

CIRCULATION DANS LE GOLFE DE GUINÉE

ÉTUDE DE LA RÉGION D'ORIGINE DU SOUS-COURANT IVOIRIEN

L. LEMASSON et J.-P. REBERT

Océanographes au Laboratoire d'Océanographie de l'O.R.S.T.O.M., B.P.V 18 - Abidjan (Côte d'Ivoire)

RÉSUMÉ

Au cours d'une campagne d'hydrologie et de courantométrie réalisée par le N.O. CAPRICORNE dans la partie orientale du Golfe de Guinée en mai 1972 plusieurs aspects de la circulation subsuperficielle ont été étudiés. Le sous-courant ivoirien côtier a été suivi jusque dans sa région d'origine qui a pu être située au fond du Golfe du Bénin, au voisinage de Lagos. Les rapports entre ce sous-courant et l'upwelling côtier sont discutés. L'hypothèse qu'il s'agit d'un courant de compensation est élayée par les observations qui indiquent une nette diminution du débit d'est en ouest dans la région d'upwelling intense, ce qui suggère une transformation progressive du flux ouest en flux vertical.

On a observé d'autre part l'extension d'un maximum de salinité le long de la côte depuis l'île Principe jusqu'au Nigéria en direction du nord, puis vers l'ouest où il est entraîné par le sous-courant côtier. Un second maximum existe au large entre l'équateur et la côte. Il est vraisemblable que le maximum côtier observé dans la partie orientale provient de l'Atlantique sud et ne se mélange que partiellement avec le maximum du large qui est d'origine équatoriale et correspond à une branche de retour du sous-courant équatorial.

ABSTRACT

During a cruise achieved by the N.O. CAPRICORNE in the eastern part of the Gulf of Guinea in May 1972, some aspects of the subsuperficial circulation were studied. The coastal ivoirian undercurrent has been followed up to its origin area that has been located in the Bight of Bénin near Lagos. Relationships between this undercurrent and coastal upwelling are discussed. The hypothesis of a compensation current is enhanced by observations showing a strong decrease of the westward transport from east to west in the upwelling area; this may suggest the westward flow is converted into a vertical flow.

On another hand the spreading of the salinity maximum was observed along the coast, northward from the island Principe up to Nigeria, then westward under the effect of the coastal undercurrent. There is a second salinity maximum offshore between the equator and the coast. It is likely that the coastal salinity maximum which is observed in the eastern part, is coming from South Atlantic; it is mixed with the offshore salinity maximum which is coming from the equator area and connected with a branch of the equatorial undercurrent.

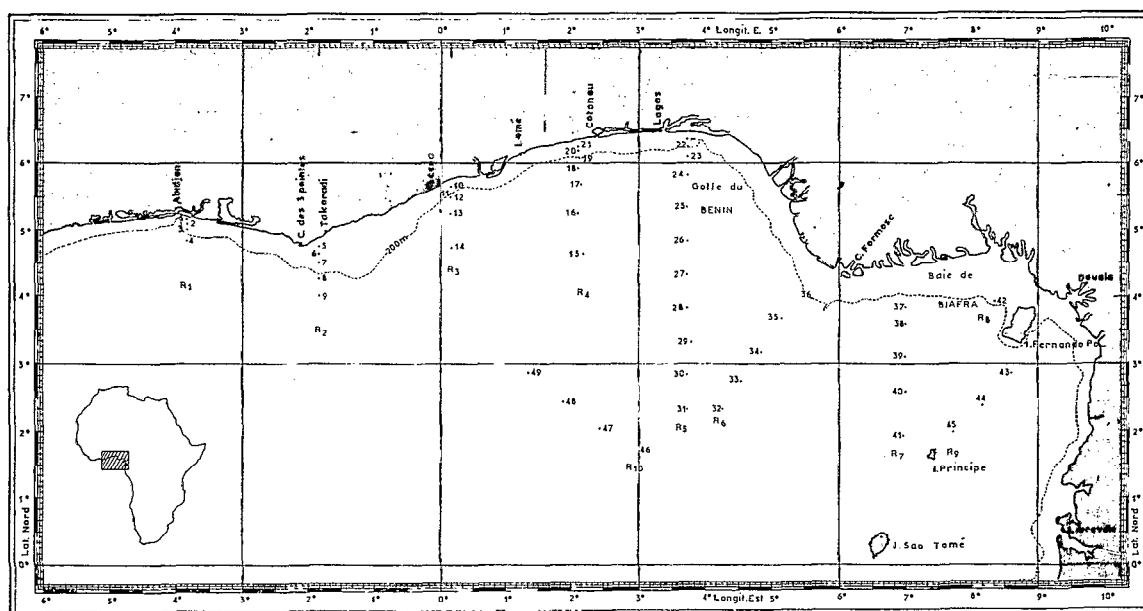


Fig. 1. — Position des stations.

I. INTRODUCTION

L'étude des variations saisonnières de la circulation dans le Golfe ivoirien (LEMASSON et REBERT, 1973) faisait apparaître l'existence quasi permanente d'un contre-courant subsuperficiel découvert en 1967 (id., 1968) et nommé « sous-courant ivoirien » par les auteurs.

Parmi les problèmes que soulevait l'existence d'un tel courant, se posaient ceux de la situation de sa région d'origine et de sa relation avec la circulation générale. Il était intéressant en particulier de suivre l'évolution du maximum de salinité subtropical qui lui est plus ou moins associé au cours de ces transports.

L'époque du mois de mai a été choisie pour réaliser une telle étude car c'est à cette saison que le système de circulation est le mieux développé et que le sous-courant est le mieux défini. Par contre l'étude de l'extension du maximum de salinité sera rendue plus délicate car en fin de saison chaude la couche du maximum de salinité se trouve à une profondeur supérieure à celle de la veine principale du sous-courant et l'entraînement vers l'ouest le long des côtes de ce maximum sera de ce fait beaucoup moins net.

Rappelons rapidement les caractéristiques de ce sous-courant : coulant vers l'ouest sous le courant de Guinée, il longe le talus continental à une profondeur moyenne de 50 mètres. Sa vitesse centrale est en moyenne de 25 cm/s mais il peut atteindre 60 cm/s en mai-juin. Il entraîne une branche du maximum de salinité subtropical que l'on trouve dans le

Golfe de Guinée et dont l'origine a été discutée par Le FLOCH (1970) et LEMASSON-REBERT (1973). En ce qui concerne son mécanisme l'hypothèse la plus vraisemblable était que le sous-courant est un courant de compensation dû aux upwellings que l'on observe le long des côtes ivoiriennes (région de Tabou-Sassandra) et des côtes ghanéennes (région de Takoradi-Accra). Il devait donc prendre son origine à l'est de cette zone, c'est à dire dans la région de Lagos dans le fond du Golfe du Bénin où doit se produire un piling-up créé par les vents du secteur SW.

Deux croisières avaient permis jusqu'à présent de déceler un sous-courant à l'est du Cap des Trois Pointes lors des campagnes Courantologie 8 (Cro, 1968) et Tiburce (Cro, 1969) où un transport subsuperficiel vers l'ouest avait été observé jusqu'à Lomé. Le but de la croisière Courantologie 10 réalisée en mai 1972 par le N.O. CAPRICORNE a donc été d'étendre les investigations plus à l'est au large des côtes nigériennes jusque dans la baie de Biafra. Cette zone a d'ailleurs déjà fait l'objet d'un certain nombre d'études de courants côtiers réalisées par LONGHURST (1964) et VINCENT-CUAZ (n. d.), observations qui seront reprises dans la discussion.

II. MÉTHODES

Une série de neuf radiales perpendiculaires à la côte a été effectuée (fig. 1). Ces radiales ont été assez régulièrement espacées entre Abidjan et le

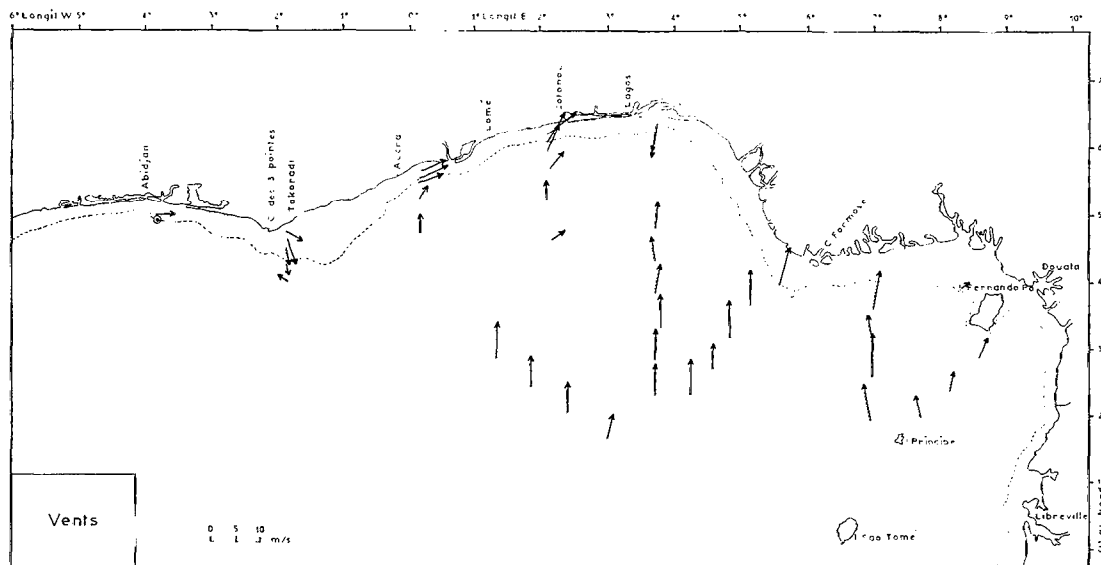


Fig. 2. — Vents observés au cours de la campagne.

fond de la baie de Biafra et comportaient chacune un nombre variable de stations, un total de 49 stations ayant été réalisé. A chaque station des mesures directes de courant ont été faites entre 0 et 200 mètres. Les courantomètres utilisés étaient des « Lerici » à enregistrement graphique in situ et des « Ekman ». Sur le plateau continental les mesures étaient réalisées le navire étant au mouillage et au-delà du plateau le navire en dérive. Dans ce cas les mesures se référaient à une surface de mouvement nul à 500 m, dont le choix se justifie d'après les observations antérieures (LEMASSON-REBERT, 1968, 1972, 1973). Chaque série de mesures n'excédait pas deux heures.

A chaque station d'autre part un trait de sonde STDO était réalisé de 0 à 500 m, trait qui avait deux buts : permettre d'obtenir rapidement les hauteurs dynamiques après calcul sur l'ordinateur du bord, et déterminer en outre la couche du maximum de salinité. Des prélèvements rapprochés étaient ensuite effectués dans cette couche à l'aide de la Rosette Multisampler et analysés au salinomètre afin d'avoir une précision supérieure à celle de la sonde sur la valeur de la salinité et de pouvoir ainsi mieux suivre l'extension de ce maximum.

III. RÉSULTATS

La campagne qui a eu lieu au mois de mai s'est donc déroulée pour l'ensemble de la région en pleine saison chaude et au début de la saison des pluies. Du point de vue atmosphérique la base du front intertropical est proche de la côte et dans cette

zone de forte instabilité se forment des lignes de grains dont la propagation générale se fait d'est en ouest. Les vents rencontrés au cours de la campagne (fig. 2) sont donc assez irréguliers dans la partie nord et côtière, plusieurs stations de courant réalisées dans cette zone étant assez douteuses par suite de conditions de vents très variables. Plus au sud les masses d'air de l'alizé du sud ont un mouvement plus uniforme de direction générale sud-nord et de vitesse moyenne 6 à 8 m/s. Dans ces conditions il est difficile d'estimer la représentativité des mesures réalisées par rapport à la réalité de la circulation moyenne en cette saison, surtout dans les régions côtières où l'on sait par ailleurs qu'elle est extrêmement variable. La carte des courants de surface en particulier (fig. 3) ne donnera qu'une représentation instantanée de la circulation superficielle et on n'en retiendra que les aspects principaux dans la mesure où ils concordent avec la circulation déduite de l'étude d'autres facteurs (circulation géostrophique ou thermo-haline).

1. Circulation superficielle.

Les courants mesurés pour l'ensemble de la campagne portent en gros vers l'est à l'exception d'un courant côtier vers l'ouest dans la région comprise entre Lagos et Accra (4° E à 0°), courant dont l'existence sera discutée ultérieurement. Le courant de Guinée est donc observé jusque dans la baie de Biafra au-delà du méridien 7° E. Les vitesses les plus élevées (supérieures à 50 cm/s) sont mesurées dans la partie ouest sur les radiales 1 et 2 mais dépassent encore 40 cm/s à 7° E. Au sud-

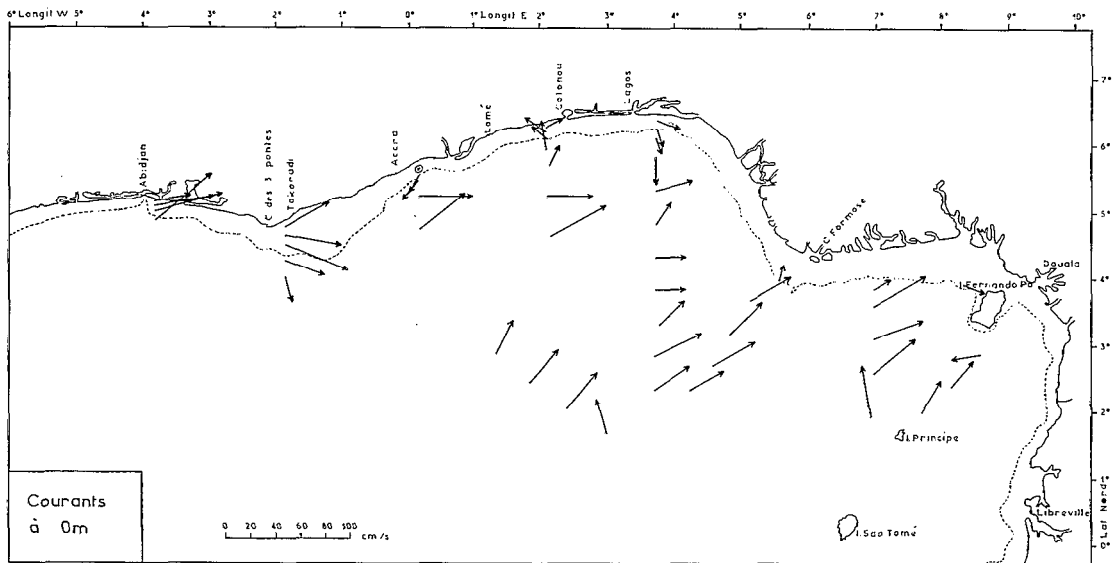


Fig. 3. — Courants de surface.

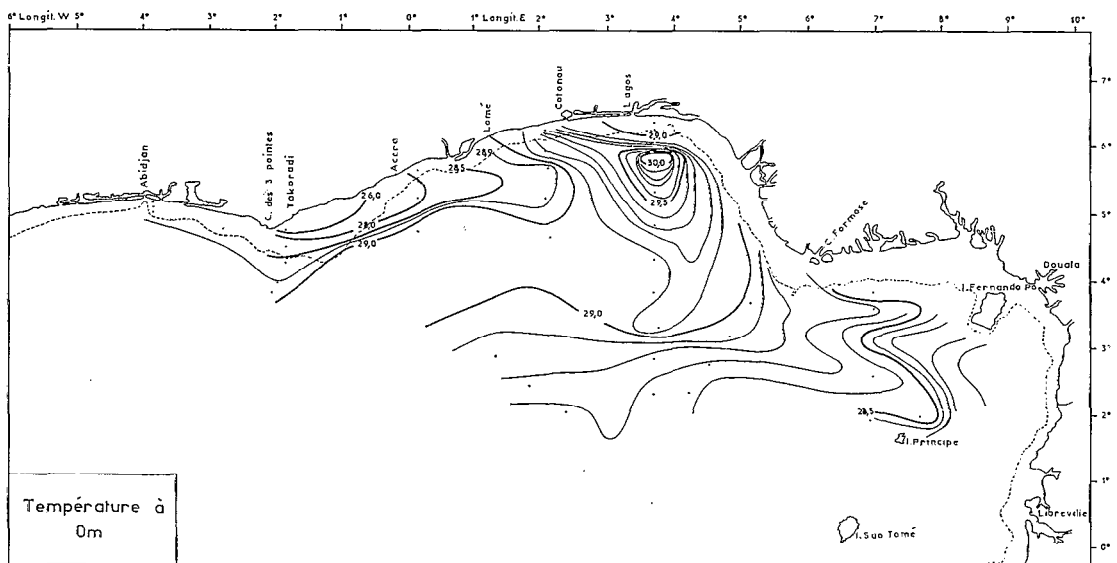


Fig. 4. — Températures de surface.

ouest du Cap Formose et dans la partie sud de la campagne les courants prennent une direction générale nord-est voir nord mais aucun transport ouest n'apparaît nettement au large.

L'examen des figures 4 et 5 représentant les distributions de la température et de la salinité de surface permet de mieux comprendre la circulation superficielle; le transport vers l'est le long de la côte est en effet souligné par le tracé des iso-

thermes et surtout des isohalines. En effet les températures varient peu et sont de l'ordre de 28° à 30° pour toute la zone à l'exception des côtes Ghanéennes entre le Cap des Trois Pointes et 0° où se produit un upwelling amenant en surface des eaux froides à température inférieure à 26°. Ces eaux viennent buter contre la côte ouest orientée nord-sud du delta du Niger et le courant est dévié vers le sud-est. Les eaux accumulées au fond du

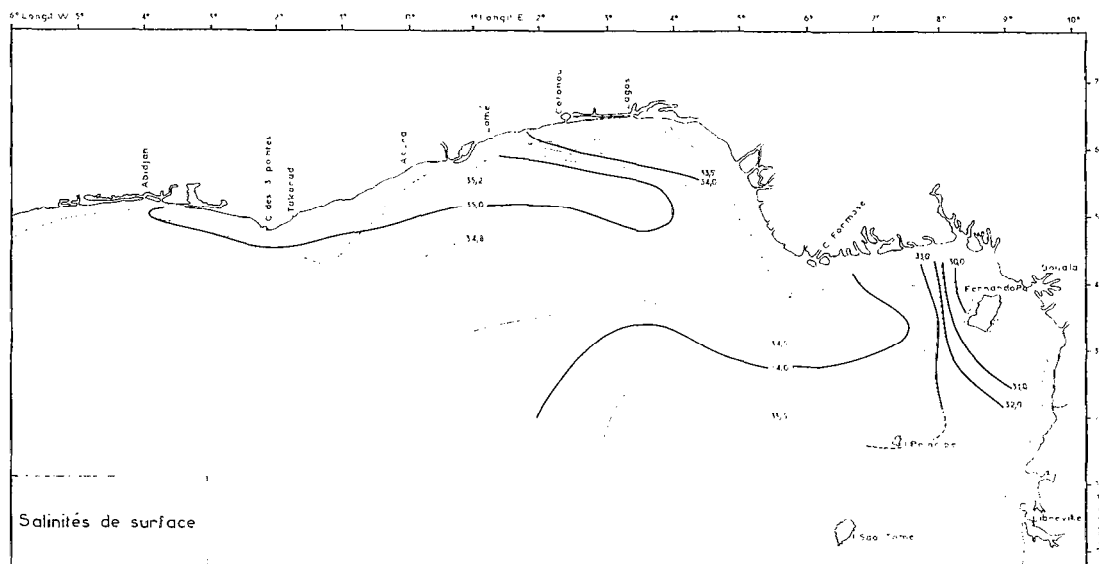


Fig. 5. — Salinités de surface.

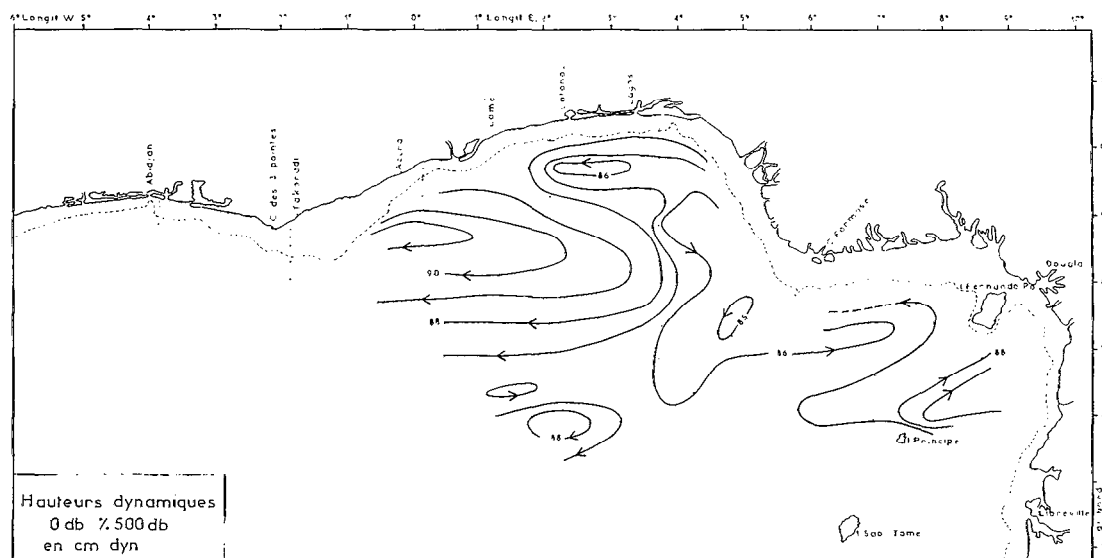


Fig. 6. — Hauteurs dynamiques à 0 db par rapport à 500 db.

Golfe du Bénin se réchauffent ce qui se traduit par des températures de surface supérieures à 30°.

L'upwelling des côtes du Ghana élève également les salinités de surface à 35,20 ‰, les eaux environnantes du large ayant une salinité de l'ordre de 34,50 ‰. La distribution des salinités superficielles révèle la présence de deux zones de formation d'eaux à faible salinité, l'une au fond du Golfe du Bénin et l'autre, la plus importante, dans le fond de la baie de Biafra où la salinité descend au-dessous de 30 ‰. Elle met en outre en évidence le transport

du courant de Guinée jusque vers 7° E et la présence d'un transport vers l'ouest des eaux superficielles dans la partie sud correspondant normalement au courant sud-équatorial.

La carte de la distribution des hauteurs dynamiques de surface (fig. 6) établie en prenant une surface de référence à 500 db résume normalement cette circulation superficielle. Les différences de hauteurs dynamiques sont faibles puisque l'on se trouve dans une région proche de l'équateur. Pour cette raison d'ailleurs les courants n'ont pas été

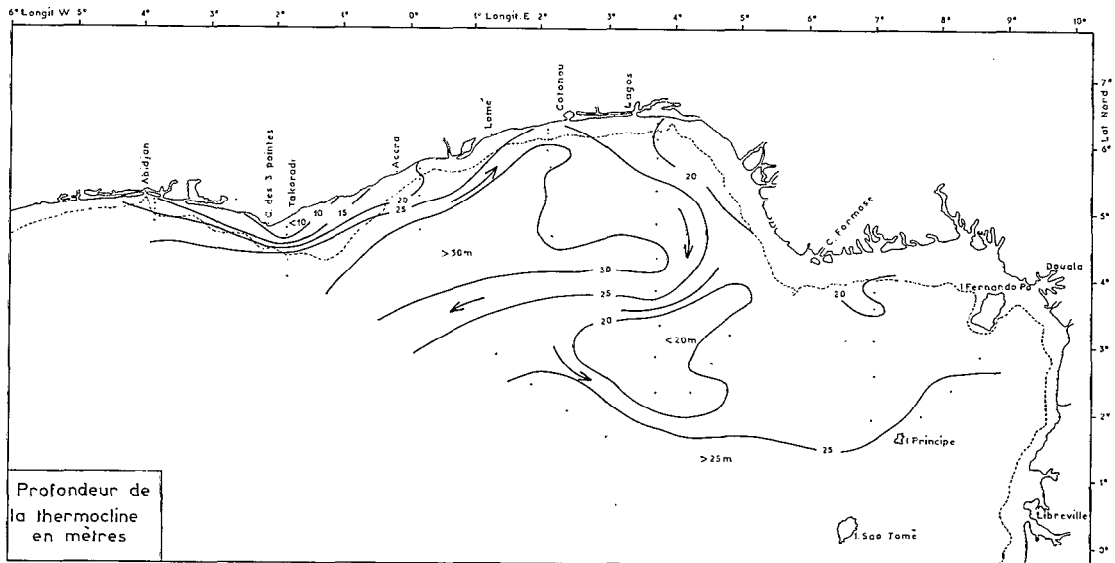


Fig. 7. — Profondeur de la thermocline.

calculés car les marges d'erreur sont beaucoup trop importantes. Cependant la circulation qui en est déduite est cohérente et concorde dans une certaine mesure avec les observations directes.

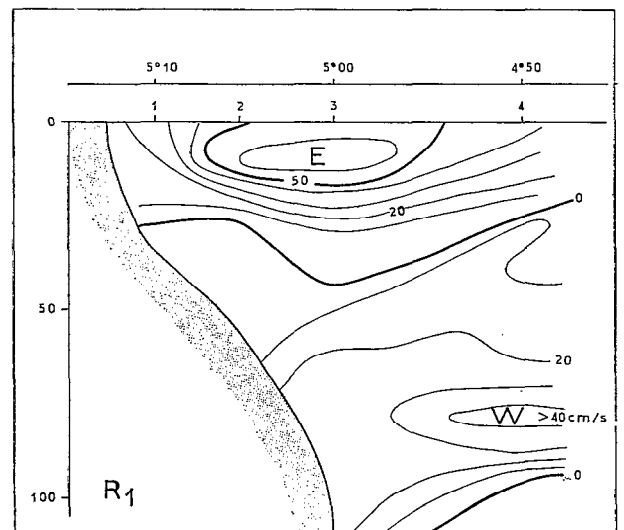
On observe bien en effet le transport côtier vers l'ouest dans la région de Cotonou-Lagos qui est repris au sud par le courant de Guinée. Par contre l'extension du courant de Guinée vers l'est semble limitée et il apparaît au sud un important transport de retour vers l'ouest en contradiction avec les observations directes. Au sud-est du Cap Formose la circulation est faible et forme une cellule. Enfin on note dans la baie de Biafra entre l'île de Principe et le delta du Niger un transport vers le nord qui s'infléchit ensuite vers l'ouest le long des côtes.

Il est intéressant de comparer ces derniers résultats à la figure 7 qui représente la topographie de la thermocline, et qui donne dans cette région des indications assez valables sur le mouvement de la couche superficielle par rapport aux eaux plus profondes. L'upwelling y paraît clairement à l'ouest du Ghana, la thermocline remontant à moins de 10 m vers la côte et s'enfonçant à 30 m au large où existe une zone de convergence entre 3° et 4° N. Le contre-courant côtier n'apparaît pas; par contre la cellule de circulation correspond bien à un dôme d'eau froide dans le sud-ouest du Cap Formose. Quant à la circulation dans la baie de Biafra elle semble très faible, la profondeur de la thermocline étant assez uniforme autour de 20 m.

L'ensemble de ces observations et des contradictions qu'elles comportent confirme que la circulation superficielle est vraisemblablement assez éloignée de l'état permanent.

2. Circulation subsuperficielle.

La circulation subsuperficielle est plus complexe. Les figures 8 à 12 représentant les composantes zonales du courant des radiales R_1 à R_5 dans leur partie côtière permettent de suivre l'évolution du sous-courant le long du plateau continental. Devant Abidjan (R_1) sous le courant de Guinée (> 60 cm/s) il existe un transport vers l'ouest à partir de 40 m de profondeur, mais situé au-delà du plateau continental. Ce courant avait été dissocié du sous-courant

Fig. 8. — Distribution verticale en cm/s de la composante zonale du courant sur R_1 en cm/s.

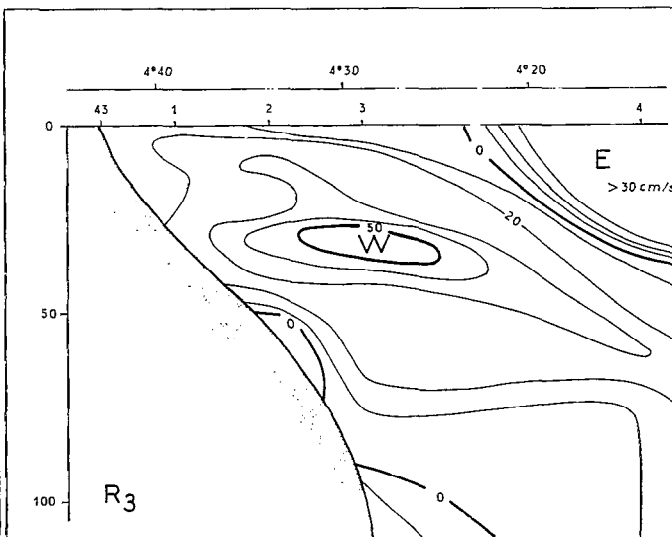
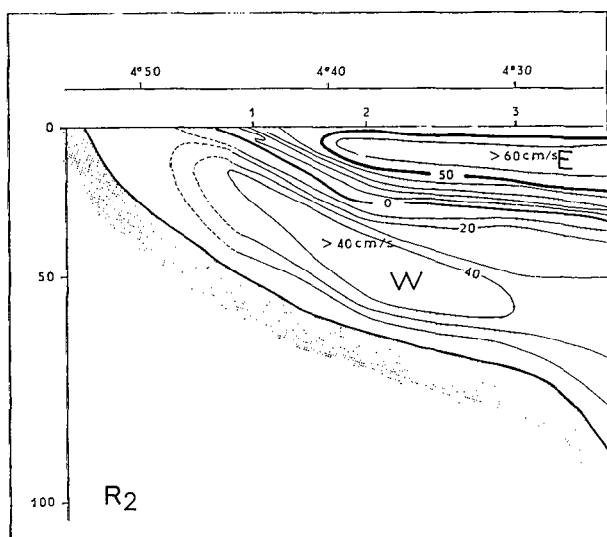


Fig. 9. — Distribution verticale en cm/s de la composante zonale du courant sur R_2 , en cm/s.

Fig. 10. — Distribution verticale en cm/s de la composante zonale du courant sur R_3 , en cm/s.

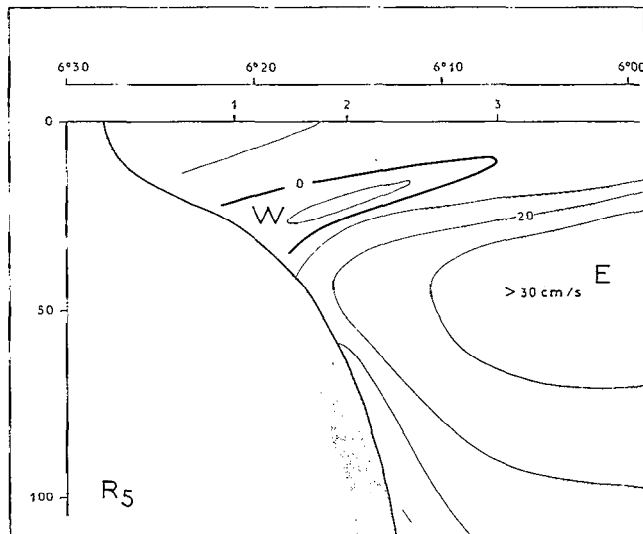
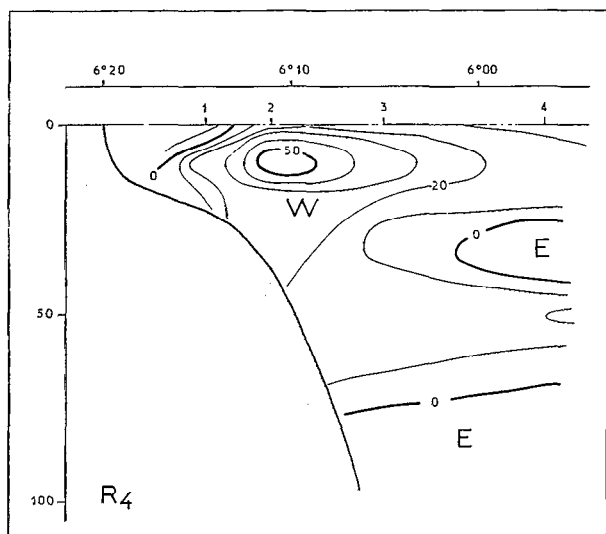


Fig. 11. — Distribution verticale en cm/s de la composante zonale du courant sur R_4 , en cm/s.

Fig. 12. — Distribution verticale en cm/s de la composante zonale du courant sur R_5 , en cm/s.

ivoirien et appelé contre-courant de Guinée (LEMAS-SON-REBERT, 1973). Sur le plateau continental le sous-courant ivoirien est par contre très faible (< 10 cm/s). Le long de la radiale R_2 (Takoradi), c'est à dire dans la région de l'upwelling ghanéen, le courant de Guinée est toujours bien établi (> 60 cm/s) mais le sous-courant est beaucoup plus fort (> 40 cm/s) et recouvre la totalité du plateau continental qui est d'ailleurs très large dans toute la zone du Cap des Trois Pointes. Au-delà du plateau

on retrouve à une profondeur voisine de 50 mètres la veine de courant maximum du contre-courant de Guinée (> 40 cm/s). Au large d'Accra (R_3) le courant de Guinée dont la vitesse descend à 30 cm/s est repoussé vers le large et le sous-courant est observé en surface entre la côte et le rebord du plateau continental; la vitesse maximum dépasse 50 cm/s vers 30 m de profondeur. La couche transportée vers l'ouest s'étend jusqu'à plus de 100 m de profondeur au-delà du plateau. Sur la radiale suivante

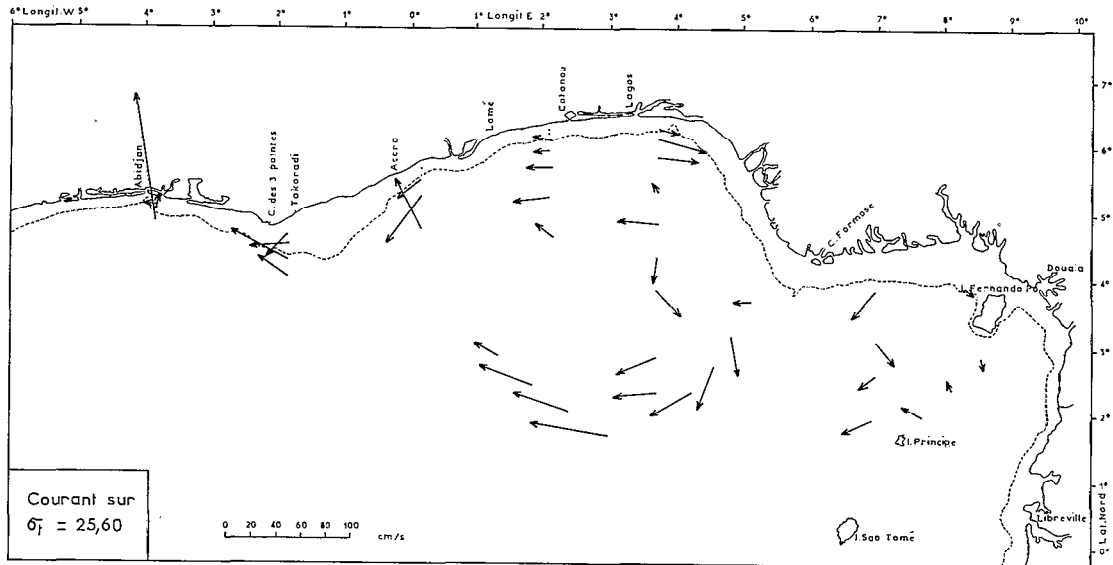


Fig. 13. — Courants sur la surface $\sigma_t = 25,60$.

R_4 , proche de Cotonou, le contre-courant côtier apparaît en surface à partir des fonds de 30 m jusqu'à l'extérieur du plateau avec une veine de vitesse maximum subsuperficielle (vers 10 m) où les vitesses sont supérieures à 50 cm/s. Mais l'épaisseur de la couche d'eau soumise au transport ouest n'excède pas 70 m. Enfin sur la dernière série d'observations devant Lagos (R_5) le contre-courant est encore plus réduit; redevenu subsuperficiel son épaisseur ne dépasse pas 20 m et les vitesses sont inférieures à 20 cm/s. Il semble donc que l'on se trouve bien dans la région d'origine de ce contre-courant.

Plus au large sur cette radiale le courant de Guinée a une épaisseur très variable mais limitée à 20 m dans la partie sud. Un gros transport vers l'ouest apparaît au sud de 3° N au-dessous de cette profondeur, les vitesses dépassant 40 cm/s. Les radiales suivantes R_6 et R_7 mettent en évidence un transport vers l'ouest au-delà du plateau continental. Mais les vitesses relevées sont plus faibles, de l'ordre de 20 cm/s. Une importante composante vers le sud apparaît dans la partie sud de la radiale R_6 . Ces transports sont en relation avec la distribution du maximum de salinité dont l'extension et l'origine seront discutées par la suite.

La carte des courants observés sur la surface $\sigma_t = 25,6$ (fig. 13) donne une idée plus exacte de la circulation isentropique. Cette surface a été choisie car elle correspond à peu près à la couche du maximum de salinité. Située à une profondeur voisine de 55 m pour l'ensemble de la campagne, elle se trouve donc nettement sous la thermocline. Sur cette carte le sous-courant côtier apparaît

nettement entre les radiales R_1 et R_4 , alors que sur R_5 à cette profondeur le courant a une direction inverse c'est à dire vers l'est. Au sud de 3° N et à l'ouest de 6° E les courants sont nettement orientés vers l'ouest et correspondent au contre-courant de Guinée. Enfin dans la baie de Biafra les directions sont plus variables et les vitesses plus faibles mais on note entre les îles de Principe et Fernando-Po un transport non négligeable vers le nord, c'est à dire dans la zone de passage du maximum de salinité en provenance du sud.

La topographie dynamique de la surface 50 db par rapport à 500 db (fig. 14) donne un aperçu de la circulation géostrophique à un niveau voisin du précédent. Il met également en évidence le contre-courant côtier et l'important transport ouest au sud de 3° N. Dans la baie de Biafra apparaît un transport côtier vers l'ouest le long du delta du Niger, avec une arrivée d'eau au sud de Fernando-Po, mais la circulation affecte la forme d'une cellule ce qui apparaît peu sur la carte des courants.

Une indication sur la circulation dans les couches plus profondes peut également être fournie par la topographie de la deuxième thermocline. En effet DEFANT (1936) qui le premier a observé cette seconde thermocline dans l'Atlantique tropical, où il la considérait comme formant la limite entre la troposphère et la stratosphère, avait déduit de ses observations l'existence du contre-courant de Guinée qu'il considérait comme un courant de compensation dirigé vers l'ouest; l'existence de ce contre-courant a été confirmée par la suite par les observations directes.

En fait cette seconde thermocline a des caracté-

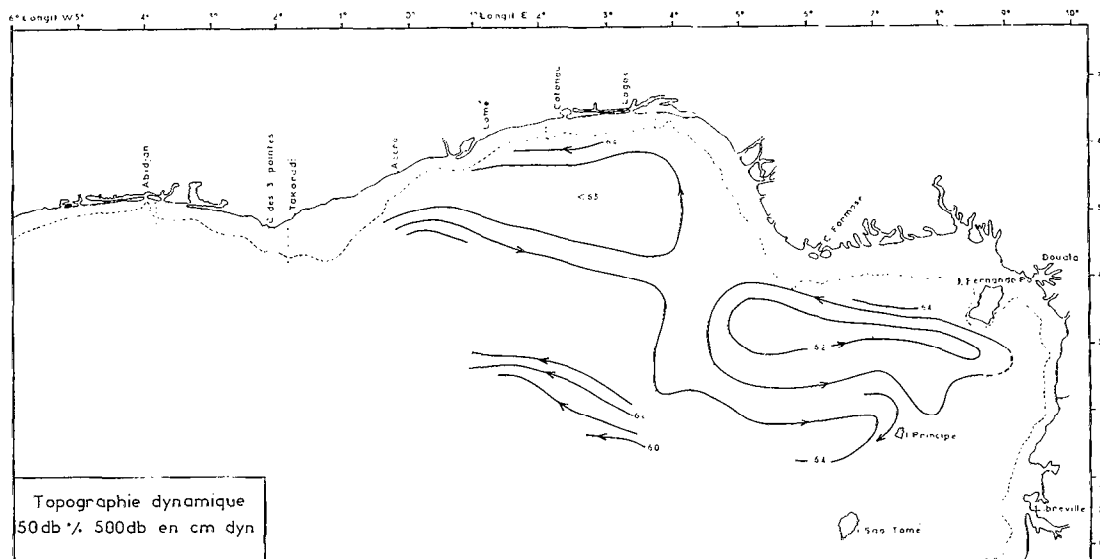


Fig. 14. — Topographie dynamique à 50 db par rapport à 500 db.

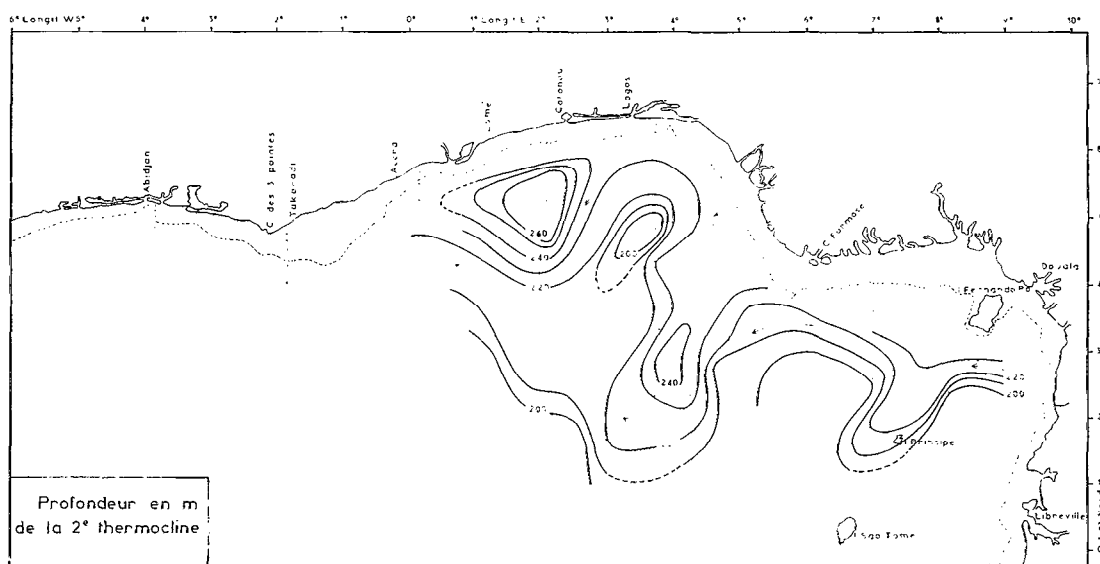


Fig. 15. — Profondeur de la deuxième thermocline.

ristiques très variables d'une station à l'autre et n'est réellement bien définie que dans la partie sud-est de la campagne. Les gradients de température sont beaucoup plus faibles que dans la thermocline supérieure et sont de l'ordre de 0,02 °/m. Mais ils atteignent exceptionnellement 0,25 °/m sur une dizaine de mètres dans la région de Principe. La profondeur de cette deuxième thermocline varie de moins de 200 m dans la partie sud (2° N) à plus de 260 m dans le Golfe du Bénin. Dans le cas présent

ces variations correspondraient à une série de cellules de circulation qui forment un ensemble relativement complexe dans le Golfe du Bénin, avec un transport global dirigé vers l'ouest entre 2° N et 4° N.

IV. DISCUSSION

Les résultats obtenus confirment l'existence du sous-courant côtier jusqu'à la région de Lagos.

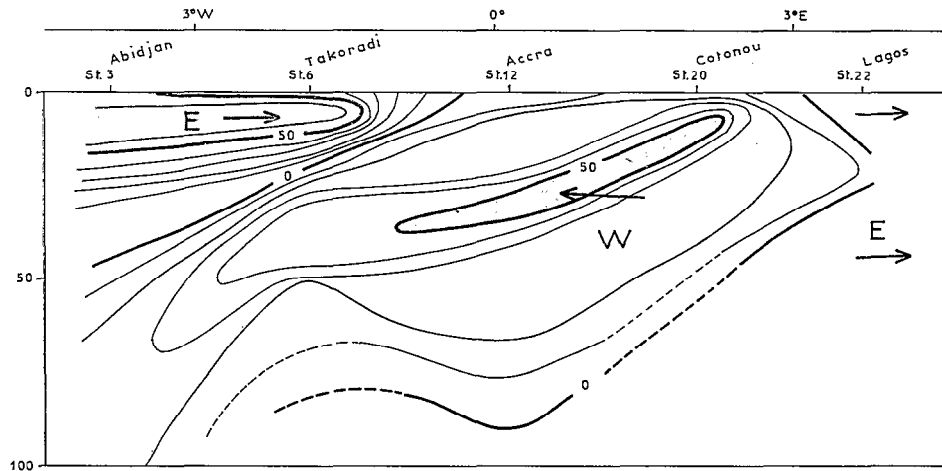


Fig. 16. — Distribution longitudinale de la composante zonale.

Plus à l'est il existe également un transport d'est en ouest au sud du delta du Niger, mais il est vraisemblablement distinct du sous-courant et relève sans doute du système équatorial, bien que l'absence de mesures le long du plateau continental nigérian ne nous ait pas permis de vérifier cette hypothèse.

Le fait le plus frappant est l'apparition en surface de ce sous-courant entre Accra et Lagos. Sans écarter l'hypothèse d'un courant de compensation dû à l'upwelling il y a peut-être là addition d'un autre phénomène. Il est vraisemblable en effet qu'il y ait accumulation d'eau sur la partie ouest du delta du Niger, accumulation créée par le courant de Guinée et l'apport des fleuves côtiers ainsi que le suggèrent les cartes de distribution des paramètres de surface. Dans ces conditions il faudrait qu'on observe un courant vers l'ouest en surface lorsque les vents qui entretiennent le courant de Guinée diminuent d'intensité.

Un tel phénomène peut effectivement se produire dans la région de Cotonou-Lagos. LONGHURST (1964) dans son étude sur l'océanographie côtière du Nigeria occidental remarqua que bien que cette zone du Golfe du Bénin soit soumise habituellement à l'upwelling relevant du courant de Guinée, on peut observer parfois une renverse du courant qui provient alors de l'est. Mais il n'a pu établir aucune corrélation avec le régime des vents locaux. Ce courant est d'ailleurs connu par les pêcheurs sous le nom de « Forcados current ». Les pourcentages de renverses observés mensuellement d'après le Nigeria Ports Authority à Lagos (1949-1954) sont :

Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet
22	17	17	18	40	33	13
	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	
	5	9	27	30	18	

Ces renverses de courant à Lagos semblent donc se produire le plus souvent au début de la saison des pluies (mai-juin) et à la fin de cette saison, la plus forte stabilité étant observée en août-septembre avec un taux de renverse inférieur à 10 %.

VINCENT-CUAZ (n. d.) grâce à des lâchers de bouteilles dans les Baies de Biafra et du Bénin avait observé un transport vers le nord-ouest à l'ouest du delta; cet auteur souligne également des renverses du courant côtier qui peuvent intéresser « toute la côte dahoméenne jusqu'au Ghana ».

Lors de la croisière présente le courant ouest est observé en surface entre Cotonou et Accra dans une zone côtière étroite n'excédant pas 25 milles dans sa plus grande largeur et dans une couche de 50 mètres d'épaisseur environ. Le maximum de vitesse est toujours subsuperficiel. Cette couche s'enfonce en direction de l'ouest en coin sous le courant de Guinée tandis que les vitesses de la veine centrale du courant diminuent d'intensité. Supérieures à 50 cm/s devant Cotonou, elles deviennent inférieures à 30 cm/s devant la Côte d'Ivoire. La figure 16 schématise la distribution des vitesses zonales le long du plateau continental. Elle est construite à partir des stations où ont été observées les vitesses maximum dans le contre-courant.

Entre Accra et Takoradi le contre-courant devient sub-superficiel. Il est certain que son mécanisme relève alors de causes différentes de celles dues à l'accumulation; la distribution des densités est d'ailleurs tout à fait différente de la distribution des courants (fig. 16) et les eaux de surface ne peuvent s'enfoncer sous le courant de Guinée. Il est plus vraisemblable que, comme on se trouve ici dans une zone d'upwelling, ce sous-courant soit lié à ce phénomène sous la forme d'un « courant de compensation ». Rappelons brièvement la fonction

de ce courant : l'existence de deux upwellings côtiers, le premier intense le long des côtes du Ghana entre Accra et le Cap des Trois-Pointes, le second moins important dans l'ouest de la Côte d'Ivoire entre Abidjan et le Cap des Palmes entraîne de fortes remontées d'eaux en surface entraînées au large et vers l'est. Cette eau est remplacée par un afflux d'eau profonde venant du large — suivant le schéma classique — et par un courant de compensation côtier longitudinal dont le mécanisme est encore assez mal expliqué.

Il est intéressant de noter que dans le cas présent une telle hypothèse est en assez bon accord avec la réalité du phénomène. On remarque en effet une diminution du débit du sous-courant sur le plateau continental d'est en ouest, le débit maximum étant observé en aval de la zone d'upwelling et se réduisant à mesure qu'on remonte vers l'amont du phénomène ce qui peut donc suggérer une transformation progressive du flux ouest en flux vertical.

Devant Lagos le débit total sur le plateau continental est très faible (inférieur à 20.000 m³/s). Il augmente devant Cotonou et atteint son maximum vers Accra avec 820.000 m³/s. Il décroît ensuite jusqu'à 51.000 m³/s devant la Côte d'Ivoire.

La figure 17 illustre ces variations ainsi que le débit par mille de largeur, en ne tenant compte que des débits sur le plateau continental. Les valeurs de ces débits sont représentées dans le tableau I.

TABLEAU I
DÉBITS

Radiale	Total m ³ /s.	Par mille m ³ /s.
R ₁		
de la côte à 5°00.....	51.000	5.100
de la côte à 4°50.....	312.500	15.600
R ₂		
de la côte à 4°25.....	491.000	18.000
de la côte à 4°00.....	1.636.000 (de 0 à 150 m)	31.000
R ₃		
de la côte à 5°12.....	820.000	26.000
R ₄		
de la côte à 5°45.....	386.000	16.000
R ₅	20.000	1.000

Il est à noter que vu la dimension réduite de l'upwelling (limité à la zone Cap des Trois-Pointes-Accra) et l'espacement des radiales il est difficile d'estimer la valeur de l'interprétation qui vient d'être faite des rapports de l'upwelling et du sous-

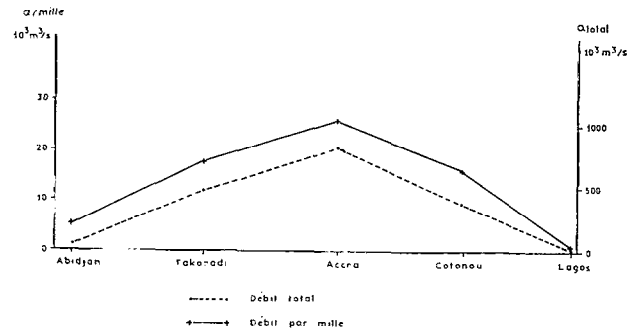


Fig. 17. — Variations du débit du sous-courant.

courant. On peut néanmoins par un calcul très rapide vérifier qu'elle n'aboutit pas à des résultats invraisemblables.

Si l'on considère en effet le déficit en transport par mille entre les radiales R₂ et R₃ soit 10.000 m³/s et en supposant qu'il est entièrement transformé en flux vertical entre ces deux sections — ce qui revient en fait à supposer le mouvement permanent et appliquer l'équation de continuité à une maille d'un mille de large et 120 milles de long en négligeant les gradients transversaux de vitesse — on aboutit à une vitesse verticale moyenne dans cette zone de 2 mètres par jour, chiffre raisonnable et couramment observé dans cette région. Les 2 mètres/jour représenteraient donc la contribution du sous-courant à l'upwelling, indépendamment des flux transversaux qui s'y ajoutent.

V. MAXIMUM DE SALINITÉ

L'un des problèmes qu'une telle étude de circulation peut contribuer à éclaircir est l'origine et l'extension du maximum de salinité intermédiaire dans le Golfe de Guinée. Cette question a déjà été étudiée en partie par WILLIAMS (1966), LE FLOCH (1970) et LEMASSON-REBERT (1973). Il existe en effet plusieurs zones de formation d'eaux superficielles à forte salinité qui peuvent être à l'origine du ou des maximums observés dans le Golfe de Guinée, en particulier toute la région subtropicale de l'hémisphère sud puisque l'extension de ces eaux a lieu du sud au nord le long des côtes du Congo. Il y a également deux origines équatoriales de part et d'autre de l'équateur, le transport de ces eaux vers l'est étant assuré par le sous-courant équatorial. Les cartes de distribution horizontale du maximum de salinité (fig. 18) et de la salinité sur l'isopycne $\sigma_t = 25,6$ (fig. 19) indiquent la répartition de ce maximum dans les Baies de Biafra et du Bénin au cours de cette campagne. Ce maximum subit de fortes variations dans la zone étudiée

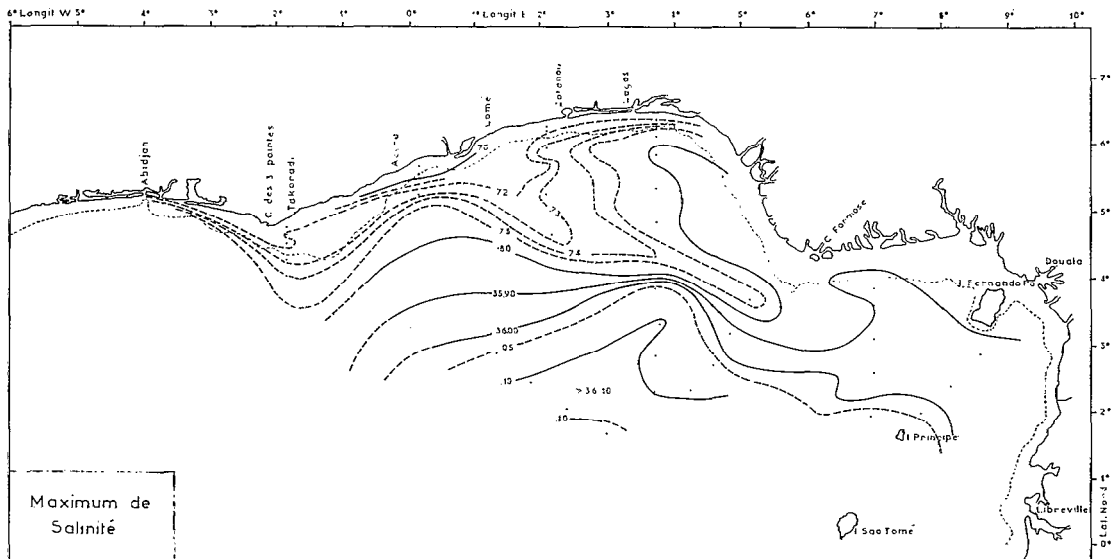


Fig. 18. — Distribution horizontale du maximum de salinité suivant la longitude.

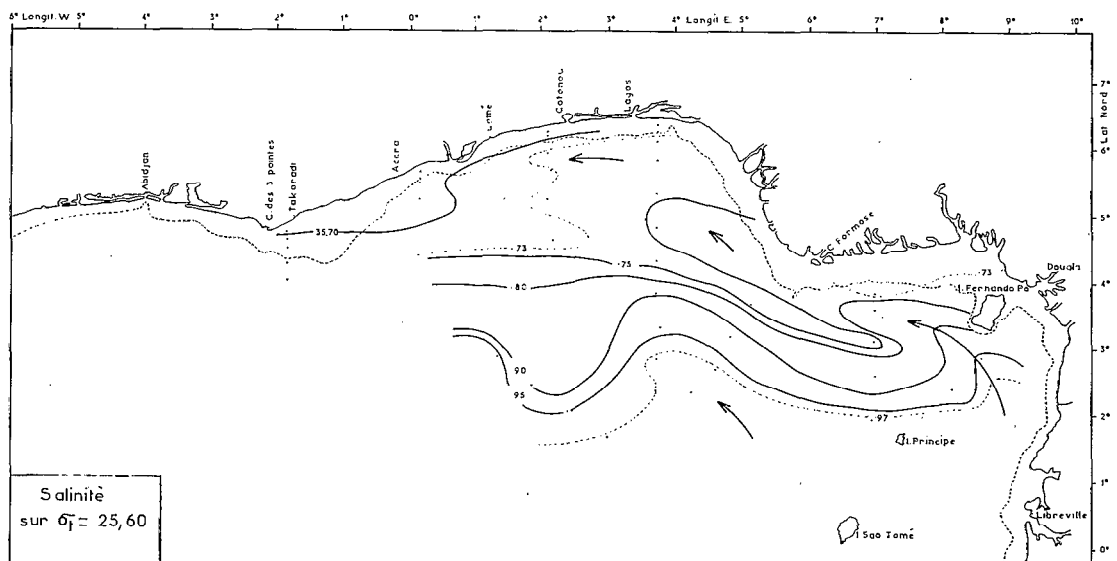


Fig. 19. — Distribution de la salinité sur la surface $\sigma_t = 25,60$.

puisque les valeurs relevées s'étendent de 35,70 ‰ à 36,10 ‰. On observe l'extension d'un maximum longeant la côte depuis la région de l'île Principe jusqu'au Nigéria en direction du nord puis vers le nord-ouest et l'ouest où le maximum est alors entraîné par le contre-courant côtier.

L'accord entre les courants observés sur la surface $\sigma_t = 25,6$ (fig. 13) et la circulation qu'on peut déduire de la distribution des langues de salinité sur la même surface est relativement bon. BERRIET et DONGUY (1964) avaient également trouvé un

courant géostrophique vers l'ouest au large du delta du Niger à 50 mètres vers 4° N, c'est à dire au niveau du maximum de salinité; le calcul des débits avait permis à ces auteurs d'estimer un flux ouest entre 4° N et la côte dahoméenne, flux dont la vitesse était voisine de 30 cm/s, ce qui correspond également à ce qui a été observé au cours de la campagne par des mesures directes.

Une seconde branche du maximum de salinité apparaît dans la partie sud de la région prospectée vers le méridien de Lagos, branche dont la propa-

gation doit avoir lieu vers l'ouest d'après les mesures. L'examen des cartes de distribution ne permet pas de conclure si l'origine de ce maximum est identique à celle du maximum côtier. Mais le diagramme TS établi au niveau du maximum de salinité (fig. 20) permet de mieux les différencier; il met

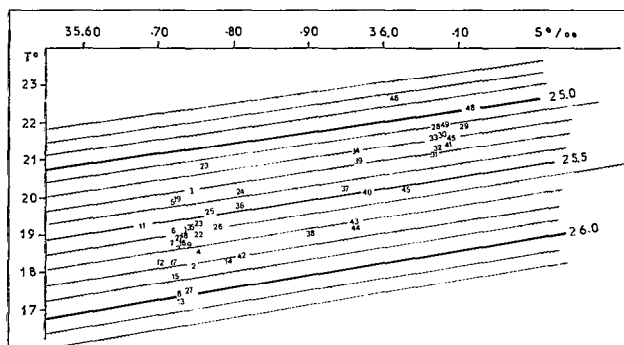


Fig. 20. — Diagramme TS au niveau du maximum de salinité.

en effet en évidence deux groupes de stations bien distinctes. Le premier groupe correspond à des stations réalisées dans la zone côtière avec des salinités assez faibles (inférieures à 35,85 ‰) et des températures basses (18° à 15°) et un σ_t voisin de 25,6. Elles relèveraient donc de la branche observée entre les îles Principe et Fernando-Po, dont la salinité au cours de son extension vers l'ouest le long des côtes va en diminuant pour atteindre son minimum dans la région d'upwelling.

Le second groupe de stations comprend des stations du large voisines de 3° N au sud du Golfe du Bénin, région où on relève de très fortes salinités (> 36,05 ‰) mais dont la température est plus élevée (21° à 22°), la densité des eaux étant plus faible et voisine de 25,2. Ce maximum se situe donc à un niveau supérieur à celui du maximum côtier et sa forme le distingue aussi nettement du précédent. Son épaisseur est en effet limitée à quelques dizaines de mètres où il forme un pic aigu alors que le précédent est beaucoup plus plat.

Il est donc vraisemblable que le maximum côtier observé dans la partie orientale provient du Sud-Atlantique et que le maximum observé au large est d'origine équatoriale, et correspond à une branche de retour du sous-courant équatorial. Leurs densités étant différentes, leur circulation respective ne se fait pas au même niveau et les eaux d'origine sud ne se mélangent que partiellement avec les eaux du sous-courant équatorial au cours de leur extension vers le nord dans la baie de Biafra.

L'hypothèse de cette double alimentation du maximum de salinité (LE FLOCH, 1970) se justifie

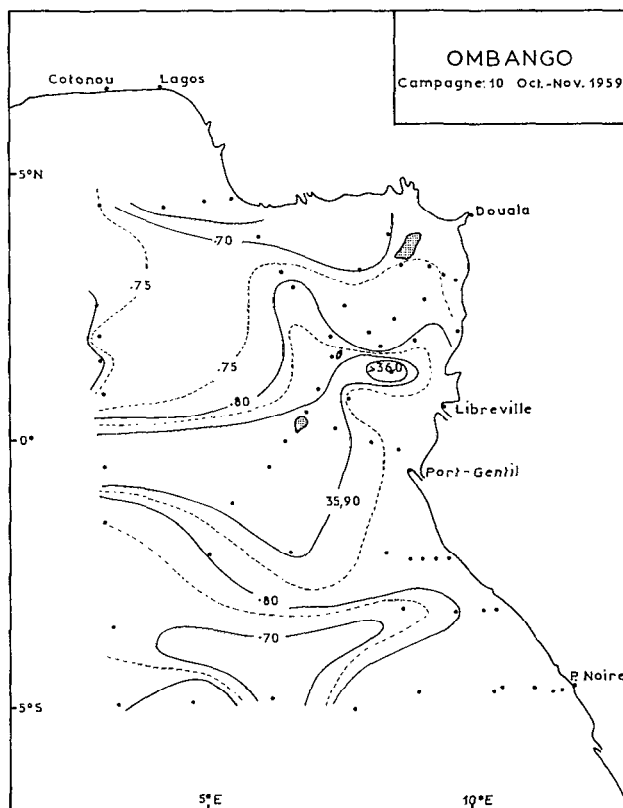


Fig. 21. — Distribution horizontale du maximum de salinité à OM 10.

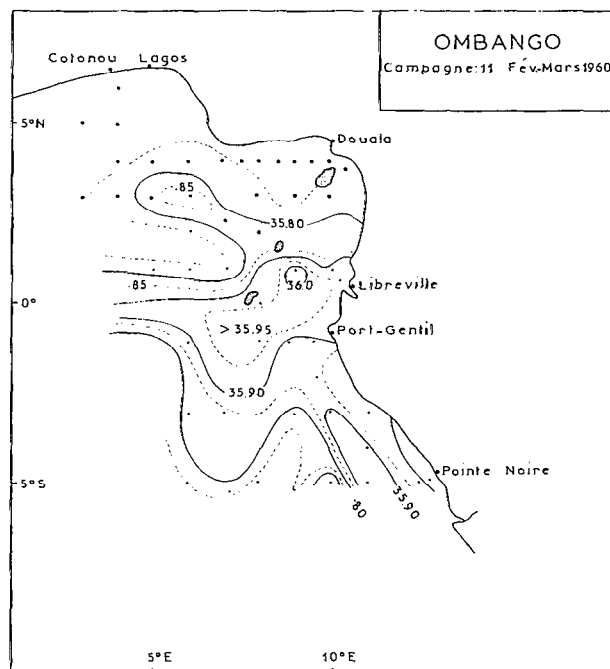


Fig. 22. — Distribution horizontale du maximum de salinité à OM 11.

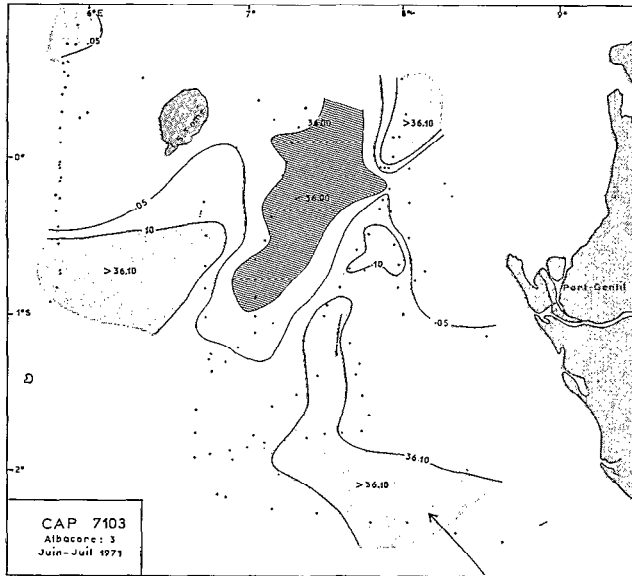


Fig. 23. — Distribution horizontale du maximum de salinité à CAP 7103.

de plus à l'examen des distributions des maximums de salinité établis à partir des croisières effectuées dans cette région à différentes époques (fig. 21, 22, 23) :

OMBANGO 10 en oct.-nov. 1959 (BERRIT et DONGUY, 1964)
 OMBANGO 11 en fév.-mars 1960 (BERRIT, 1962)
 Albacore 7103 en juin 1971 (ANON, 1971).

Dans ces trois cas on observe une langue de salinité qui provient du sud en longeant la côte Gabonaise, et qui rencontre à proximité de l'équateur le maximum de salinité entraîné par le sous-courant équatorial dont l'extension est plus ou moins forte suivant la saison : en novembre (OM. 10) on l'observe jusqu'à la côte Gabonaise, alors qu'en juin elle ne dépasse pas l'île de Sao Tomé. Les salinités de ces deux maximums sont elles-mêmes variables : de 35,90 ‰ en mars et octobre (OM. 10 et 11) à 36,10 ‰ en juin (Albacore 3). Ces deux maximums se mélangent à leur intersection dans des proportions que l'étude de la salinité seule ne permet pas de définir; une branche de ces maximums se répand alors dans les baies de Biafra et du Bénin en progressant vers le nord-ouest à partir de la région comprise entre la côte et l'île de Sao-Tomé. Le maximum de salinité observé au fond du Golfe de Guinée est donc composé principalement d'un maximum d'origine Sud-Atlantique mélangé dans des proportions variables suivant les saisons avec le maximum du sous-courant équatorial.

Manuscrit reçu au S.C.D., le 26 février 1973.

BIBLIOGRAPHIE

- ANON, 1971. — Résultats de la croisière CAP 7103. *Centre O.R.S.T.O.M., Abidjan.*
- BERRIT (G. R.), 1962. — Campagne n° 11. — Campagne JONAS *Cah. Océanogr., XIV, n° 1* : 54-76.
- BERRIT (G. R.) et DONGUY (J. R.), 1964. — La petite saison chaude en 1959 dans la région orientale du golfe de Guinée. *Cah. Océanogr., XVI, n° 8* : 657-684.
- COURANTOLOGIE 8, 1968. — Résultats d'observations, *C.R.O., Abidjan.*
- DEFANT (A.), 1936. — Die Troposphäre. *Wiss. Erg. Deut. Atl. Exp. Meteor. Bd VI, 1 Teil* : 332-334.
- 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., vol. VIII, n° 3* : 77-113.
- LEMASSON (L.) et REBERT (J. P.), 1968. — Observations de courants sur le plateau continental ivoirien — Mise en évidence d'un sous-courant. *Doc. Sci. Prov., n° 022*, pp. 1-66, *C.R.O., Abidjan.*
- LEMASSON (L.) et REBERT (J. P.), 1973. — Les courants marins dans le golfe ivoirien. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr., vol. XI, n° 1* : 67-95.
- LEMASSON (L.) et REBERT (J. P.), 1972. — Circulation dans la partie orientale de l'Atlantique tropical Sud. *Doc. Sci. Prov., vol. IV, 1* : 91-124. *C.R.O., Abidjan,*
- LONGHURST (A. R.), 1964. — The coastal oceanography of western Nigeria. *Bull. IFAN, tome XXVI, sér. A, n° 2* : 337-402.
- TIBURCE, 1969. — Résultats d'observations, *C.R.O., Abidjan.*
- VINCENT-CUAZ (L.), n. d. — Les courants du Golfe du Bénin. *Centre Ét. Scient. Tech. Appl. Pêche, Minist. Agri., Dahomey.*
- WILLIAMS (R.), 1966. — An investigation of the intermediate salinity maximum in the equatorial Atlantic during Equalant I. *Dept. Meteor. Oceanogr., Geoph. Sc. Lab. Rep. n° 66 (4)* : 93.