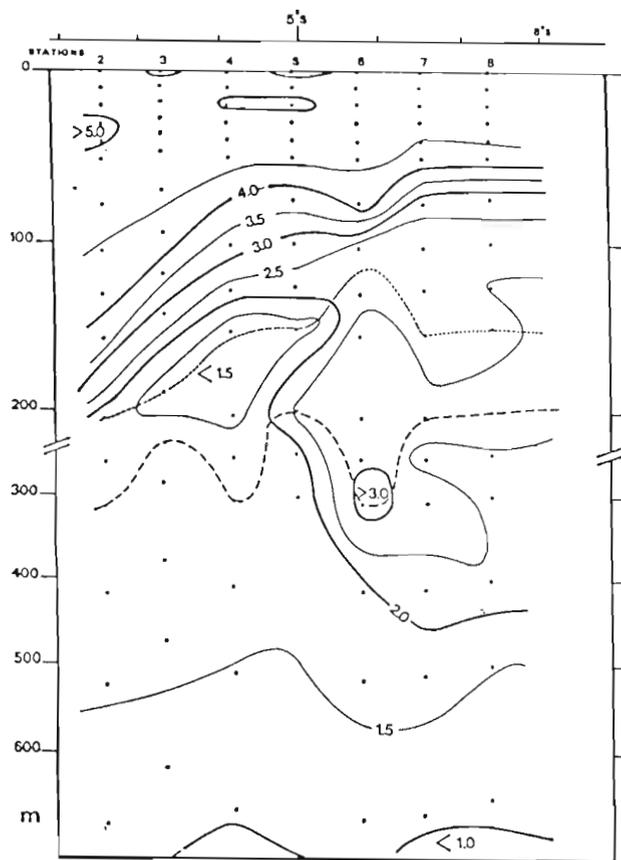
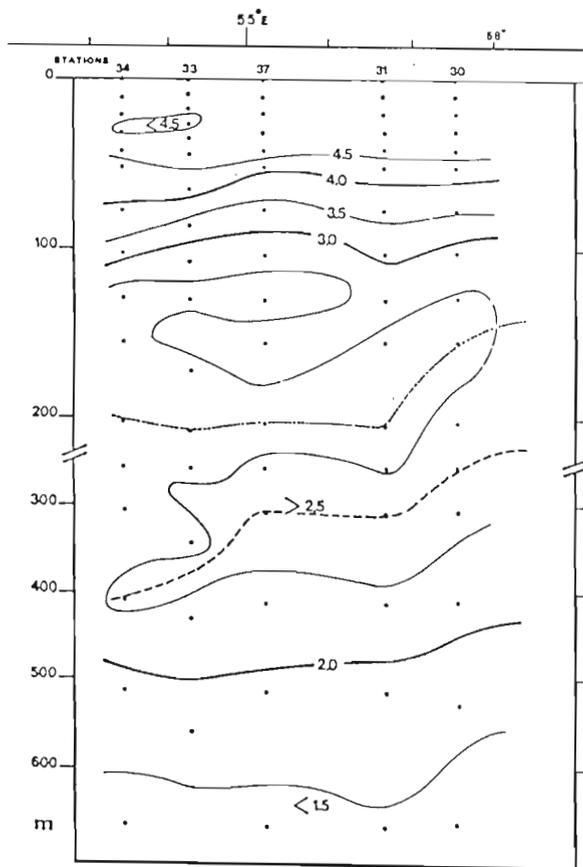
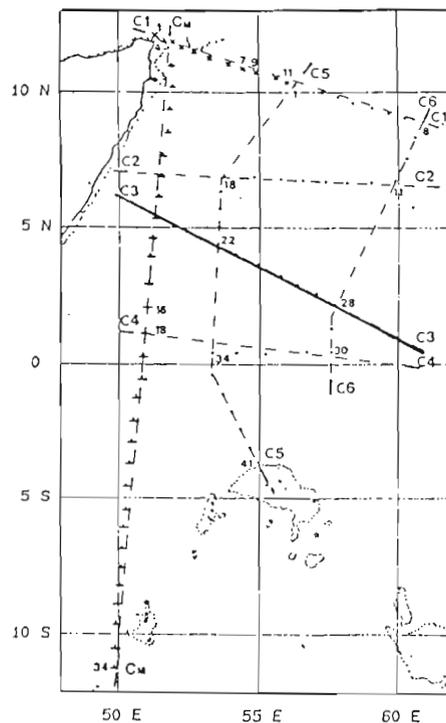


Fig.10 - Répartition verticale de l'oxygène dissous (ml/l) de la surface à 700 mètres de profondeur au maximum, le long des radiales :



c) coupe C3C3 sur 3°N.



d) coupe C4C4 sur 1°N.

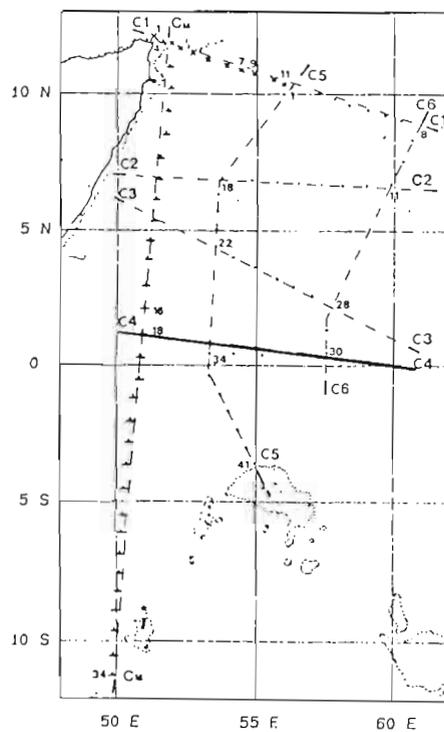
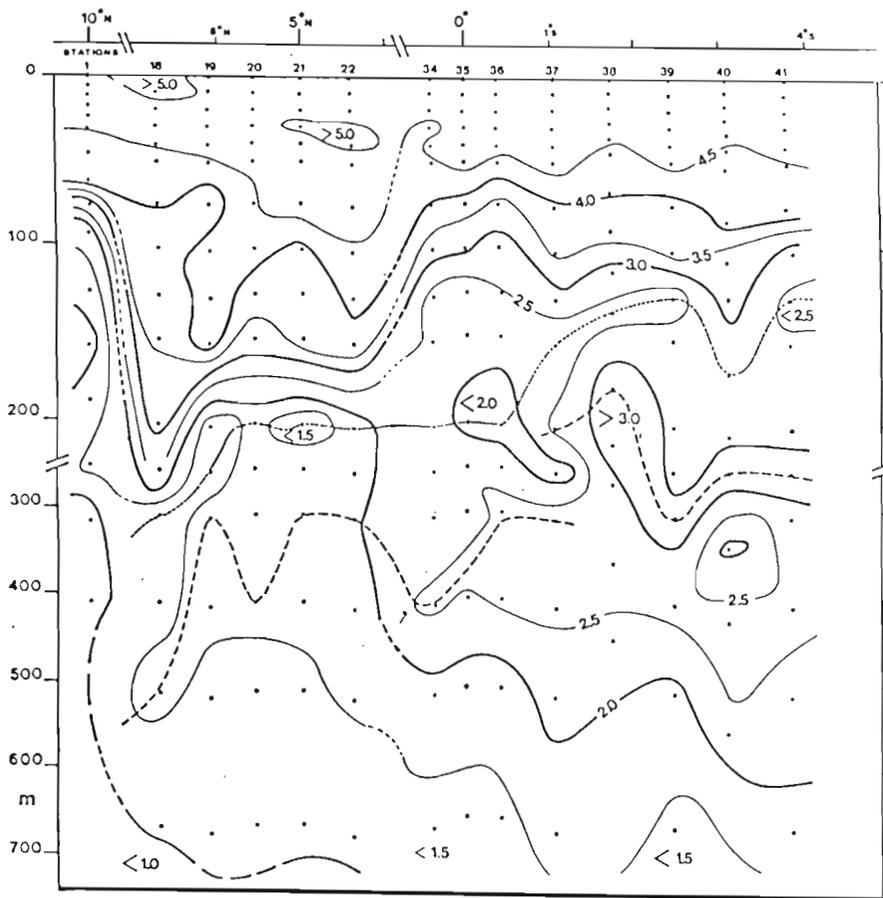
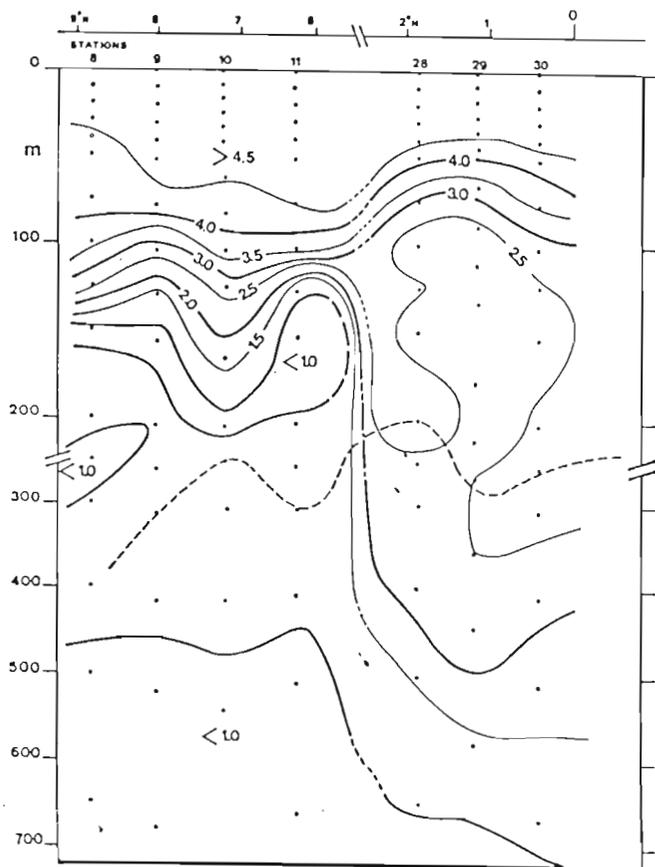
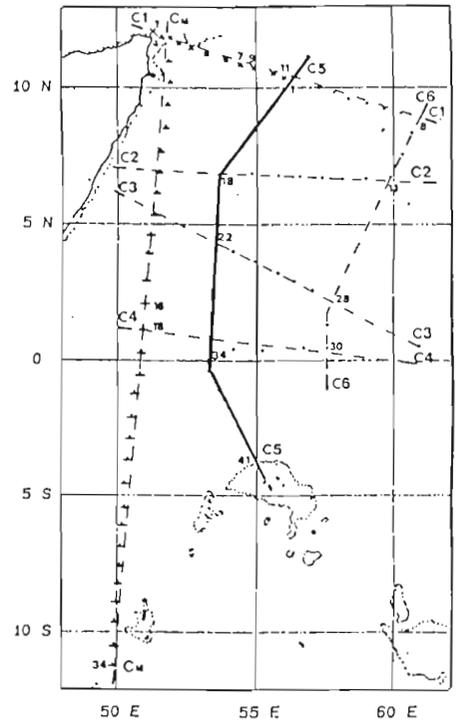


Fig.10 (suite) - Répartition verticale de l'oxygène dissous le long des radiales :



e) coupe C5C5 de 10°N à 4°S le long de 55°E.



f) coupe C6C6 de 9°N à l'équateur le long de 59°E.

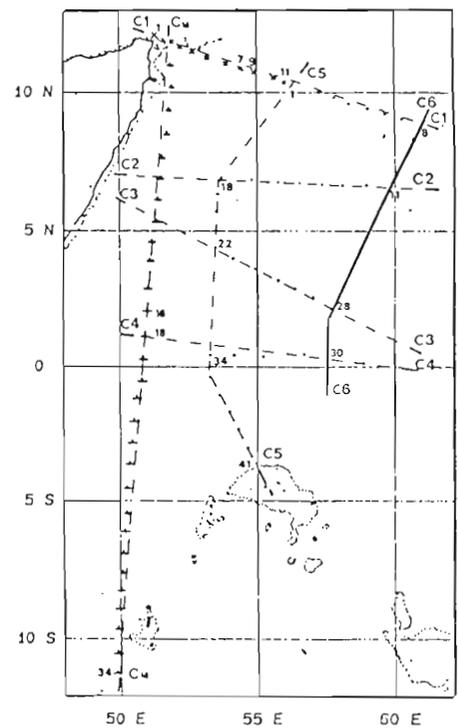


Fig.10 (suite) - Répartition verticale de l'oxygène dissous le long des radiales :

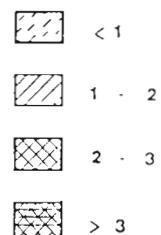
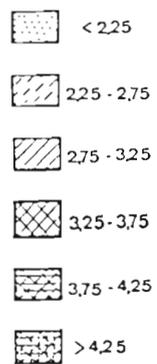
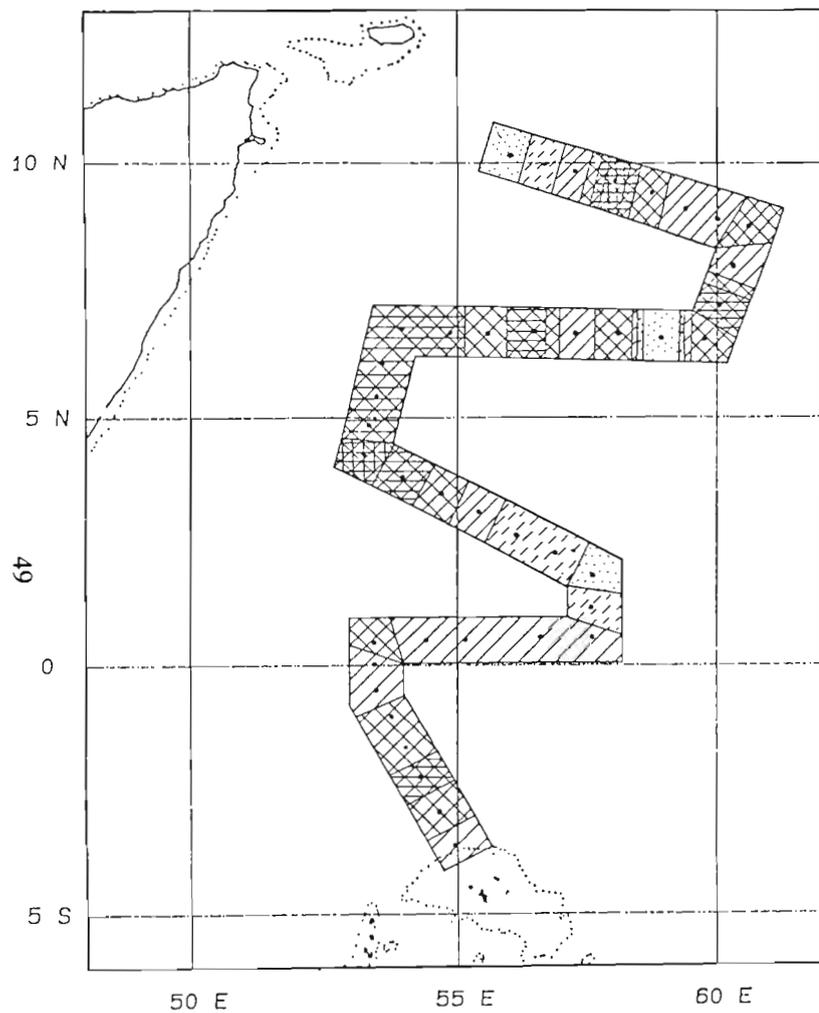


Fig.11 - a) Teneurs en oxygène dissous à 100 mètres de profondeur.

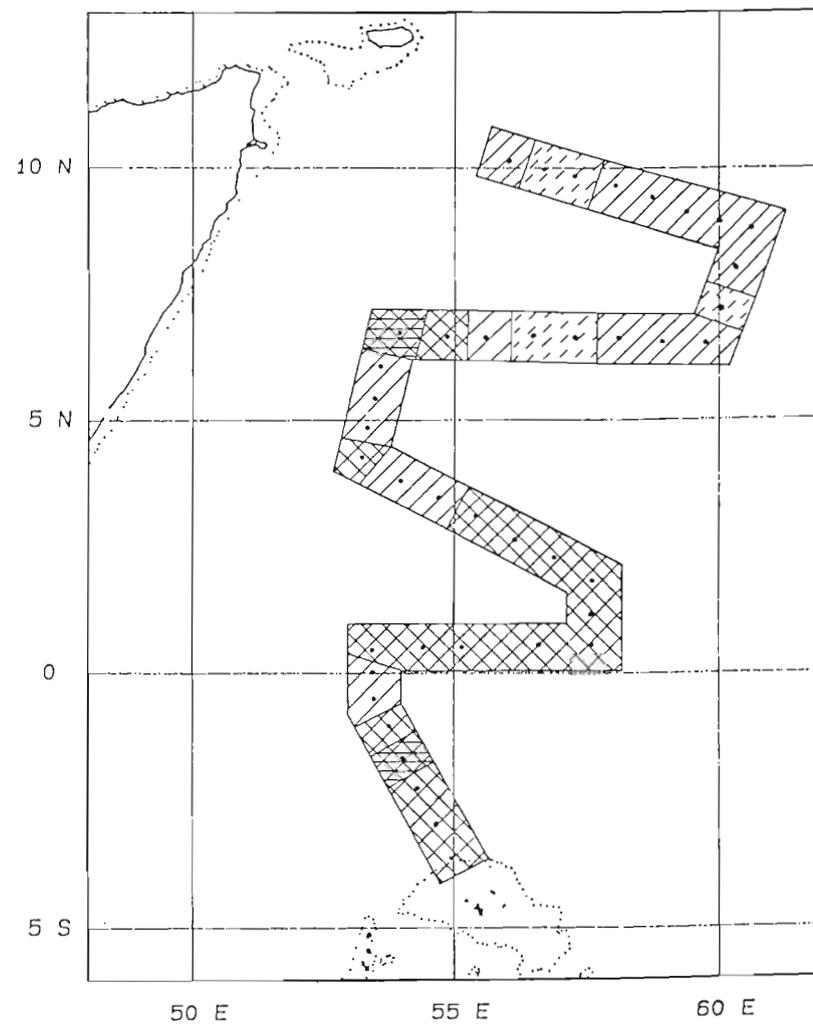


Fig.11 - b) Teneurs en oxygène dissous à 200 mètres de profondeur.

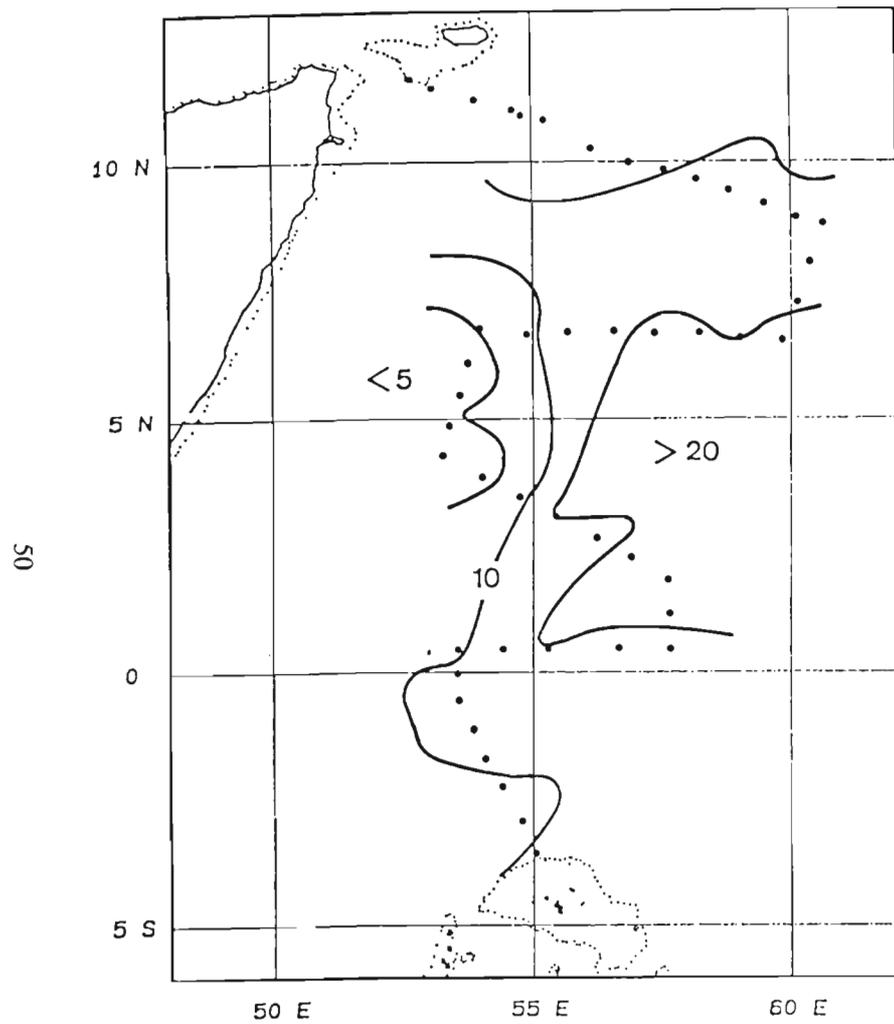


Fig.11 - c) Répartition des teneurs en nitrate à 100 mètres de profondeur.

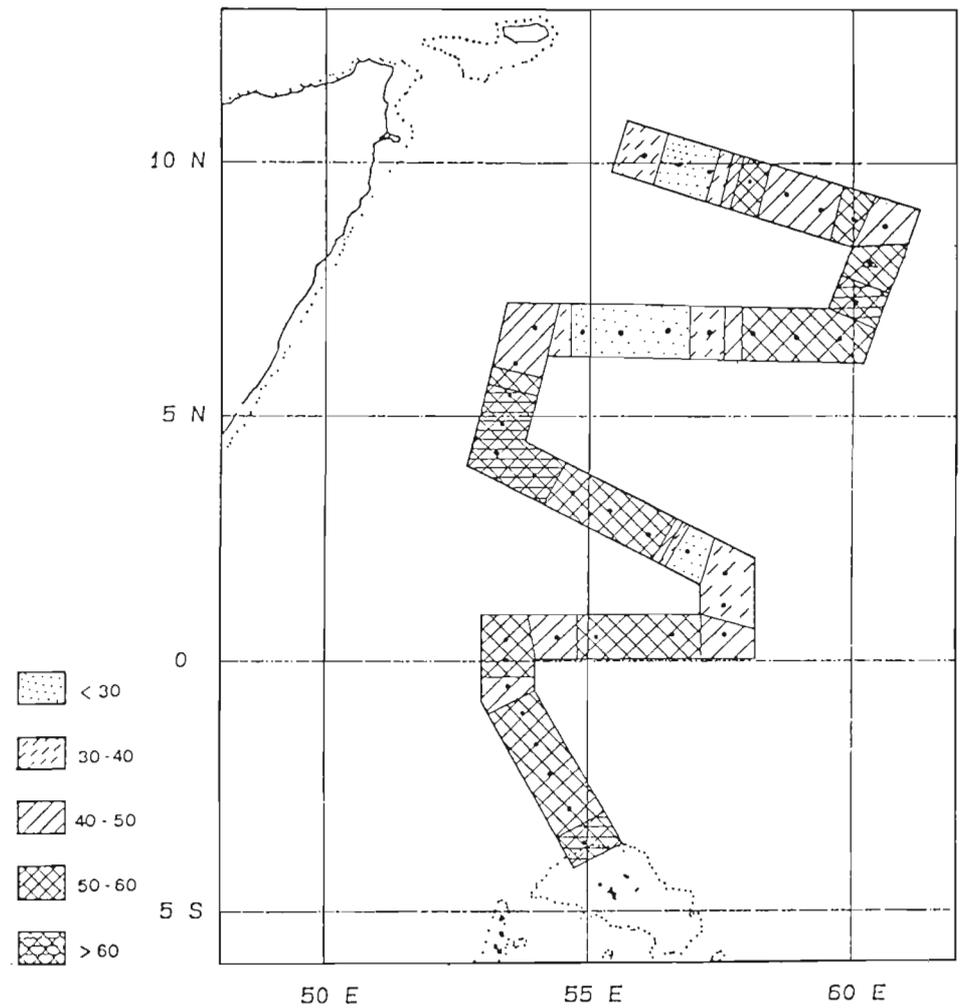
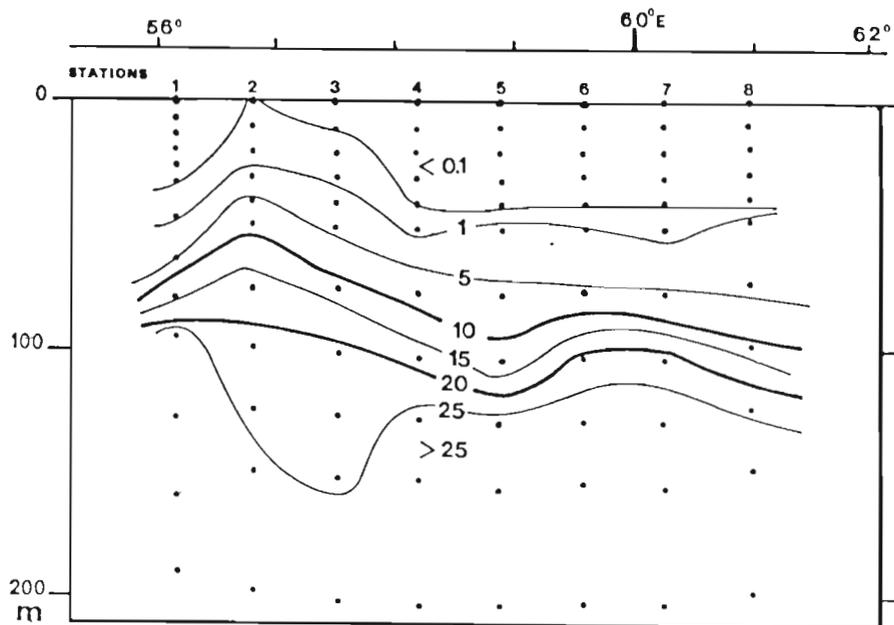
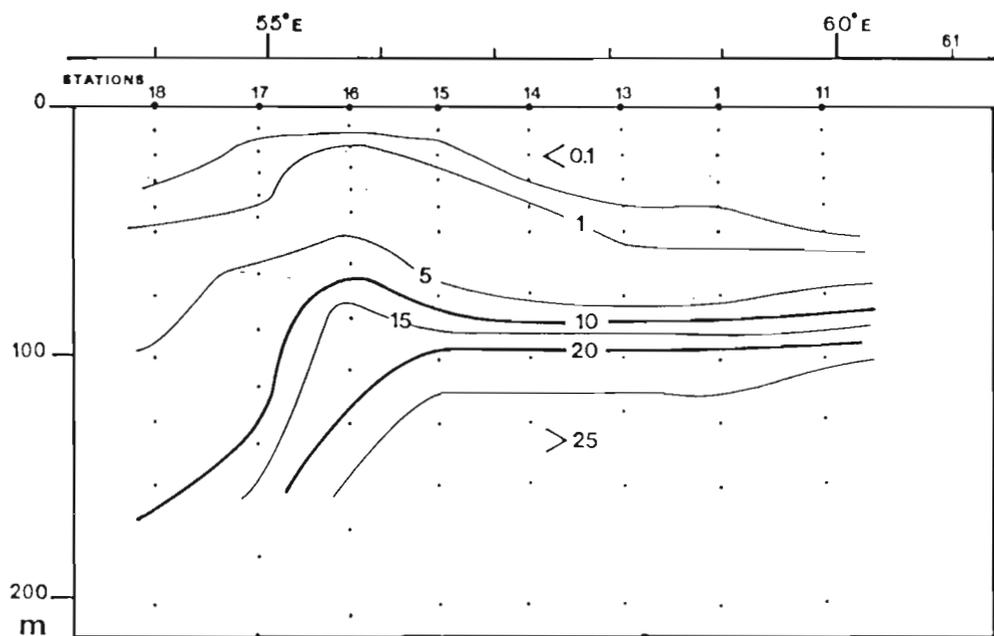
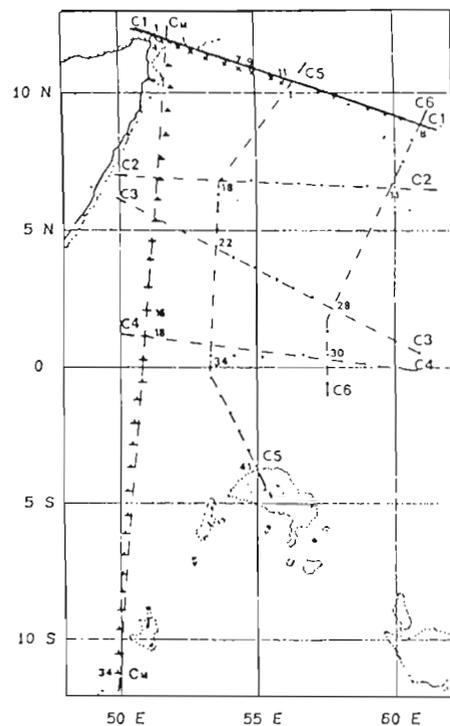


Fig.11 - d) Profondeurs auxquelles les teneurs en nitrate sont égale à 0,5 μatg/l.



a) coupe C1C1 sur 10°N.



b) coupe C2C2 sur 7°N.

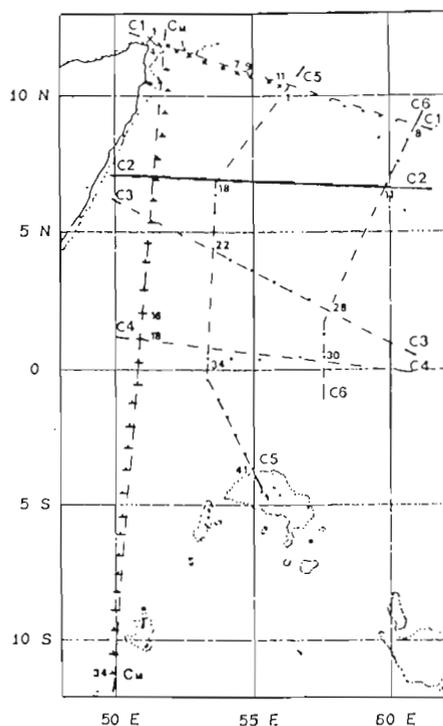
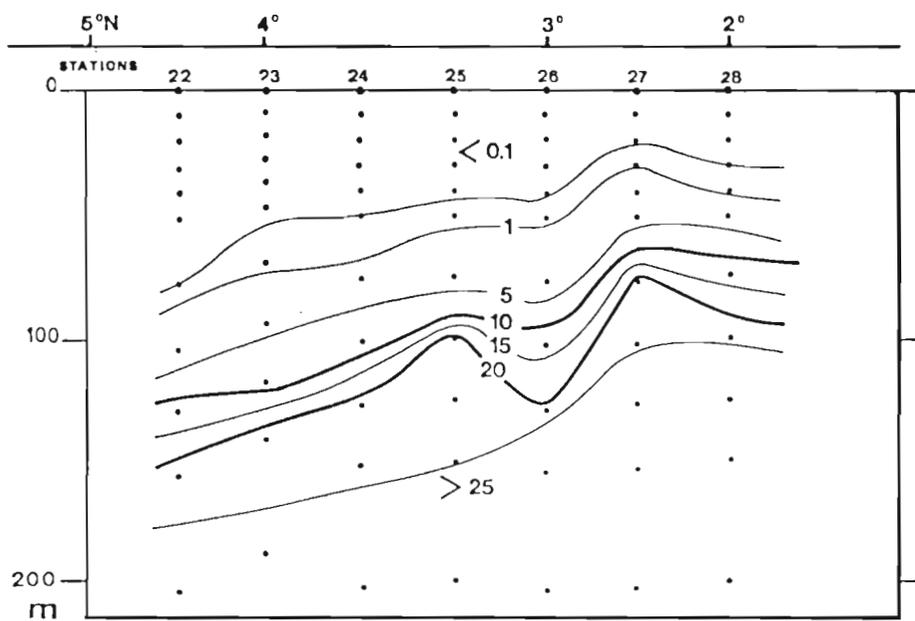
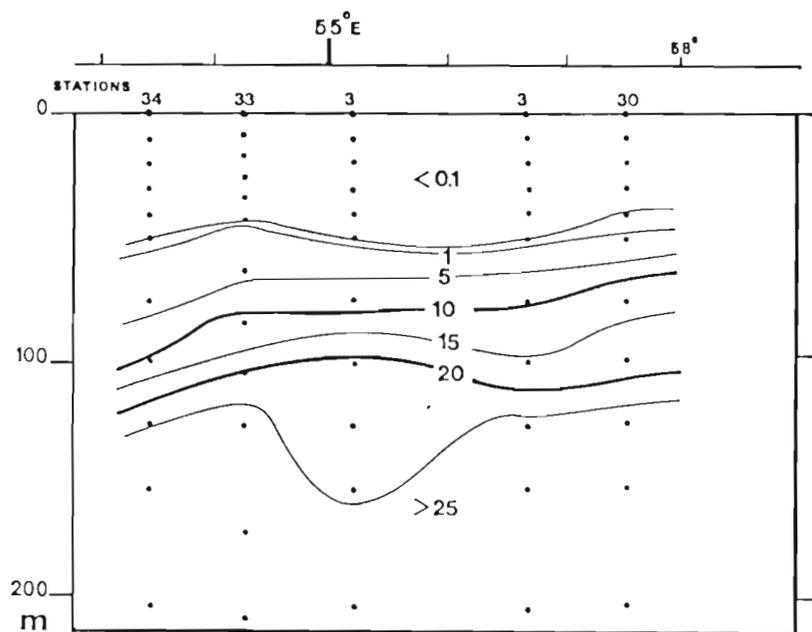


Fig.12 - Répartition verticale des teneurs en nitrate ($\mu\text{atg/l}$) de la surface à 200 mètres de profondeur, le long des radiales :



c) coupe C3C3 sur 3°N.



d) coupe C4C4 sur 1°N.

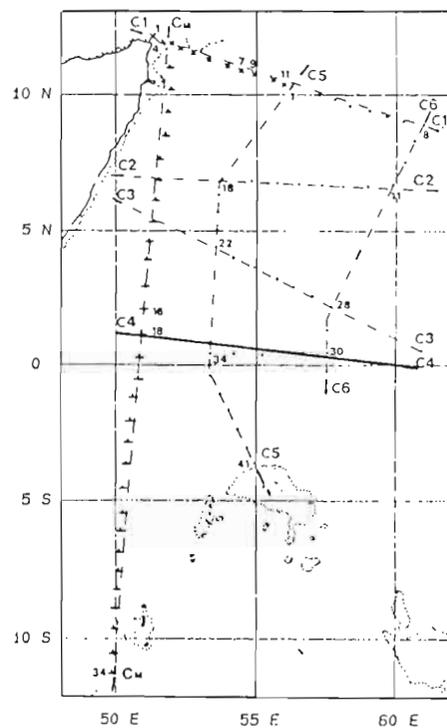
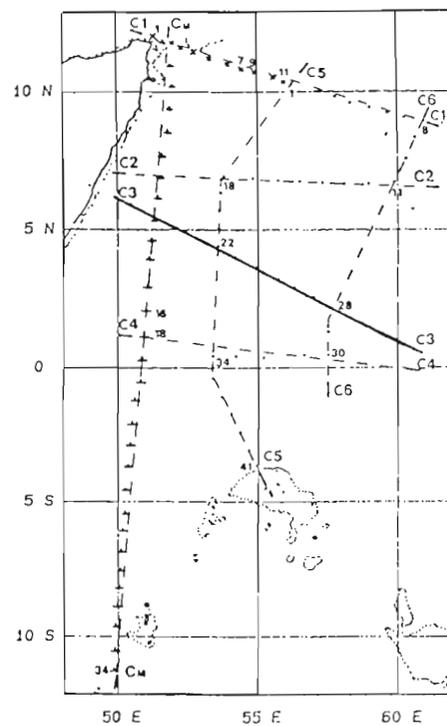
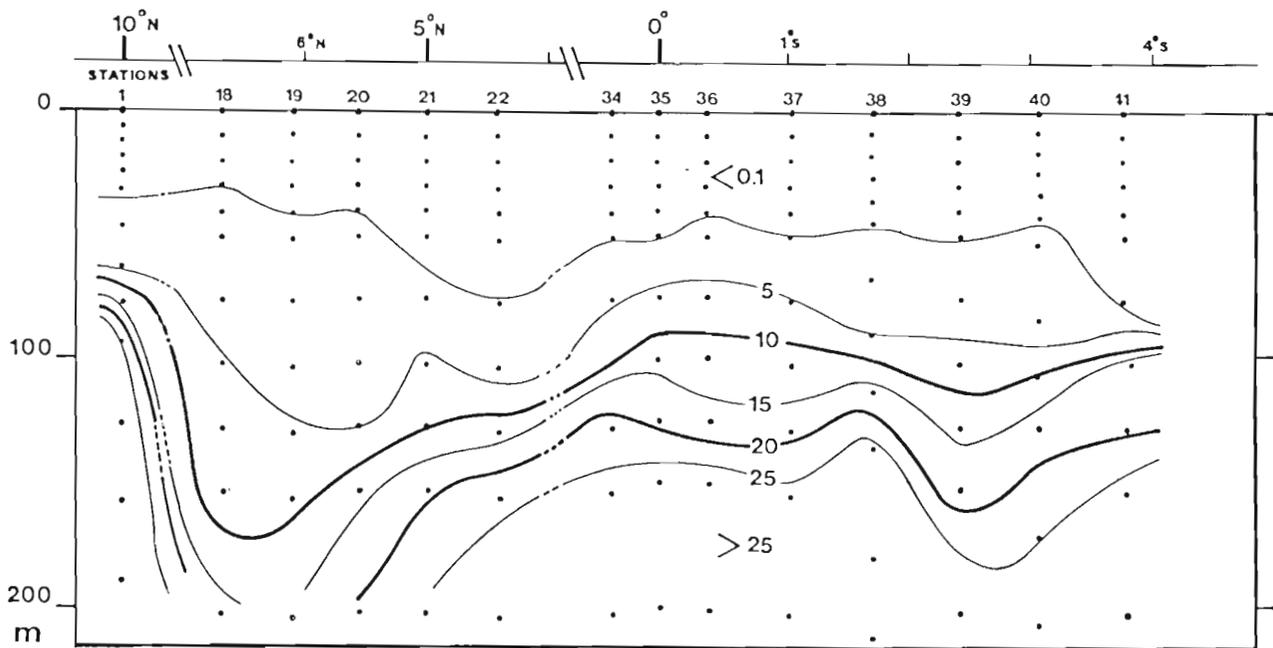


Fig.12 - Répartition verticale des teneurs en nitrate ($\mu\text{atg/l}$) de la surface à 200 mètres de profondeur, le long des radiales :



e) coupe C5C5 de 10°N à 4°S le long de 55°E.

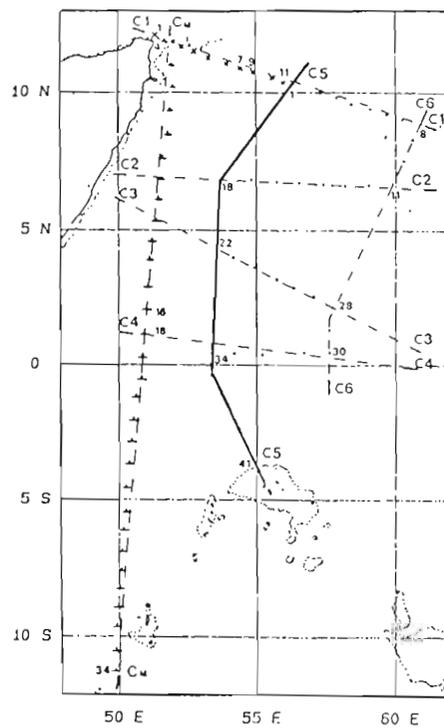
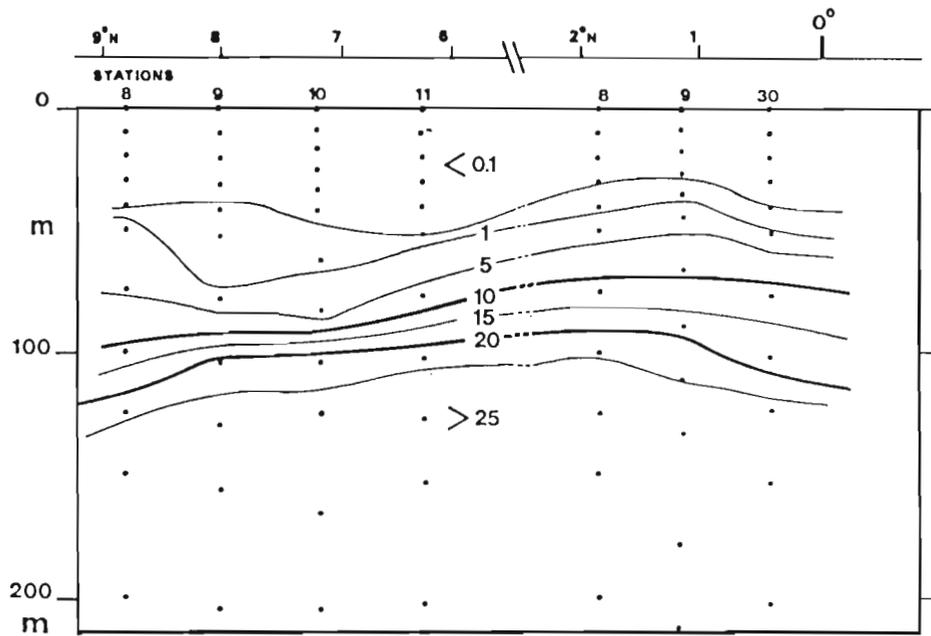


Fig.12 - Répartition verticale des teneurs en nitrate ($\mu\text{atg}/\ell$) de la surface à 200 mètres de profondeur, le long des radiales :



f) coupe C6C6, de 9°N à l'équateur le long de 59°E.

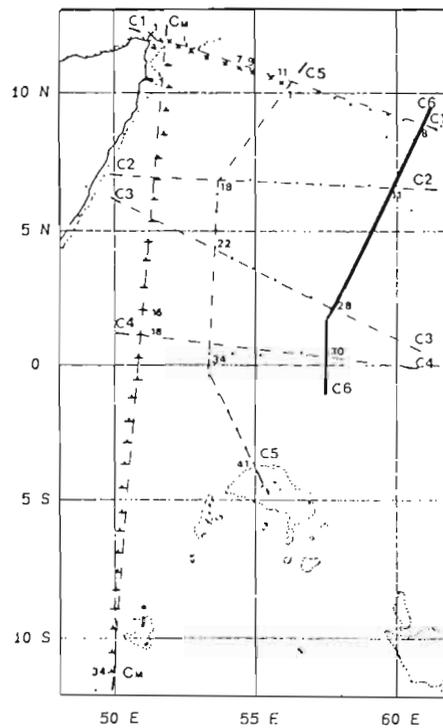


Fig.12 - Répartition verticale des teneurs en nitrate ($\mu\text{atg/l}$) de la surface à 200 mètres de profondeur, le long des radiales :

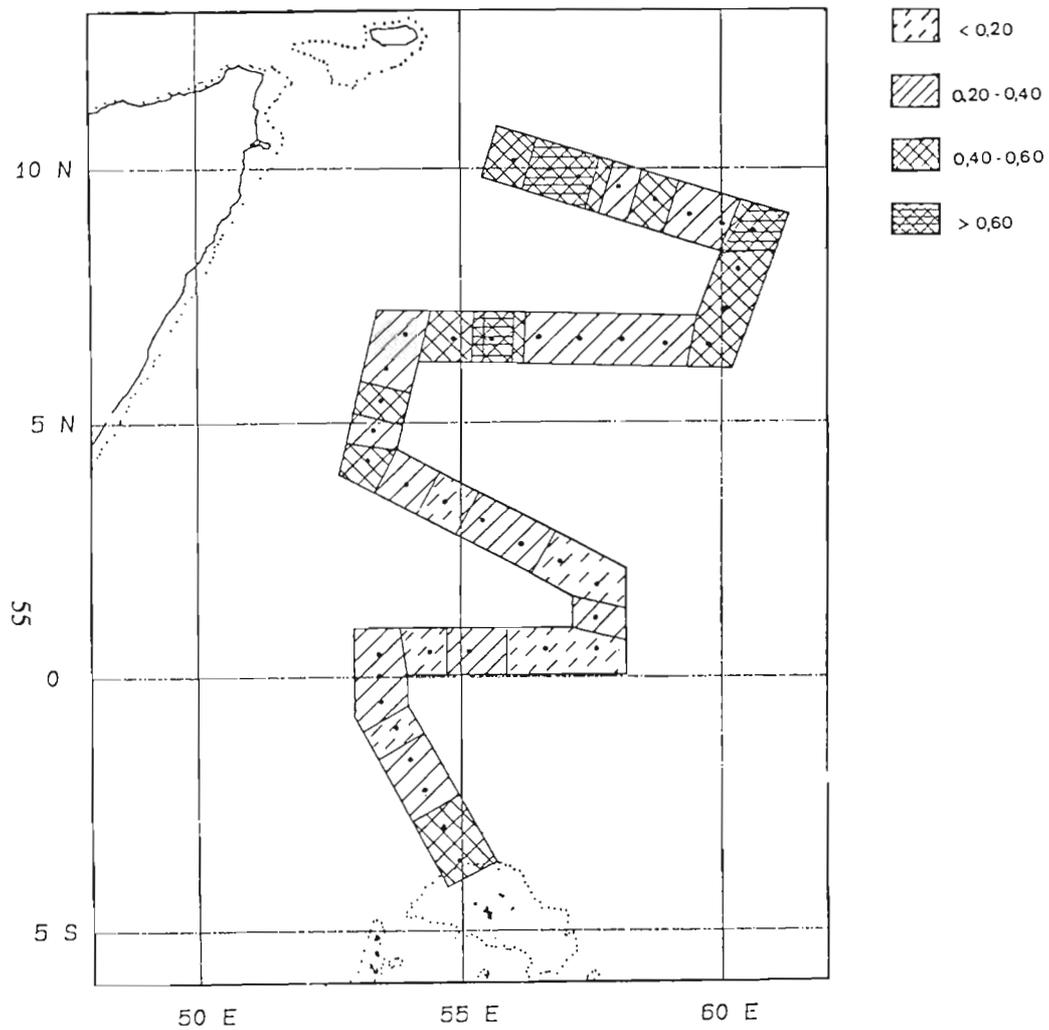


Fig.13 - a) Teneurs en chlorophylle a dans les 10 premiers mètres, mesurées par la méthode SCOR-UNESCO.

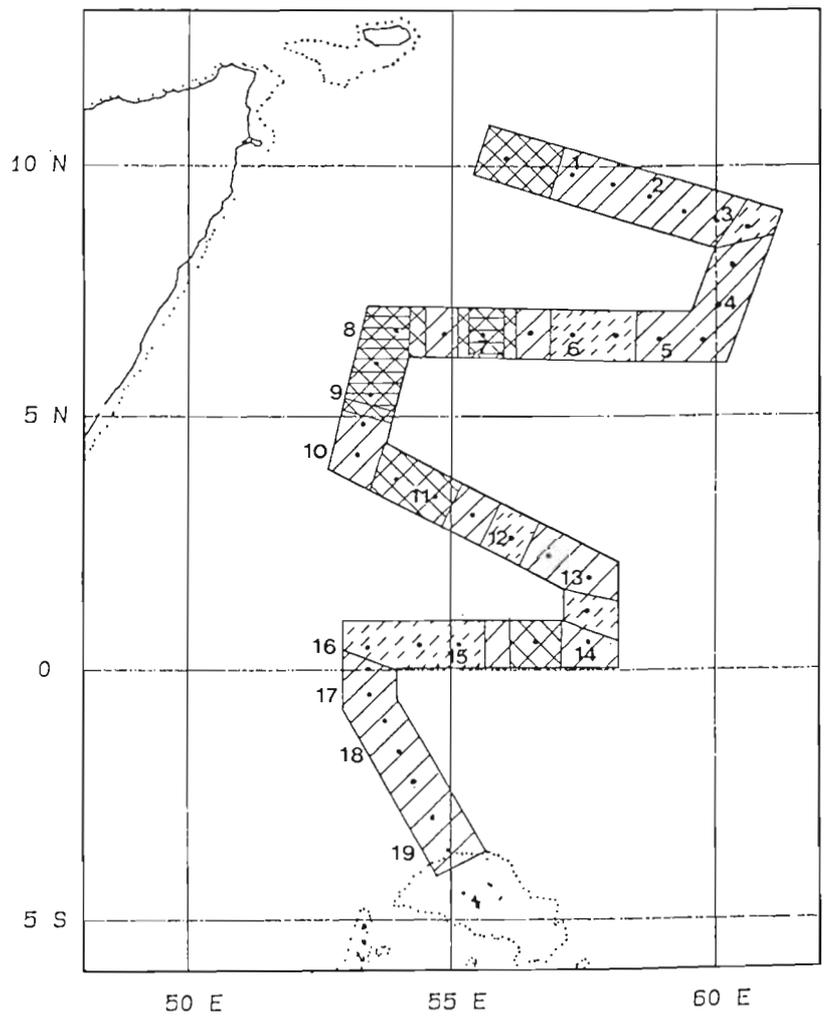
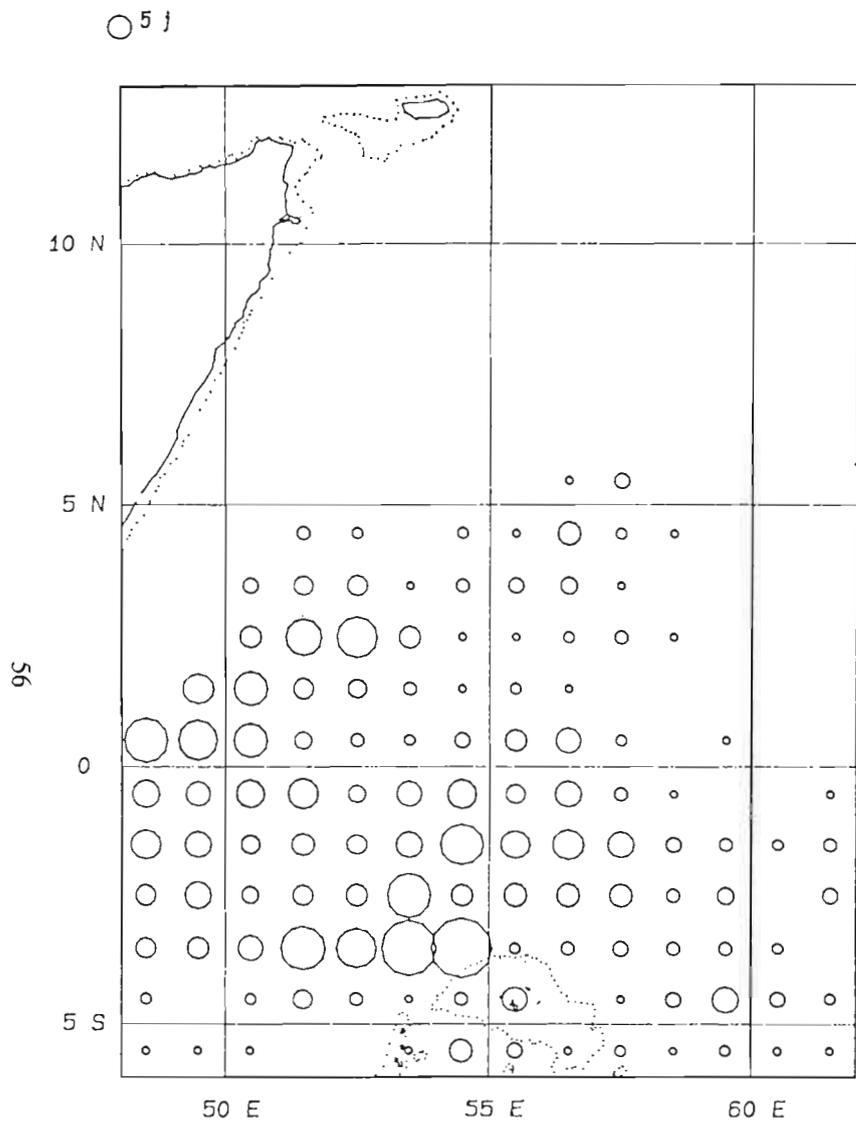
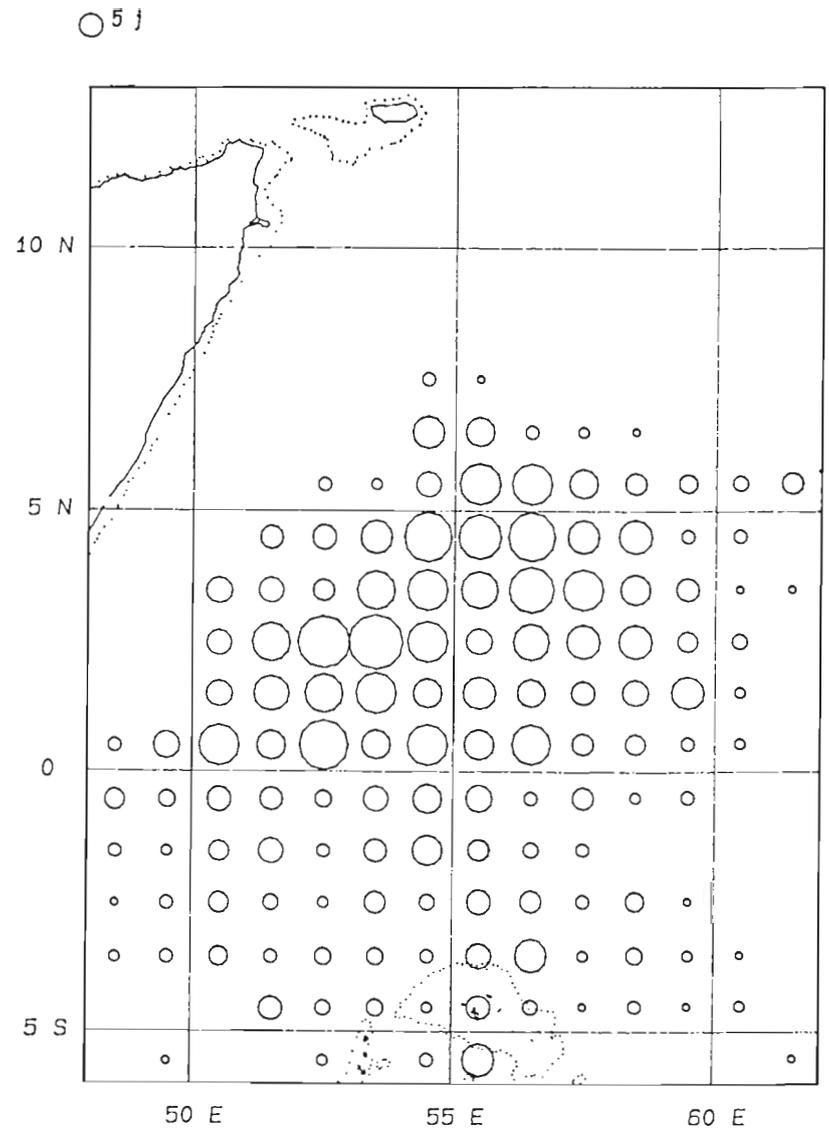


Fig.13 - b) Valeurs de poids secs (g/m²) de zooplancton (meso-zooplancton) dans les 300 premiers mètres. 1 = numéro de station "zooplancton qualitatif".

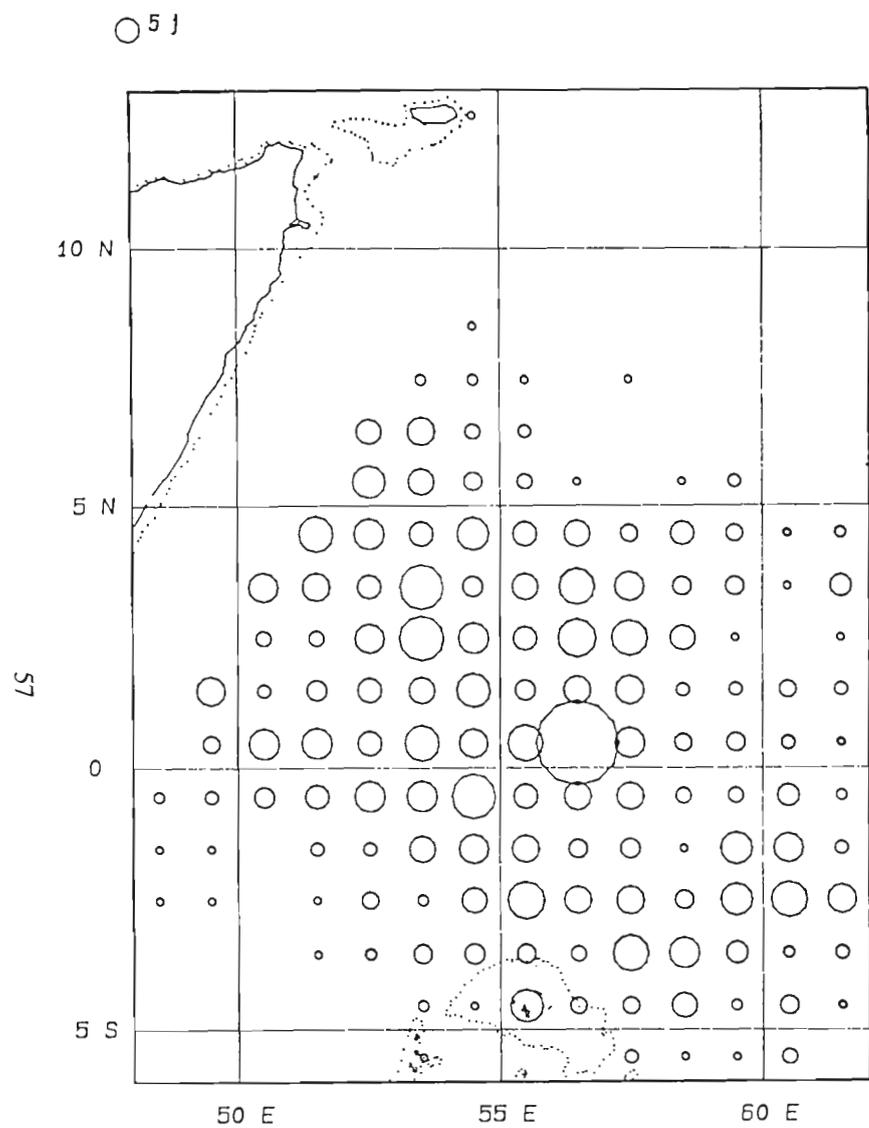


a) août

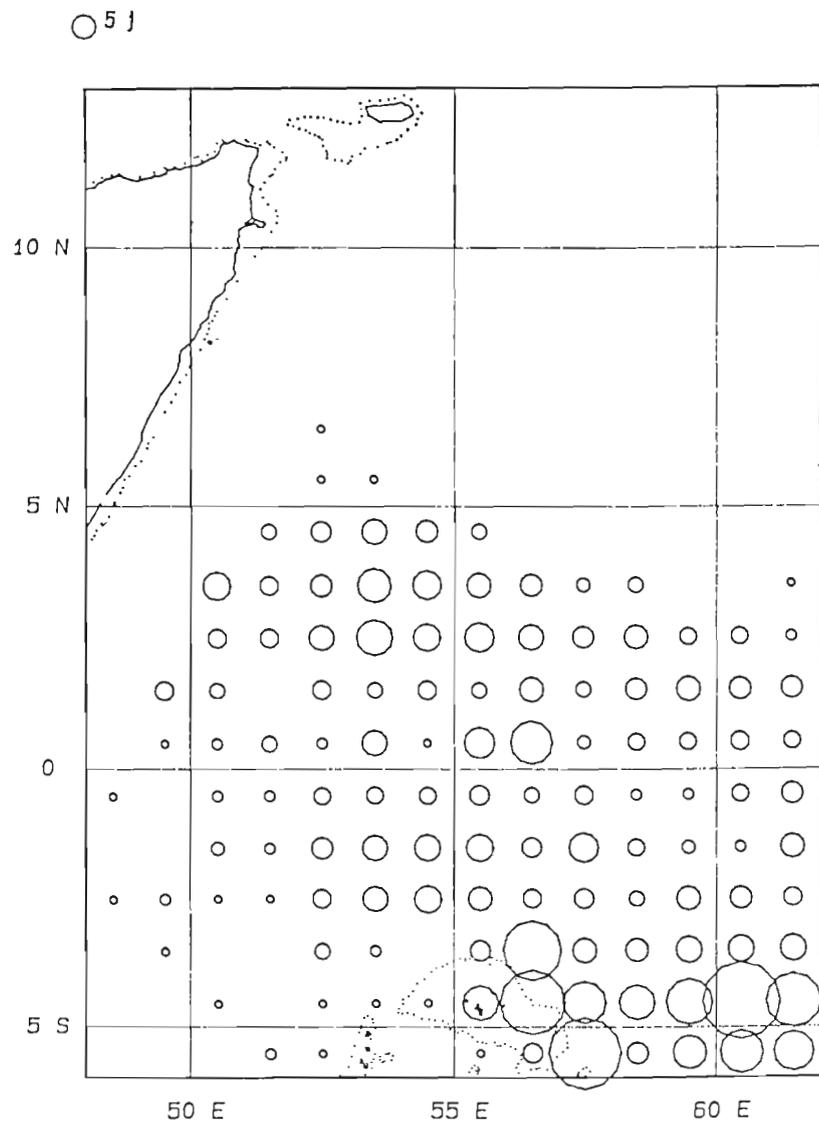


b) septembre

Fig.14 - Répartition de l'effort de pêche de 1983 à 1986.

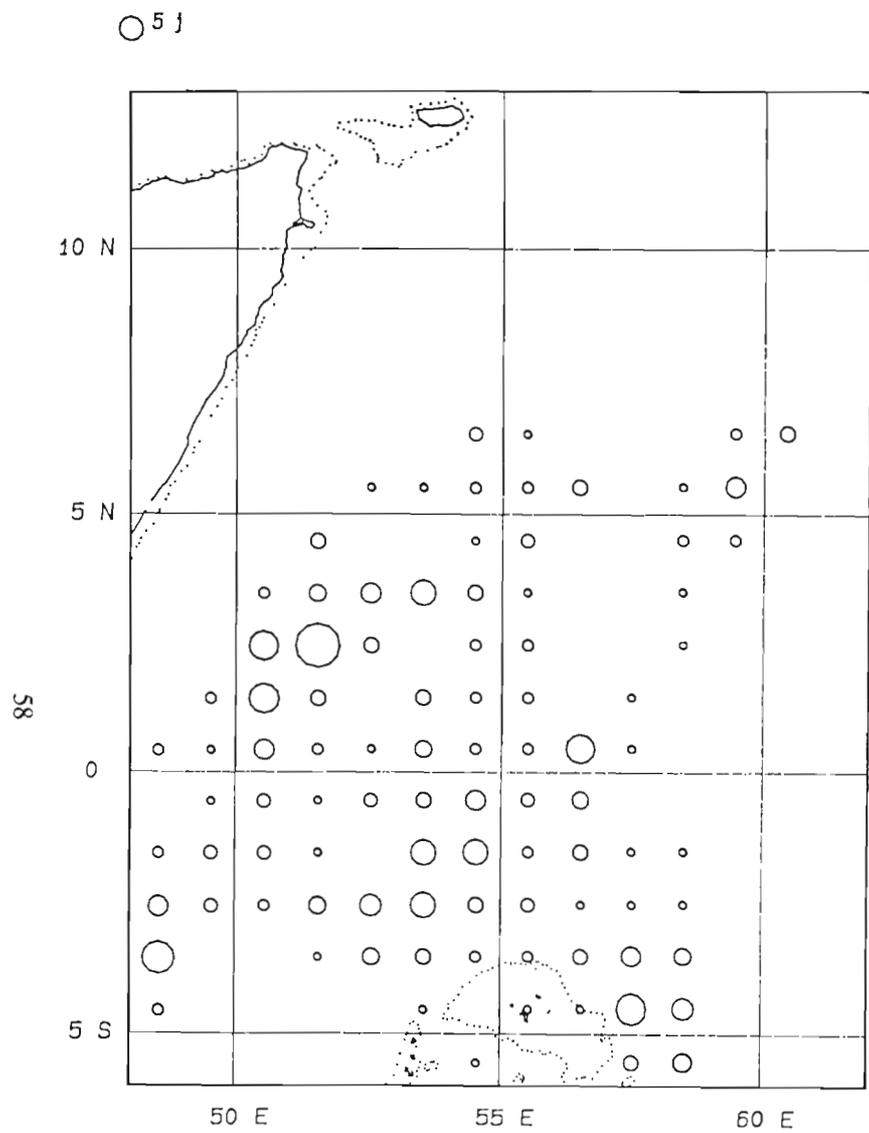


c) octobre

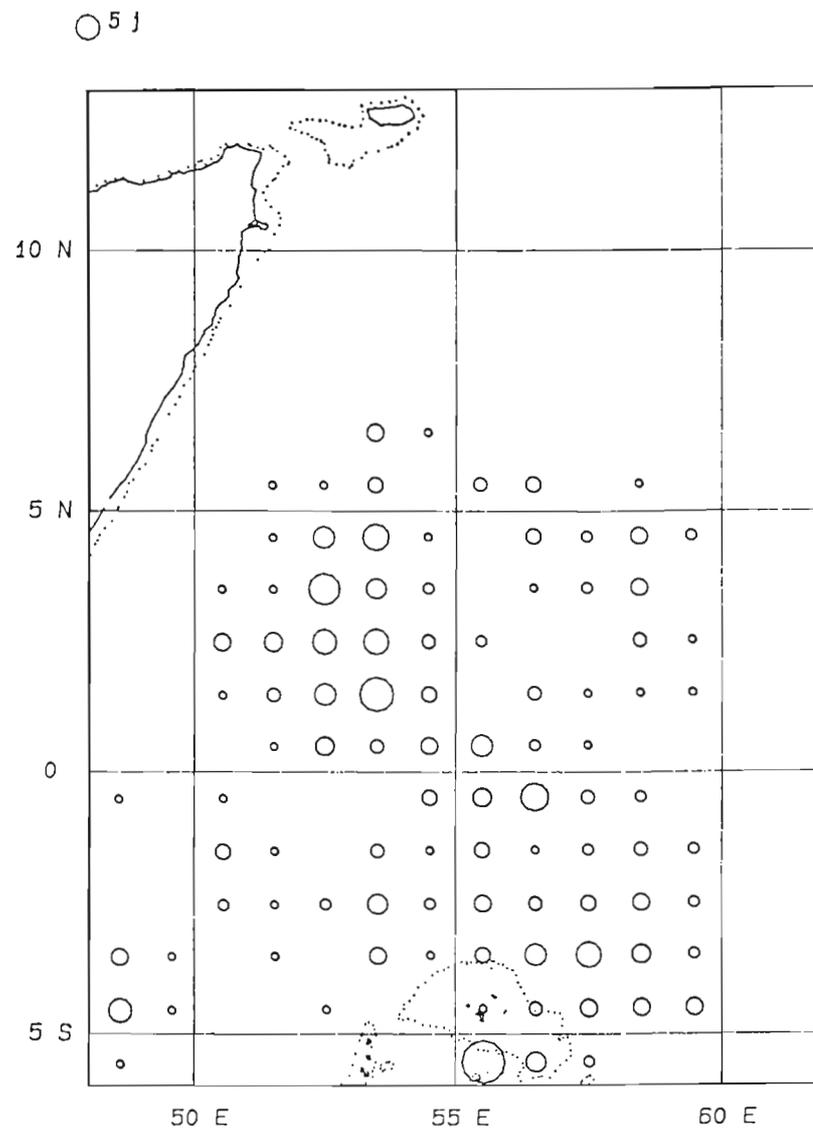


d) novembre

Fig.14(suite) - Répartition de l'effort de pêche de 1983 à 1986

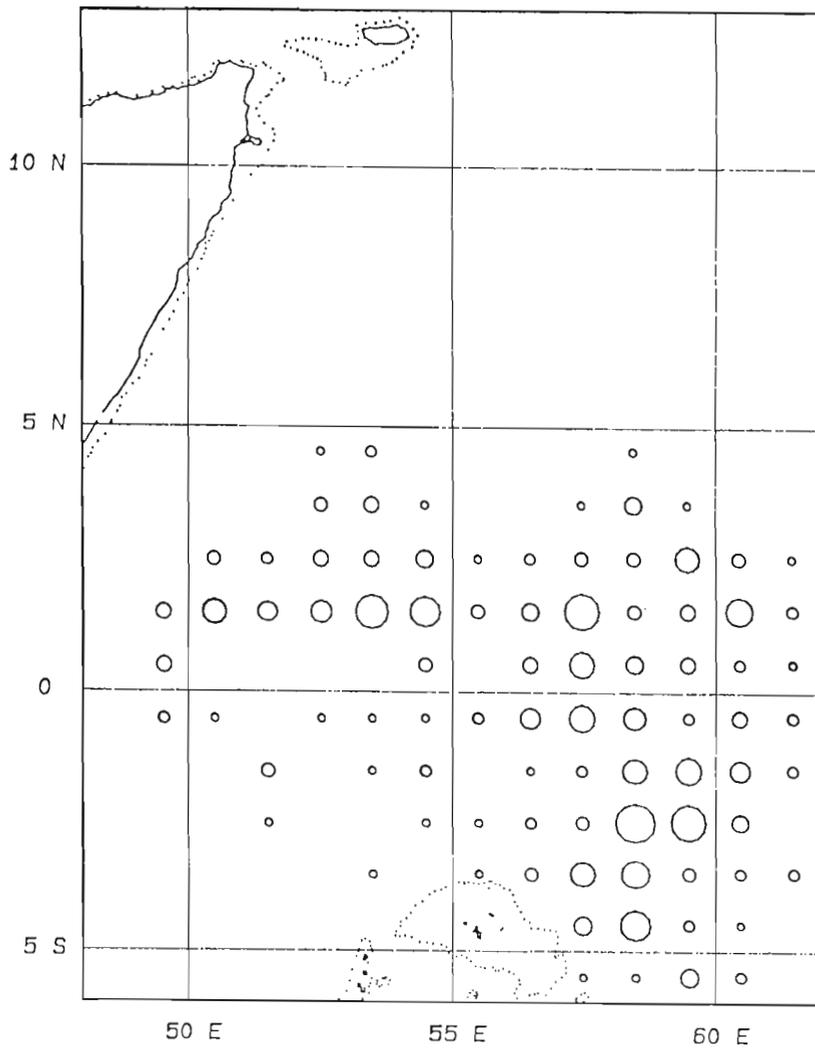


a) du 16 au 30 septembre



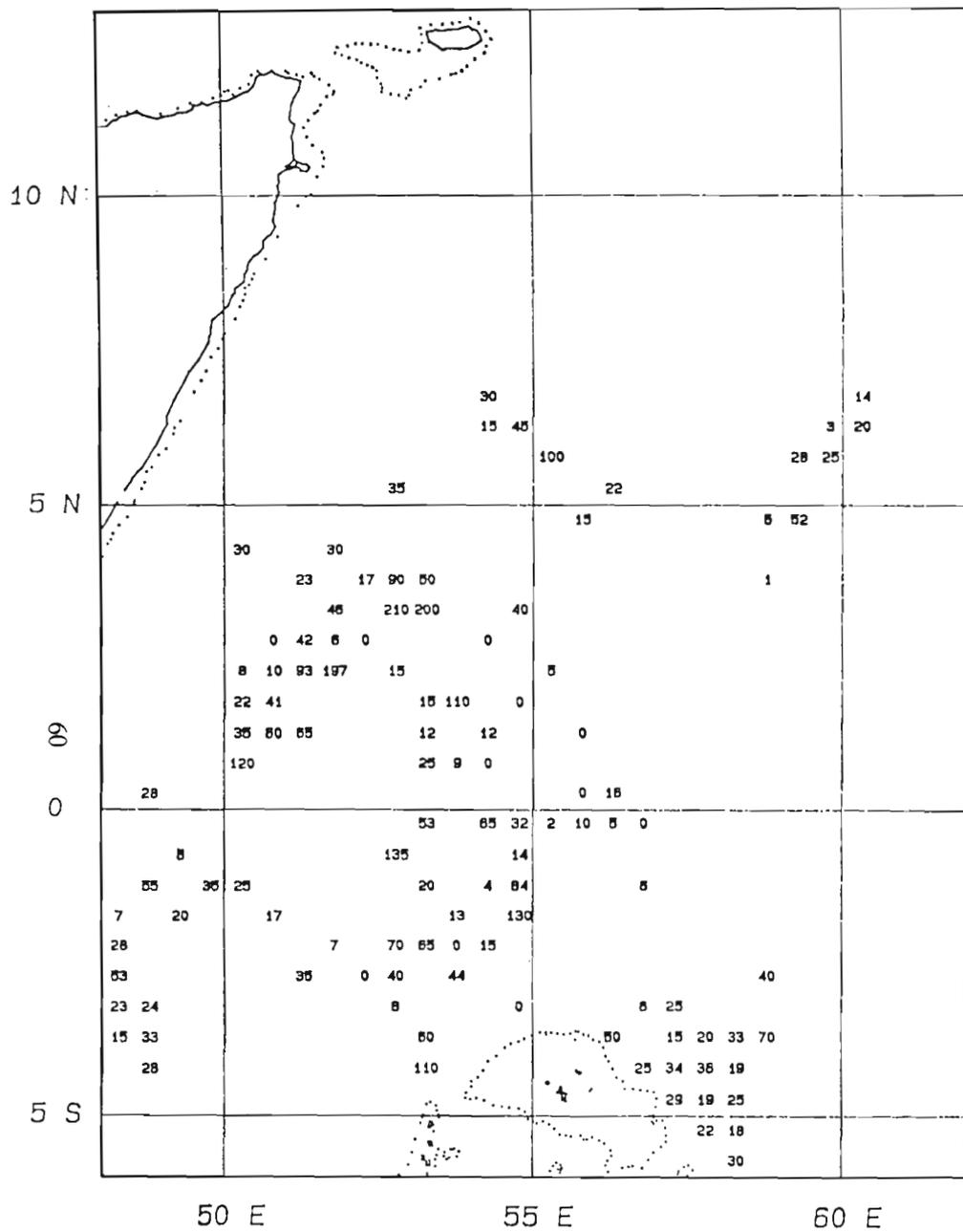
b) du 1 au 15 octobre

Fig.15 - Répartition de l'effort de pêche des flottilles française et espagnole en septembre et octobre 1987.



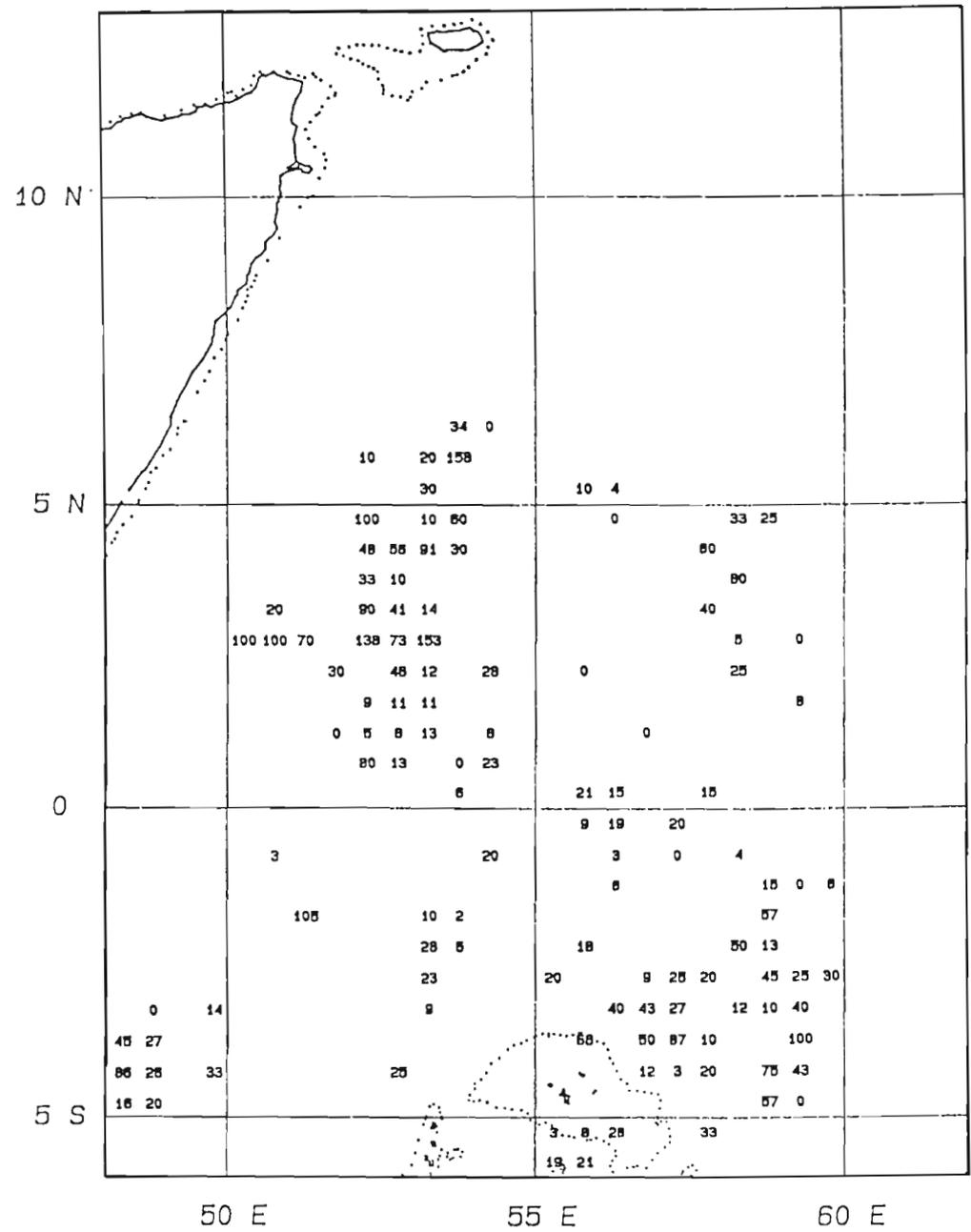
c) du 16 au 31 octobre

Fig.15 - Répartition de l'effort de pêche des flottilles française et espagnole en septembre et octobre 1987.



Prises tot. = 8848 t Nb coups = 313 Rdt/coup = 28.2 t

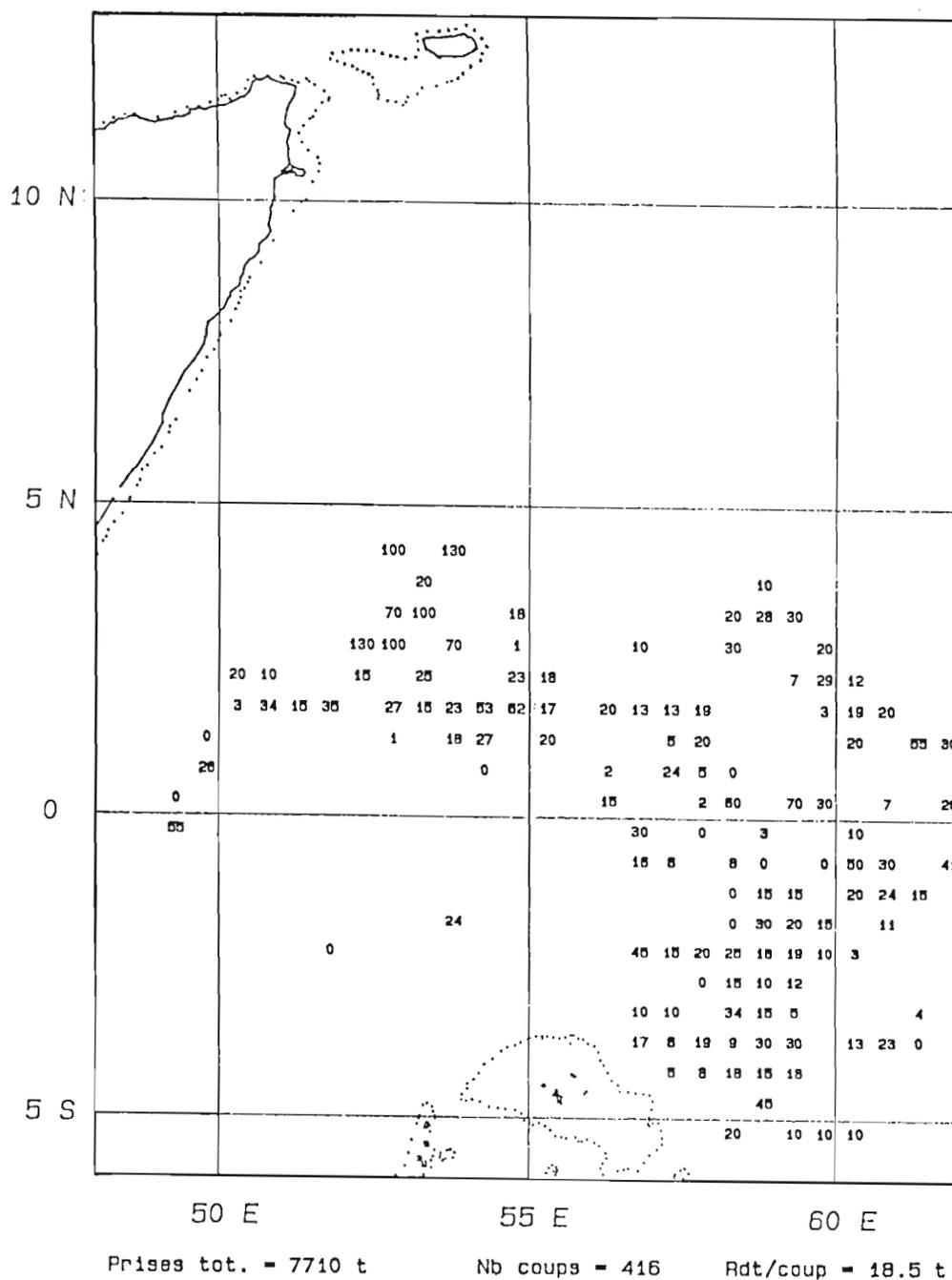
a) du 16 au 30 septembre



Prises tot. = 10257 t Nb coups = 445 Rdt/coup = 23 t

b) du 1 au 15 octobre

Fig.16 - Répartition des prises par coup de filet des flottilles française et espagnole, par carré de 30 milles nautiques, en septembre et octobre 1987.



c) du 16 au 31 octobre

Fig.16 - Répartition des prises par coup de filet des flottilles française et espagnole, par carré de 30 milles nautiques, en septembre et octobre 1987.

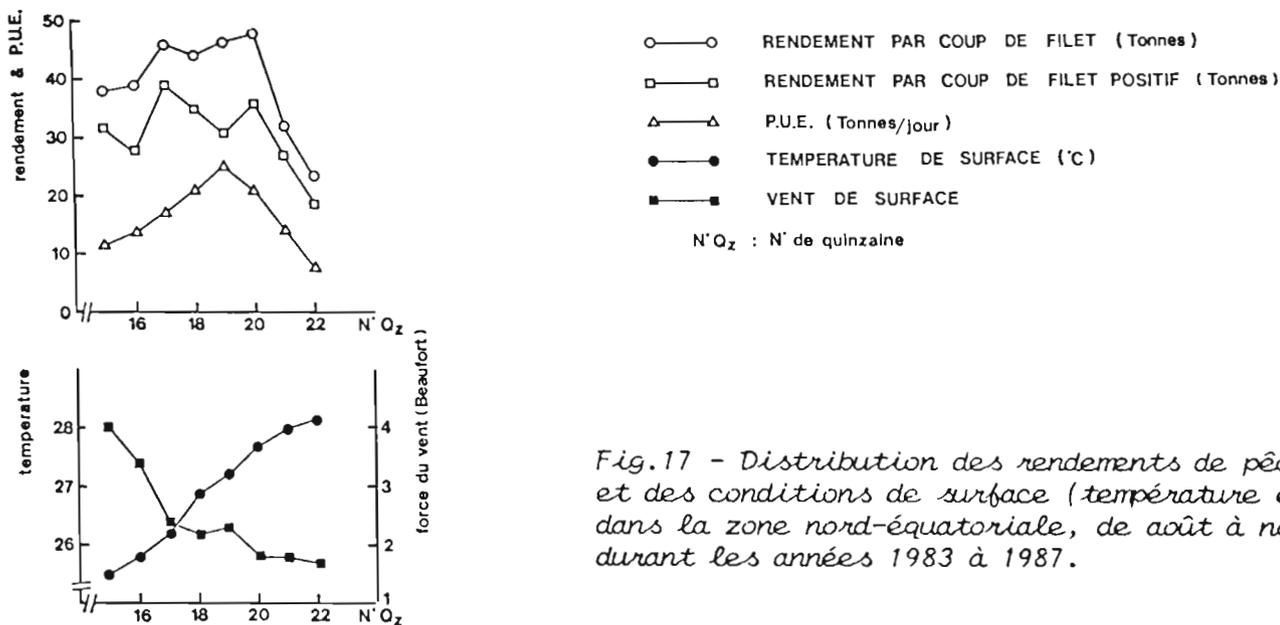


Fig.17 - Distribution des rendements de pêche et des conditions de surface (température et vent) dans la zone nord-équatoriale, de août à novembre, durant les années 1983 à 1987.

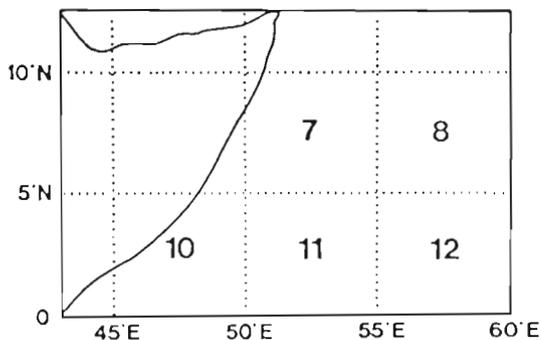
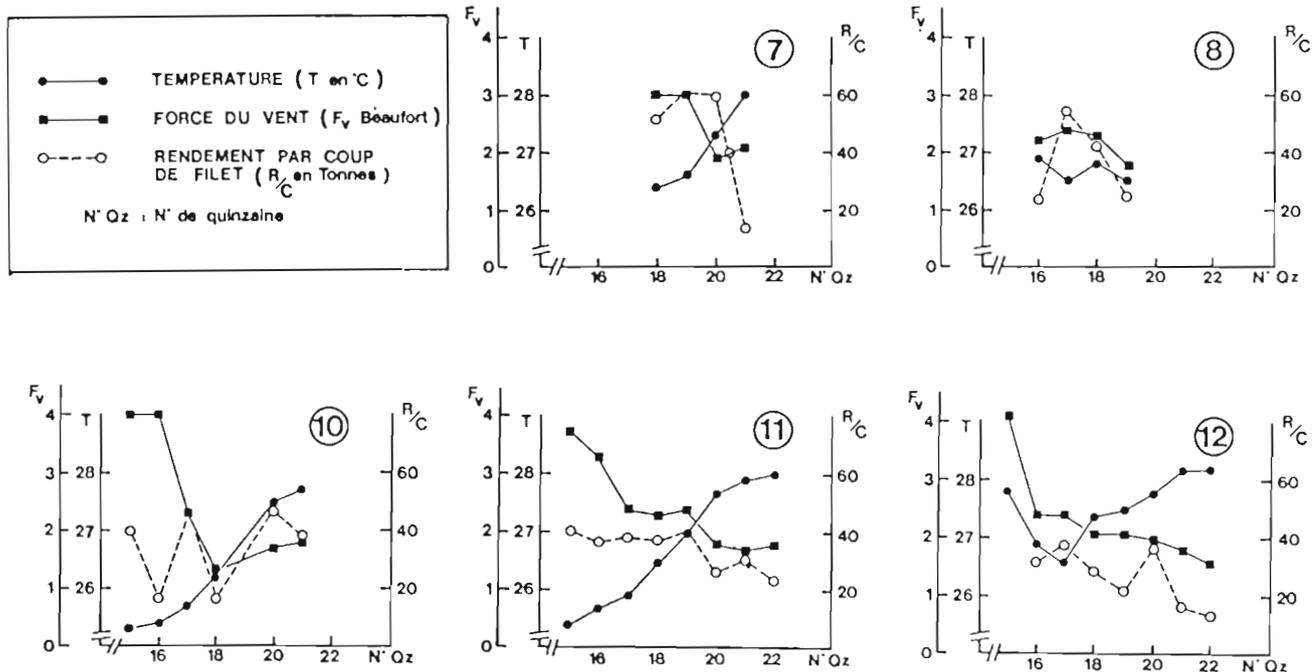


Fig.18 - Distribution des rendements de pêche et des conditions de surface (température et vent) par carré de 5 degrés, dans la zone nord-équatoriale, de août à novembre, durant les années 1983 à 1987.

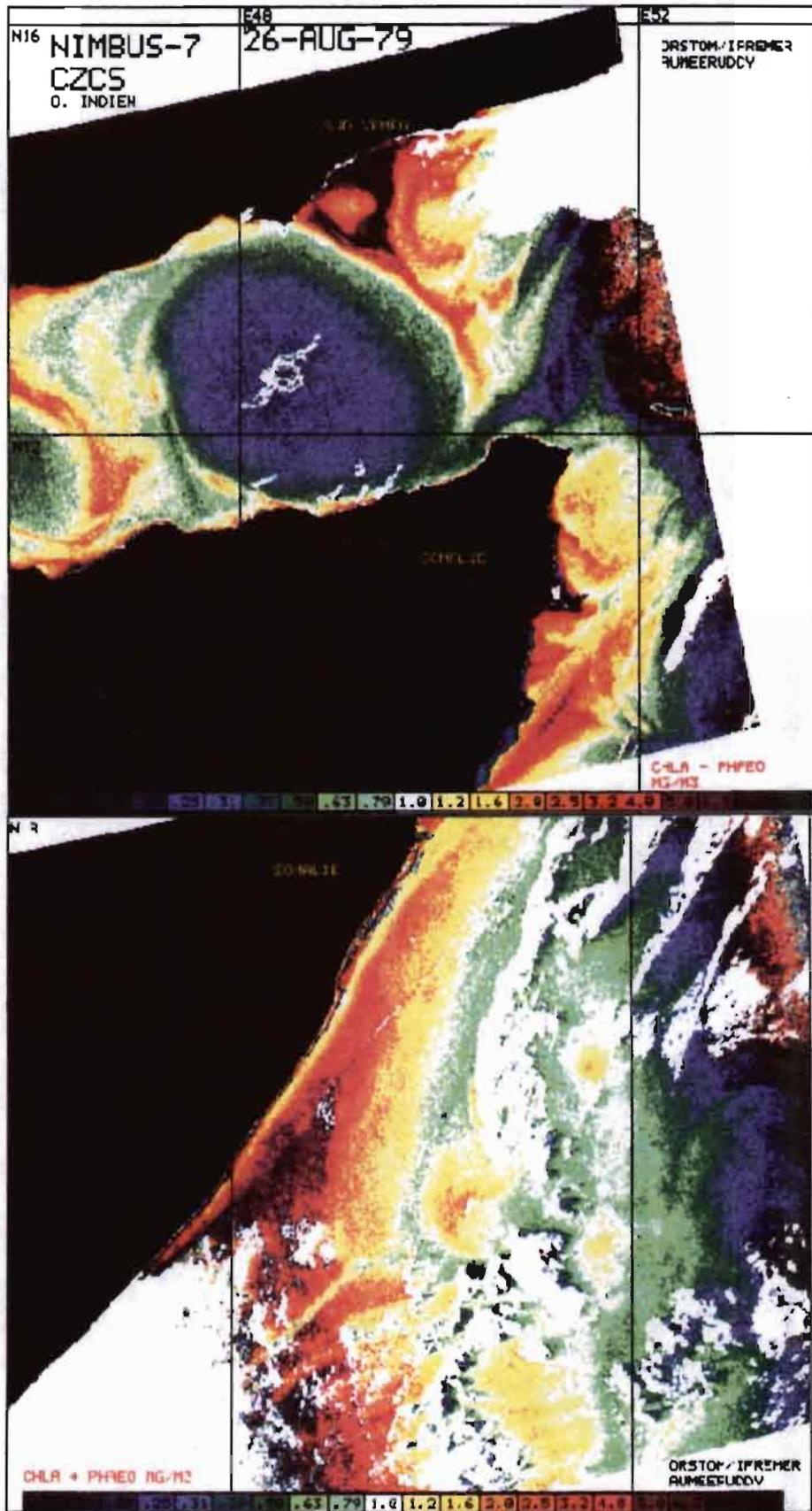


Fig.19 - Carte de couleur de l'eau (teneur en chlorophylle) du 26 août 1979 obtenue par traitement d'une image CZCS du satellite Nimbus-7 dans la zone nord-équatoriale (d'après Aumeeruddy, 1988).

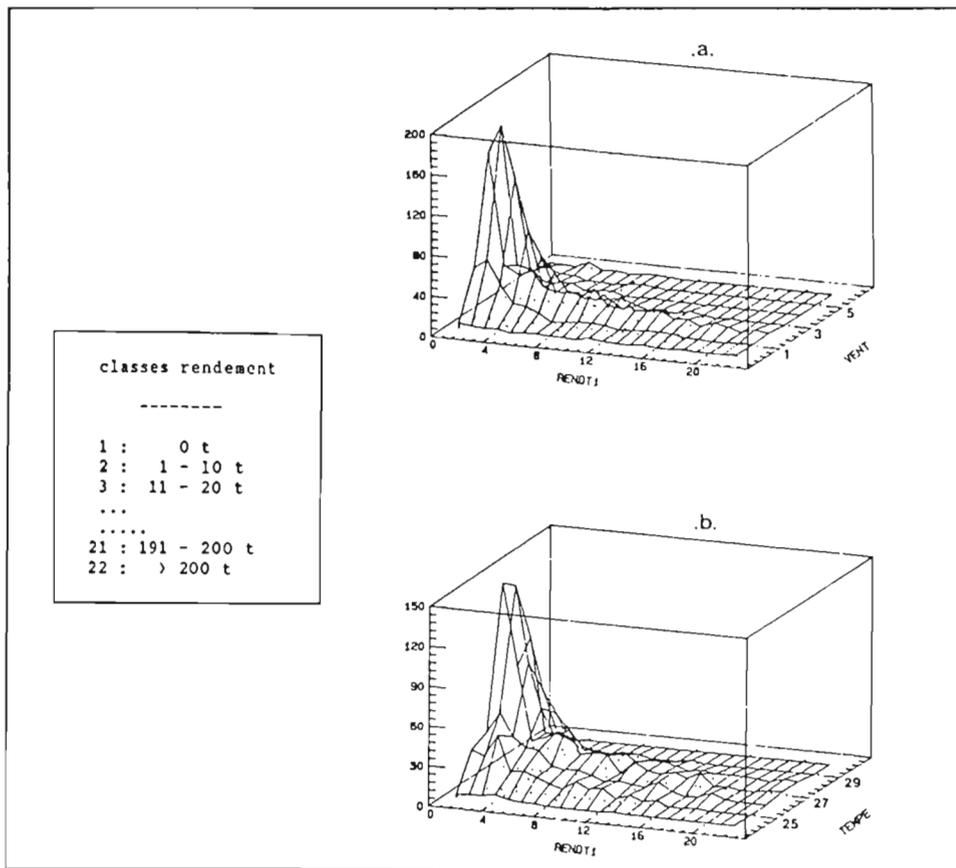


Fig.20 - Fréquence d'apparition des classes de prises par coup de filet en fonction de la force du vent (a) et de la température (b) dans la zone nord-équatoriale durant les années 1983 à 1987.

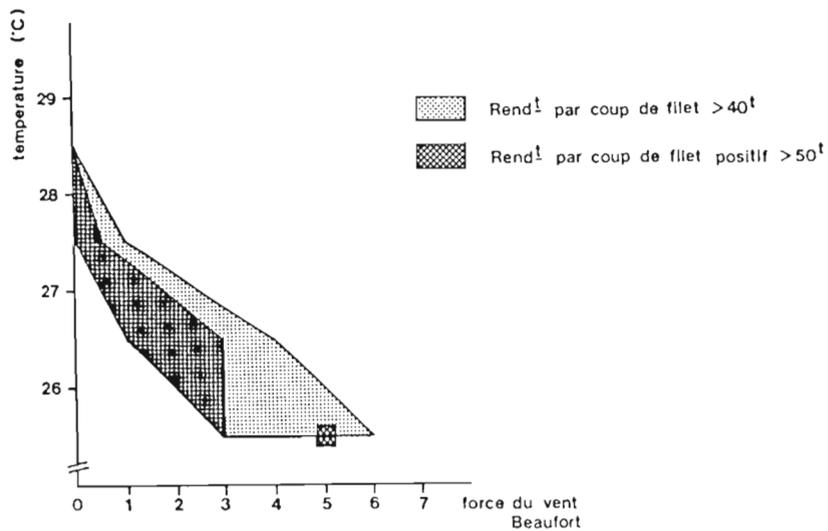


Fig.21 - Fenêtre environnementale de conditions de surface rassemblant les plus forts taux de capture dans la zone nord-équatoriale.

TEMPERATURES ESTIMEES PAR KRIGEAGE DU 8 AU 15 JUIN 1985

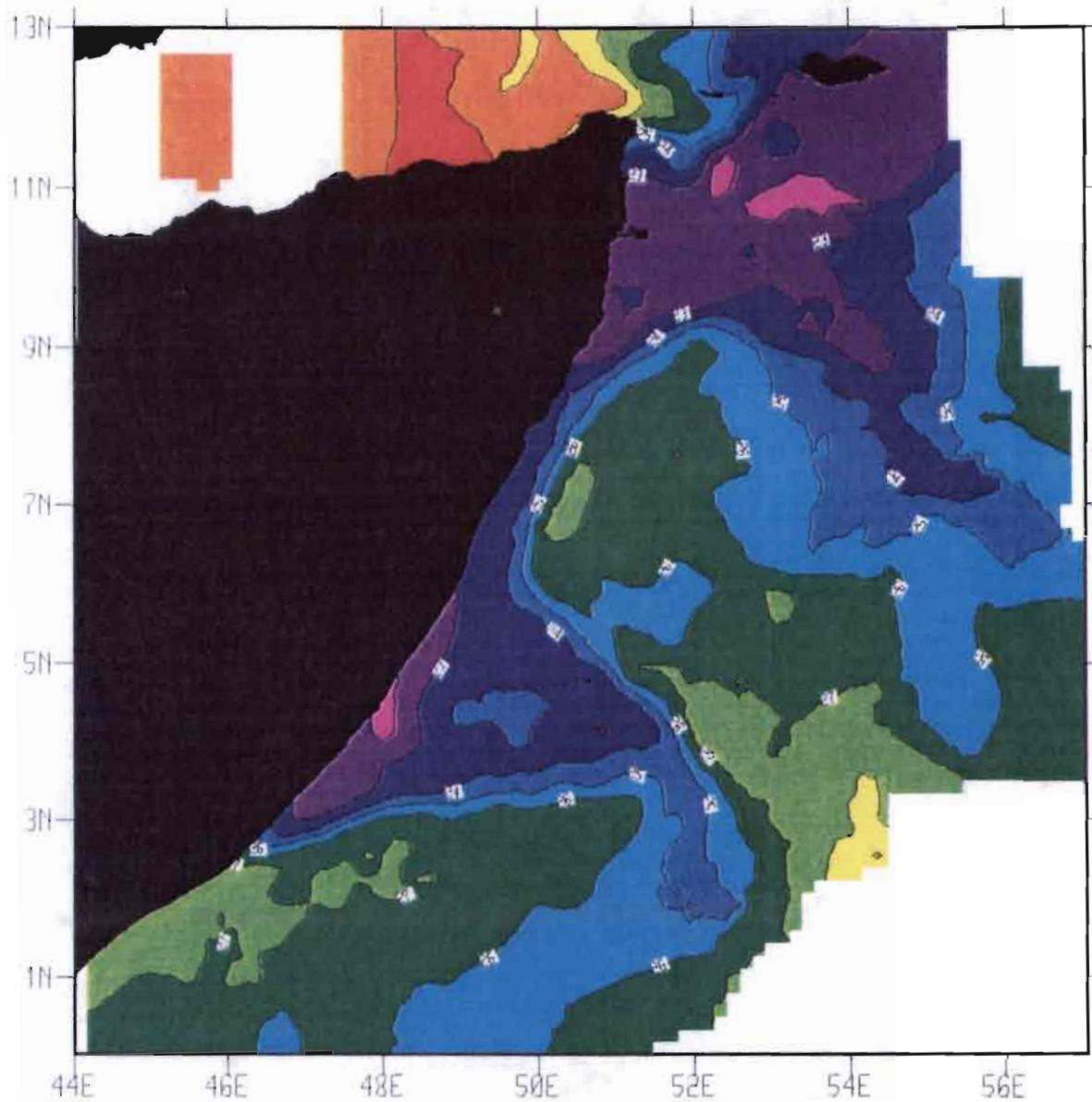


Fig.22 - Carte de température de surface mettant en évidence l'upwelling de Somalie, du 8 au 15 juin 1985, réalisée par superposition de données satellitaires (AVHRR sous format GAC, NOAA-9) et de données in situ.