

# LE COURANT DE LOMONOSOV ET LA FORMATION DE LA ZONE FRONTALE DU CAP LOPEZ (BAIE DE BIAFRA, GOLFE DE GUINÉE)

PHILIPPE HISARD, JEAN GITEAU ET ALAIN MORLIÈRE

Océanographes physiciens de l'O.R.S.T.O.M. Centre de Recherches Océanographiques B.P. V 18, Abidjan (Côte d'Ivoire)

## RÉSUMÉ

*La zone frontale du cap Lopez sépare les eaux Guinéennes chaudes et dessalées au nord, d'eaux froides et de salinité élevée au sud que l'on pensait être une extension des eaux subtropicales de l'Atlantique Sud. Les données des campagnes « F.A.O. » du N.O. « OMBANGO » en 1968-1969 et les données de la campagne de mai 1973 du N.O. « CAPRICORNE » montrent que ces eaux froides ont pour origine l'eau transportée par le courant de Lomonosov; ces eaux arriveraient en surface sous la double action, d'une part de la divergence équatoriale, d'autre part de l'upwelling côtier au sud du cap Lopez.*

## ABSTRACT

*The Lomonosov Current as a contribution to the formation of the Cape Lopez front (Bay of Biafra; Gulf of Guinea). — Every year, in June, at the beginning of the so-called cold season, a thermohaline frontal area is markedly observed in the eastern-most part of the equatorial area in the Gulf of Guinea; this frontal area sharply separates the Guinean northern low saline waters from high saline cold waters that are observed south of the equator between Anno Bom island and the Africa coast (Cape Lopez). These southern high saline waters were first suggested to be a northward extent of South Atlantic Subtropical Waters that are generally observed at about 9°S; recent data from O.R.S.T.O.M. cruises (the « F.A.O. » cruises of the R.V. « OMBANGO » in 1968-1969 and a cruise of the R.V. « CAPRICORNE » in May 1973) bring out that these waters are obviously derived from the Lomonosov Current which participates both to the equatorial divergence and to a coastal upwelling, south of the Cape Lopez. This new explanation of the formation of the Cape Lopez front allows us a better knowledge of its mechanism and development under the meteorological conditions in this area.*

## 1. Introduction.

Chaque année, en juin, au début de la saison froide, il se forme dans le fond du golfe de Guinée une zone frontale thermohaline où les gradients horizontaux de température et de salinité sont très élevés; cette zone sur laquelle se « fixe » une importante population de thonidés donnant lieu à une pêche intensive, sépare au nord les Eaux Guinéennes chaudes et dessalées, d'une eau froide et de salinité élevée qui apparaît au sud de l'équateur entre l'île

Anno Bom et la côte d'Afrique (fig. 1 a et b). Jusqu'à présent on pensait que cette zone frontale avait pour origine la remontée vers le nord de l'Eau Subtropicale de l'Atlantique Sud repoussant les Eaux Guinéennes dans la baie de Biafra. Des données récentes permettent de montrer que la zone frontale du Cap Lopez n'est qu'un cas particulier des zones frontales équatoriales; l'eau froide et de salinité élevée qui apparaît au sud de l'équateur a pour origine l'eau du courant de Lomonosov; les eaux que ce courant transporte participent en effet d'une part à la

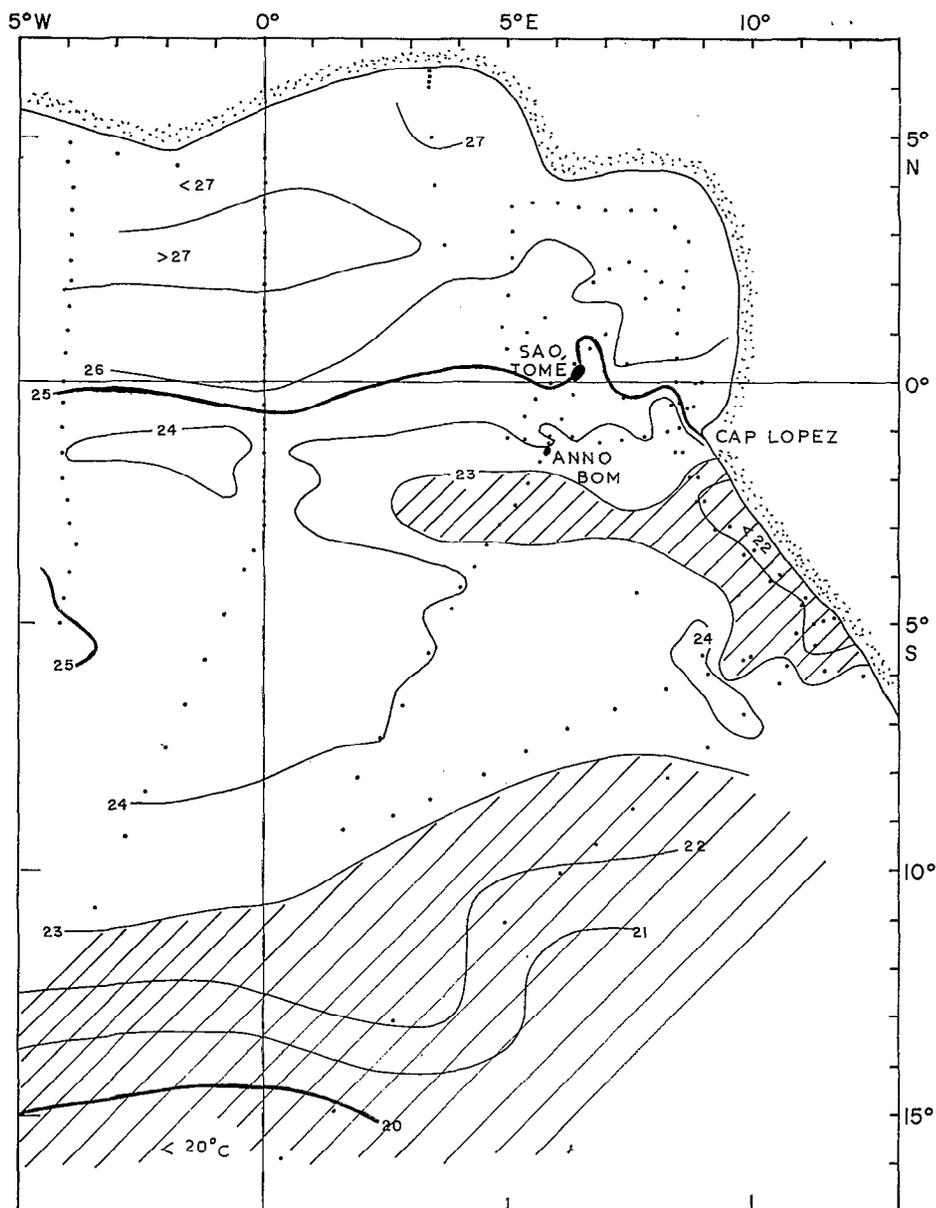


Fig. 1 a. — Distribution horizontale de la température de surface, au mois d'août 1963, dans le golfe de Guinée, d'après les données de la campagne « EQualANT II ». La zone hachurée représente les régions où la température est inférieure à 23 °C ; les points localisent la position des stations. Espacement des isothermes 1 °C.

divergence équatoriale d'autre part à l'upwelling côtier qui se développe au sud du Cap Lopez. Cette explication nouvelle de la formation de la zone frontale du Cap Lopez permet d'en mieux comprendre le mécanisme et donne la possibilité d'en prévoir l'évolution en fonction des conditions météorologiques.

## 2. Hypothèse de l'extension vers le nord de l'Eau Subtropicale de l'Atlantique Sud.

La zone frontale du Cap Lopez a été pour la première fois mise en évidence par l'analyse des observations de surface le long des lignes de navigation (BERRIT, 1962); le fait qu'en été boréal on

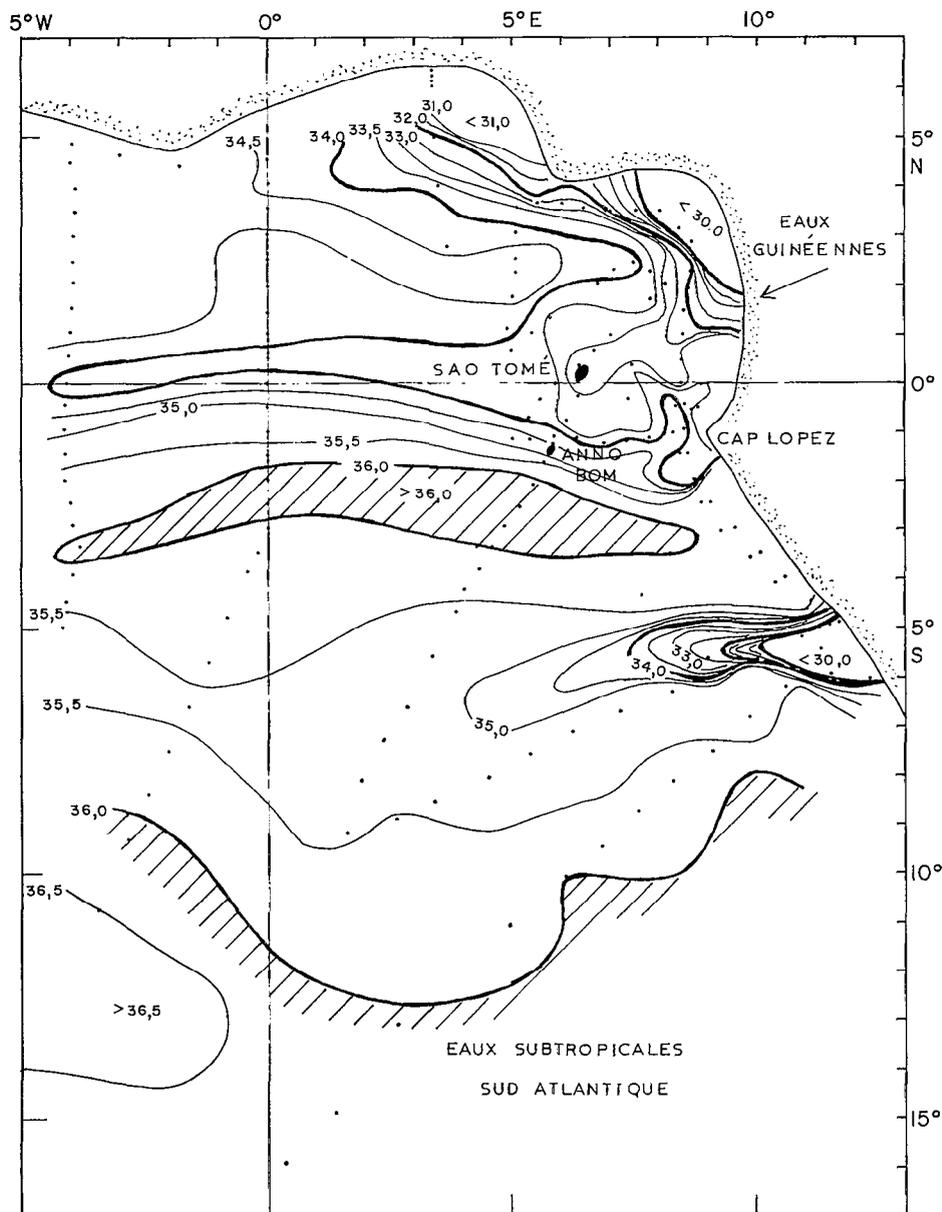


Fig. 1 b. — Distribution horizontale de la salinité de surface, au mois d'août 1963, dans le golfe de Guinée, d'après les données de la campagne « EQUALANT II ». La zone hachurée représente les régions où la salinité est supérieure à 36,0 ‰ : les points localisent la position des stations. Espacement des isohalines 0,5 ‰.

mesurait chaque année dans les eaux côtières de Pointe-Noire (5° S) des salinités maximales de l'ordre de 35,90 ‰ et le fait qu'en juin 1956 (campagne du NO. « CALYPSO ») le maximum de salinité au sud de l'équateur, à l'est de l'île Anno Bom, paraissait diminuer du sud vers le nord, conduisirent à penser que l'origine des eaux de salinité élevée dans la région

du Cap Lopez devait être l'Eau Subtropicale de l'Atlantique Sud (BERRIT, 1959); cette Eau Subtropicale est caractérisée par une salinité maximale en surface de près de 37,0 ‰, au voisinage des côtes du Brésil, et par une salinité de 36,6 ‰ près des côtes d'Afrique entre 8° S et 15° S.

En août 1963, la vue synoptique des conditions

hydrologiques dans le golfe de Guinée de la campagne EQUALANT 2, mis en évidence des eaux de surface froide et de salinité élevée s'étirant sous la forme d'une importante lentille d'eau depuis la côte d'Afrique jusque vers 5° W, le long de 2°30' S (fig. 1 a et b); ces eaux qui forment la partie sud de la zone frontale du cap Lopez paraissaient isolées. Les études des distributions horizontales de la salinité sur les surfaces isopycnes appropriées montraient des bulles isolées d'eau de salinité supérieure à 36,0 ‰, au nord et au sud de l'équateur; l'absence d'une langue continue de salinité élevée le long de l'équateur ayant laissé supposer la non-existence du courant de Lomonosov (autre source possible de salinité élevée) dans le fond du golfe de Guinée (NEUMANN, 1966), il parût à nouveau plausible d'expliquer ces bulles apparemment isolées comme étant une forme dégradée d'un apport antérieur d'Eau Subtropicale de l'Atlantique Sud (LE FLOCH, 1970).

L'étude de l'origine et de l'extension du maximum de salinité dans le golfe de Guinée à partir des données archivées par le N.O.D.C. pour les mois de juillet à septembre a fait également rattacher pour des raisons de continuité, la bande de salinité voisine de 36,0 ‰ observée en surface dans le fond du golfe de Guinée, à l'Eau Subtropicale de l'Atlantique Sud (MAZEIKA, non publié).

Lorsque les premières campagnes du N.O. «CAPRICORNE» furent effectuées en juin-juillet 1971 et 1972 sur la zone frontale du cap Lopez, les eaux froides et de salinité supérieure à 36,0 ‰ au sud du front furent observées formant une masse bien homogène dans la couche des cent premiers mètres; ces eaux froides paraissaient se déplacer vers l'ouest, elles étaient épuisées en sels nutritifs et l'hypothèse d'une origine subtropicale sud-Atlantique semblait logique (VOITURIEZ *et al.*, 1973). Cette hypothèse fut aussi retenue dans l'étude de la distribution du maximum de salinité dans le golfe de Guinée (LEMASSON et REBERT, 1973) et dans une étude sur l'extension du courant de Lomonosov (HISARD et MORLIÈRE, 1973).

Cependant, en réalité, aucune donnée ne permet de montrer cette continuité supposée entre l'Eau Subtropicale et l'eau froide à forte salinité au sud du front; avant le développement du phénomène, en avril-mai, l'Eau Subtropicale a été observée en surface vers 8° S (3<sup>e</sup> campagne du N.O. «AKADEMIK KURCHATOV» en 1968 (MOROSHKIN, 1969), pendant la saison froide elle est vers 9° S (fig. 1 b); il semble même que ce soit, au contraire, en février-mars, que son extension vers l'équateur soit la plus nord, n'atteignant toutefois que 5° S (campagnes EQUALANT 1 et 3). D'autre part la réalité d'un flux côtier qui entraînerait vers l'équateur une veine d'Eau Subtropicale n'est pas confirmée par les observations du centre O.R.S.T.O.M. de Pointe-

Noire; bien au contraire, à la suite des observations de RINKEL *et al.* (1966), qui mirent en évidence en avril 1964 un flux côtier vers le sud, identifié comme étant une branche terminale du courant de Lomonosov, un tel flux d'eau à forte salinité fut à nouveau identifié en mai 1966 (REBERT, 1966), en mai-juin 1968 (HISARD et MORLIÈRE, 1973) et en mai 1973 (MORLIÈRE *et al.*, 1974).

L'hypothèse de l'extension vers l'équateur de l'eau Subtropicale de l'Atlantique Sud dans la partie orientale de l'océan Atlantique ne peut donc être actuellement démontrée; elle ne repose en fait que sur la nécessité d'établir une continuité entre les eaux froides et salées au sud du front et une source quelconque, dans la mesure où ces eaux n'ont pas pu se former sur place. Nous allons montrer que la source possible que représente le courant de Lomonosov semble beaucoup plus fondée et qu'en fait elle a été rejetée prématurément au vue des données, trop espacées verticalement, de la campagne EQUALANT 2, la langue d'eau salée associée à ce courant ayant été mal échantillonnée par les stations hydrologiques classiques.

### 3. Influence du courant de Lomonosov sur la formation de la zone frontale du Cap Lopez.

En mai-juin 1968, les observations réalisées à bord du N.O. «JEAN CHARCOT» dans le golfe de Guinée permirent d'identifier le courant de Lomonosov dans la période qui précède immédiatement l'établissement de la zone frontale du cap Lopez; le courant de Lomonosov avait une vitesse maximale de 100 cm/s et il entraînait vers le fond du golfe de Guinée une veine d'eau dont la salinité atteignait 36,4 ‰ (LEMASSON *et al.*, 1969; HISARD et MORLIÈRE, 1973); l'importance du débit de sel qui était ainsi suggérée permettait d'envisager une nouvelle source possible pour l'origine du maximum de salinité dans le fond du golfe de Guinée.

Un examen attentif des données de la campagne EQUALANT 2 permet de voir que l'espacement des niveaux de prélèvements à l'équateur, à 4° W et à 0°, est trop important pour pouvoir affirmer que le courant de Lomonosov (identifié par son noyau de salinité) disparaît à cette époque du golfe de Guinée; au contraire, les données du N.O. «MALASPINA» dans le fond du golfe de Guinée, lors de cette même campagne, montrent vers 1° S au large du Cap Lopez, entre 25 et 50 m de profondeur, un noyau épais de salinité supérieure à 36,0 ‰ qui suggère fortement que le courant de Lomonosov atteint le fond du golfe. Nous avons signalé plus haut que la permanence d'une branche terminale côtière du courant de Lomonosov au sud du cap Lopez, avait été bien établie pour le mois de mai; les données du N.O.

« MALASPINA » suggèrent que ceci est encore vrai dans la première quinzaine d'août.

En avril 1964, à 0°-5° E, dans le fond du golfe de Guinée, la veine de salinité maximale associée au courant de Lomonosov se trouve vers 60 m de profondeur (EQUALANT 3) et les eaux de surface sont fortement déssalées; au contraire, en mai 1973, le courant de Lomonosov est observé vers 30 m de profondeur seulement, ce qui entraîne en surface une salinité de 35,75 ‰ (MORLIÈRE *et al.*, 1974). Ce mouvement de remontée des eaux vers la surface est confirmé par l'étude des variations saisonnières de la distribution verticale moyenne de la température et de la salinité entre les îles Anno Bom et Sao Tomé (fig. 2 a et b). Outre ce mouvement de remontée des eaux, on observe en mai 1973 (campagne 7309 du N.O. « CAPRICORNE »; MORLIÈRE *et al.*, 1974) que la veine d'eau du courant de Lomonosov de salinité supérieure à 36,0 ‰ s'épaissit fortement au sud de l'île de Sao Tomé et, lorsqu'elle atteint le talus continental au Cap Lopez, elle possède une épaisseur de près de 70 m (fig. 3 a); cet épaississement a lieu parallèlement à une diminution de la vitesse du courant qui au large du Cap Lopez n'est plus que de 20 cm/s.

C'est cette veine d'eau épaisse et de salinité élevée qui participe à la formation de la zone frontale du Cap Lopez; en effet, au sud du Cap Lopez, la côte est orientée parallèlement au flux des alizés, renforcé en été boréal; il en résulte un upwelling côtier dont les conséquences sont nettement apparentes sur la température des eaux de surface en août 1963 (fig. 1 a). On peut suivre l'évolution des structures

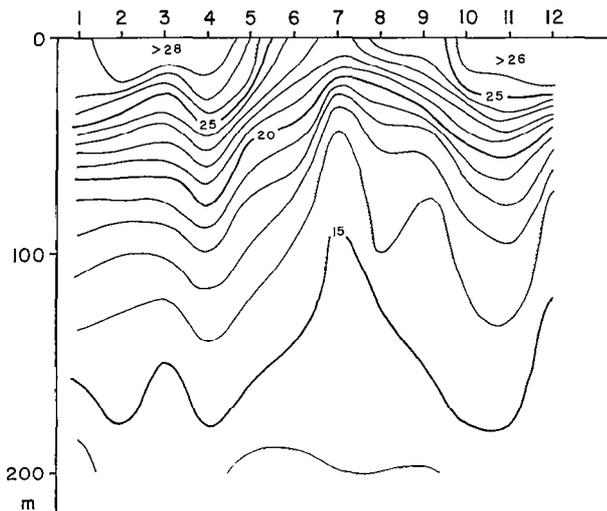


Fig. 2 a. — Distribution verticale moyenne de la température et variation au cours de l'année en une station fictive située entre l'île Anno Bom et l'île Sao Tomé. D'après les données hydrologiques recueillies au N.O.D.C. Espacement des isothermes 1 °C.

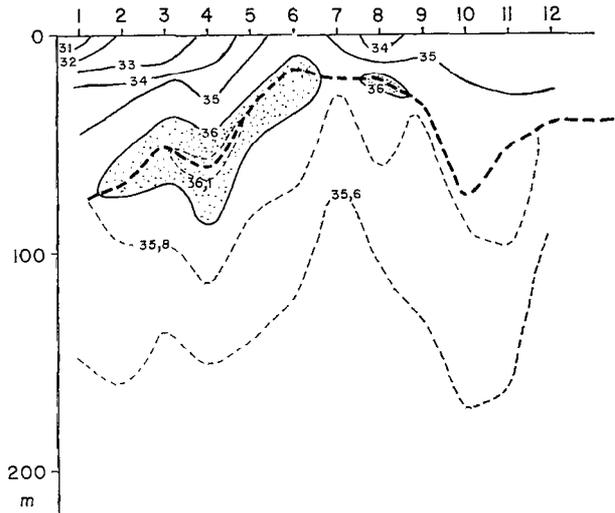


Fig. 2 b. — Distribution verticale moyenne de la salinité et variation au cours de l'année en une station fictive située entre l'île Anno Bom et l'île Sao Tomé. D'après les données hydrologiques recueillies au N.O.D.C. La zone pointillée souligne le noyau de salinité supérieure à 36,0 ‰; la ligne de tirets gras trace le niveau du maximum de salinité au cours de l'année. Espacement des isohalines 1 ‰.

hydrologiques qui accompagne cet upwelling côtier, grâce aux sections perpendiculaires à la côte qui ont été exécutées le long de 1°22' S, par le N.O. « OMBANGO » du centre O.R.S.T.O.M. de Pointe-Noire de mai 1968 à juillet 1969 (MERLE, 1972, fig. 4a et b); la coïncidence étroite entre les valeurs de la densité des eaux du courant de Lomonosov en mai 1973 et les eaux de salinité supérieure à 36,0 ‰ que l'on voit monter en surface suggère fortement leur identité que confirme la comparaison des diagrammes T-S (fig. 3 b et 4 b; fig. 5).

Au nord du Cap Lopez, la côte cesse brusquement d'être parallèle au flux des alizés, les eaux nouvellement « upwellées » s'opposent alors, à cet endroit, aux Eaux Guinéennes chaudes et déssalées, il en résulte la formation d'une zone frontale qui « s'accroche » au Cap Lopez.

Deux processus dynamiques complémentaires concourent donc à la création de la zone frontale du Cap Lopez : c'est d'une part, une remontée générale des eaux du Courant de Lomonosov et d'autre part, l'upwelling côtier qui au sud du Cap Lopez amène en surface les eaux de salinité élevée dérivées de ce courant. Ces deux phénomènes sont liés à la remontée vers le nord du système anticyclonique de l'Atlantique Sud qui renforce le flux des alizés dans le golfe de Guinée; par ailleurs les basses pressions continentales au-dessus de l'Afrique provoquent une perturbation cyclonique du champ

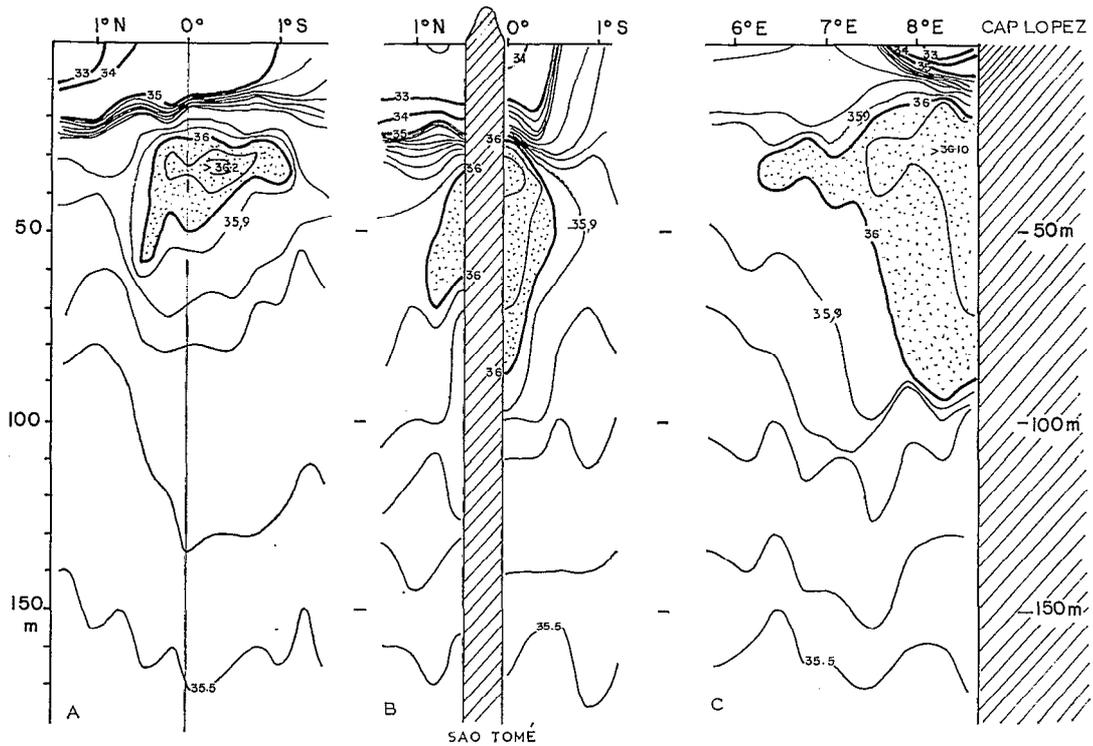


Fig. 3 a. — Distributions verticales de la salinité dans le fond du golfe de Guinée, en mai 1973 (campagne 7309 du N.O. « CAPRICORNE ») ; les zones en pointillé soulignent le noyau de salinité supérieure à 36,0 ‰ qui est associé à la veine du courant de Lomonosov. La position des radiales est indiquée en cartouche sur la figure 3 b. Espacement des isohalines 0,5 ‰.

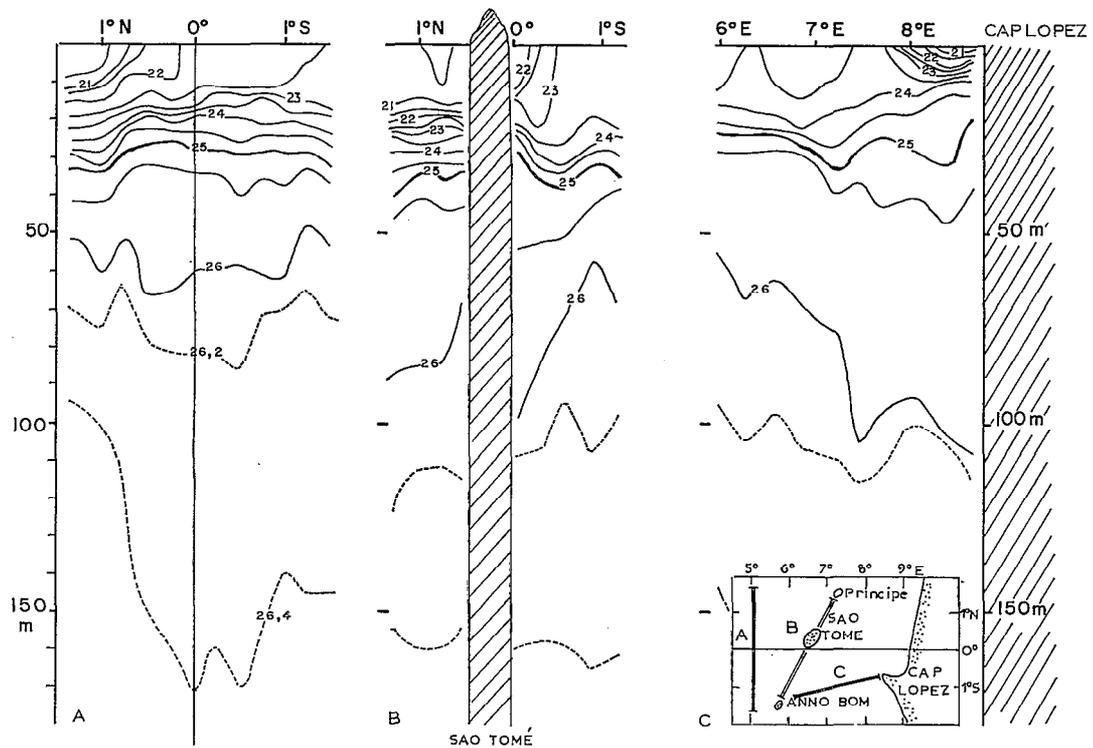


Fig. 3 b. — Distributions verticales de la densité dans le fond du golfe de Guinée, en mai 1973 (campagne 7309 du N.O. « CAPRICORNE »). La position des radiales est indiquée dans le cartouche. Espacement des isopycnes 0,5 g/l.

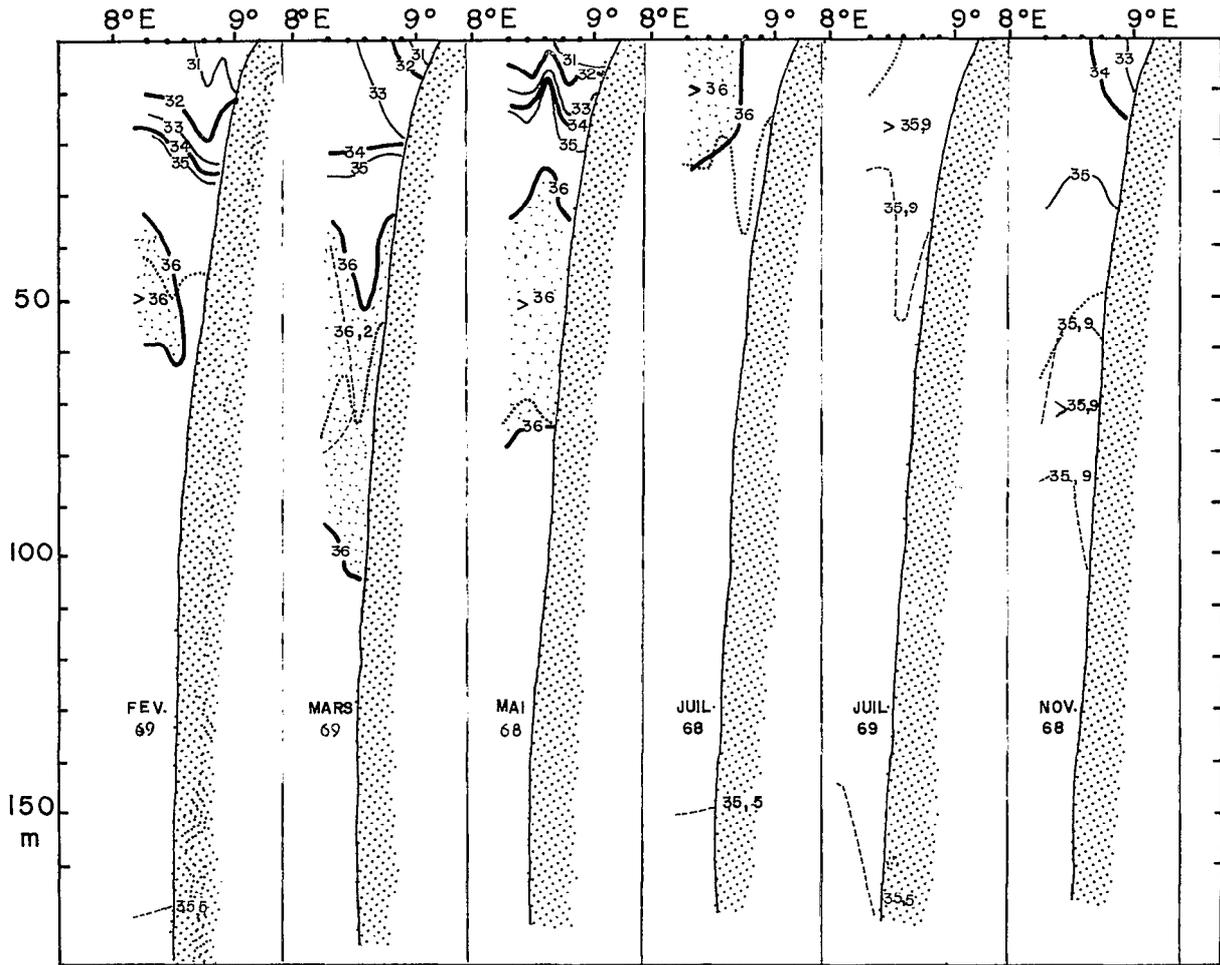


Fig. 4 a. — Distributions verticales de la salinité, le long du parallèle  $1^{\circ}22'S$ , entre  $8^{\circ}E$  et  $9^{\circ}E$  (campagnes F.A.O. du N.O. « OMBANGO »); les zones en pointillé soulignent le noyau de salinité supérieure à  $36,0\text{‰}$  qui est associé à la branche dérivée vers le sud-est du courant de Lomonosov; la ligne en pointillés représente l'isopycne 25,50. La position de la radiale est indiquée dans un cartouche sur la figure 4 b. Espacement des isohalines  $1\text{‰}$ .

du vent qui crée localement une divergence du vent; cette divergence peut être un facteur complémentaire favorable à une circulation ascendante des eaux subsuperficielles (ABRAMOV, 1971; MORLIÈRE *et al.*, 1974).

Mais la mousson de sud-ouest qui se développe dans le golfe de Guinée contribue à augmenter la pente, montante vers l'est, de la surface de l'océan; le gradient zonal de pression qui en résulte est un facteur de ralentissement du courant de Lomonosov (RINKEL *et al.*, 1966) et par conséquent un élément de dégradation de la zone frontale du Cap Lopez par diminution de l'apport d'eaux à fortes salinités; on comprend alors que l'existence de la zone frontale soit limitée dans le temps et de fait, dès le mois de juillet ou d'août, la zone frontale « cède » par endroit sous la « pression » des Eaux Guinéennes (VOITURIEZ *et al.*, 1973); cette rupture de la zone

frontale donne lieu à la formation de structures superficielles complexes avec occlusions d'Eau Guinéennes au sein des eaux froides; ces occlusions étudiées actuellement par observations radiométriques aériennes ont été reconnues comme des centres particulièrement actifs de fixation des populations de thonidés (GALLARDO et LE GUEN, 1972; DUDOUR et STRETTA, 1973; NOEL, 1973; STRETTA et NOEL, 1974).

#### 4. Conclusion.

Il semble donc que la zone frontale du Cap Lopez ne soit qu'un cas particulier des zones frontales équatoriales. Cependant si le rôle des eaux du courant de Lomonosov dans la formation de la zone frontale du Cap Lopez peut être difficilement mis en doute, il n'en reste pas moins que certaines études

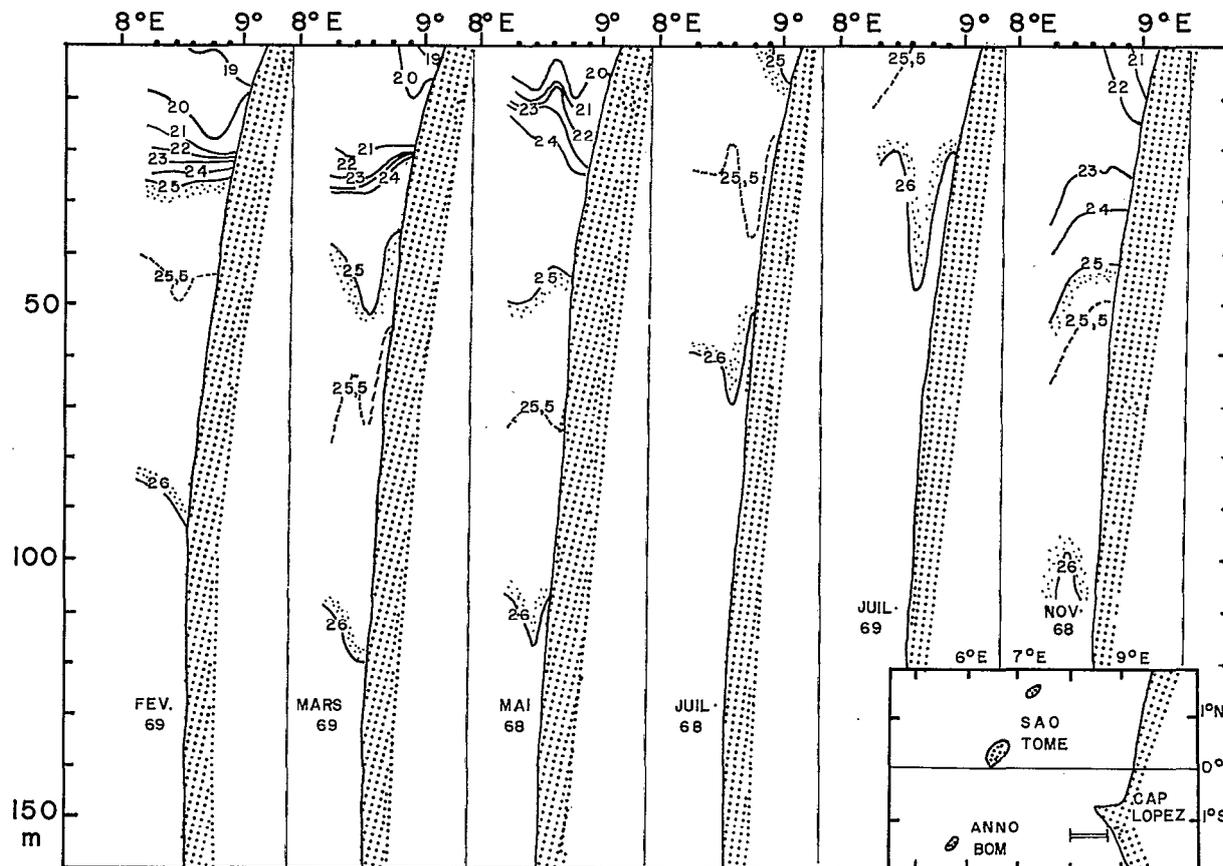


Fig. 4 b. — Distributions verticales de la densité, le long du parallèle  $1^{\circ}22' S$ , entre  $8^{\circ} E$  et  $9^{\circ} E$  (campagnes F.A.O. du N.O. « OMBANGO »). La position de la radiale est indiquée dans le cartouche. Espacement des isopycnes 1 g/l.

complémentaires sont nécessaires pour mieux cerner le phénomène et en étudier l'évolution spatiotemporelle en fonction des conditions météorologiques. L'intérêt économique de cette région sur le plan de la pêche au thon justifie amplement ces recherches.

Dans l'océan Pacifique, il existe à l'est des îles Galapagos, un front hydrologique équatorial qui présente certaines analogies avec le front du Cap Lopez; en particulier, ce front est d'autant plus

développé que les indices de la présence du courant de Cromwell sont plus manifestes (STEVENSON et TAFT, 1971). Ce parallélisme entre les phénomènes dans les zones équatoriales de l'océan Atlantique et de l'océan Pacifique confirme notre analyse du mode de formation du front du Cap Lopez.

Manuscrit reçu au S.C.D. de l'O.R.S.T.O.M. le 21 janvier 1975.

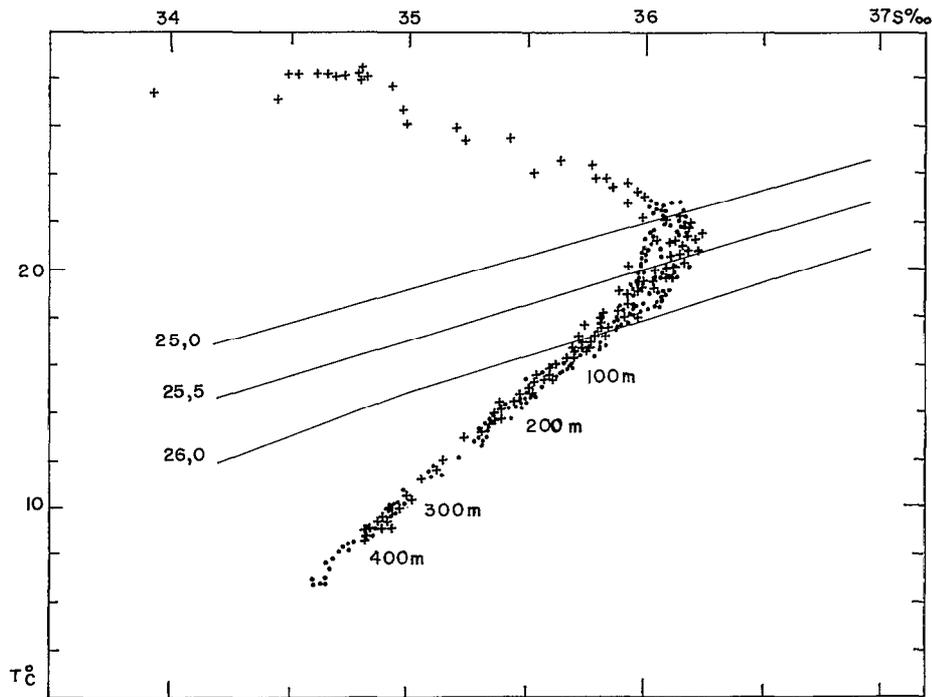


Fig. 5. — Diagrammes Température-Salinité des stations de la campagne 7309 du N.O. « CAPRICORNE » où a été identifié le noyau de salinité supérieure à 36,0 ‰ associé au courant de Lomonosov (cf. figure 3 a); les couples T-S sont figurés par des croix. Les couples T-S figurés par des points noirs représentent les stations hydrologiques effectuées en été boréal entre l'île Anno Bom et le Cap Lopez, où la salinité en surface était égale ou supérieure à 36,0 ‰.

### BIBLIOGRAPHIE

- ABRAMOV (R. B.), 1971. — Les dérivées de la tension tangentielle du vent dans la zone tropicale de l'océan Atlantique. *Trav. AllantNIRO*, XXXVII : 7-30. (En russe; traduction Ph. Hisard, *C.R.O.*, Abidjan).
- BERRIT (G. R.), 1959. — Campagne 1956 de la « CALYPSO » dans le golfe de Guinée et aux îles Principe, Sao Tomé et Annobon; 2<sup>e</sup> partie : Océanographie Physique. *Ann. Inst. Océanogr.*, XXXVII, IV : 37-74.
- 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. 2<sup>e</sup> partie : Étude régionale. *Cah. Océanogr.*, C.O.E.C., 18 : 719-729.
- DUFOUR (P.) et STRETTA (J.-M.), 1973. — Fronts thermiques et thermohalins dans la région du Cap Lopez (golfe de Guinée), juin-juillet 1972 : phytoplancton, zooplancton, micronecton et pêche thonière. *Doc. Sci. C.R.O.*, Abidjan, IV (3) : 99-142.
- GALLARDO (Y.) et LE GUEN (J.-C.), 1972. — Caractères hydrologiques des régions frontales, d'Angola, du Gabon et du Congo, favorables aux concentrations d'albacores. *Doc. Sci. O.R.S.T.O.M.*, Pointe-Noire, N<sup>11e</sup> série, 23, 18 p.
- HISARD (Ph.) et MORLIÈRE (A.), 1973. — La terminaison du contre courant équatorial subsuperficiel Atlantique (courant de Lomonosov) dans le golfe de Guinée. *Cah. O.R.S.T.O.M.*, sér. *Océanogr.*, XI (4) : 455-464.
- LE FLOCH (J.), 1970. — La circulation des eaux d'origine subtropicale dans la partie orientale de l'Atlantique équatorial étudiée en relation avec les mesures faites à bord du N.O. « JEAN CHARCOT » en mai 1968. *Cah. O.R.S.T.O.M.*, sér. *Océanogr.*, VIII (3) : 77-113.
- LEMASSON (L.), NOEL (J.) et REBERT (J.-P.), 1969. — « Guinée 1 ». Croisière océanographique du N.O. « JEAN CHARCOT ». *Trav. Doc. O.R.S.T.O.M.*, n° 3, 87 p.
- LEMASSON (L.) et REBERT (J.-P.), 1973. — Circulation dans le golfe de Guinée. Étude de la région d'origine du sous courant ivoirien. *Cah. O.R.S.T.O.M.*, sér. *Océanogr.*, XI (3) : 303-316.
- MAZEIKA (P.), 1972. — Circulation and distribution of proper-

- ties in the Eastern Tropical Atlantic. (Manuscrit non publié).
- MERLE (J.), 1972. — Conditions hydrologiques saisonnières de la marge continentale du Gabon et du Congo (de 1° N à 6° S) ; Étude descriptive. *Doc. Sci.* Pointe-Noire. N<sup>lle</sup> série n° 27.
- MORLIÈRE (A.), HISARD (Ph.) et CITEAU (J.), 1974. — Le courant de Lomonosov dans le fond du golfe de Guinée en mai 1973. *Doc. Sci. C.R.O.*, Abidjan, V (1-2) : 85-102.
- MOROSHKIN (K. V.), 1969. — Third voyage of the research vessel « AKADEMIK KURCHATOV » in the Atlantic Ocean. *Oceanology*, 9 (3) : 449-454. (Traduction américaine).
- NEUMANN (G.), 1966. — The equatorial Undercurrent in the Atlantic Ocean. Actes symp. Océanogr. ress. halieut. Atlantique trop., Abidjan, U.N.E.S.C.O. : 33-44.
- NOEL (J.), 1973. — Relation entre variations thermiques superficielles et concentration de thons (manuscrit non publié).
- REBERT (J.-P.), 1966. — Conditions hydrologiques au sud de Pointe-Noire en début de saison froide ; aperçu sur la transition. *Doc. Sci., C.R.O.*, Pointe-Noire ; n° 333, 20 p. (multigraph.).
- RINKEL (M. O.), SUND (P.) et NEUMANN (G.), 1966. — The location of the termination area of the Equatorial Undercurrent in the Gulf of Guinea based on observations during Equalant III. *J. Geoph. Res.*, 71 (16) : 3893-3901.
- STEVENSON (M. R.) et TAFT (B. A.), 1971. — New evidence of the Equatorial Undercurrent east of the Galapagos islands. *J. Mar. Res.*, 29 : 103-115.
- STRETTA (J.-M.) et NOEL (J.), 1974. — Relations between tunas and thermic fronts (measured by ART) in the gulf of Guinea. *Comm. 1<sup>er</sup> congrès intern. écologie.* La Haye, sept. 1974).
- VOITURIEZ (B.), VERSTRAETE (J.-M.) et LE BORGNE (R.), 1973. — Conditions hydrologiques de la zone frontale du Cap Lopez pendant la campagne thonière de juin-juillet 1971. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*, XI (2) : 229-249.