

# FRONTS THERMIQUES ET THERMOHALINS DANS LA REGION DU CAP LOPEZ (GOLFE DE GUINEE) JUN-JUILLET 1972: PHYTOPLANCTON, ZOOPLANCTON, MICRONECTON ET PECHE THONIERE

par P. Dufour et J.-M. Stretta \*

## RESUME

Les mesures de température de surface réalisées par deux navires océanographiques et un avion, ont permis de suivre les mouvements du front thermohalin du Cap Lopez ( golfe de Guinée ) en juin et juillet 1972. Les caractéristiques physiques et chimiques, les concentrations en chlorophylle "a", en zooplancton et en micronecton ont été suivies lors de quatre radiales à travers les plus forts gradients de densité. Le front thermohalin est bien marqué lors de sa migration vers le nord entre la mi-juin et la mi-juillet. Une divergence du côté chaud (nord) du front et une convergence du côté froid (sud) contribuent à son enrichissement en phyto et zooplancton. On observe simultanément une concentration de la pêche thonière à sa limite nord dans les eaux de plus de 23<sup>0</sup> C. A partir de la mi-juillet le front thermohalin est en mouvement vers le sud. Tandis qu'il se dilue, ses eaux naurissent. Elles s'appauvrissent en phytoplancton. Simultanément, la pêche tend à se disperser. Dans les eaux chaudes et peu salées au nord du front thermohalin, se forment des fronts de nature uniquement thermique sur lesquels on observe aussi des concentrations de thons.

\* CRO, ORSTOM, BP V18, Abidjan, Côte d'Ivoire

## ABSTRACT

Surface temperature was measured with two ships and one aircraft through Cape Lopes frontal region. The main front was limited by cold and saline waters southwards and warm and less saline waters northwards. South waters were enriched by the coastal part of Benguela current and by upwellings along Congo and Gabon. Northern waters were poorer. The movements of this thermohaline front were studied during June and July 1972. Vertical distribution profiles of physical parameters ( $T, S, \sigma_t, O_2$ ), Chlorophyll "a", and zooplankton were drawn along 4 transects through the highest density gradients. Counts of micronekton and chemical analysis were also made along one transect. The thermohaline front was sharpest when moving northwards from mid-June to mid-July. A divergence on its warm northern side, and a convergence on its cold southern side, led to high phytoplankton and zooplankton production. At the same time tuna fishing was abundant and concentrated on the northern boundary of the front inside waters warmer than 23°C. From mid-July the thermohaline front started moving southwards and became less sharp and poorer in chlorophyll "a". At the same time, tuna fishing got scattered. Secondary fronts were detected north of the main one, inside warm waters. They were characterised only by temperature gradients, salinity being uniform. Tuna concentrations were also observed there.

## INTRODUCTION

Le terme front désigne en océanographie une zone de discontinuité physique, se traduisant en surface par un fort gradient de densité causé par l'affrontement d'eaux de température ou (et) de salinité différentes. Dans la région du Cap Lopez (N.E. du golfe de Guinée), existe en permanence une masse d'eau chaude et de faible salinité: les eaux guinéennes selon la terminologie adoptée par BERRIT (1962). Celles-ci sont séparées des eaux sous-jacentes plus froides et plus salées par une pycnocline. Cette couche à fort gradient vertical de densité remonte progressivement vers la surface en direction du sud; entre juin et septembre, elle atteint la surface dans la région du Cap Lopez et constitue le front du même nom; qui est donc caractérisé par un fort gradient horizontal, à la fois thermique et halin. Au sud du front, les eaux tropicales et benguéléennes portées par la branche côtière du courant de Benguela se mélangent aux eaux issues d'upwellings côtiers.

Chaque année à la même époque d'importantes concentrations d'albacores et listaos sont observées dans la zone frontale.

Une croisière du N.O. "Capricorne" en juin 1971 a permis de donner une description physique du front et de caractériser les masses d'eau en présence (VOITURIEZ et al., 1973). Une deuxième croisière en juin-juillet 1972 dont nous exposons ici les résultats a mis l'accent sur l'étude des caractéristiques biologiques au niveau de ce front. A la suite des mesures de surface qui permirent de localiser le phénomène\*, quatre radiales à travers le plus fort gradient horizontal de densité ont permis une description physique (température, salinité et oxygène) et biologique (chlorophylle "a" et zooplancton). Une de ces radiales a en

---

\* ont également été utilisées les mesures effectuées à la même époque par le N/O "Nizery" et l'avion du groupement d'armateurs "Interthon" équipé d'un radiomètre infra-rouge, installé par P.Y. DESCHAMPS du laboratoire d'Optique Atmosphérique de la Faculté des Sciences de Lille.

outre comporté des évaluations de sels nutritifs et de micronecton. La fin de la croisière a plus spécialement été axée sur l'étude des relations entre le front et la pêche thonière. Seize stations ont été effectuées au sein de la flottille de pêche et seize autres en dehors. Enfin une 5ème radiale a été réalisée à travers un front caractérisé seulement par un gradient thermique.

## I.- MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 1.1.- Mesures de physique et de chimie

Les mesures de salinité, température et oxygène sont effectuées avec une sonde STDO (salinité, température, profondeur, oxygène) BISSET BERMANN.

Ces données sont enregistrées graphiquement et corrigées par l'ordinateur du bord qui calcule également la densité. Des prélèvements avec une rosette de bouteilles en PVC sont effectués à chaque station pour l'évaluation de la chlorophylle "a" et des sels nutritifs. Les méthodes utilisées pour l'analyse des nitrites, nitrates, ammoniacque et phosphates sont celles préconisées par STRICKLAND et PARSONS (1968).

### 1.2.- Mesures de la chlorophylle "a"

La biomasse du phytoplancton est estimée à partir des valeurs des concentrations en chlorophylle "a". Les prélèvements sont effectués à 12 niveaux déterminés en fonction des enregistrements de température, de salinité et d'oxygène fournis au début de chaque station. La fluorescence est mesurée "in vivo" immédiatement après le prélèvement. Le fluorimètre utilisé est un TURNER modèle 111. Pour le détail de la méthode et du matériel, se reporter à STRICKLAND et PARSONS (1968). Des prélèvements de 12 litres ont été effectués périodiquement pour la dé-

termination de la relation fluorescence-chlorophylle "a" dosée par spectrophotométrie. La méthode utilisée est alors proche de celle préconisée par le SCOR (ANONYME 1966).

#### 1.3.- Zooplancton capturé à la bouteille

L'eau de mer est recueillie avec une bouteille NISKIN de 30 litres et filtrée sur soie de 200  $\mu$  de vide de maille. Un comptage par taxons est immédiatement réalisé. Les niveaux de prélèvements au nombre de 8 à 12 sont choisis en fonction des profils de température, de salinité, d'oxygène et de chlorophylle "a". La courbe des effectifs en fonction de la profondeur a été intégrée de 0 à 200m par planimétrie et les résultats ont été exprimés en nombre d'individus par  $m^2$ .

#### 1.4.- Zooplancton capturé au filet

Le zooplancton est collecté par deux filets Bongo couplés de 60cm d'ouverture (Mc GOWAN, 1966) et de 360  $\mu$  et 505  $\mu$  de vide de maille. Les traits obliques ont lieu de 250m à la surface à une vitesse de traction de 5 noeuds. Un dépresseur "V fin" de 6 pieds fabriqué par BRAINCON Corp est amarré à un mètre sous les filets. Le volume filtré est mesuré à l'aide d'un débit-mètre TSK, et la profondeur atteinte contrôlée par une jauge TSK. Les animaux d'une taille supérieure à 5cm sont éliminés. Les échantillons sont conservés dans du formol à 10% neutralisé au "Borax". Les comptages sont exécutés à terre en double après fractionnement au "Folsom plancton sample splitter".

#### 1.5.- Le micronecton

Le filet pyramidal utilisé s'inspire de celui de BLACKBURN (1968). Les caractéristiques sont données dans le tableau I.

Tableau I. - Caractéristiques du filet utilisé pour la capture du micro-necton

- Ouverture carrée de 1,80m de côté
- Longueur du filet: 6m
- Maille de 6,5mm noeud à noeud
- Open area ratio\*: 6,6
- Collecteur remplacé par un noeud au cul du filet

Deux dépresseurs de 25kg sont grésés à la base du filet. Le trait se fait entre la surface et 250m. La profondeur atteinte est contrôlée par une jauge TSK. La vitesse de traction est maintenue à 5 noeuds. La descente se fait par paliers de trois minutes tous les 20m. La remontée s'effectue sans palier pendant 15 à 20 minutes. Un flow-mètre TSK permet le calcul du volume d'eau filtrée. Les échantillons sont conservés dans une solution de formol à 10% neutralisée au "Borax". Les déterminations ont lieu à terre; Les biomasses sont exprimées en poids humide après séchage des animaux formolés sur papier filtre à l'atmosphère du laboratoire.

## 2.- CARACTERES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES FRONTS TRAVERSES

### 2.1.- Catégories d'eaux en présence et gradients horizontaux

Au nord du front, les eaux guinéennes sont caractérisées en surface par des températures supérieures à 24°C et des salinités comprises entre 34 et 34,5‰, soit des  $\sigma_t$  inférieurs à 23,1.

---

\* Rapport de la surface filtrante à la surface d'entrée du filet.

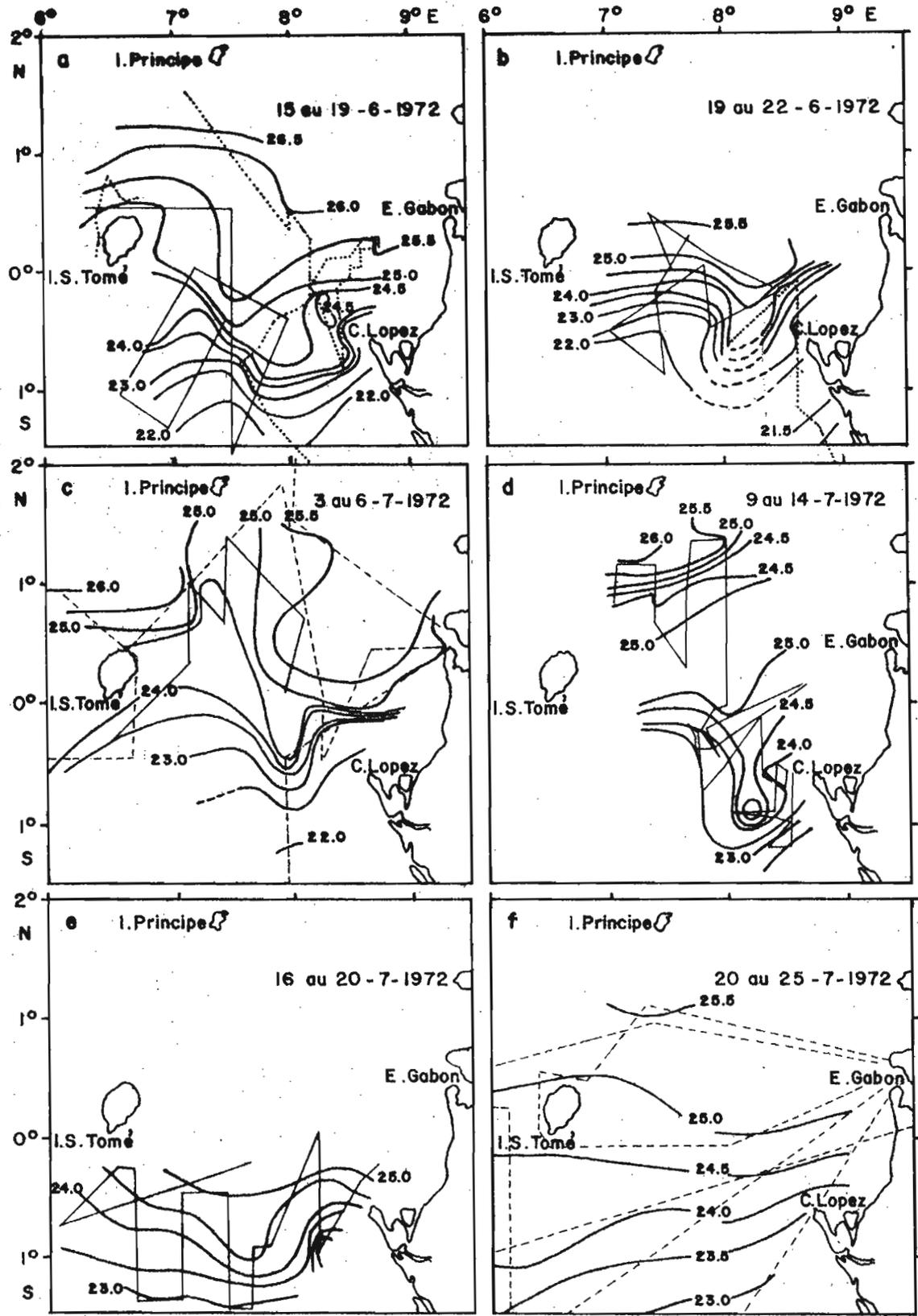


Fig. 1 : Température de surface entre le Cap Lopez et l'île de Sao Thomé en juin et juillet 1972. En traits fins figurent les trajets le long desquels ont été effectués les mesures.

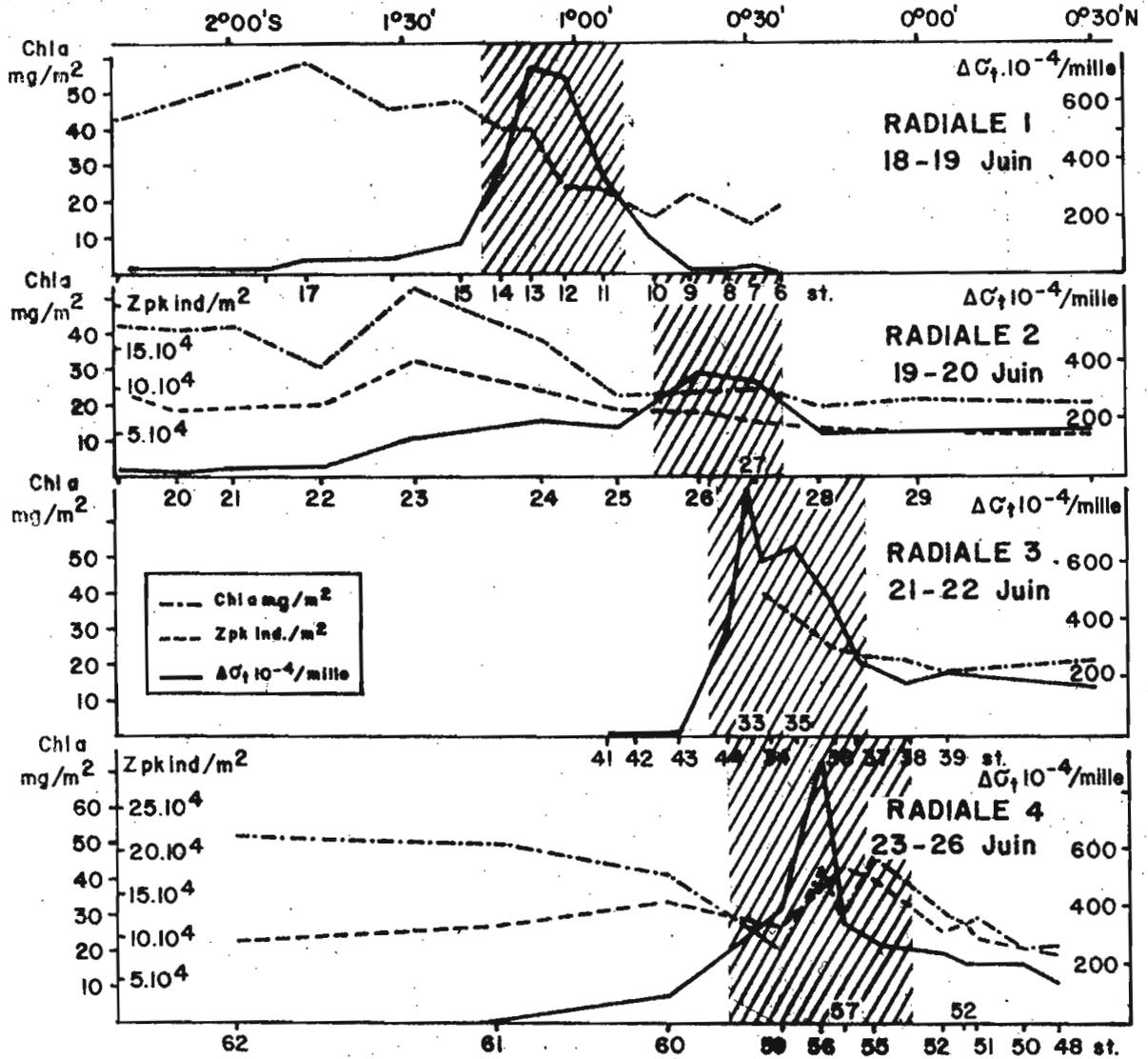


Fig. 2 : Radiale 1 à 4 à travers le front thermohalin : les hachures indiquent la zone des gradients de densité en surface supérieure à  $200 \cdot 10^{-4} \Delta \sigma_t / \text{mille}$ .

Au sud du front, le mélange des eaux bengueléennes, tropicales et des eaux issues des upwellings a en surface des températures inférieures à 22°C et des salinités supérieures à 35,90‰; soit des  $\sigma_t$  supérieures à 24,9.

La distance moyenne séparant ces eaux est de 80 milles, ce qui donne un gradient de densité moyen de  $220 \cdot 10^{-4} \Delta \sigma_t$ /mille. Le secteur où l'on rencontre des gradients de densité supérieures ( $\Delta \sigma_t$ ) à  $250 \cdot 10^{-4}$ /mille est considéré dans le présent article comme étant celui du front "sensus stricto". Le front ainsi défini a une longueur de 20 à 30 milles. Il est caractérisé par un gradient thermohalin. Il a été traversé lors de quatre radiales. Sur la figure 2 sont portés les gradients de la densité de surface entre deux stations consécutives (traits pleins). Ces valeurs sont des moyennes, et les gradients peuvent par endroits être beaucoup plus accentués. On a en effet observé au thermographe des sauts de température de plus de 1°C en quelques centaines de mètres.

Le front traversé par la cinquième radiale est de nature uniquement thermique. Il s'est formé vers 1° de latitude nord dans une zone recouverte d'eau guinéenne à 34,4‰ de salinité. Les isothermes 24,5°C et 26°C sont distants de 5 milles. Contrairement aux fronts précédents il est matérialisé en surface par une frange de vaguelettes et d'écume. Des fronts du même type que nous nommerons ici "fronts thermiques chauds" ont été détectés à plusieurs reprises par l'avion d'Interthon à la même période dans les eaux guinéennes de surface. Pour les distinguer, nous nommerons "fronts thermohalins" les fronts du type de celui traversé par les 4 premières radiales et qui séparent en surface d'une part un mélange d'eaux bengueléennes, tropicales et d'upwelling, et d'autre part des eaux guinéennes.

## 2.2.- Déplacement du front thermohalin.

Sur la figure 1 sont portées les isothermes de surface au cours de 6 périodes de la mi-juin à la fin juillet\*. Les oscillations du front et la complexité de son tracé y sont mises en évidence. La figure 1a montre la situation avant et pendant la première radiale. Le front thermohalin se présente sous la forme d'un méandre à direction principale E.W. Les figures 1b et 1c montrent qu'entre la mi-juin et la première semaine de juillet le front s'est déplacé vers le nord. Le déplacement est plus rapide le long de deux veines, l'une dirigée vers le nord le long de la côte gabonaise, l'autre dirigée vers le nord-ouest en direction de l'île de Sao Thomé. Il laisse, centrée sur 8°15'E, une langue d'eau guinéenne (chaude et peu salée). De part et d'autre de cette langue on observe des gradients thermohalins aigus. Nous avons traversé ceux de l'ouest lors des radiales 2, 3 et 4, toutes réalisées entre 7° et 8° ouest, ce qui nous a permis de mesurer leur déplacement. Ainsi la vitesse de déplacement vers le nord du maximum de gradient de densité passe de 0,8 noeud entre les 18 et 20 juin à 0,5 noeud entre les 20 et 21 juin, pour tomber à 0,2 noeud entre les 21 et 24 juin. On observe donc un ralentissement du mouvement vers le nord fin juin. Entre le 6 et le 9 juillet, on peut considérer que le front est à son maximum d'extension nord. La situation se présente alors comme indiquée sur la figure 1d. A partir de cette époque, on observe un mouvement inverse du front. Les eaux froides et salées de part et d'autre de la langue d'eau guinéenne se retirent vers le sud (fig. 1e). Les gradients thermohalins s'affaiblissent: le front se dilue. Son tracé en surface devient linéaire et orienté E.W. (fig.1f). Il rejoint sa latitude de départ de la fig.1a. Ce mouvement de va et vient dure 4 à 5 semaines.

---

\* Ces cartes ont été dressées à partir des mesures du N.O. "Capricorne", du N.O. "Nizery" et de l'avion du groupement d'armateurs "interthon".

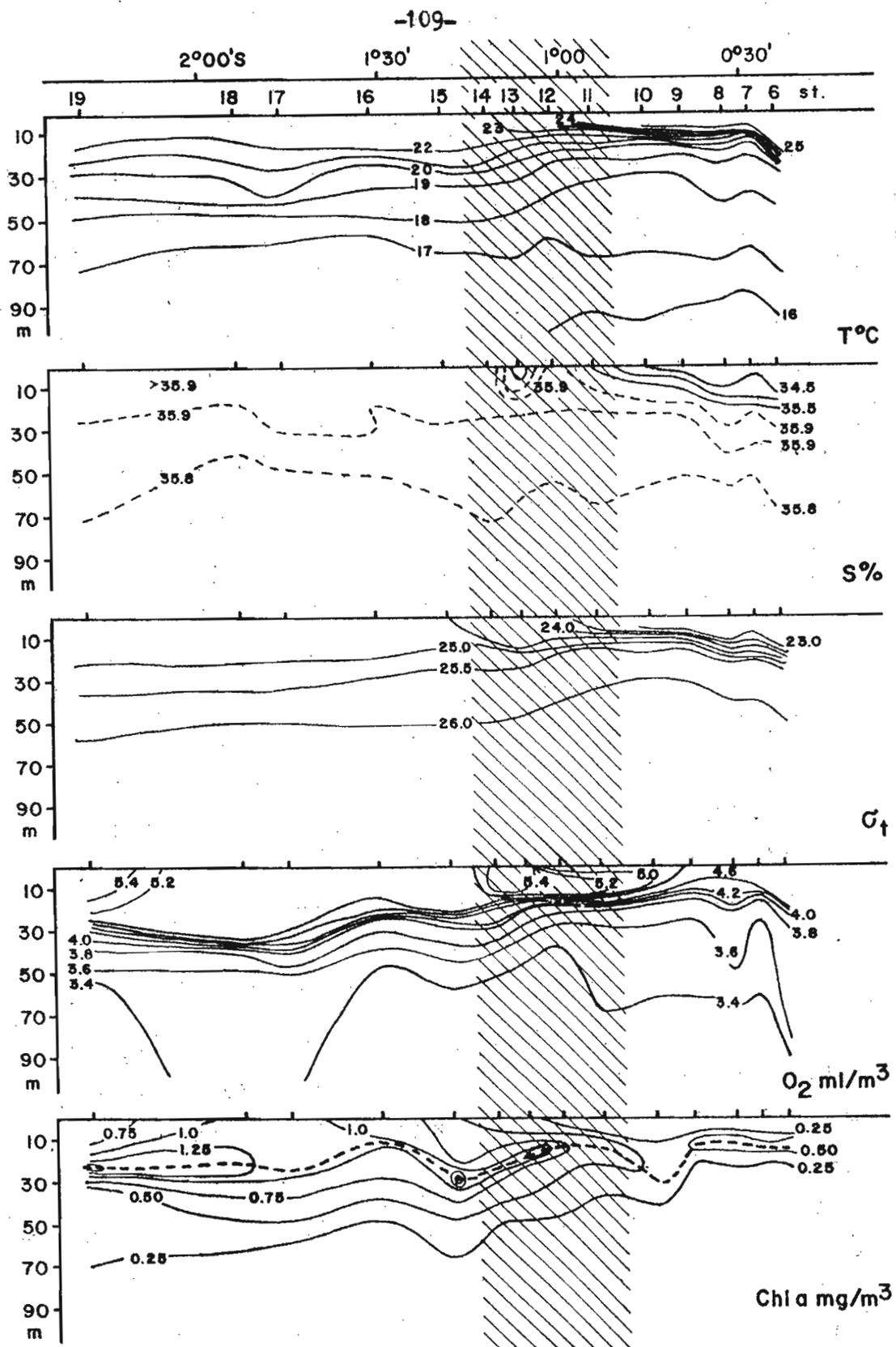


Fig. 3 : Radiale n° 1 à travers le front thermohalin : les hachures indiquent la zone à gradient de densité en surface supérieure à  $200 \cdot 10^{-4} \Delta \sigma_t / \text{mille}$ .

On reconnaît dans ces déplacements certaines composantes de ceux observés en juin-juillet 1971 par VOITURIEZ et al (1973): migration nord de la partie est du front avec maintien à l'ouest d'une langue d'eau chaude et peu salée dans les eaux froides et salées; création de gradients aigus de densité sur les flancs de cette langue. Quant au mouvement de va et vient du front, il a également été observé par GALLARDO (1970) dans la région de l'île d'Annobon (5°40'E, 1°25'S).

### 2.3.- Structure verticale dans les fronts (fig. 3, 4, 5, 6)

La structure verticale de la colonne d'eau 0-100 mètres est différente dans le front thermohalin, au nord, et au sud.

Au nord à partir de la surface on rencontre:

- une couche homogène d'eau guinéenne chaude et peu salée de plus de vingt mètres d'épaisseur.

- une pycnocline très prononcée qui marque le passage entre les eaux guinéennes et le mélange d'eaux benguéléennes et tropicales sous-jacentes. Elle se caractérise par une chute de plus de 5°C et un accroissement de plus de 1‰ de salinité en une dizaine de mètres.

- une couche d'eau à maximum de salinité compris entre 35,90‰ et 36‰.

- une couche d'eau quasi homogène à partir de 40 à 70m.

Dans le front, la structure est la même qu'au nord, mais la couche d'eau guinéenne s'amincit et la pycnocline arrive en surface, provoquant le gradient de densité horizontal qui est la trace du front thermohalin en surface.

Au sud du front thermohalin, à partir de la surface, on rencontre:

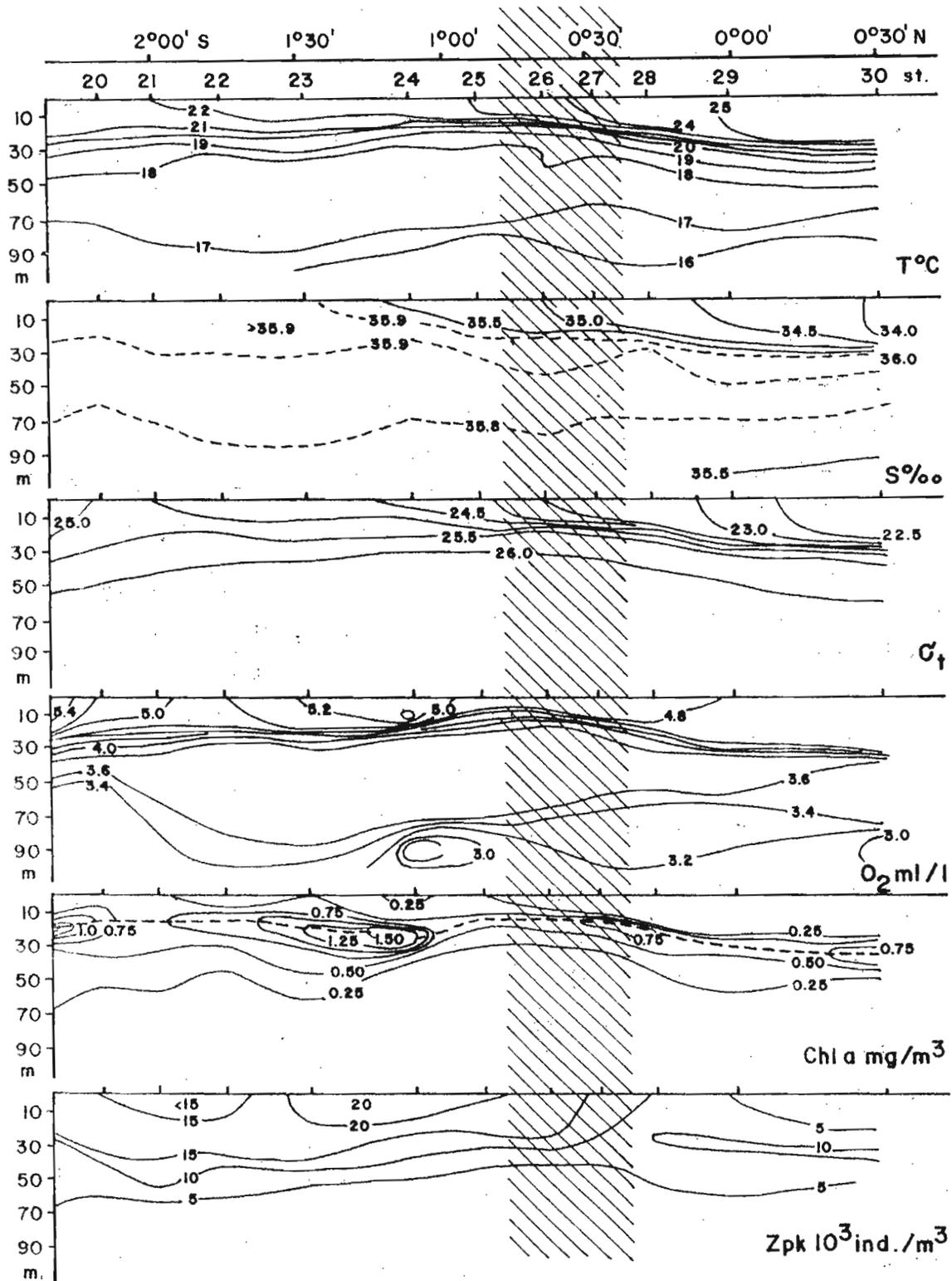


Fig. 4 : Radiale n° 2 à travers le front thermohalin : les hachures indiquent la zone à gradient de densité en surface supérieure à  $200 \cdot 10^{-4} \Delta \sigma_t / \text{mille}$ .

- le maximum de salinité des eaux benguéléennes et tropicales (36‰). Ces eaux sont portées par la branche côtière du courant de Benguela et enrichies par les upwellings fréquents en cette saison le long des côtes du Gabon et du Congo (BERRIT et DONGUY, 1964, DUFOUR et MERLE, 1972),

- une couche homogène d'eau benguéléenne de moins de 15m d'épaisseur et parfois nulle,

- une pycnocline de faible amplitude uniquement causée par une diminution de température de 3 à 4°C,

- la couche d'eau quasi homogène déjà rencontrée au nord, à température inférieure à 17°C et salinité inférieure à 35,80‰.

Le front thermique chaud traversé par la cinquième radiale (fig.8) sépare en surface des eaux guinéennes à 26°C, d'eau guinéennes à 24,5°C. La structure verticale est la même de part et d'autre du front sous la pycnocline au-dessous de 20m. Ce front est donc uniquement un phénomène superficiel.

#### 2.4.- Mouvements verticaux dans les fronts

De nombreux observateurs ont noté la présence de débris divers, d'algues et d'écume dans les fronts. BEEBE (1926) et UDA (1938) cités par CROMWELL et REID (1956) ont parmi les premiers observé des concentrations de plancton peu mobile dans les fronts. Il est donc logique d'y supposer des phénomènes de convergence dans la couche de surface. Selon CROMWELL et REID (1956), les données physiques, en particulier les forts gradients de température, confirment cette hypothèse: des eaux de surface de températures différentes parce que d'origines différentes convergent au niveau des fronts. La logique réclame que ces eaux qui convergent en surface plongent ensuite. De telles plongées ont été observées par la disparition de drogues ou de filets sous des fronts

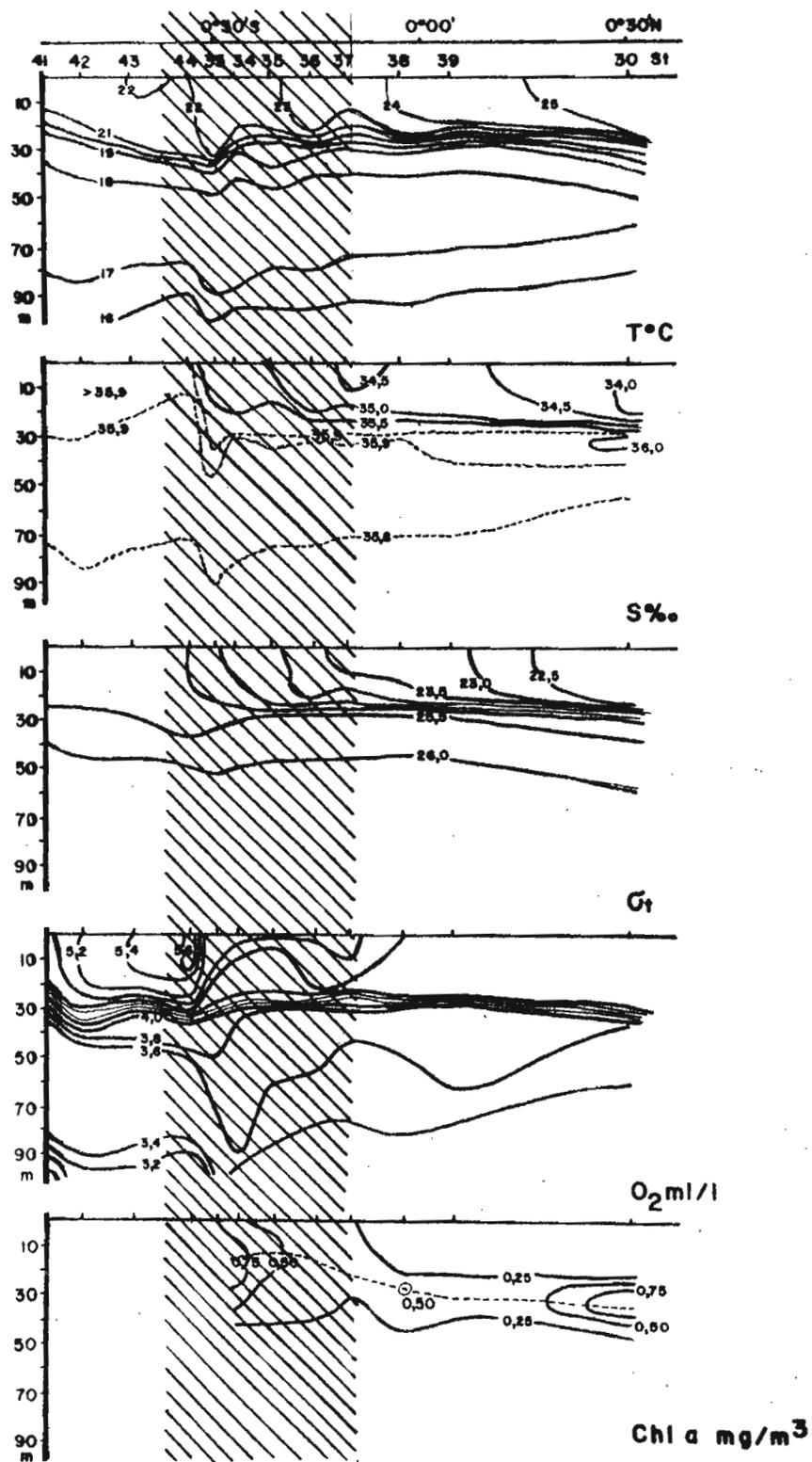


Fig. 5 : Radiale n° 3 à travers le front thermohalin : les hachures indiquent la zone à gradient de densité en surface supérieure à  $200 \cdot 10^{-4} \Delta \sigma_t / \text{mille}$ .

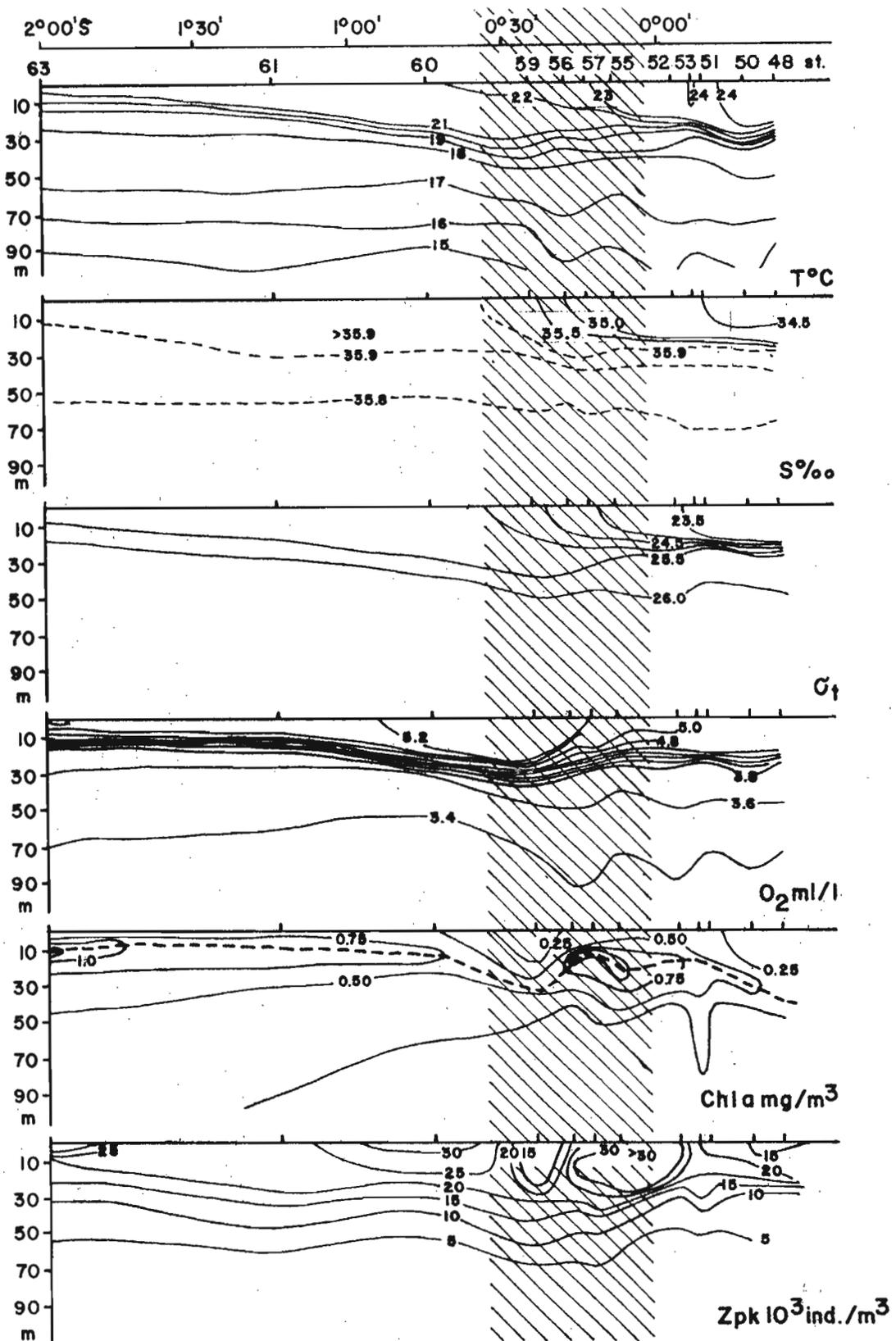


Fig. 6 : Radiale n° 4 à travers le front thermohalin : les hachures indiquent la zone à gradient de densité de surface supérieure à  $200 \cdot 10^{-4} \Delta \sigma_t / \text{mille}$ .

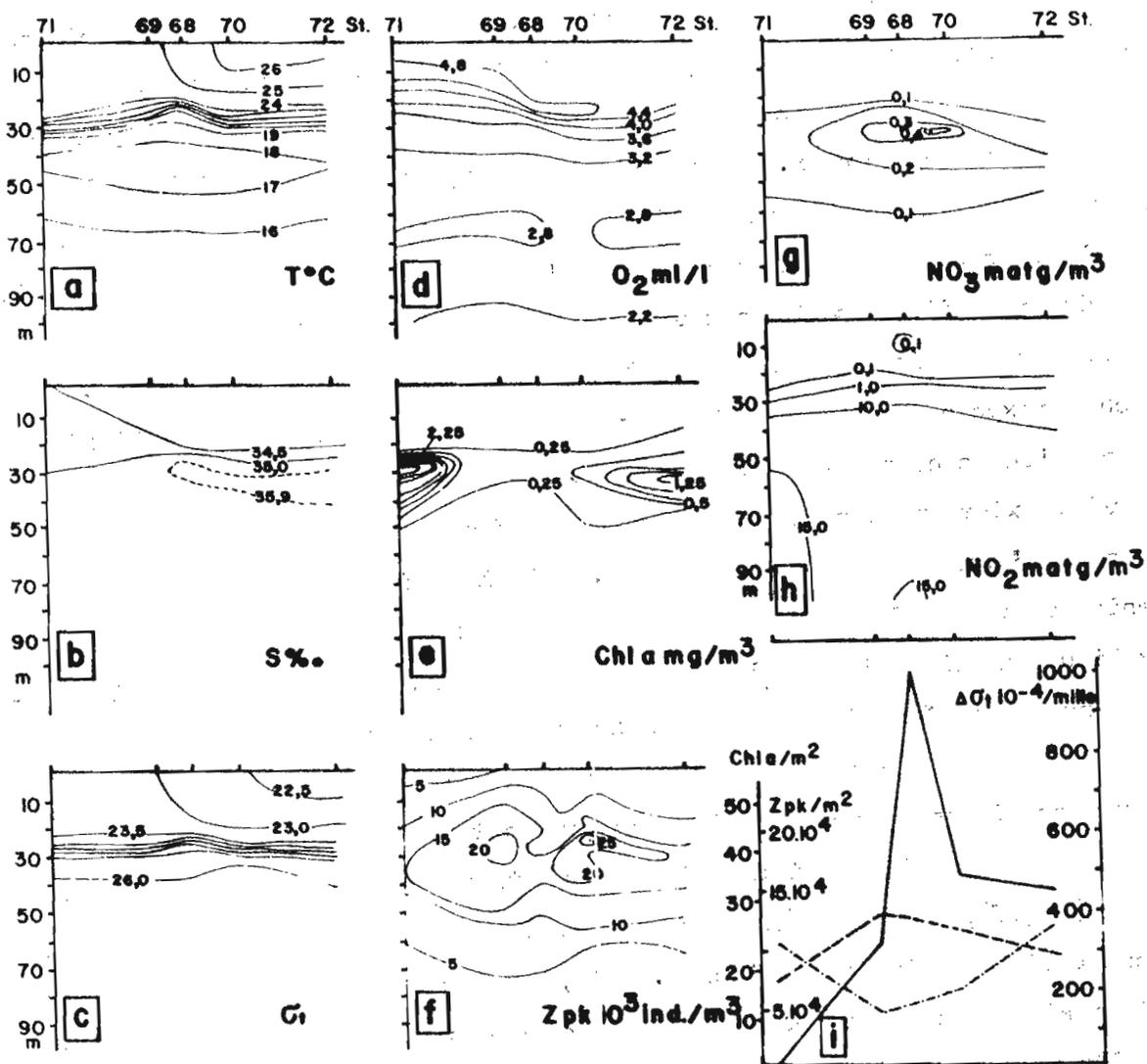


Fig. 7 : Radiale n° 5 à travers un front thermique, Gradient horizontal de la densité en surface et concentrations intégrées de 0 à 100m de la chlorophylle "a" et du zooplancton supérieur à 200  $\mu$ .

au japon (UDA, 1938) et en Californie (CROMWELL et REID, 1956). Selon ces derniers auteurs, il doit se produire une divergence en profondeur et une remontée d'eau vers la surface qui ferme la cellule de circulation. Sans permettre de dégager un cycle de circulation aussi complet, l'examen des figures 3, 4, 5 et 6 suggère quelques observations. En effet, au niveau du front thermohalin ou à proximité de ce dernier, on remarque des remontées de plus de dix mètres des isopycnes, des isothermes et des isoplèthes d'oxygène. Ce qui permet de supposer l'existence d'une divergence à cet endroit. On pourra objecter que cette divergence peut être causée par la proximité de l'équateur. Contre cet argument, on constate qu'elle migre vers le nord en même temps que le front. Elle est centrée en effet sur 0°50'S lors de la radiale n°1 et sur l'équateur lors de la radiale n°4. Au sud du front il y aurait en revanche une convergence mise en évidence par la plongée des isopycnes, des isothermes et des isoplèthes d'oxygène. Une poche d'oxygène à plus de 5ml/l dans la couche homogène confirme l'existence d'une convergence à cet endroit. Des concentrations en oxygène aussi élevées existent probablement dans la pellicule de surface des eaux de part et d'autre de cette convergence. Mais le fait qu'on ne puisse pas tenir compte des indications de la sonde en oxygène entre 0 et 1m environ explique qu'elles n'apparaissent pas sur les figures 3 à 6. Une telle convergence peut s'expliquer par la rencontre en surface des eaux guinéennes présentes en permanence dans la région nord-est du golfe de Guinée et des eaux bengueléennes portées par la branche côtière du courant de Benguela.

Dans le front thermique chaud traversé par la cinquième radiale (fig.7), il doit également y avoir convergence puisqu'on observe une accumulation de débris et d'écume. Mais, le mouvement de plongée des eaux qui en résulte ne doit pas dépasser la couche homogène de surface puisque les isopycnes, les isothermes et les isoplèthes d'oxygène sous-jacents sont horizontales.

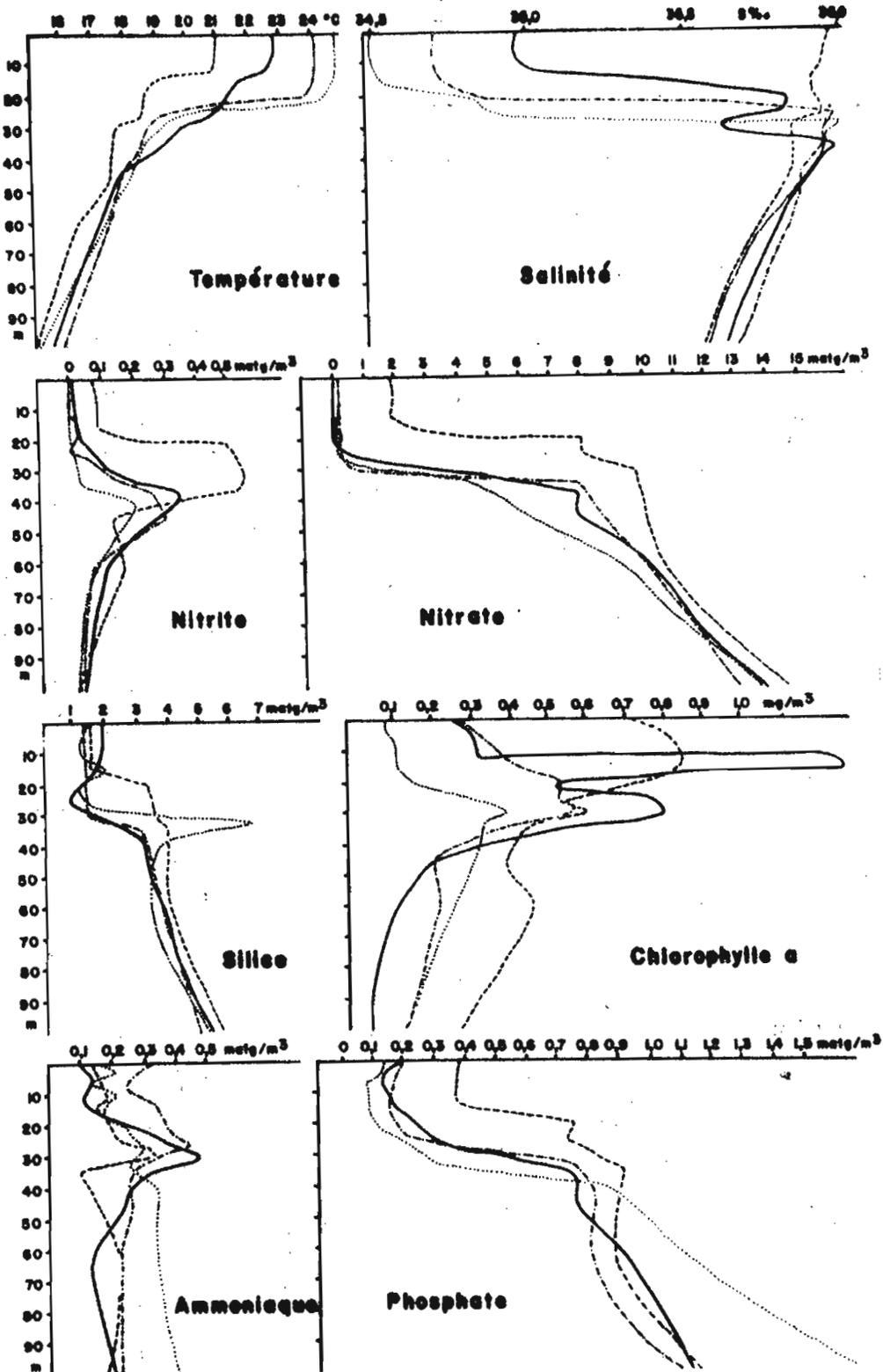


Fig. 8 : Profils de répartition verticale à 4 stations d'une radiale à travers le front thermohalin. ······ station 48 au nord du front thermohalin; -·-·-·- station 53 dans la partie divergente du front thermohalin; — station 57 de la partie convergente du front thermohalin; - - - - station 61 au sud du front thermohalin.

## 2.5.- Sels nutritifs dans les fronts

Les teneurs en sels nutritifs ont été mesurées à quatre stations lors de la quatrième radiale.

Ce sont (fig.6):

- La station 48 au nord du front thermohalin, du côté chaud, la station 53 dans la partie divergente du front thermohalin, la station 57 plus proche de la partie convergente du front thermohalin, la station 61 au sud du front thermohalin, du côté froid.

Sur les profils verticaux de sels nutritifs de la station 61 (fig.8), il apparaît que les eaux bengueléennes (froides et salées) en surface contiennent de fortes teneurs en sels minéraux:  $PO_4^{---}$ ,  $NO_3^-$ . En particulier, on y mesure des teneurs de 2  $\mu$ atg de nitrate par litre, alors que les eaux guinéennes en surface au nord, (station 48) n'en contiennent pratiquement pas.

Dans le front thermohalin de la 4ème radiale, le caractère divergent des stations du nord (station 53), déjà présenté au vu de l'allure des isothermes, des isopycnes et des isoplèthes d'oxygène de la fig.6 est confirmé par les valeurs des concentrations en nitrates. La couche homogène de la station 53 enrichie par divergence contient 0,18  $\mu$ atg/l de nitrates, alors que celle de la station 57 plus proche du centre de la convergence, n'en contient que 0,02  $\mu$  atg/l. On observe l'importance relative de l'ammoniacque dans les sels azotés des eaux guinéennes dans le front thermohalin et au nord du front: plus de 60%. Ce qui est un caractère d'eau biologiquement âgée. Les teneurs en silice ne sont pas différentes de part et d'autre du front. Sous la pycnocline, en dessous de quarante mètres, les valeurs des paramètres chimiques comme celles des paramètres physiques sont les mêmes de part et d'autre du front.

Lors de la cinquième radiale, à travers un front thermique chaud, la couche homogène de surface constituée d'eau guinéenne est uniformément épuisée en  $\text{NO}_2$  et  $\text{NO}_3$  dans le front et de part et d'autre (fig.7). Ce résultat confirme les conclusions du paragraphe précédent, à savoir l'absence de mouvements verticaux dans ce front, en dehors de ceux possibles à l'intérieur de la couche homogène de surface.

### 3.- CARACTERISTIQUES BIOLOGIQUES DES FRONTS TRAVERSES PHYTOPLANCTON - ZOOPLANCTON ET MICRONECTON

Il est communément admis que les zones frontales sont biologiquement plus riches que les zones adjacentes (KING et HIDA, 1957 - KNAUSS, 1957 - GRIFFITHS, 1965 - LONGHURST, 1967). Diverses causes ont été invoquées quoique rarement mises en évidence. Il peut se produire une accumulation mécanique de plancton dans les fronts convergents. Il peut y avoir accroissement de la production primaire par remontée de sels nutritifs dans les fronts divergents. Enfin, le mélange de deux masses d'eau à caractères complémentaires peut accroître la production planctonique.

Les caractères biologiques des fronts traversés ont été déterminés à partir d'évaluations de la chlorophylle "a" lors des cinq radiales, par des récoltes de zooplancton à la bouteille lors des 2ème, 4ème et 5ème radiales et enfin par des récoltes de zooplancton et de micronecton au filet lors des 4ème et 5ème radiales. Ces données ont été complétées par celles recueillies lors de la 2ème partie de la croisière dans, et au nord du front thermohalin.

#### 3.1.- Analyse quantitative

On constate que le contenu en chlorophylle "a" de la couche 0-100m aux stations dans le front thermohalin et aux stations de part et d'autre est différent (fig.9). Les stations à gradient horizontal de

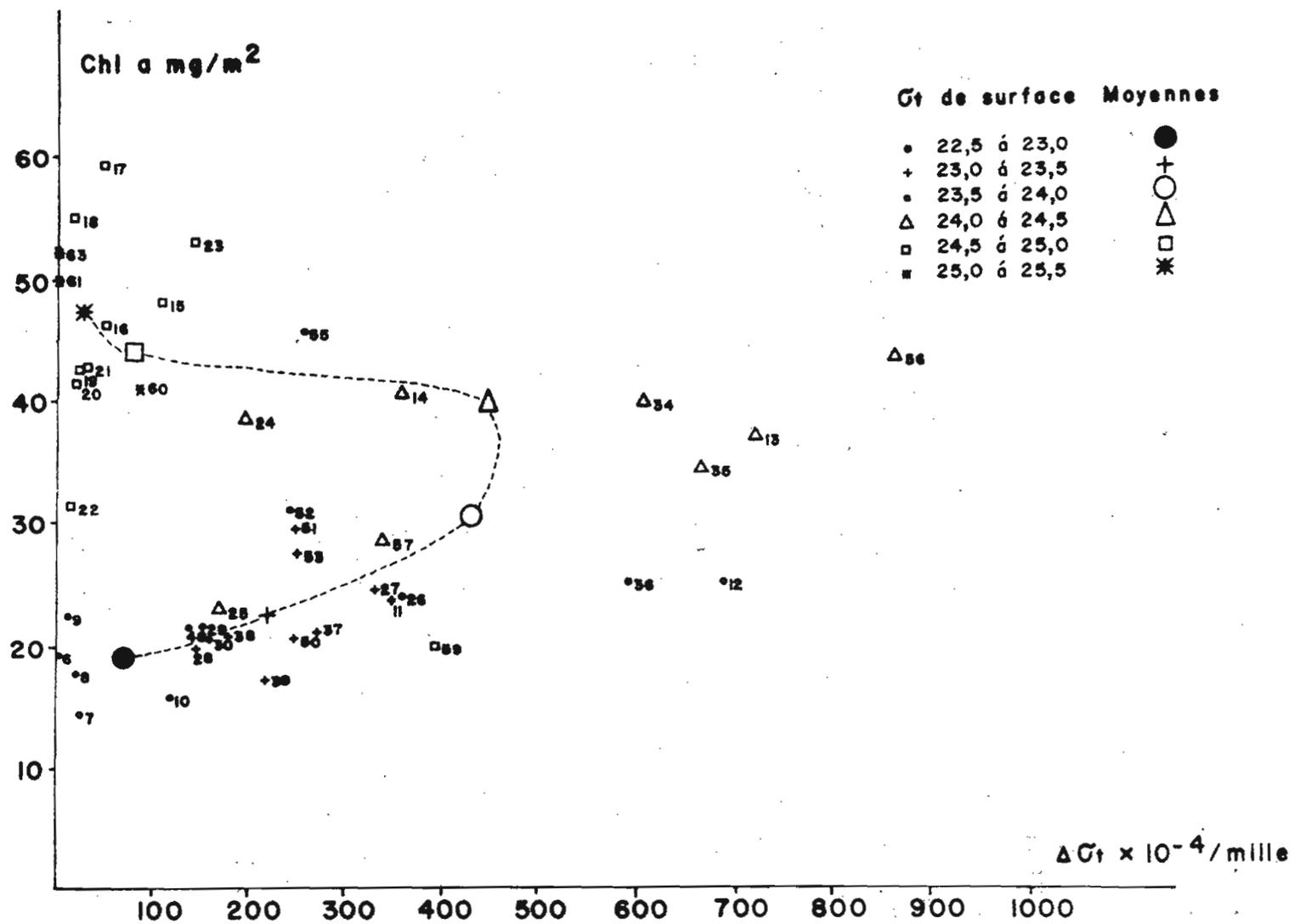


Fig. 9 : Contenu en chlorophylle "a" de la couche 0 - 100m des stations des radiales 1 à 4 en fonction du gradient horizontal de la densité en surface.

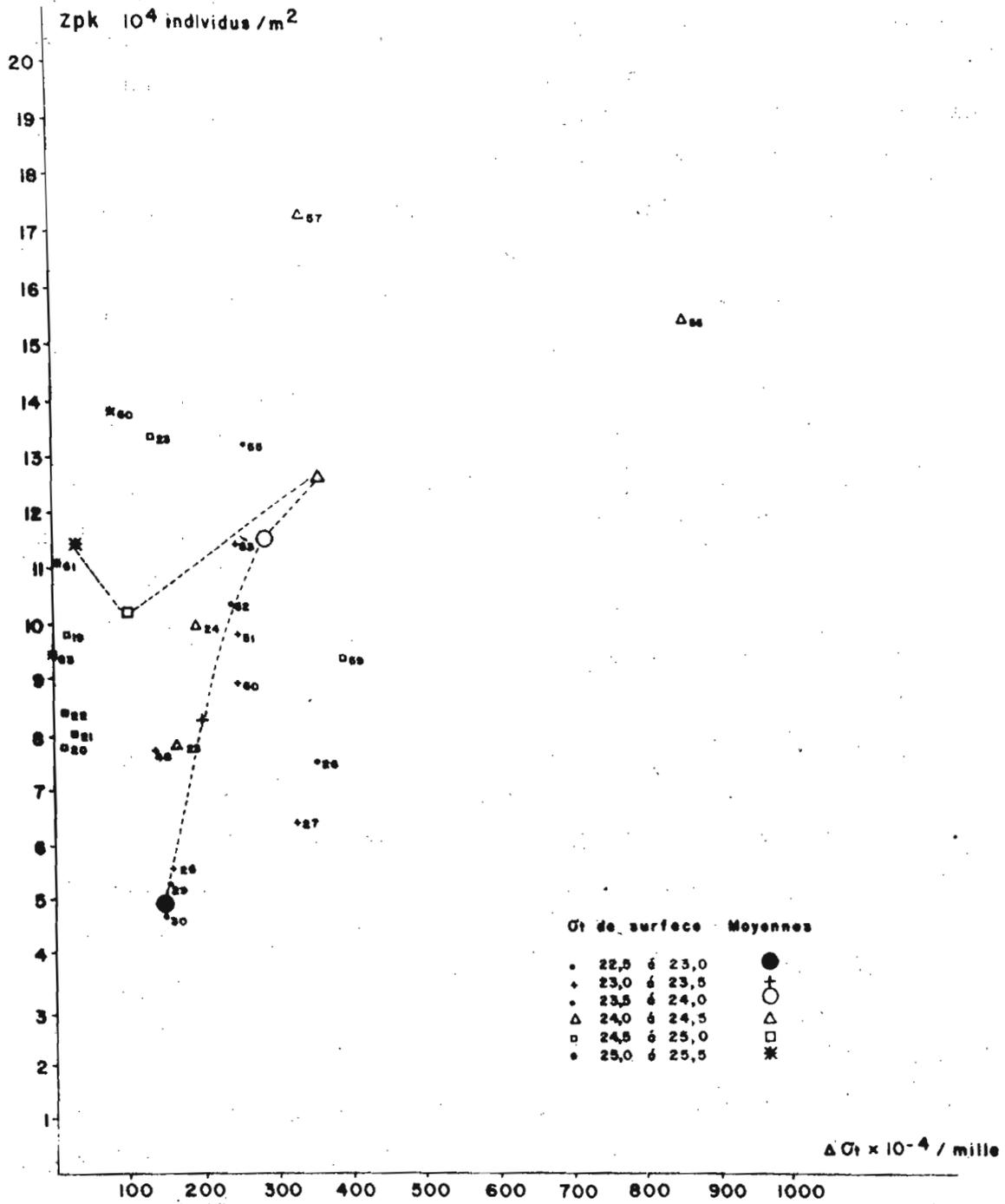


Fig. 10 : Effectifs intégrés de 0 à 100m du zooplancton bouteille en fonction du gradient horizontal de la densité de surface pour les stations des radiales II et IV.

densité en surface faible et à densité de surface faible, donc au nord du front, sont les plus pauvres. Les stations à gradient horizontal de densité en surface faible et à densité de surface forte, donc au sud du front sont deux à trois fois plus riches. Les stations à fort gradient de densité en surface donc dans le front ont des contenus en chlorophylle "a" intermédiaire. Sur l'ensemble des stations il n'apparaît donc pas d'enrichissement particulier en chlorophylle "a" au niveau du front thermohalin. Une représentation analogue est utilisée pour les effectifs du zooplancton récolté à la bouteille entre 0 et 100 mètres (fig.10). Quoique les valeurs soient très dispersées, on constate que le groupe des stations à forte densité de surface au sud du front est deux à trois fois plus riche en moyenne que le groupe des stations à faible densité de surface au nord du front. A l'inverse de ce qui se passe pour la chlorophylle "a", ce sont ici les stations frontales à densité intermédiaire qui sont les plus riches. Ces figures qui regroupent toutes les mesures, masquent une évolution dans le temps mise en évidence par une représentation radiale par radiale. Sur la figure 2 sont portés le contenu en chlorophylle "a" et les effectifs du zooplancton récolté à la bouteille de la couche 0-100 mètres pour chaque radiale. Au début du mouvement nord du front thermohalin lors des radiales 1 et 2, le contenu en chlorophylle "a" croît du nord au sud. Aucune particularité n'est détectée au niveau des plus forts gradients de densité en surface. Il en est de même pour les effectifs du zooplancton de la radiale 2. Lors de la 3ème radiale, le contenu en chlorophylle "a" augmente des eaux chaudes vers le front; on manque malheureusement de données dans les eaux froides. Lors de la 4ème radiale les plus fortes teneurs en chlorophylle "a" sont toujours détectées dans les eaux froides du sud, mais il existe un noyau de stations dans la partie nord du front presque aussi riche. Ce sont les stations de la divergence déduite des mesures de physique et de chimie. Ces mêmes

stations sont les plus riches de la radiale en zooplancton récolté à la bouteille. Au cours de cette 4ème radiale, huit prélèvements de zooplancton ont été effectués au filet. Les résultats portés sur le tableau II montrent que les effectifs sont les plus faibles au nord, dans la région recouverte d'eau guinéenne (du côté chaud). Au sud dans les eaux froides et salées, et dans le front, les effectifs sont 1,5 à 2 fois plus élevés.

En résumé, il se dégage donc une tendance à l'enrichissement en plancton de la zone frontale pendant son déplacement vers le nord de la radiale 1 à la radiale 4.

Au cours de la 5ème radiale, à travers le front thermique chaud dans les eaux guinéennes, on observe les plus faibles teneurs en chlorophylle "a", et un maximum de plancton récolté à la bouteille et au filet dans la zone du gradient de densité maximum (fig.7 et tableau II). Ce serait là un effet du caractère convergent de ce front. Il y aurait accumulation mécanique du zooplancton avec pour conséquence un broutage accru du phytoplancton.

Au cours des 4ème et 5ème radiales des traits de micronecton ont été effectués entre 20<sup>h</sup>30 et 22 heures. Les résultats portés sur le tableau III montrent que les biomasses et les effectifs totaux sont deux à trois fois plus importants aux stations frontales que de part et d'autre.

La deuxième partie de la croisière du 3 au 21 juillet a été réalisée dans la région de pêche au thon. L'objectif n'étant plus la description des fronts, mais la caractérisation des zones de pêche, les fronts n'ont jamais été traversés de part en part. Toutes les stations ont eu lieu dans le front thermohalin et au nord dans la zone recouverte d'eau guinéenne, régions où la flottille de pêche a été localisée. On a vu qu'à cette époque le mouvement du front thermohalin s'est inversé. Il a lieu vers le sud; les isothermes de surface sont moins serrées. Il apparaît alors que les eaux frontales sont biologiquement plus âgées.

Station	61	57	53	50	72	70	68	59	71	
Radiale	R A D I A L E I V				R A D I A L E V					
Situation*	HFF	FRONT THERMOHALIN		HFC	HFC	FRONT CHAUD		HFC		
Zooplancton "bouteille" effectifs de 0 à 200m 10 <sup>4</sup> ind/m <sup>2</sup>	12,1	17,6	11,4	8,9	9,7	11,7	12,6	12,9	7,7	
Filet de 360 µ effectifs /m <sup>3</sup>	198,14	158,09 **	195,48	121,31	120,29	199,25	153,53	154,46	95,62	
Filet de 505 µ effectifs /m <sup>3</sup>	84,89	100,36	84,48	54,71	32,36	51,08	63,21	67,64	31,17	
Protozoaires	360 µ 505 µ	0,08 0,12	0,43 -	3,68 0,26	3,24 0,20	0,40 0,11	0,25 0,12	0,74 0,32	1,19 0,43	3,76 0,31
Siphonophores/m <sup>3</sup>	360 µ 505 µ	0,50 0,66	0,41 0,57	1,14 1,32	1,75 1,95	2,11 2,92	2,86 2,64	2,01 1,85	1,57 1,90	2,25 1,56
Chaetognathes/m <sup>3</sup>	360 µ 505 µ	6,15 3,55	4,00 4,16	6,83 5,99	5,19 3,53	4,32 2,95	6,21 2,05	3,72 2,38	3,91 4,40	3,74 2,82
Mollusques/m <sup>3</sup>	360 µ 505 µ	0,70 0,60	1,58 0,63	1,28 0,48	0,78 0,41	1,55 0,36	2,48 0,78	0,85 0,37	0,75 0,70	3,85 0,36
Larves de poissons/m <sup>3</sup>	360 µ 505 µ	0,62 0,51	0,89 0,77	1,20 0,66	0,41 0,33	0,32 0,21	0,50 0,31	0,48 0,53	0,54 0,65	0,31 0,34
Oeufs de poissons/m <sup>3</sup>	360 µ 505 µ	0,16 0,51	0,49 0,23	1,05 0,57	0,62 0,33	0,34 0,18	0,12 0,12	0,87 0,64	0,60 0,27	0,27 0,18
Salpes /m <sup>3</sup> et Dolioles	360 µ 505 µ	0,21 4,24	5,80 0,60	0,03 -	0,12 0,08	0,27 0,07	0,50 0,25	0,08 0,11	0,16 -	0,22 0,09
Appendiculaires/m <sup>3</sup>	360 µ 505 µ	0,60 1,34	4,70 0,17	2,84 0,93	3,95 1,03	0,97 0,36	3,97 1,21	1,29 0,79	0,60 0,65	0,54 0,49
Copépodes/m <sup>3</sup>	360 µ 505 µ	177,44 65,44	131,98 85,57	165,27 66,94	95,95 40,90	103,20 21,26	172,09 39,39	137,85 53,02	137,45 54,16	72,39 21,12
Ostracodes/m <sup>3</sup>	360 µ 505 µ	3,88 1,02	2,60 2,43	5,09 1,92	4,65 1,33	4,00 1,30	3,60 0,84	2,27 1,11	3,37 0,76	5,68 1,33
Amphipodes/m <sup>3</sup>	360 µ 505 µ	0,41 0,39	0,42 0,23	0,57 0,49	0,45 0,37	0,34 0,47	1,05 0,25	0,69 0,43	0,97 0,60	1,00 0,40
Sergestides/m <sup>3</sup>	360 µ 505 µ	0,48 0,66	0,52 0,57	1,17 1,68	0,12 0,33	0,29 0,29	0,56 0,28	0,42 0,43	0,54 0,43	0,22 0,29
Euphausiaces/m <sup>3</sup>	360 µ 505 µ	3,97 2,78	2,63 3,50	3,02 2,31	2,75 2,37	1,24 1,15	3,91 2,27	1,27 0,64	1,41 1,30	1,04 1,22
Leucifer/m <sup>3</sup>	360 µ 505 µ	0,84 0,81	0,93 0,69	1,38 0,81	0,66 0,41	0,36 0,25	0,43 0,15	0,26 0,37	0,49 0,65	0,22 0,20

\* HFF: en dehors du front thermohalin du côté froid - HFC: en dehors du front thermohalin du côté chaud.  
\*\* Filet colmaté.

Tableau II: Radiales IV et V. - Effectifs totaux du zooplancton récolté à la bouteille ( 200 µ) et aux filets ( 360 µ et 505 µ). Effectifs des principaux taxons récoltés aux filets.

Station		52	56	60	62	68	69	72	73	76	79	81	84	86	88	89
Radiale		R A D I A L E IV				R A D I A L E V			D E U X I E M E P A R T I E							
Situation		HFC	FTH	HFF	HFF	Front Thermique		HFC	Front thermohalin					H F C		
POISSONS	effectifs /1000m <sup>3</sup>	1,74	2,84	1,31	1,39	5,58	4,49	4,51	4,63	123,70	11,37	3,08	2,91	4,08	2,37	6,68
	biomasse g/1000m <sup>3</sup>	0,48	1,70	2,60	0,30	2,87	3,96	3,80	3,39	46,01	8,70	3,82	7,27	1,74	1,56	3,34
CRUSTACES	effectifs /1000m <sup>3</sup>	4,26	12,61	9,55	4,38	30,53	7,94	6,63	16,00	6,30	15,56	15,28	21,67	8,32	7,80	7,80
	biomasse g/1000m <sup>3</sup>	1,70	4,44	7,53	1,91	14,99	2,84	2,28	6,16	3,25	6,15	5,65	8,65	3,83	2,05	2,41
MOLLUSQUES	effectifs /1000m <sup>3</sup>	0,22							0,13	0,22	0,27	0,07				
	biomasse g/1000m <sup>3</sup>	0,15							0,14	0,25	0,33	0,02				
TOTAL	effectifs /1000m <sup>3</sup>	6,22	15,45	10,86	5,77	36,11	12,43	11,14	20,76	130,22	27,20	18,43	24,58	12,40	10,17	14,48
	biomasse g/1000m <sup>3</sup>	2,33	6,14	10,13	2,21	17,86	6,80	6,08	9,69	49,51	15,18	9,49	15,92	5,57	3,61	5,75

\* HFC: hors du front thermohalin du côté chaud  
 FTH: dans le front thermohalin  
 HFF: hors du front thermohalin du côté froid

Tableau III: - Effectifs et biomasse du micronecton recueillis entre 0 et 250 mètres.

En effet les biomasses des stades inférieurs de la chaîne alimentaire sont en diminution, alors que celles des stades ultérieurs sont en augmentation. Ainsi, les teneurs en chlorophylle "a" sont en moyenne deux fois plus faibles dans le front thermohalin en mouvement sud que dans le front thermohalin en mouvement nord; alors qu'aucune différence significative\* n'apparaît pour la zone nord frontale (tableau IV). Les effectifs du zooplancton récoltés à la bouteille sont en moyenne plus importants dans le front en mouvement sud que dans celui en mouvement nord mais la différence n'est pas significative. Deux prélèvements de zooplancton au filet (Stations 53 et 57), ont été effectués dans le front thermohalin en mouvement nord. Les effectifs récoltés sont proches des moyennes de ceux récoltés dans le front en mouvement sud (tabl.IV). Quant au micronecton, les cinq prélèvements dans le front en mouvement sud sont en moyenne deux fois plus riches que l'unique prélèvement dans le front en mouvement nord, et quatre fois plus riches que les six prélèvements dans la région nord-frontale (tableau IV).

### 3.2.- Distributions verticales

L'examen des distributions verticales du phytoplancton et du zooplancton apporte quelques renseignements sur les causes des distributions des biomasses rencontrées.

---

\* Le degré de signification de la différence des moyennes des deux périodes a été apprécié par le test de WILCOXON (SNEDECOR et COCHRAN, 1967). La différence est jugée non significative (NS sur le tableau IV) lorsque ce degré est inférieur à 95%.

Paramètre	Situation	Première partie (Front en mouvement nord)			Deuxième partie (Front en mouvement sud)			%
		Mo	n	St	Mo	n	St	
Chlorophylle "a" mg/m <sup>2</sup> (0 - 100m)	dans le front thermohalin	30,9	(14)	8,73	16,3	(13)	3,99	99
	hors du front du côté chaud	21,2	(15)	4,67	19,9	(23)	5,09	NS
Zooplancton 200 µ individus/m <sup>2</sup> (0 - 100m)	dans le front thermohalin	120 834	(6)	49 212,1	101 690	(13)	18 862,9	NS
	hors du front du côté chaud	79 310	(8)	25 187,0	85 941	(23)	24 851,5	NS
Zooplancton 360 µ individus/m <sup>3</sup> (0 - 250m)	dans le front thermohalin	176	(2)	25,5	196	(12)	42,9	NS
	hors du front du côté chaud	121	(1)		123	(14)		
Zooplancton 505 µ individus/m <sup>3</sup> (0 - 250m)	dans le front thermohalin	92	(2)	11,3	80	(12)	12,6	NS
	hors du front du côté chaud	53	(1)		53	(14)	13,2	
Micronecton individus/1000m <sup>3</sup> (0 - 250m)	dans le front thermohalin	2,84	(1)		29,14	(5)	52,97	
	hors du front du côté chaud	1,74	(1)		4,62	(6)	1,45	
Micronecton g/1000m <sup>3</sup> (0 - 250m)	dans le front thermohalin	1,70	(1)		1386	(5)	8,11	
	hors du front du côté chaud	0,48	(1)		2,88	(6)	1,03	

Tableau IV: - Comparaison des données de la première partie de la croisière lorsque le front thermohalin est en mouvement vers le nord et de la deuxième partie, lorsqu'il est en mouvement vers le sud. Les données présentées sont dans l'ordre: le moyenne, le nombre de mesures entre parenthèse, et l'écart-type d'une mesure. Dans la dernière colonne figure le degré de signification de la différence des moyennes évalué par le test de Wilcoxon (SNEDECOR 1967). NS: degré de signification inférieur à 95%

En ce qui concerne le phytoplancton ces distributions verticales se répètent à travers les quatre premières radiales. Le niveau du maximum de chlorophylle "a" correspond aux isopycnes 23.5 à 24.5. Il est entre 10 et 20 mètres de profondeur au sud du front et entre 30 et 50 mètres au nord du front. Il est figuré en pointillé épais sur les répartitions verticales de chlorophylle "a" des figures 3, 4, 5 et 6. Ces types de répartitions verticales différentes traduisent des types de production différents:

- Au nord du front thermohalin, la couche d'eau guinéenne de surface, chaude, peu salée et épuisée en sels nutritifs ne peut supporter qu'une production primaire faible par régénération des sels nutritifs. L'essentiel de la production de la zone euphotique est réalisé dans la pycnocline à partir des riches teneurs en sels nutritifs des eaux froides et salées qui y apparaissent. Cette production dite "nouvelle" selon le concept de DUGDALE et GOERING (1967) est la cause du pic de chlorophylle "a" alors détecté dans ou à la base de la pycnocline. Le pic est peu épais. Les concentrations sont faibles au-dessus. L'ensemble de la couche 0-100m est pauvre.

- Au sud du front thermohalin, les concentrations en chlorophylle "a" de la couche 0-100m sont deux à trois fois plus importantes. Les riches teneurs en sels nutritifs des eaux froides et salées sont en surface. Ce qui autorise une production primaire importante dans la couche homogène. Le pic de chlorophylle "a" alors détecté au-dessus et au sommet de la pycnocline traduit l'accumulation des organismes issus de cette production. La couche homogène est elle-même riche en chlorophylle.

- Dans le front thermohalin et à proximité, l'examen des variations verticales du niveau du maximum de chlorophylle "a" apparaît confirmer les indices de mouvements verticaux déjà recueillis d'après les données de physique et de chimie (voir chapitre 2). Le long des

quatre premières radiales (fig.3, 4, 5 et 6), le niveau du maximum est de 15 à 20 mètres plus proche de la surface aux stations de la partie nord du front qu'aux stations immédiatement de part et d'autre. Ce qui y confirme l'existence d'une divergence. Par contre, dans la partie sud du front, le niveau du maximum de chlorophylle "a" s'enfonce, confirmant à cet endroit la présence d'une convergence des eaux de surface.

En ce qui concerne le zooplancton récolté à la bouteille, on ne peut observer de répartitions verticales types au nord, au sud et dans le front thermohalin. L'influence de la structure verticale différente des eaux sur la répartition verticale du zooplancton semble en effet masquée par les migrations nycthémerales. L'essentiel des effectifs du zooplancton récolté à la bouteille est observé entre la surface et le pic de chlorophylle "a". A l'intérieur de cette couche, le zooplancton est sujet à des migrations verticales. En effet, si on considère toutes les stations de la croisière, les plus fortes concentrations du zooplancton récolté à la bouteille ont été trouvées 41 fois au-dessus du pic de chlorophylle, 19 fois au même niveau et 5 fois seulement au-dessous. Sur ces 5 stations, 4 eurent lieu à midi, la cinquième à 16 heures. Au contraire, aux 16 stations du soir et de la nuit, le maximum du zooplancton est détecté 15 fois au-dessus du pic de chlorophylle, la plupart du temps en surface. On peut donc conclure que le niveau des concentrations maximum du zooplancton est sujet à des migrations de la surface la nuit, au pic de chlorophylle "a" le jour. Il est à noter que du fait de ces migrations nycthémerales, les eaux chaudes et dessalées de surface au nord du front thermohalin, quoique pauvres en phytoplancton sont peuplées en zooplancton la nuit.

### 3.3.- Analyse qualitative des prélèvements de zooplancton et de micronecton

Le tableau II représente les comptages par taxon (classes ou genres) des organismes du zooplancton récoltés aux filets de 360  $\mu$  et de 505  $\mu$ . Les stations ont été choisies réparties à travers un front thermohalin (radiale 4) et un front thermique chaud (radiale 5). On s'est en outre servi des concentrations en organismes récoltés simultanément à la bouteille à différentes immersions pour déterminer les niveaux d'accumulation des taxons les plus représentatifs des prélèvements aux filets.

Le taxon le plus représenté dans les prélèvements aux filets de 360  $\mu$  et 505  $\mu$  est celui des copépodes qui représentent de 65 à 90% des individus. L'abondance est plus marquée du côté froid et dans les fronts.

La zone recouverte d'eau guinéenne (au nord du front thermohalin) est généralement la plus pauvre. Quelques taxons y sont cependant bien représentés. Ainsi, les Siphonophores sont plus abondants dans les prélèvements au filet au nord qu'au sud du front thermohalin. De même, les Protozoaires (Radiolaires, Foraminifères, Acanthaires) sont plus abondants dans les eaux guinéennes, soit au nord, soit au sein du front thermohalin, dans la pycnocline et au-dessus.

D'autres groupes semblent plus abondants dans les fronts; ainsi les Ostracodes représentent de 6 à 25% des prises au filet de 360  $\mu$  aux stations 80, 81, 82 et 85, toutes dans le front thermohalin. A la bouteille les plus grandes abondances d'Ostracodes sont détectées aux stations 25 et 26 et aux stations 51 et 52 situées dans la partie divergente des fronts thermohalins des radiales 2 et 4, ainsi qu'aux stations 80, 81, 82 et 85 dans le front thermohalin de la 2ème partie de la croisière. Déjà dans le même front, l'année précédente VOITURIEZ et al (1973) ont noté un enrichissement significatif en Ostracodes.

Le genre Leucifer est également plus abondant dans les fronts. Enfin les Thaliacées colmatent le filet de 360  $\mu$  à la station 53 dans le front de la 4ème radiale. La présence de Thaliacées et de Leucifer semble d'ailleurs être un caractère constant des fronts étudiés dans cette région, puisque déjà constatée par BINET et al (1967) et VOITURIEZ et al (1973).

Les autres taxons sont peu représentés, ou bien ont des distributions indifférenciées dans les fronts et de part et d'autre.

Les Thaliacées présentent une répartition verticale intéressante. On les rencontre dans les eaux benguéléennes du sud, en surface et dans la couche homogène lors de la 2ème radiale. Lors de la 4ème radiale, ils sont abondants en surface dans le front d'où ils semblent plonger vers le nord sous les eaux guinéennes. On en capture entre 10 et 20 mètres à la station 51 et entre 40 et 55 mètres à la station 50. Ce fait pourrait indiquer qu'il y a continuité entre les eaux froides et salées en surface au sud et les eaux froides et salées sous la pycnocline au nord. D'autant plus qu'il est confirmé par la distribution de longues chaînes de la diatomée Stephanopyxis palmeriana, capturées en abondance à la bouteille en surface dans les fronts thermohalins des 2ème et 4ème radiales et à 25 mètres (donc dans les eaux froides et salées) au nord du front thermohalin.

En ce qui concerne le micronecton, les poissons et les crustacés constituent l'essentiel de la biomasse collectée. Les Mollusques (Céphalopodes surtout) n'en représentent jamais plus de 5%. Cinq groupes dominant et totalisent plus de 75% des poids récoltés. Ce sont pour les poissons: les juveniles de Sardinella aurita, Gonostoma denudatum et les Leptocéphales; pour les Crustacés: les Sergestidae et la Mysidacée Systellaspis debilis. Pour ces groupes dominants l'abondance relative est cependant très variable. Ainsi, en ne considérant que les stations dans le front thermohalin où les biomasses sont les plus importantes, on note que les Sergestides représentent 75% des poids récoltés à la station 68

mais moins de 10% à la station 79 et moins de 3% à la station 76. Gonostoma denudatum représente 14% et 16% des poids récoltés aux stations 84 et 81, moins de 1% aux stations 73 et 76. Systemaspsis debilis représente plus de 50% à la station 56, moins de 5% aux stations 68 et 76. Les Leptocéphales sont présents à 6 stations frontales sur huit et représentent entre 2% des biomasses à la station 81 et 17% à la station 69. Les juveniles de Sardinella aurita ont été pêchés à 5 stations frontales sur 8 et jamais en dehors des fronts. Ils représentent 90% des poids récoltés à la station 76. La composition taxonomique, et les biomasses du micronecton récolté dans le front en mouvement sud, sont donc très variable. Ce qui permet de supposer que les fortes biomasses qu'on y rencontre (tableau III) sont localisées dans des cellules plus ou moins isolées.

#### 4.- LES FRONTS ET LA PRESENCE DES THONS: OBSERVATIONS EN JUIN-JUILLET 1972

Chaque année à la même époque, d'importantes concentrations de thons sont observées dans la zone du front thermohalin du Cap Lopez (LE GUEN et al, 1965). Il s'agit des thons de surface: Albacores (Thunnus albacares) et Listaos (Katsuwonus pelamis) surtout, et Patudos (Parathunnus obesus) plus épisodiquement. Cette année encore (1972) ils étaient abondants entre le Cap Lopez et l'île de Sao Thomé en juin et juillet. Les cartes de la figure 11 représentent leurs zones de concentration. Elles ont été dressées à partir des observations du N/O Capricorne, de l'avion du Groupement d'Armateurs Interthon, et des enquêtes effectuées à bord des thoniers à Pointe Noire (Congo-Brazzaville). Les cartes 11c, 11d et 11e d'une part et 1c, 1d et 1e d'autre part sont contemporaines.

Il suffit de les comparer deux à deux pour constater que les mattes de thons ne sont pas distribuées au hasard par rapport aux fronts. Ainsi, le front thermique chaud de la cinquième radiale est le théâtre des rassemblements de thons notés vers  $7^{\circ}15'W$ ,  $0^{\circ}55'N$  sur les cartes 11c et 11d. Des fronts du même type ont été détectés à plusieurs reprises par l'avion (fig.12). Ils sont marqués par des gradients horizontaux de température intenses mais de faible amplitude (rarement supérieure à  $1^{\circ}5'C$ ). Nous n'avons pu mettre en évidence de structure enrichissante dans celui que nous avons traversé. Le fait que la présence de thons leur soit souvent associée montre qu'ils méritent une étude plus poussée. Mais c'est sur le front thermohalin que se concentre essentiellement la pêche.

On a vu au § 2.2 qu'au début de juillet le front thermohalin est encore en mouvement vers le nord. A cette époque, on constate que les pêches ont lieu essentiellement dans des eaux de température supérieure à  $24^{\circ}C$ , dans la poche d'eau guinéenne centrée sur  $8^{\circ}E$ . La pêche apparaît plus particulièrement concentrée sur les flancs est et ouest de cette poche, au niveau des situations frontales aiguës créées par l'avancée des eaux froides (fig. 1c et d, 11c et d). A partir de la mi-juillet, le front est animé d'un mouvement sud. La poche d'eau se résorbe, les gradients thermiques s'atténuent. Simultanément à cette dilution du front thermohalin, on constate une dispersion des lieux de pêche significative d'un éparpillement des mattes de thons (figure 11e). Une partie de la flottille pêche toujours sur les lieux de la poche d'eau guinéenne des jours précédents, tandis qu'une autre pêche au nord dans les eaux guinéennes et une autre franchement au sud du front. Au nord, on peut penser que les thons se maintiennent sur des cellules riches laissées par le retrait du front thermohalin, et sur des structures frontales thermiques du type de celle traversée par la cinquième radiale. Au sud, nous n'avons pas de données hydrologiques

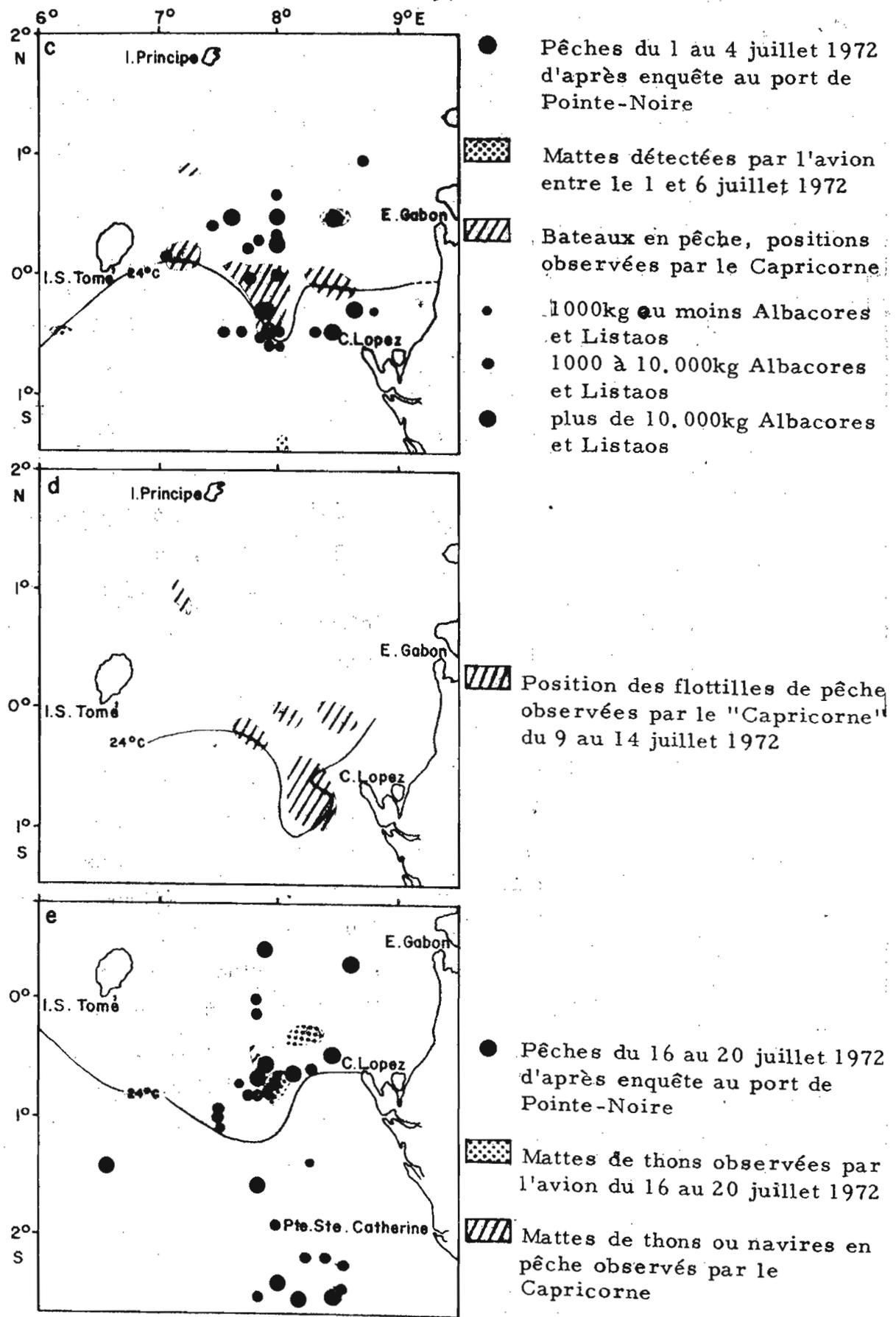


Fig. 11 : Position des pêcheries de thons en juillet 1972.

correspondant à l'époque de la carte 11c. Mais on sait qu'en cette saison, il existe au niveau du talus continental de cette région un front thermique entre les eaux d'upwelling à la côte et les eaux du large plus chaudes (DESSIER et PIANET, 1972). Le thon peut se concentrer le long de telles structures.

##### 5.- ESSAI DE SYNTHÈSE

Certaines hypothèses sur les mécanismes d'enrichissement dans le front thermohalin qui synthétisent les résultats précédents peuvent être formulées.

Lors de sa migration vers le nord, la zone du front thermohalin est le siège d'une convergence qui peut favoriser une accumulation de zooplancton. Une telle accumulation n'a pas été observée. Simultanément plus au nord se produit une divergence qui favorise localement la remontée de sels nutritifs dans la zone euphotique et donc la production primaire. Il s'ensuit un accroissement des biomasses de phytoplancton et de zooplancton qui n'est vraiment sensible qu'après un certain temps de latence et n'est donc observé qu'au cours de la 4ème radiale. Les biomasses du micronecton suivent un accroissement semblable mais avec quelque retard. Elles sont importantes lorsque le front commence son mouvement sud. Au vu de l'hétérogénéité des biomasses et de la composition du micronecton recueilli, on peut d'ailleurs penser que cette abondance est alors localisée dans des cellules isolées. Par contre lors de ce mouvement sud, les eaux sont moins riches en phytoplancton. La cause peut en être un affaiblissement de la divergence et donc une production primaire en déclin, alors que le zooplancton et le micronecton abondants accroissent la pression de broutage.

A l'époque de ces mouvements, les thons capturés dans la région du Cap Lopez sont surtout des Albacores. Les observations concernant leur répartition cette année (§ 4) concordent avec ce que l'on connaît de l'écologie de cette espèce.

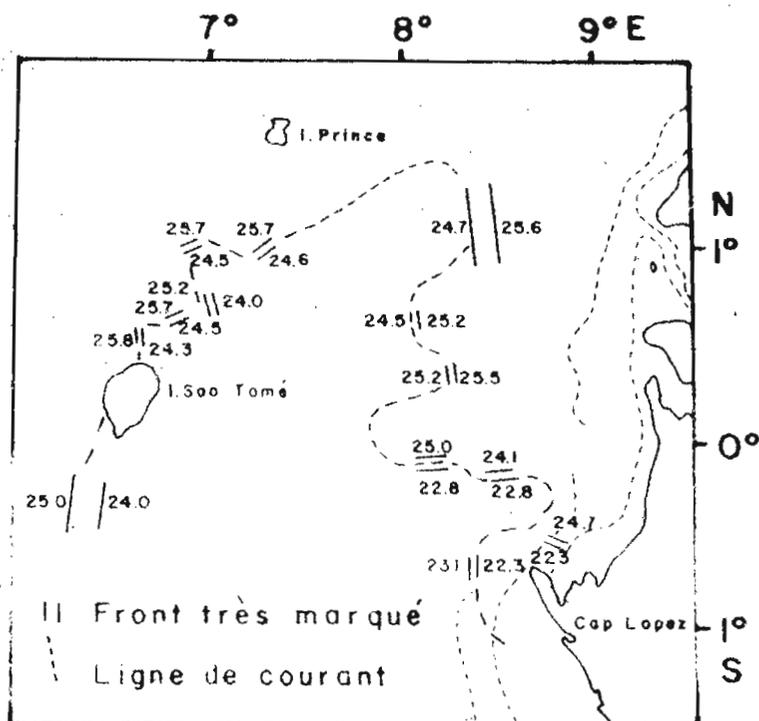


Fig. 12 : Ensemble des fronts observés du 30 juin au 4 juillet 1972.  
Extrait de Le Guen et al. 1972 : Compte rendu de l'opération  
radiométrie à infra-rouge sur l'avion Interthon.  
Doc. Centre ORSTOM Pointe Noire, n° 541 , 7 p. S. R.

En effet, les enquêtes réalisées à bord des thoniers français, japonais et espagnols depuis 1964 mettent en évidence la migration du thon avec le front entre la latitude du Cap Lopez de juin à septembre et la latitude de Mossamèdes (15°S) entre janvier et avril (LE GUEN et POINSARD, 1966; POINSARD, 1967; MARCILLE et al, 1969; MARCILLE et POINSARD, 1970; PIANET et LE HIR, 1971). GALLARDO et LE GUEN (1972) ont en outre noté la relation existant entre la présence de thons et celle d'un gradient de densité de surface important. De tels gradients existent dans le front thermohalin du Cap Lopez entre les isothermes 21°C et 25°C. Or on sait que l'Albacore se rencontre rarement dans les eaux de moins de 23°C. D'après LE GUEN et al (1965), 80% des prises sont effectuées dans les eaux comprises entre 24°C et 25°C. Ces publications mettent donc en évidence que le thon doit se rencontrer le plus fréquemment dans la partie nord et chaude du front thermohalin, ce qui a été constaté cette année (§ 4). D'autre part, le thon est mieux groupé lors du mouvement nord du front lorsque les eaux froides le repoussent. Lors du mouvement sud du front au contraire, l'aire géographique tolérable en température s'étend et le thon se disperse. En outre, il est logique de penser qu'à ce moment les thons trouvent l'essentiel de leur nourriture au niveau du front thermohalin. En effet il s'y produit des mélanges entre les eaux chaudes guinéennes qui sont pauvres et les eaux froides benguéléennes et tropicales, qui sont riches, car provenant d'une branche du courant de Benguela et fertilisées par les apports côtiers et les upwellings du Congo et du Gabon. De plus, les mouvements verticaux détectés lors de la migration nord du front, sont favorables à une production planctonique accrue sur place. Par contre, lorsque le front se stabilise, et lorsque son mouvement s'inverse (déplacement vers le sud), les mesures de chlorophylle "a" significativement plus faibles permettent de supposer que les structures favorables à cette production planctonique sur place s'atténuent.

Le thon se disperse alors dans les eaux chaudes à la recherche des cellules riches qui subsistent, laissées par le retrait du front thermohalin et par la formation de fronts thermiques plus au nord.

## 6.- RESUME ET CONCLUSIONS

1.- Dans la région nord-est du golfe de Guinée, à la latitude du Cap Lopez existent, entre juin et septembre, deux catégories d'eaux à caractéristiques différentes. Au sud un mélange d'eaux tropicale et benguéléenne froid et salé, est enrichi par la branche côtière du courant de Benguela et par les upwellings du Congo et du Gabon. Au nord les eaux guinéennes chaudes et peu salées sont plus pauvres. Dans la zone de leur contact se forme un front thermohalin.

2.- Le front thermohalin est animé d'oscillations nord-sud. L'une d'elle a été suivie du 15 juin au 25 juillet 1972 entre l'île de Sao Thomé et le Cap Lopez. Le mouvement nord qui atteint 0,8 noeud est plus rapide le long de deux veines laissant en retrait, centrée sur 8°W, une langue d'eau chaude et dessalée.

3.- Quatre radiales à travers les gradients thermohalins les plus intenses ont permis de dresser des coupes du front en température, salinité, densité, oxygène, chlorophylle "a" et abondance du zooplancton. Au cours d'une radiale, des mesures de sels nutritifs ont été faites.

4.- Lors de son mouvement vers le nord, la zone frontale est le siège d'une convergence à sa limite sud, d'une divergence à sa limite nord. Ces mouvements favorisent l'accroissement local des biomasses de phytoplancton, de zooplancton et de micronecton. La pêche thonière est alors bien groupée à la limite nord du front thermohalin et à l'intérieur de la langue d'eau chaude et dessalée.

5.- Vers le 10 juillet, le front thermohalin entame son mouvement sud. Les eaux froides et salées se retirent de part et d'autre de la langue d'eau chaude et dessalée qui se résorbe. Les eaux frontales vieillissent; l'abondance du phytoplancton décroît alors que celle de zooplancton n'évolue pas. Le micronecton est abondant mais probablement localisé dans des cellules isolées. Les thons se dispersent.

6.- Au nord du front thermohalin des fronts se créent à l'intérieur des eaux guinéennes. Ils sont caractérisés par l'absence de gradients halins. Leur gradient thermique est par contre très accentué mais d'amplitude inférieure à 1°5C. Ils peuvent être le théâtre d'importants rassemblements de thons. L'un d'eux a été étudié lors d'une cinquième radiale. Il est probablement convergent: les eaux du gradient de température maximum sont pauvres en phytoplancton, mais riches en zooplancton et en micronecton.

7.- Au nord, au sud et dans le front la chlorophylle "a" présente une répartition verticale différente, caractéristique de types différents de production primaire. Des indices de migration verticale du zooplancton inférieur à 200  $\mu$  récoltés à la bouteille sont recueillis. Les résultats d'une analyse systématique sommaire du zooplancton et du micronecton sont cités.

#### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANONYME, 1966.- Determination of photosynthetic pigments in sea water. Monographs Published by the UNESCO. Place Fontenoy, Paris, 69 p.
- BEEBE (W.), 1926.- The Arcturus Adventure. New-York and London. G.P. Putman's Sons, ch.2: 41-70.

- BERRIT (G.R.), 1962.- Contribution à la connaissance des variations saisonnières dans le golfe de Guinée. Observations de surface le long des lignes de navigation. Deuxième partie: Etude régionale. Cah. Océanogr. C.C.O.E.C., XIV, 9: 633-643; XIV, 10: 719-729.
- BERRIT (G.R.), DONGUY (J.R.), 1964.- La petite saison chaude en 1959 dans la région orientale du golfe de Guinée. Cah. Océanogr. C.C.O.E.C., XVI, 8: 651-672.
- BINET (D.), DESSIER (A.), POINSARD (F.), REBERT (J.P.), 1967.- OM32 - Campagne ANNOBON V - Rapport de Campagne. Doc. n°387 - Centre O.R.S.T.O.M. Pointe Noire, 32 p.
- BLACKBURN (M.), 1968.- Micronekton of the eastern tropical Pacific Ocean. Family composition, distribution, abundance and relations to tuna. Fishery bulletin, 67, 1: 71-115.
- CROMWELL (T.), REID (J.L.) Jr., 1956.- A study of oceanic fronts. Tellus, VIII, 1: 94-101.
- DESSIER (A.), PIANET (R.), 1971.- Répartition et abondance des oeufs et larves de clupeidae et engraulidae des côtes du Congo et du Gabon. Aperçu sur les conditions physico-chimiques et biologiques du milieu. Doc. Sci. Centre O.R.S.T.O.M. de Pointe Noire, n°15 NS.
- DUFOUR (Ph.), MERLE (J.), 1972.- Station côtière en Atlantique Tropical. Hydroclimat et Production Primaire. Doc. Sci. Centre O.R.S.T.O.M. de Pointe Noire, n°25 NS, 55 p.
- DUGDALE (R.C.), GOERING (J.J.), 1967.- Uptake of new and regenerated forms of nitrogen in primary productivity. Limnol. Oceanogr., 12, 2: 196-206.
- KNAUSS (J.A.), 1957.- An observation of an oceanic front. Tellus, 9, 2: 234-237.
- GALLARDO (Y.), 1970.- Contribution à l'étude du golfe de Guinée. Hydrologie et courants dans la région de l'île Annobon. Cah. Océanogr., 22, 3: 277-288.

- GALLARDO (Y.), LE GUEN (J.C.), 1972.- Caractères hydrologiques des régions frontales d'Angola du Gabon et du Congo favorables aux concentrations d'Albacores. Doc. sci. Centre O.R.S.T.O.M. de Pointe Noire, n°23 NS, 18 p.
- GRIFFITHS (R.C.), 1965.- A study of Ocean fronts off Cape San Lucas, lower California. U.S. Fish and Wildlife Serv. Spec. Sc. Rep. n°499, 54 p.
- KING (J.E.), HIDA (T.S.), 1957.- Zooplankton abundance in the Central Pacific, Part II. U.S. Fish and Wildlife Serv. Fishery Bulletin 118, vol.57: 365-395.
- LE GUEN (J.C.), POINSARD (F.), 1966.- La pêche de l'albacore dans le sud du golfe de Guinée. Résultats de la campagne 1965. Doc. sc. Centre O.R.S.T.O.M. de Pointe Noire, n°331.
- LE GUEN (J.C.), POINSARD (F.), TROADEC (J.P.), 1965.- La pêche de l'albacore dans la zone orientale de l'Atlantique intertropical. La Pêche Maritime, n°1048: 536-541 - English translation: 1963.- The yellowfin tuna fishery in the eastern tropical atlantic. Comm. Fish. Rev., august 1965: 7-18.
- LONGHURST (A.R.), 1967.- Diversity and trophic structure of zooplankton communities in the California current. Deep sea Res., 14: 393-408.
- Mc GOWAN (J.A.), BROWN (D.M.), 1966.- A new opening-closing paired zooplankton net. Univ. Calif. Scripps Inst. Oceanogr. (Re, 66-23).
- MARCILLE (J.), POINSARD (F.), 1970.- La campagne thonière 1969 à Pointe Noire. Doc. sc. Centre O.R.S.T.O.M. de Pointe Noire, n°5NS, 8 p.
- MARCILLE (J.), POINSARD (F.), LE GUEN (J.C.), 1969.- La campagne thonière 1968 à Pointe Noire. La Pêche Maritime, n°1096, août, 7 p., 5 tabl., 3 pl., 8 cartes, 7 photos.
- PIANET (R.), LE HIR (Y.), 1971.- La campagne thonière 1970 à Pointe Noire. Evolution de la pêche thonière dans le Sud du golfe de Guinée de 1964 à 1970. Doc. sc. Centre O.R.S.T.O.M. de Pointe Noire, n°17 NS, 48 p.

POINSARD (F.), 1967.- La pêche au yellowfin dans le sud du golfe de Guinée. Résultats de la campagne 1966. Doc. sc. Centre O.R.S.T.O.M. de Pointe Noire, n°375: 29 p.

SNEDECOR (G.N.), COCHRAN (W.G.), 1967.- Statistical methods. 6th ed. The Iowa State university press. Ames, Iowa USA.

STRICKLAND (J.D.H.), PARSONS (T.R.), 1968.- A practical hand book of sea water analysis. Fish. Res. Board of Canada. Bull. n°167, 311 p.

UDA (M.), 1938.- Researches on "siome" or current rip in the seas and oceans. Geophysical Magazine, 11, 4: 307-372.

VOITURIEZ (B.), VERSTRAETE (J.M.), LE BORGNE (R.), 1973.- Conditions hydrologiques de la zone frontale du Cap Lopez pendant la campagne thonière de juin-juillet 1971. Cahiers O.R.S.T.O.M. sér. Océanogr. (sous presse).

\*

\* \*

## ANNEXE I

Species	Nature of Bottom	Soft	Mixed	Hard
Pagellus c.	occ.	88.00	93.22	97.06
	kg/h	9.7	19.8	35.1
Pagrus e.	occ.	78.67	94.92	100.00
	kg/h	3.3	14.6	23.8
Dentex c.	occ.	49.33	89.83	97.06
	kg/h	1.2	18.5	37.8

Table I: - Catch rates (kg/h) and percentage of occurrences (occ.) of PAGELLUS C., PAGRUS E. and DENTEX C. in relation to the nature of bottom.

Depth (fathom)	August 1969			December 1969			February 1970			May 1970			August 1970			October 1970			December 1970		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
10	8.3	2.6	0.1	3.8	2.6	1.3	0.3	0.1	0.1	-	5.4	-	16.6	2.0	-	0.8	3.2	1.9	20.4	2.5	2.4
15	17.4	16.0	0.3	5.4	3.3	0.9	0.6	1.0	0.2	5.4	2.4	1.1	10.2	4.5	1.4	0.5	1.9	+	74.3	3.7	4.9
20	49.8	5.5	11.3	4.8	11.7	9.1	7.3	8.8	11.3	22.2	13.9	9.2	44.7	10.5	10.9	2.2	8.7	6.0	26.6	18.2	20.9
25	9.5	6.9	14.2	17.2	23.8	9.9	4.1	13.3	15.4	6.5	15.8	20.5	10.6	3.4	7.3	7.2	11.4	11.1	33.3	23.4	33.8
30	18.4	2.7	4.7	18.4	14.7	18.3	40.8	10.2	13.7	13.6	27.0	29.7	7.8	17.4	9.7	19.2	17.4	30.0	162.2	25.5	69.5
40	-	-	-	34.8	0.3	8.0	20.2	-	0.7	19.3	5.9	13.8	-	-	-	19.8	4.8	5.0	17.7	0.3	+

Table II: - Seasonal fluctuations of density (average catch rate) of PAGELLUS C. (1), PAGRUS E. (2) and DENTEX C. (3) at different depths of Ghana shelf.

Species	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Total landings (tons)	43	31	33	50	59	134	106	148	146	155	15	177
Catch per trip (kg)	16	36	41	40	36	120	268	1106	2868	113	11	112

Table III: - Monthly fluctuations of total landings and catch per trip of Sparidae by inshore trawling fleet of Ghana (official statistics 1970)

## ANNEXE II

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total	Year
PAGELLUS C.	Male	17.2	17.1	17.6	17.1	19.6	17.7	17.8	17.9	17.9	-	-	18.2	17.7	1969
	Female	17.0	16.6	16.4	16.0	17.9	18.2	17.2	17.4	16.8	-	-	17.5	17.0	
	Total	15.4	15.6	17.3	14.0	19.4	16.1	17.9	16.8	16.8	-	-	11.8	15.5	
PAGRUS E.	Male	29.6	29.9	30.3	30.6	28.4	30.8	26.9	23.3	26.0	-	-	28.1	28.0	
	Female	22.9	23.0	29.1	28.6	25.8	24.1	24.4	23.1	23.6			25.7	24.8	
	Total	11.1	16.4	23.2	17.2	13.9	22.4	17.4	17.5	23.2	-	-	16.6	18.6	
DENTEX C.	Male	29.8	29.9	33.7	31.6	30.8	30.5	32.7	29.9	30.8	-	-	31.8	31.3	
	Female	30.2	28.4	29.2	29.2	26.4	31.2	28.5	28.7	27.0	-	-	28.5	28.5	
	Total	29.6	28.3	30.3	32.4	29.3	29.4	30.2	28.4	28.4	-	-	25.2	29.1	
PAGELLUS C.	Male	19.8	17.0	18.2	19.2	16.3	18.5	15.6	18.4	17.2	18.8	20.7	21.0	18.6	1970
	Female	18.2	17.4	17.9	18.4	14.9	17.0	15.4	16.7	16.8	18.7	18.6	19.4	17.4	
	Total	16.1	18.7	18.4	18.3	14.6	16.6	14.2	16.2	13.3	14.0	19.6	16.8	15.7	
PAGRUS E.	Male	25.7	27.6	29.1	29.8	27.8	28.2	26.7	25.8	27.8	29.1	29.3	30.4	28.2	
	Female	24.3	26.4	26.5	25.8	25.1	26.9	24.2	23.0	25.8	26.0	24.7	26.9	25.5	
	Total	23.0	27.0	26.5	25.6	24.4	25.2	25.1	23.3	24.0	26.5	26.9	26.0	25.4	
DENTEX C.	Male	29.6	31.7	30.4	32.1	31.8	30.9	28.6	26.9	34.1	30.1	29.2	31.9	30.8	
	Female	27.2	29.1	27.1	28.8	27.1	28.0	25.3	26.0	27.4	29.1	27.8	29.5	27.8	
	Total	23.6	29.4	26.9	29.8	28.4	27.4	26.5	25.5	27.7	26.2	26.5	26.9	26.9	

Table IV: - Mean lengths of PAGELLUS C., PAGRUS E. and DENTEX C. by sexes and months on Tema transect. Totals include sexually indetermined fish.

Depth Fathom	August 1969			December 1969			February 1970			March 1970			August 1970			October 1970			December 1970		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
10-15	17.53	15.50	-	12.09	8.31	13.19	14.15	-	-	15.62	20.71	-	16.81	16.08	13.67	9.37	18.02	-	14.11	17.10	16.42
20-25	15.82	16.44	28.03	16.75	21.85	23.69	17.75	22.42	26.87	17.24	23.52	27.54	15.37	18.92	28.00	17.03	24.46	29.70	17.97	25.63	27.34
30-40	14.32	25.58	28.77	14.95	26.65	30.16	12.81	28.98	29.41	14.99	25.51	29.49	15.80	26.11	27.51	17.06	26.46	28.17	15.99	25.20	29.93
Total	15.77	17.93	28.40	14.68	18.07	24.64	14.46	23.35	27.26	15.92	24.13	28.48	15.74	18.76	24.46	16.67	24.62	28.66	16.31	24.62	26.96

Table V: - Mean lengths of PAGELLUS C. (1), PAGRUS E. (2) and DENTEX C. (3) by seasons and depths on Ghana shelf

### ANNEXE III

Date	Pagellus c.			Pagrus s.			Dentex c.		
	Males	Females	$\chi^2$	Males	Females	$\chi^2$	Males	Females	$\chi^2$
August 1969	342	270	8.47 <sup>++</sup>	126	112	0.82	134	132	0.02
Decemb. 1969	245	176	18.81 <sup>++</sup>	164	150	0.62	136	129	0.18
Feb. 1970	228	127	28.73 <sup>++</sup>	171	148	1.66	164	166	0.01
May 1970	285	215	9.8 <sup>++</sup>	262	243	0.71	174	164	0.30
August 1970	327	332	0.04	112	126	0.82	85	91	0.20
October 1970	242	186	7.33 <sup>++</sup>	158	147	0.40	136	152	0.89
Decemb. 1970	305	235	9.07 <sup>++</sup>	226	198	1.85	254	245	0.16
Total 1969	614	439	29.08 <sup>++</sup>	590	338	3.71	480	451	0.90
Total 1970	547	410	19.61 <sup>++</sup>	871	746	9.66 <sup>++</sup>	862	867	0.01

Table VI: - Sex ratio of PAGELLUS C., PAGRUS E. and DENTEX C. in the samples from Ghana shelf and from Tema transect only. (++) significantly different on 1% level)

Food	Pagellus c. (%)	Pagrus s. (%)	Dentex c. (%)
Fish	38.46	33.14	67.36
Fish Larvae	18.13		
Gastropoda, Bivalvia	4.95	23.08	6.25
Cephalopoda	21.43	17.16	17.36
Crustacea	9.89	14.79	5.56
Polychaeta	2.75	1.78	0.69
Echinodermata	4.40	10.06	2.78

Table VII: - Percentage composition of food of PAGELLUS C., PAGRUS E. and DENTEX C.

Date	Pagellus c. (%)	Pagrus s. (%)	Dentex c. (%)
August 1969	6.14	9.28	5.51
December 1969	2.53	3.23	2.10
February 1970	0.25	3.69	3.24
May 1970	0.58	0.16	2.44
August 1970	4.39	8.92	5.80
October 1970	0.92	3.04	3.03
December 1970	6.87	0.17	1.95
Total .....	3.45	3.14	3.07

Table VIII: - Seasonal variations of feeding intensity of PAGELLUS C., PAGRUS E. and DENTEX C. expressed as percentage value of full stomachs in the samples.