

# LES COURANTS MARINS DANS LE GOLFE IVOIRIEN

L. LEMASSON et J.-P. REBERT

*Océanographes de l'O.R.S.T.O.M.  
C.R.O. d'Abidjan (Côte d'Ivoire)*

## RÉSUMÉ

*Les auteurs ont étudié les fluctuations de la circulation superficielle et profonde sur le plateau continental au voisinage d'Abidjan grâce à un cycle de mesures couvrant trois ans. Ils proposent des situations types correspondant aux différentes saisons marines et des explications concernant les variations saisonnières de la vitesse des courants basées sur les phénomènes d'upwelling et la configuration particulière des côtes. Le débit moyen du courant de Guinée a été estimé à 100.000 m<sup>3</sup>/s et celui du contre-courant côtier à 200.000 m<sup>3</sup>/s sur le plateau continental. Des mesures réalisées au large permettent de relier la circulation côlière à la circulation générale de l'Atlantique équatorial et des campagnes de couverture ont permis de préciser les limites de l'extension longitudinale du contre-courant côtier. Le rôle de ce dernier dans la distribution du maximum de salinité subtropical est mis en évidence. La discussion aborde la validité des différents modèles proposés pour l'existence du contre-courant profond.*

## ABSTRACT

*The authors studied the fluctuations of the superficial and deep circulation above the continental shelf near Abidjan (Ivory Coast) with data collected monthly achieved during a period of three years. They propose some standard situations related to the different marine seasons and try to explain the seasonal variations of currents velocities by the phenomena of upwelling occurring in front of a particular coastal configuration.*

*The mean transports have been estimated on the continental shelf at 100 000 m<sup>3</sup>/s for the Guinea current and 200 000 m<sup>3</sup>/s for the coastal undercurrent. Some offshore measurements relate the coastal circulation to the general circulation of the near equatorial Atlantic Ocean. Some surveys were done to precise the east and westward boundaries of the coastal undercurrent. Its part in the distribution of the subtropical salinity maximum is brought out in relief. Afterwards the validity of the different models concerning the coastal undercurrents is discussed.*

## 1. INTRODUCTION.

Le régime des courants devant la Côte d'Ivoire est généralement représenté par une circulation simple allant d'ouest en est et connue sous le nom de courant de Guinée. Ce courant est le prolongement du contre-courant équatorial renforcé par les vents de sud à sud-ouest qui caractérisent cette région, et qui va normalement s'évanouir dans le fond du Golfe de Guinée. On l'observe entre la côte et la convergence nord équatoriale qui le sépare

du courant sud-équatorial, convergence dont la latitude varie de 2° à 4° N suivant les saisons (DONGUY et PRIVE, 1964). Le courant est considéré comme quasi permanent mais subissant des variations saisonnières d'intensité, notamment une augmentation de vitesse en saison froide (juillet à septembre) lorsque les alizés du sud-est s'infléchissent vers la droite après passage de l'équateur et forment un vent de mousson le long de la côte africaine.

Peu de travaux systématiques ont cependant été

entrepris pour déterminer les variations des caractéristiques de la circulation superficielle. Les seuls travaux rendant compte des variations saisonnières sont à notre connaissance ceux de JANKE (1920) basés sur des observations de navires marchands. La circulation profonde est encore plus mal connue. Un transport ouest a été observé sous le courant de Guinée par GÉRARD, SEXTON et MAZEIKA (1965) lors de mesures directes à l'aide de drogues-parachutes. LE FLOCH (1970) en a étudié la distribution et la variabilité le long d'une radiale nord-sud par des mesures en courantométrie différentielle. Enfin ce transport semble confirmé par la topographie géopotentielle de la surface 75 décibars par rapport à 600 décibars établie d'après les résultats d'Equilant II (MAZEIKA, 1968) et de Guinée I (LEMASSON *et al*, 1969).

Il apparaît d'autre part qu'au voisinage du littoral la situation peut différer notablement de la circulation observée au large. En particulier la direction du courant y est beaucoup plus irrégulière ainsi qu'en témoignent les pourcentages de courants ouest déjà cités par LONGHURST (1962). La découverte par LEMASSON et REBERT (1968) d'un contre-courant subsuperficiel longeant le talus continental ajoute encore à la complexité de l'ensemble de la circulation.

La présente étude a donc pour objet de décrire la structure des courants marins dans le golfe ivoirien — c'est-à-dire la zone comprise entre le Cap des Palmes et le Cap des Trois Pointes (fig. 1) —, d'étudier les variations saisonnières de ces courants face à Abidjan et d'aborder leurs relations avec la distribution de certaines propriétés physiques.

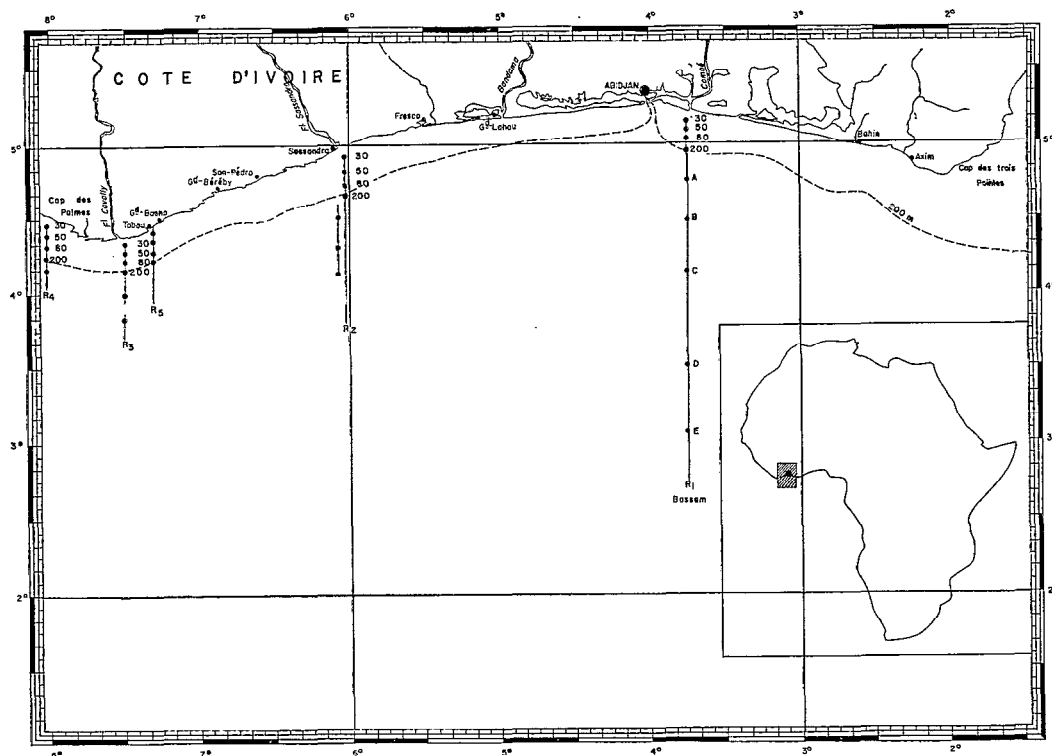


Fig. 1. — Position des stations sur les radiales.

## 2. MÉTHODES.

Les mesures de courant sont faites régulièrement depuis décembre 1967 sur le plateau continental le long d'un méridien voisin de 4°40' W au rythme d'une série de mesures par mois environ. Nous disposons de près de trois ans d'observations;

en fait 36 radiales ont été exécutées entre 5°10' N et 5°00' N, la largeur du plateau continental étant d'environ 15 milles à cet endroit. Chacune de ces radiales comportait des stations de courantométrie sur les fonds de 30, 50, 80 et 200 mètres, profondeurs qui correspondent à des stations régulièrement espacées. La station 200 m est située sur le rebord du plateau continental.

A partir de novembre 1968, des stations ont été effectuées au large (stations A et B) aux latitudes 4°50' N et 4°40' N. Quelques radiales ont été prolongées en particulier Bassam 54 qui atteint la convergence tropicale située vers 3°00' N à cette époque. Plusieurs campagnes exploratoires ont de plus été réalisées de part et d'autre d'Abidjan depuis le Cap des Palmes (07°30' W) jusqu'au méridien de Lomé (Togo) à l'est, pour essayer de déterminer l'extension géographique des courants.

Les mesures de courant en elles-mêmes ont été faites avec des courantomètres Ekman, le navire (la « REINE POKOU » du Centre de Recherches Océanographiques d'Abidjan) étant au mouillage lorsque ces mesures étaient effectuées sur le plateau continental. Les niveaux choisis correspondaient à peu près aux profondeurs standard hydrographiques, des mesures hydrologiques classiques (température, salinité, oxygène) étant faites simultanément aux mêmes profondeurs. A partir de novembre 1968 les mesures ont été augmentées de données sur les sels nutritifs. Pour les stations qui étaient réalisées au large, alors que le navire était en dérive, une mesure de référence prise dans une couche de mouvement supposé nul était exécutée à 500 m de profondeur au début et à la fin de chaque station. Le choix de cette profondeur semble bon, les mesures de courant faites au point fixe par J. P. REBERT et J. MAUVAIS en mai 1968 ayant montré l'existence d'un vecteur courant faible (3 cm/s) à ce niveau.

Les valeurs admises résultent en général d'une seule mesure dont la durée varie de 3 à 10 minutes suivant la vitesse du courant. Les coupes qui sont dressées ensuite représentent donc les vitesses instantanées du courant. Pour estimer la validité de ce type de représentation il importe de connaître l'ordre de grandeur des fluctuations autour des caractéristiques moyennes sur une échelle de temps allant de quelques heures à un mois (périodicité de la mesure). Parmi les fluctuations à courte période la plus importante est due sans doute aux courants de marées.

### 3. INFLUENCE DE LA MARÉE SUR LES MESURES DE COURANT.

La marée au large d'Abidjan est du type semi-diurne à inégalités diurnes avec un coefficient de Van der Stock de  $\frac{K_1 + O_1}{M_2 + S_2} = 0,26$ . On observe donc deux pleines mers et deux basses mers par jour, mais les hauteurs présentent de fortes inégalités dues à la présence de l'onde diurne.

L'étude complète des courants induits par ce type de marée est délicate car l'hodographe de ces courants

est représenté par une courbe à deux boucles qui ne ressemblent que d'assez loin à des ellipses et se déforment fortement au cours d'une quinzaine de jours. D'autre part la vitesse et la direction du courant d'un point à un autre varient non seulement en fonction de la profondeur et de la distance à la côte mais dépendent également de la stratification des couches d'eau, donc des conditions hydrologiques. On admet en général que le coefficient de vitesse du courant est le même que le coefficient de hauteur de la marée; en fait la force des courants de marée augmente avec son amplitude mais elle n'est pas proportionnelle à celle-ci. Il n'existe pas de relation simple entre les deux données.

Pour connaître tout au moins l'ordre de grandeur de ces courants, une série de mesures a été effectuée en un point moyen de la radiale visitée habituellement, point situé sur les fonds de 80 m à 13 milles de la côte environ. Un cycle de douze mesures a été réalisé de 10 m en 10 m pendant une durée de 24 h entre la surface et le fond.

Une marée de vive eau avait eu lieu trois jours auparavant et le marnage maximum au cours de la période de la mesure était de 0,90 mètre.

### Résultats.

En surface le courant moyen portait à l'est avec une vitesse moyenne de 20 cm/s mais la direction des vecteurs vitesse présentait des variations de 110° au cours du cycle diurne, l'hodographe s'inscrivant à peu près dans une ellipse d'axe principal NNW.

Aux autres profondeurs les variations de vitesse semblent erratiques. En effet la distribution verticale des courants fait ressortir plusieurs couches de courant. La marée s'accompagnant de mouvements verticaux on mesure à une même profondeur au cours des 24 heures les courants correspondant à l'une ou l'autre couche. Ces couches sont les suivantes :

— une couche de surface de transport est (courant de Guinée) de 10 à 20 m d'épaisseur limitée vers le bas par la thermocline;

— une couche de transport moyen ouest entre 20 m et 40-50 m (« sous-courant ivoirien »);

— une couche de transport est de 50 mètres à 70 mètres environ;

— un courant de fond faible (5 cm/s) de direction moyenne ouest.

Comme l'intérêt se portera par la suite surtout sur les courants est-ouest on a étudié les variations de vitesse du maximum des courants suivant cette direction dans les deux couches intermédiaires,

variations illustrées par la figure 2. Les hodographes aux profondeurs moyennes présentent d'ailleurs un axe principal orienté est-ouest.

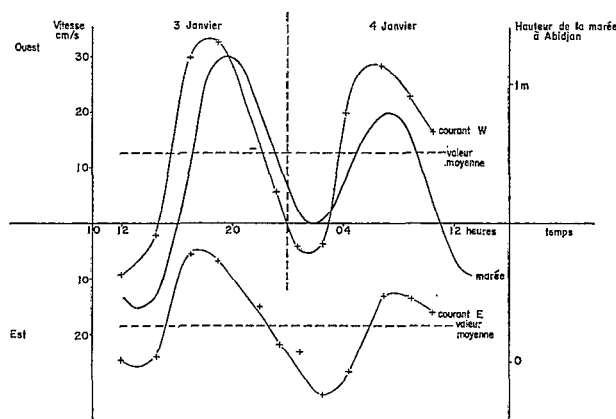


Fig. 2. — Variations de la composante zonale du courant pendant 24 heures à la station 80 mètres.

On note ainsi quelques résultats intéressants.

(1<sup>o</sup>) Les variations de la composante zonale sont à peu près sinusoïdales et en phase avec les variations de la hauteur de la marée à Abidjan. Elle est maximum vers l'ouest à marée haute et maximum vers l'est à marée basse, ce qui correspond bien au sens de propagation de l'onde M2 dans le Golfe de Guinée. Le maximum de vitesse de courant a lieu environ une heure avant la marée haute pour le courant ouest. Pour le courant est, plus profond, le déphasage semble plus variable.

(2<sup>o</sup>) Les variations diminuent d'intensité avec la profondeur :

45 cm/s ( $\pm 22$  cm/s) pour la couche supérieure vers 30 m  
25 cm/s ( $\pm 13$  cm/s) pour la couche inférieure vers 60 m

(3<sup>o</sup>) Au cours du cycle diurne les vitesses ne sont pas proportionnelles aux hauteurs des deux alternances.

Il ressort de ceci que pour les mesures de courant effectuées sur le plateau continental il est illusoire de prétendre à une précision supérieure à 10 cm/s (0,2 nœud). On négligera tous les résultats d'observation inférieurs à cette vitesse, surtout au voisinage de la côte. Pour les couches intermédiaires on pourra appliquer une correction sur la base de  $\pm 25$  cm/s pour un marnage de 1 m, et en correspondance avec les heures des pleines et basses mer à Abidjan, correction applicable aux profondeurs moyennes c'est à dire entre 20 et 30 mètres.

L'onde M2 progressant du Cap des Trois Pointes au Cap des Palmes en une heure environ et vu la précision de cette correction, celle-ci sera applicable pour l'ensemble du plateau continental ivoirien. Pour plus de précision il serait nécessaire de recommencer les mesures sur une section à 6 heures d'intervalle et de faire la moyenne des vitesses obtenues.

#### 4. CIRCULATION SUPERFICIELLE.

Les saisons marines dans le Golfe ivoirien ont été définies par MORLIÈRE (1970) d'après les observations faites devant Abidjan et sont résumées dans le tableau suivant :

TABEAU 1

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
Saisons	Grande saison sèche					Pluies		Petite saison sèche			Pluies			
	Upwelling faible				Upwelling fort									
	Petite saison froide	Grande saison chaude					Grande saison froide						Petite saison chaude	
Vents dominants	W S W 2 m/s					S W 2 m/s		W S W 2,5 m/s			S W 1 m/s			

On peut relier les traits généraux des courants à chacune de ces saisons sans qu'il soit possible pour autant de mettre en évidence une relation étroite entre courants et climat.

JANKE (1920) a utilisé deux critères pour son étude des courants du Golfe de Guinée, d'une part la vitesse, d'autre part la stabilité, celle-ci étant définie comme étant le rapport du module de la résultante des mesures à la somme des modules des vecteurs courants. Nous rappelons rapidement les résultats de cette étude concernant la zone qui nous intéresse. Sur la figure 3 est représentée la stabilité du courant de surface entre 0 et 5° W. On remarque que cette stabilité est maximum pendant les mois de saison froide et dépasse 90 % de juin à septembre. Elle diminue par ailleurs quand on se rapproche de la côte. En effet alors qu'elle est voisine de 80 % pendant toute la saison chaude entre 3° N et 4° N elle tombe à moins de 70 % vers le Cap des Trois Pointes d'octobre à janvier.

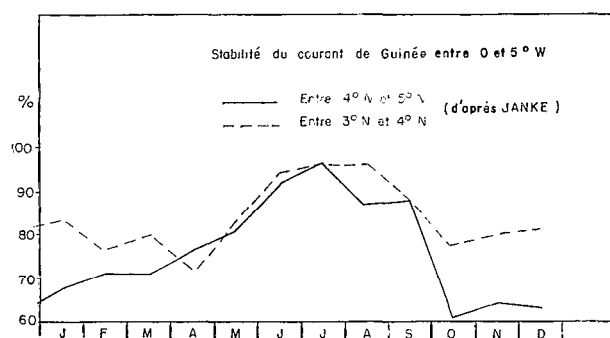


Fig. 3. — Stabilité du courant de Guinée (d'après JANKE, 1920).

Le nombre de nos propres observations est insuffisant pour avoir une valeur moyenne de la stabilité au voisinage immédiat des côtes. On en aura tout au moins un aperçu au chapitre « variabilité ».

En ce qui concerne les vitesses, lesquelles sont illustrées par la figure 4, on constate parallèlement un accroissement de vitesse en saison froide, période qui correspond à la présence d'un fort upwelling le long des côtes ivoiriennes. Le maximum est observé en août où la vitesse atteint 1,8 nœud entre 3° N et 4° N. Nous avons représenté sur la même figure les courants observés sur le plateau continental entre 5° N et la côte. Pour cela on a pris la moyenne des quatre mesures de surface effectuées à chaque sortie ce qui élimine dans une certaine mesure l'influence des courants de marée, l'ensemble des quatre mesures étant assez régulièrement réparti sur 12 h. Les vitesses sont ensuite moyennées par mois (environ trois radiales pour chaque mois).

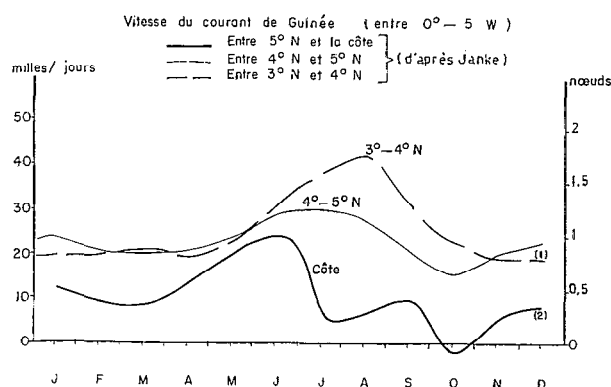


Fig. 4. — Vitesse du courant de Guinée entre 0 et 5° W (1) d'après JANKE (1920) ; (2) d'après les mesures 1968-1970 du C.R.O

La comparaison des trois courbes est intéressante bien que les résultats ne soient pas tout à fait comparables étant donné leur mode de calcul différent.

La vitesse sur le plateau continental est toujours inférieure à celle observée au large. Elle ne dépasse pas en général 0,5 nœud alors que les valeurs les plus fréquentes sont de l'ordre de un nœud au large. Les valeurs les plus élevées sont relevées en fin de saison chaude aux mois de mai et juin où le courant atteint un nœud. Ce dernier est faible en saison froide, s'annule et tend à s'inverser en octobre. Les plus grandes différences de vitesses entre la côte et le large se produisent donc en août. La période du maximum de vitesse dans chaque zone subit un décalage progressif de juin à août quand on s'éloigne vers le sud.

## 5. DISTRIBUTION VERTICALE DES COMPOSANTES ZONALES SUR LE PLATEAU CONTINENTAL.

Nous abordons maintenant la répartition des courants aux différents niveaux en suivant toujours le méridien 4°40' W. La côte ivoirienne étant orientée grosso-modo est-ouest, les courants ont été étudiés à partir de leurs deux composantes : nord-sud et est-ouest. Nous traiterons d'abord de la plus importante, la composante longitudinale est-ouest. Sa distribution verticale étant établie à chaque station on dispose donc des variations temporelles dans le plan vertical aux quatre stations 30, 50, 80 et 200 mètres. Les variations au cours des trois années de mesure des composantes zonales à la station 200 m située sur le talus continental ont été représentées figure 5.

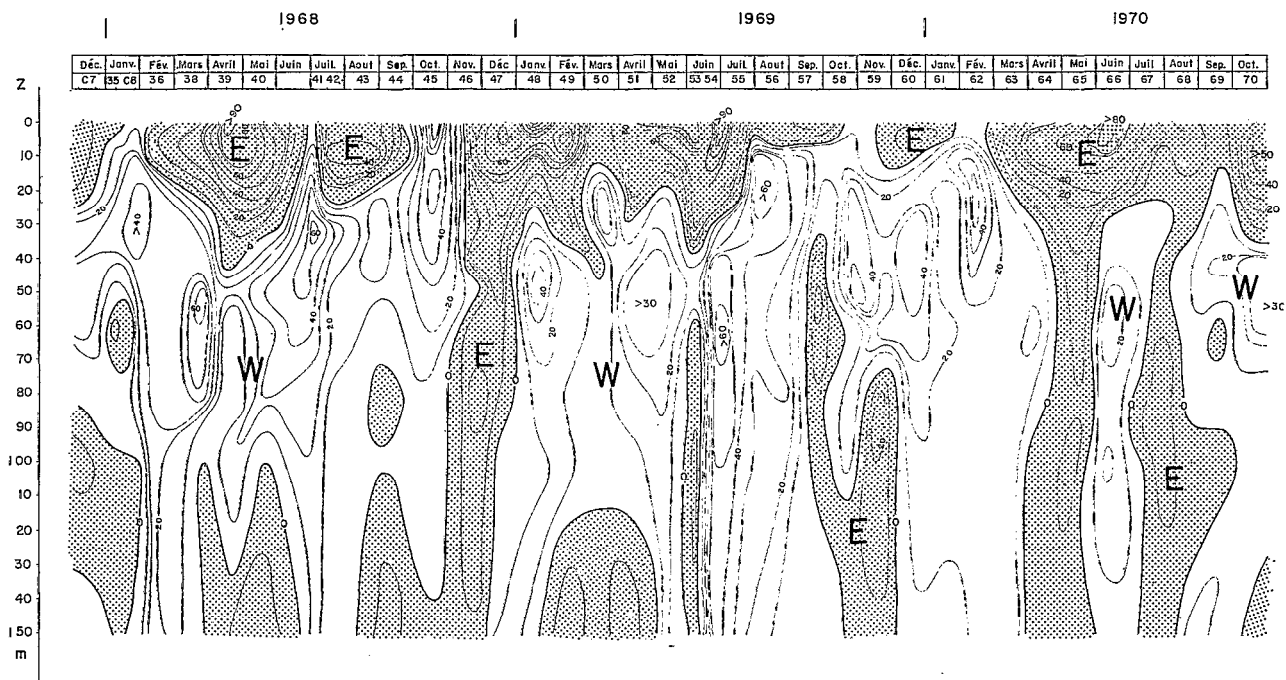


Fig. 5. — Distribution verticale de la composante zonale moyenne du courant à la station Bassam 200 de 1968 à 1970.

On trouve en général en surface et dans les couches subsuperficielles une composante vers l'est qui correspond au courant de Guinée. Le courant est très variable en intensité et en épaisseur. On remarque cependant que ces deux grandeurs sont reliées assez étroitement et qu'aux forts courants correspond en général une grande profondeur de cette couche. Les vitesses les plus fortes sont atteintes en saison chaude (avril à juin), et plus précisément à la fin de cette saison, au début de l'upwelling induit par les vents de mousson. La plus forte valeur relevée est de 140 cm/s observée en surface fin juin 1969. La vitesse maximum est observée généralement en surface et décroît avec la profondeur.

L'épaisseur du courant de surface au niveau du talus dépasse rarement 40 mètres, mais il arrive qu'on l'observe jusqu'au fond (décembre 68, mai 69). Toutefois au-dessous de 50 mètres les vitesses sont alors très faibles (de l'ordre de 10 cm/s) donc peu significatives. Le courant s'inverse parfois en surface où apparaît alors une composante ouest. Ce phénomène se produit en général à deux époques de l'année, au cours des mois de janvier à mars et surtout autour du mois d'octobre où cette renverse a été observée très régulièrement trois années de suite (y compris 1967 non représenté ici). On atteint à cette époque des vitesses très importantes (73 cm/s vers l'ouest en octobre 1968). Nous proposerons plus loin une explication de ce phénomène.

Sous le courant superficiel existe en général un contre-courant dirigé vers l'ouest et dont l'épaisseur peut parfois être très grande (supérieure à 200 m). La profondeur du maximum de courant ne dépasse pas 60 m et est voisine en moyenne de 40 m. La veine centrale peut atteindre pratiquement la surface aux moments où le courant de Guinée est absent. Sa vitesse moyenne est de 30 à 40 cm/s, mais on peut noter un renforcement de la composante pendant la période d'upwelling (juin-juillet) où on relève des vitesses supérieures à 60 cm/s ainsi qu'en janvier où les vitesses dépassent 40 cm/s. Quant aux périodes où aucune composante vers l'ouest n'est observée sur le plateau continental nous verrons plus loin en examinant le phénomène dans le sens transversal qu'elles correspondent à un éloignement vers le large de la veine du contre-courant. Ainsi en mai 1970 le contre-courant est observé vers le sud à partir de 4°50', soit à plus de 20 milles de la côte.

## 6. VARIATIONS SAISONNIÈRES.

L'un des objectifs de cette étude était d'établir des cartes de situations moyennes mensuelles des courants sur la section étudiée. Malheureusement, vu le petit nombre d'observations recueillies pour

TABLEAU 2  
Caractéristiques moyennes par saison

ÉPOQUE	CONTRE-COURANT		COURANT DE GUINÉE		SAISONS MARINES	N° BASSAM
	V Moyenne	Prof. de la veine de courant max.	V Moyen	Épaisseur		
Janv.-fév.-mars....	0,6 nd	40 m (sur le talus continental)	0,5 nd	10 m	Petite saison froide et périodes d'upwelling faible	38 fig. 6 a
Avr.-mai (juin)....	0,4 nd	60 m (au large)	1 nd	30 m	Grande saison chaude et début de l'upwelling	40 fig. 6 b
(Juin-juillet).....	0,8 nd	40 m	1,4 nd	20 m	Transition ; upwelling intense	53 fig. 6 c
(Juil.)-août-sept....	0,3 nd	25 m	0,4 nd	10 m	Grande saison froide	56 fig. 6 d
Octobre.....	0,8 nd	30 m	0	0	Transition	45 fig. 6 e
Nov.-déc.....	0,3 nd	40 m	0,5 nd	15 m	Petite saison chaude	46 fig. 6 f

chaque mois (de 2 à 4) et la forte irrégularité des courants observés on peut aboutir à des résultats très éloignés de la moyenne. Nous avons donc préféré rassembler les observations sur des périodes plus importantes en regroupant les sections concernant les différentes saisons marines telles qu'elles ont été définies plus haut. Les figures 7 a à 7 d représentent les coupes verticales moyennes des courants

pour ces saisons, chaque coupe étant donc établie d'après un ensemble de 7 à 10 mesures. Le tableau 2 donne les caractéristiques moyennes des courants observés durant les mêmes périodes. Quelques coupes verticales de courants particulièrement caractéristiques de la saison considérée ont été par ailleurs sélectionnées et représentées par les figures 6 a à 6 f.

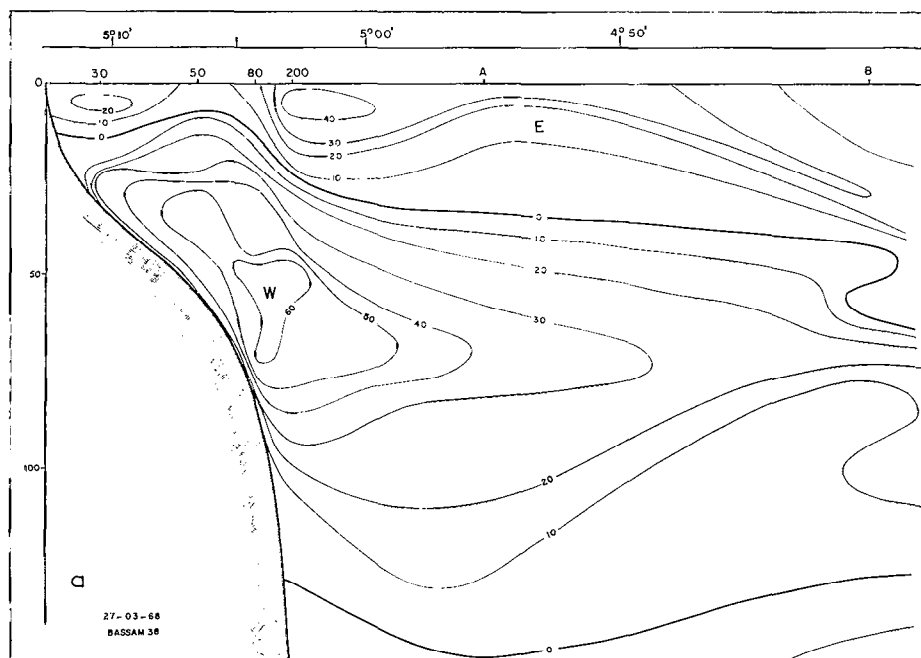


Fig. 6 a à 6 f. -- Distribution verticale de la composante zonale sur des sections caractéristiques de la saison.

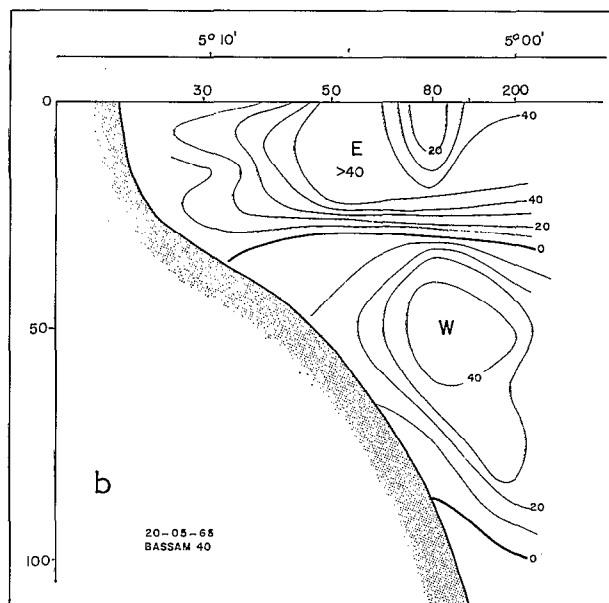


Fig. 6 b.

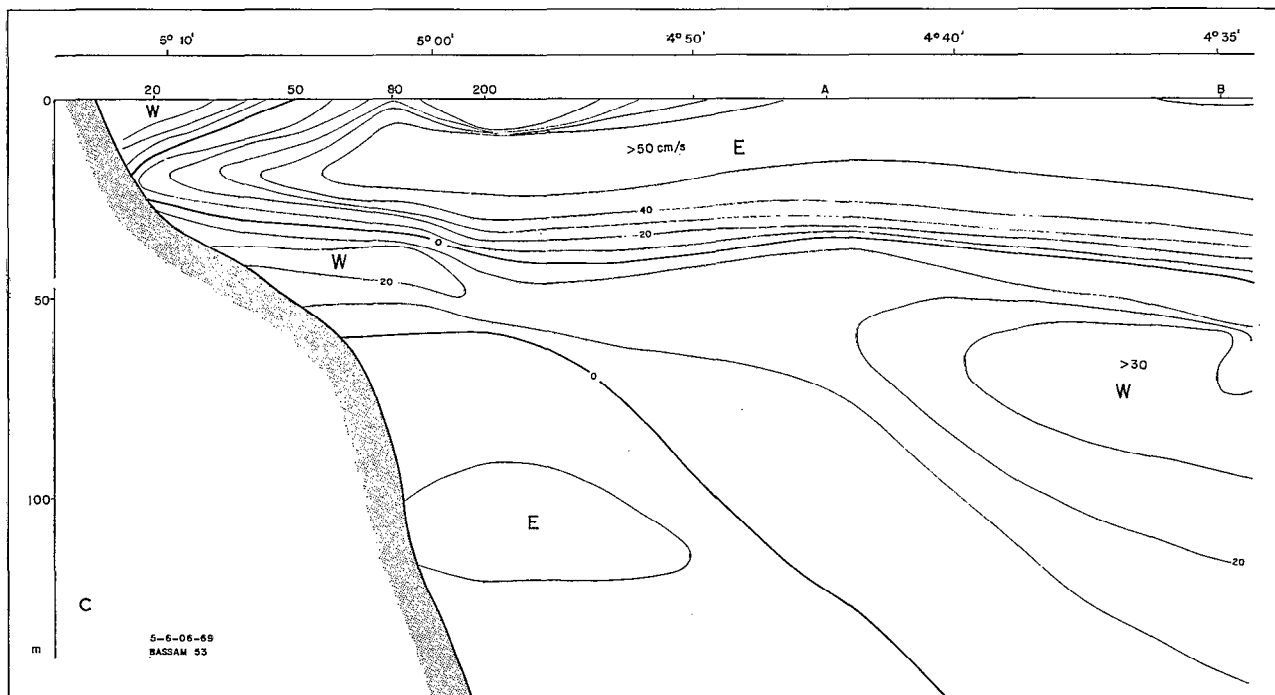


Fig. 6 c.



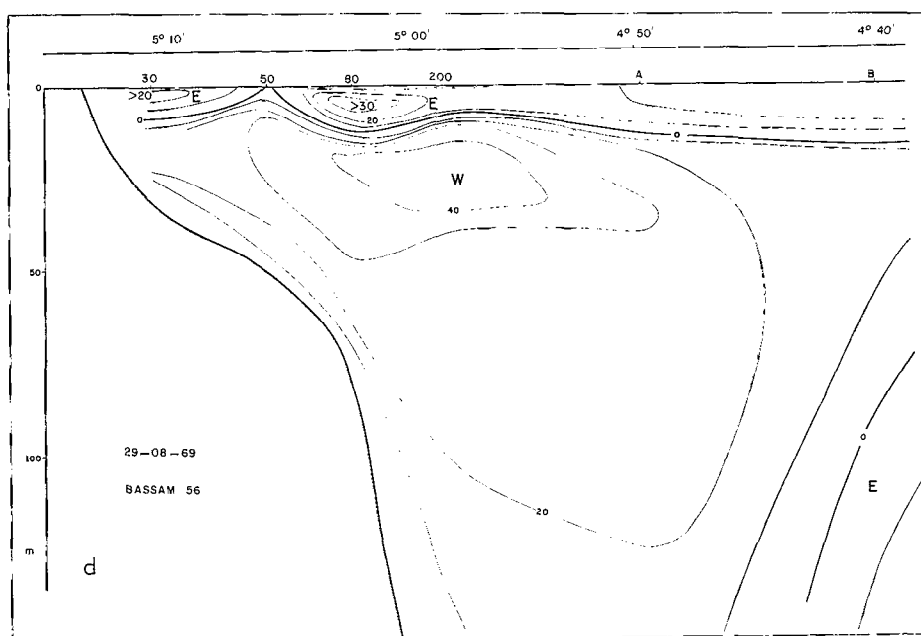


Fig. 6 d.

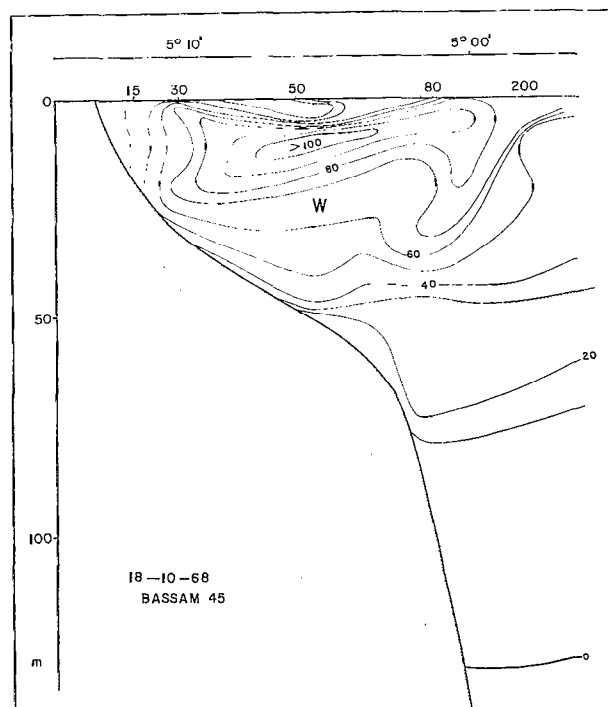


Fig. 6 e.

6.1. **La petite saison froide** a lieu au mois de janvier et s'étend jusqu'en mars. C'est la plus mal définie des saisons; elle est caractérisée par de courtes périodes d'upwelling peu intense dont la plus régulière apparaît en janvier mais qui peuvent persister jusqu'au mois de mars. La situation moyenne est représentée fig. 7 a.

Au cours de ces trois mois, le courant de Guinée est relativement faible et assez irrégulier (ces deux caractères étant d'ailleurs généralement associés). On observe souvent même quelques renverses. Le contre-courant est nettement côtier, plaqué sur le rebord du talus continental. La figure 6 a représente la situation fin mars 1969; dans les couches superficielles on observe un courant qui est voisin de 0,8 nœud alors que dans les couches plus profondes le contre-courant ouest présente une veine de vitesse supérieure à 1,2 nœud et située à une profondeur voisine de 50 mètres.

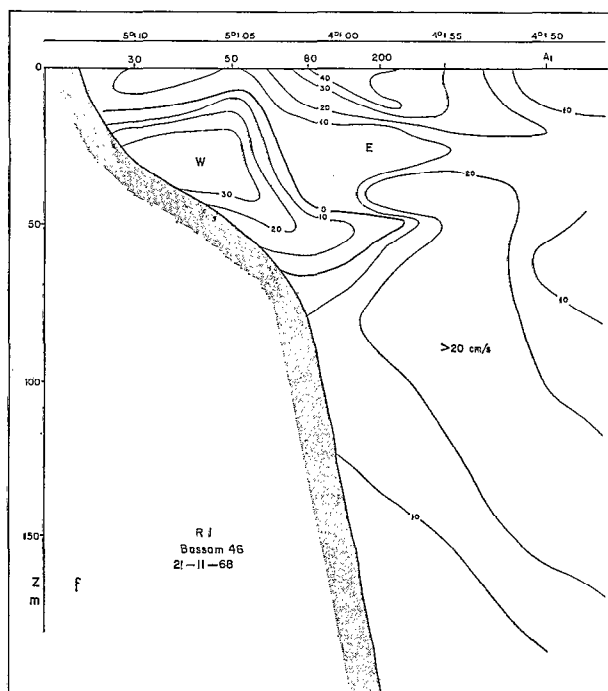


Fig. 6 f.

Pour l'ensemble de cette saison le courant de Guinée a une composante moyenne de 20 cm/s et son épaisseur est limitée à 15 m. Le contre-courant a une composante moyenne de 25 cm/s (0,5 nœud) dans sa partie centrale qui se situe à une profondeur moyenne de 40 mètres entre les stations situées sur les fonds de 50 et 80 mètres. La couche inférieure de mouvement nul atteint une profondeur voisine de 150 mètres.

6.2. **La grande saison chaude** couvre les mois d'avril, mai et juin. C'est la période durant laquelle la couche superficielle d'eau chaude devient la plus épaisse et atteint 30 m puis diminue lorsque l'upwelling prend naissance le long des côtes. Le courant de Guinée subit des fluctuations analogues. Il épaissit notablement, la limite inférieure pouvant atteindre la profondeur de 50 m en mai voire même s'étendre jusqu'au fond (Bassam 65, mai 1970), en même temps que sa vitesse augmente et dépasse un nœud (fig. 6 b et 7 b). L'augmentation de vitesse vers le large est très nette. On n'a jamais observé de renverse de courant à cette époque. C'est donc à cette saison que le courant est le mieux établi et le plus stable.

Le contre-courant est en même temps repoussé en profondeur et vers le large. La veine à vitesse maximum se situe vers 50 à 60 m et suit le bord du talus continental. Il peut être tout à fait absent du plateau et son maximum de vitesse peut donc échapper à l'observation directe lors de mesures limitées au plateau continental. Sa vitesse moyenne est voisine de 0,5 nœud, les vitesses mesurées variant entre 10 et 40 cm/s (0,8 nœud à Bassam 40, mai 1968).

6.3. **La saison de transition** illustrée par la figure 6 c se place en juin-juillet et est la période où, sous l'influence des vents de mousson, l'upwelling devient intense. Au cours de cette saison le courant de Guinée voit son extension verticale diminuer, mais atteint son maximum de vitesse (1,4 nœud). Le contre-courant se rapproche à nouveau de la côte et atteint également des vitesses importantes, voisines en moyenne de 0,8 nœud. La veine centrale peut venir se situer jusque sur les fonds de 50 m à une profondeur de 30 à 40 m. C'est la période où l'on assiste au maximum de transports dans les deux sens.

Notons que lors de Bassam 53 en juin 1969 (fig. 6 c) on a observé un contre-courant côtier en surface de 7 milles environ de largeur, ce qui est assez inhabituel à cette époque de l'année. Les composantes zonales de ce courant sont élevées (voisines de un nœud) alors que dans la veine du contre-courant subsurface qui est située à 45 m, la vitesse est inférieure à 0,5 nœud. Dans cette couche inférieure les vitesses décroissent lorsqu'on s'éloigne de la côte pour croître à nouveau à 30 milles au large où l'on aborde une couche de transport ouest dont le mécanisme de circulation est vraisemblablement différent de celui du contre-courant côtier (cf. paragraphe 8 « extension des observations vers le large »).

6.4. **La saison froide** couvre les mois de juillet à septembre. La situation, représentée par les figures 6 d et 7 c, est caractérisée par la faiblesse générale des

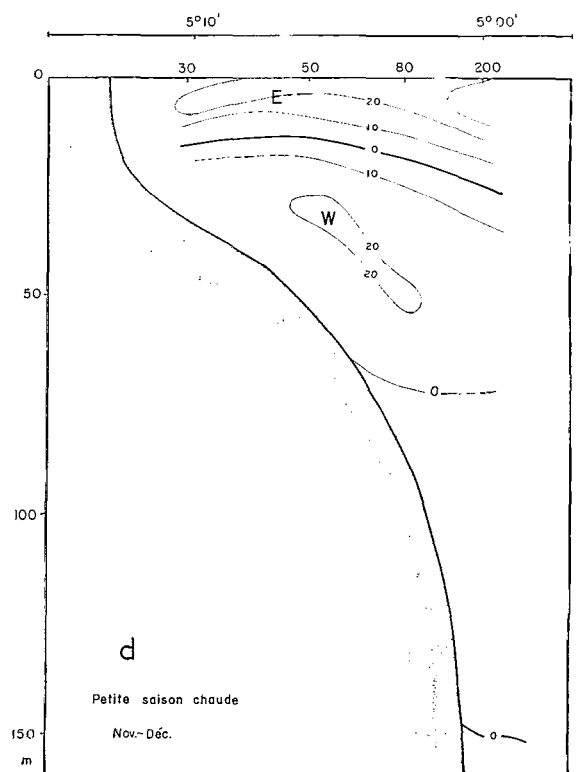
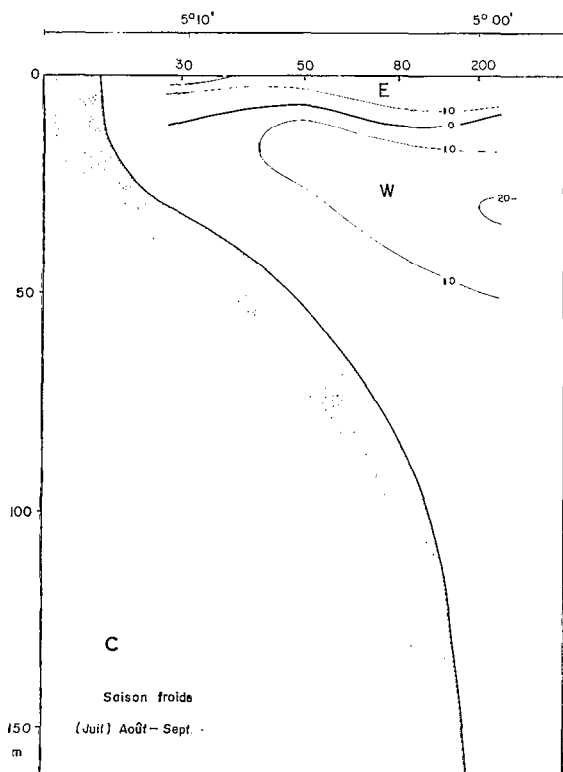
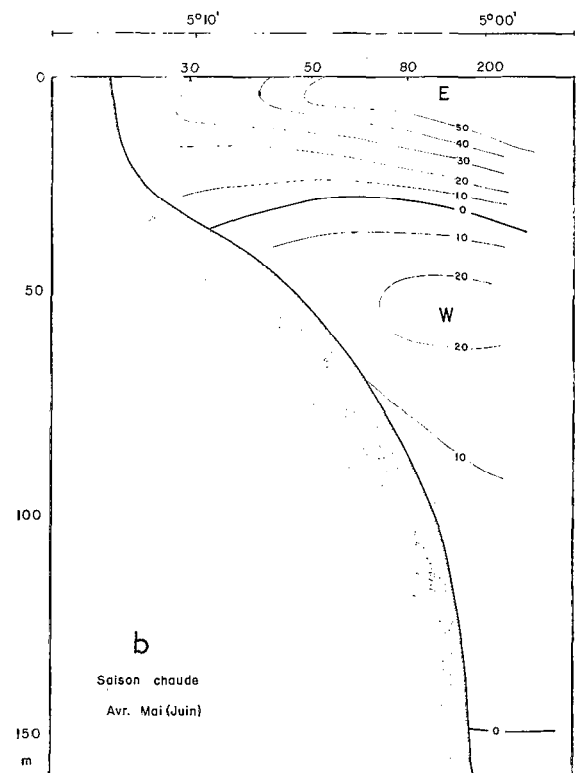
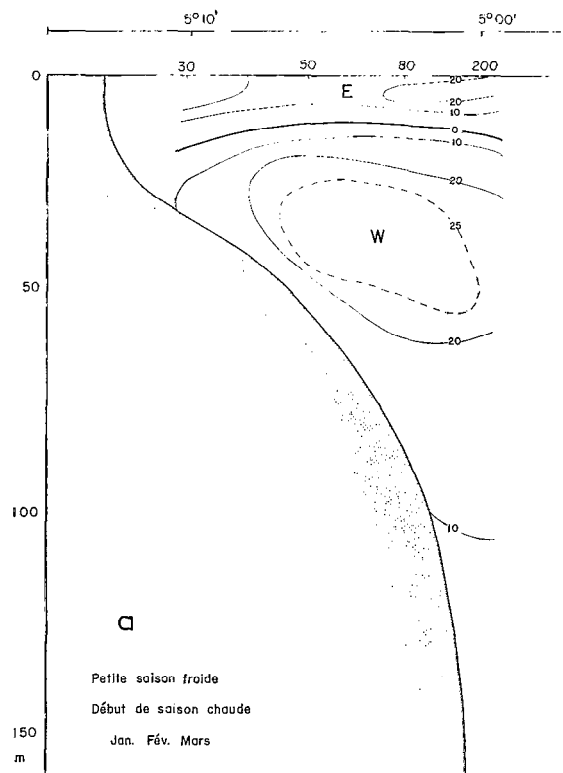


Fig. 7 a à 7 d. — Composante zonale moyenne sur Bassam (1968-1970) par saison marine.

courants. Le contre-courant se rapproche de la surface, le courant de Guinée ne faisant plus qu'une dizaine de mètres d'épaisseur. Le courant superficiel ne dépasse pas 0,5 nœud et est instable. La veine à vitesse maximum du contre-courant s'éloigne de la côte et atteint une vitesse de 0,8 nœud entre 20 et 30 m de profondeur au large (Bassam 56, Août 1969).

Il paraît assez paradoxal a priori que les courants soient aussi faibles alors que les eaux présentent des caractéristiques aussi manifestes d'un upwelling important régnant en cette saison, situation qui devrait normalement se traduire par un transport intense vers l'est. Cependant cela ne fait que confirmer une situation déjà mise en évidence aussi bien par des mesures hydrologiques classiques que par des considérations théoriques (VERSTRAETE, 1970), à savoir que l'upwelling ne se développe en réalité que dans la partie ouest de la Côte d'Ivoire. A l'est d'Abidjan et notamment dans la zone de nos mesures, le changement d'orientation de la côte tend à créer une zone neutre et même à induire le processus inverse c'est-à-dire une zone d'accumulation d'eau (« piling up »). Il est vraisemblable que sur le méridien considéré, au bout d'un laps de temps qui reste à définir il se crée un profil d'équilibre entre la tension de vent sur la surface de la mer et la pente de la surface due à l'accumulation dans la partie est qui tend à induire un courant dirigé en sens inverse.

**6.5. Une saison de transition** généralement située en octobre est caractérisée par un retour assez brutal des eaux chaudes et marquée, nous l'avons vu, par un phénomène très régulier illustré par la figure 6 e (Bassam 45, octobre 68) : le contre-courant apparaît en surface et atteint des vitesses très importantes (supérieures à 2 nœuds à 10 m de profondeur). Le courant de Guinée n'apparaît que très au sud au-delà du plateau continental et est à son minimum annuel de vitesse.

Notons que cette renverse du courant coïncide en général avec une période de vents très faibles (de l'ordre de 1 m/s). Parmi les explications possibles reposant sur cette constatation on peut donc avancer les deux hypothèses suivantes :

(a) Succédant aux vents de mousson qui ont créé une accumulation d'eau entre Abidjan et le Cap des Trois Pointes donc une pente dirigée vers le large, pendant la période des calmes se développe un courant de pente dirigé vers l'ouest, courant donc essentiellement transitoire. Cette explication a l'avantage de rendre compte de l'apparition des renverses à une autre époque de l'année, en petite saison froide où existent des conditions analogues. Une petite inversion des courants succéderait ainsi à chaque courte période d'upwelling.

(b) La seconde hypothèse plus simple est la

suivante : en cas de vents insuffisants la couche de surface qui subit un enchaînement mécanique (par friction) par le contre-courant est entraînée vers l'ouest, le moteur de ce sous-courant restant alors à définir.

Toutefois il n'est pas exclu que l'origine de ce phénomène soit à rechercher plus loin, et ici encore, seules des mesures continues de vent et de courant en cette saison pourraient contribuer à éclaircir le phénomène.

**6.6. La petite saison chaude** (fig. 6 f et 7 d) est caractérisée par un retour à une situation moyenne : courant de Guinée de 20 m d'épaisseur, vitesse supérieure à 0,5 nœud; le contre-courant côtier voit sa veine de vitesse maximale située sur le talus continental avec une composante zonale voisine de 0,5 nœud. La figure 6 f (Bassam 46, novembre 1968) met en évidence un contre-courant particulièrement bien délimité, relativement fort (0,6 nœud), mais très côtier, la couche de mouvement nul ne débordant pas le plateau continental.

## 7. VARIABILITÉ.

Si nous considérons maintenant les fluctuations des courants sur l'ensemble des observations, on remarquera la grande variabilité des composantes zonales due pour une part au phénomène de marée, mais surtout aux changements de conditions climatiques et hydrologiques modifiant le régime des courants.

L'histogramme construit à partir des fréquences des courants observés aux cours des trois années à chacune des stations du plateau continental et aux différents niveaux d'observations est présenté figure 8. Les courants (composante est-ouest) y sont groupés par intervalles de 10 cm/s. Il apparaît en général une fréquence maximale à chaque niveau pour les stations 30 m et 50 m. Par contre, aux stations 80 m et 200 m l'histogramme présente une distribution plus dispersée, avec semble-t-il l'apparition de deux modes. Cependant le nombre de données est insuffisant pour préciser la position de ces modes. Une telle distribution est toutefois très vraisemblable car, non seulement la superposition d'un courant de marée quasi-sinusoidal tend à créer une telle distribution bimodale, mais c'est de plus un caractère commun à la répartition de tous les paramètres physico-chimiques dans cette zone où l'on observe deux saisons bien marquées séparées par des périodes de transition très courtes.

On a calculé l'écart-type bien que sa signification soit réduite du fait que les distributions sont loin

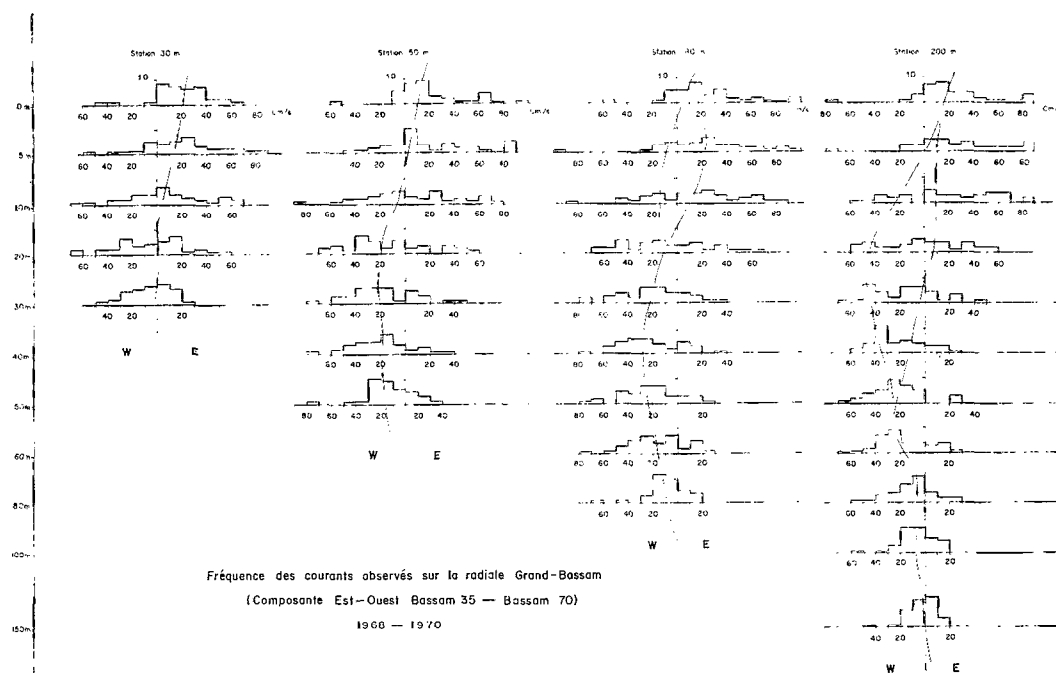


Fig. 8. — Histogramme des fréquences de courants au cours des trois années d'observation (1968-1970).

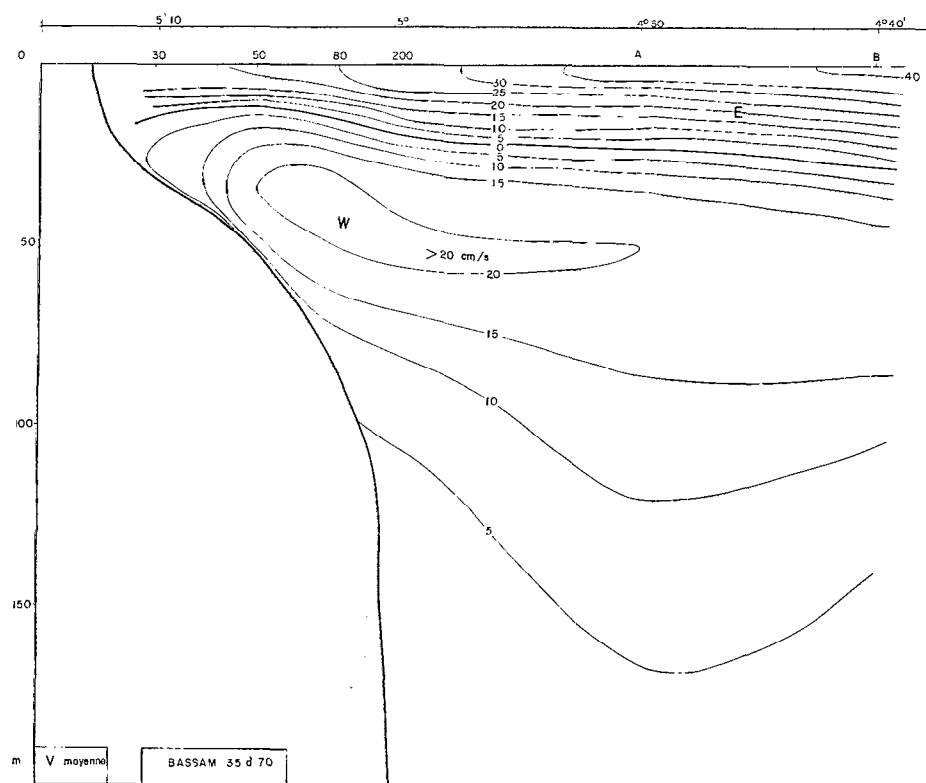


Fig. 9. — Courant moyen d'après la moyenne de toutes les observations.

d'être normales. A titre indicatif signalons toutefois qu'il varie en moyenne entre 20 et 35 cm/s. Il passe généralement par un maximum vers la profondeur 10 m; la valeur la plus élevée est  $\sigma = 39$  cm/s à 10 m à la station 200 m et le minimum est  $\sigma = 14$  cm/s à 150 m à la même station.

En surface le courant porte pratiquement toujours à l'est jusqu'au niveau 10 m. Ensuite la fréquence maximale des observations se déplace dans la zone ouest à partir de la station 50 m avec un mode voisin de 20 cm/s.

A la station 200 m on observe de façon nette deux modes qui s'écartent à partir de 10 m pour se rejoindre vers une profondeur de 50 m où l'on ne mesure pratiquement qu'un courant ouest. Le premier mode est voisin de 10 cm/s vers l'ouest, le second qui correspond aux périodes où le contre-courant se rapproche de la surface en même temps qu'il est plus intense se situe entre 40 et 50 cm/s vers l'ouest. A partir du niveau 150 m le mode devient nul, alors qu'au voisinage du fond pour les autres stations existe une plus grande fréquence d'observations de composante ouest.

Si on fait maintenant la moyenne, à chaque station et à chaque niveau, de toutes les observations recueillies au cours des trois années, on obtient une assez bonne représentation du courant moyen bien qu'elle ne corresponde à aucune situation réelle (fig. 9).

Le courant de Guinée, superficiel, forme une pellicule assez mince. Son épaisseur qui est voisine de 10 à 15 m à la côte va en augmentant vers le large pour atteindre 30 m à 30 milles au sud. Sa vitesse suit la même progression, passant de 20 à 40 cm/s entre la latitude des fonds de 30 m et 4°40' N.

Le contre-courant subsuperficiel dont la veine principale se situe vers 50 m de profondeur atteint sa vitesse maximum voisine de 25 cm/s (0,5 nœud) au-dessus du talus continental. A 30 milles au large sa vitesse est encore supérieure à 15 cm/s.

## 8. EXTENSION DES OBSERVATIONS VERS LE LARGE.

A partir de décembre 1969 les observations ont été étendues au large afin de disposer de mesures au-delà du plateau continental. Deux stations supplémentaires ont été systématiquement réalisées, la première — dite station A — à 4°50' N environ, la deuxième — station B — à 4°40' N soit à plus de 30 milles de la côte.

Le but de l'opération était d'atteindre la limite sud du contre-courant, dans l'hypothèse où ce courant

était un courant de compensation purement côtier. En fait le système s'est avéré plus compliqué que prévu, et nous avons vu qu'en plus du contre-courant côtier il semble exister au large un contre-courant subsuperficiel que nous avons appelé « Contre-Courant de Guinée ».

La figure 10 qui représente la composante zonale est-ouest à la station B est semblable à la figure 5 (courants à la station 200 m) avec toutefois des différences qui apparaissent surtout en profondeur et qui correspondent aux époques où le contre-courant, bien individualisé, est situé entièrement sur le plateau continental (octobre 1970 - mai 1970).

La vitesse moyenne du courant de surface est représentée figure 11, d'une part sur le plateau continental (moyenne des 4 stations) d'autre part aux stations A et B (moyenne des deux stations).

Les variations des deux courbes sont très voisines, les vitesses étant très généralement supérieures de 10 à 20 cm/s au large par rapport au plateau. On peut noter cependant des écarts importants, surtout à l'époque janvier-février, qui atteignent 60 cm/s (janvier 1969). Les vitesses les plus élevées sont observées en juin 1969 et 1970 (plus de 100 cm/s au large) avec également un maximum secondaire en janvier-février : 80 cm/s observés en 1969. De même qu'à la côte, c'est en octobre-novembre que les minima de vitesses sont atteints en surface.

Une section (Bassam 54) allant de la côte jusqu'à la zone de la convergence tropicale a été réalisée en juin 1969 avec des stations espacées de 25 à 30 milles. Elle a permis d'atteindre l'extrémité sud du courant de Guinée c'est-à-dire la zone où celui-ci entre en contact avec le courant sud-équatorial de direction générale ouest à nord-ouest. Entre la côte et cette zone de convergence située entre 3°00' N et 3°30' N, le courant de Guinée dont la vitesse est maximum (140 cm/s) entre 4°45' N et 5° N c'est-à-dire à 15 milles de la côte, s'affaiblit progressivement vers le sud et s'annule vers 3°15' N. Son épaisseur qui ne dépasse pas 10 m sur le plateau continental augmente très rapidement au-delà du talus pour rester constante et voisine de 50 m (fig. 12). Le contre-courant est fort (80 cm/s), bien délimité dans la zone continentale et disparaît pratiquement vers le sud (10 cm/s à la station A).

Cependant à partir de la station B, il existe sous le courant de Guinée un contre-courant dirigé vers l'ouest de vitesse assez faible mais supérieure à 10 cm/s et qui entraîne une masse d'eau importante puisque cette composante zonale a été mesurée sur plus de 200 m d'épaisseur. Cette couche subsuperficielle est reliée, sans solution de continuité semble-t-il, au courant sud équatorial dans la zone de convergence.

La coupe verticale des salinités concernant cette

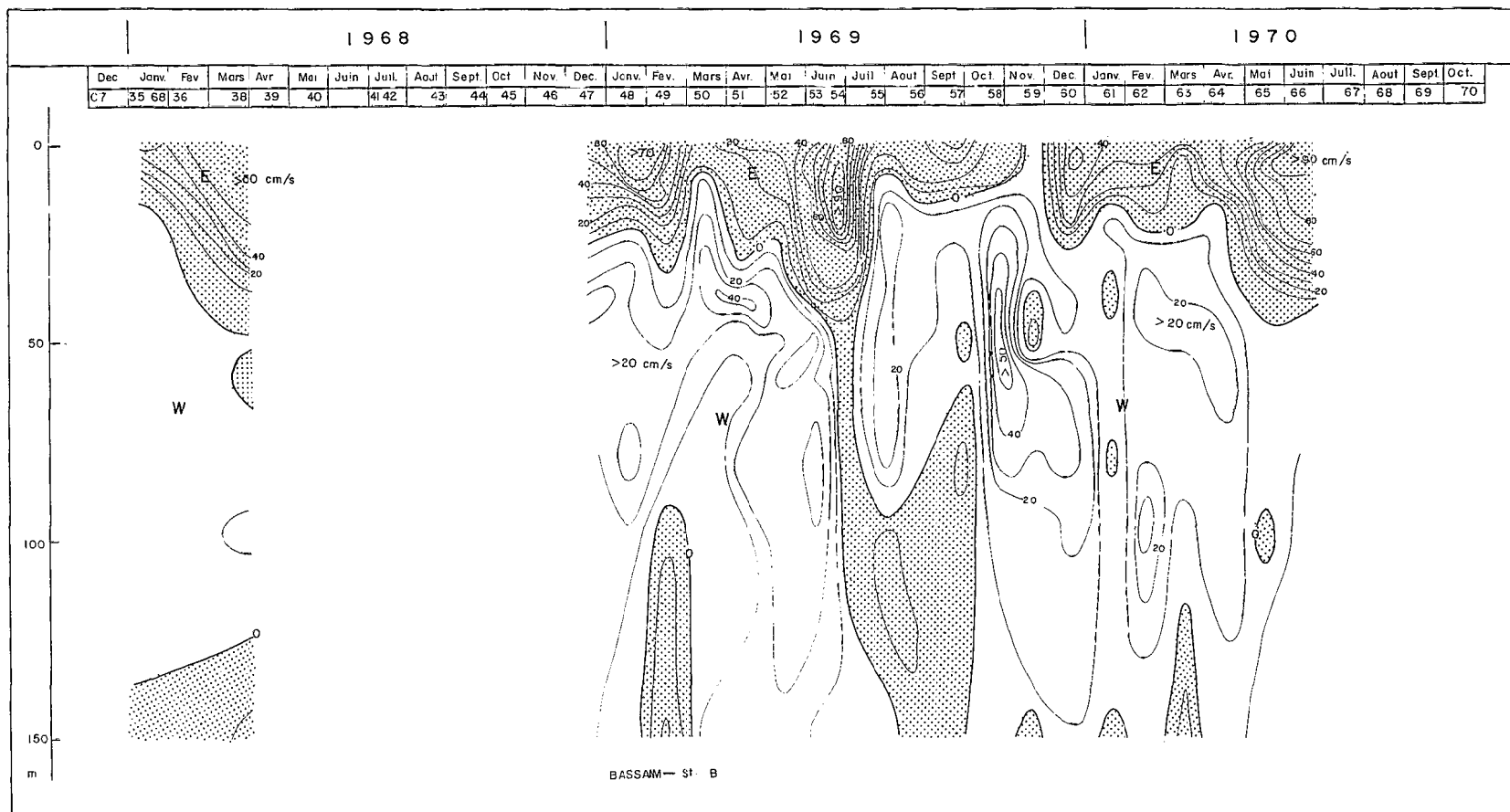


Fig. 10. — Composante zonale du courant à la station Bassam B (cm/s).

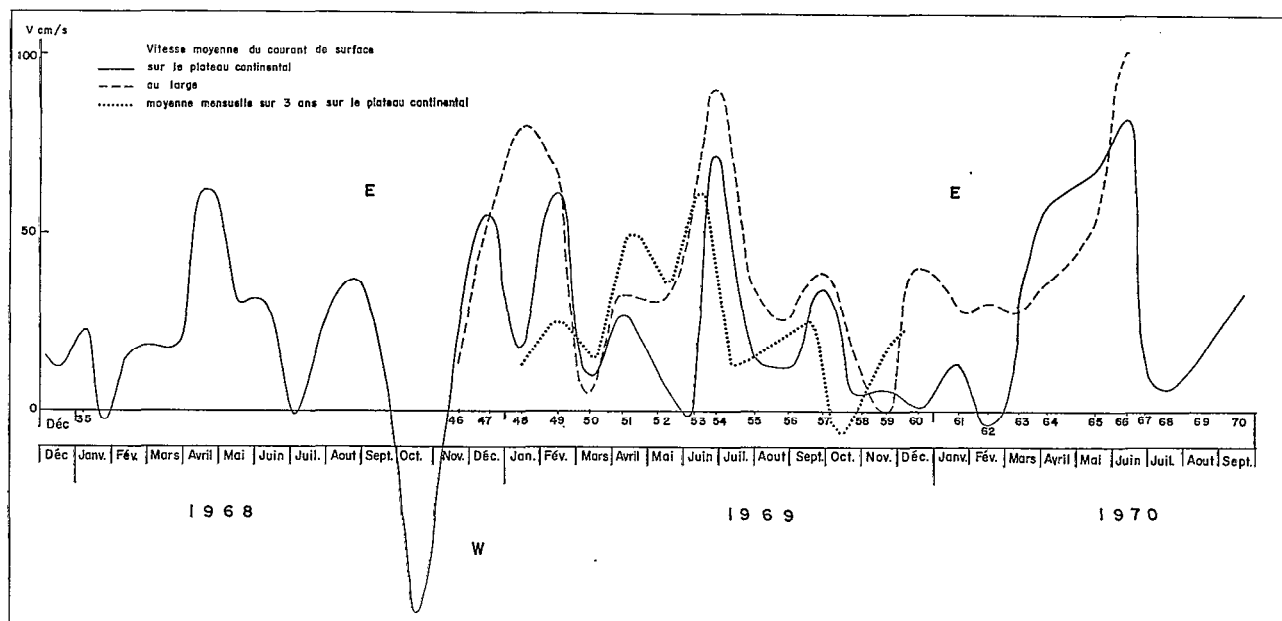


Fig. 11. — Vitesse moyenne du courant de surface.

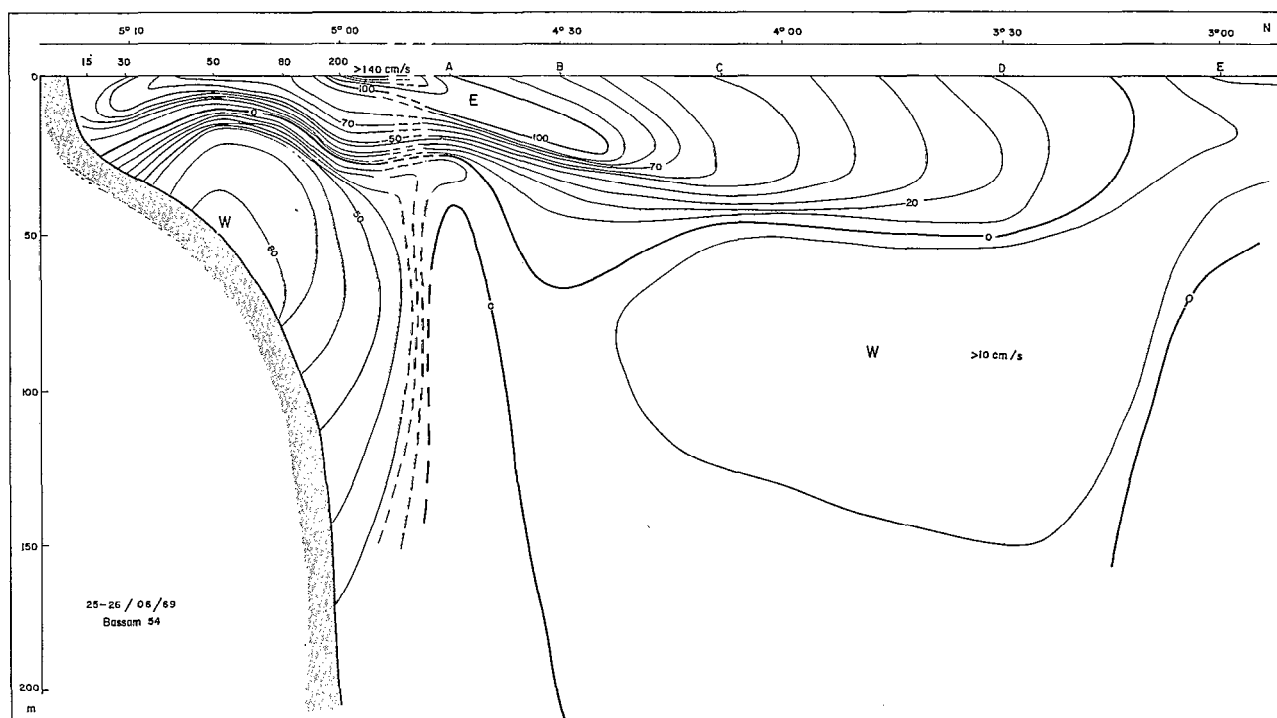


Fig. 12. — Composante zonale du courant sur Bassam 54 (cm/s).



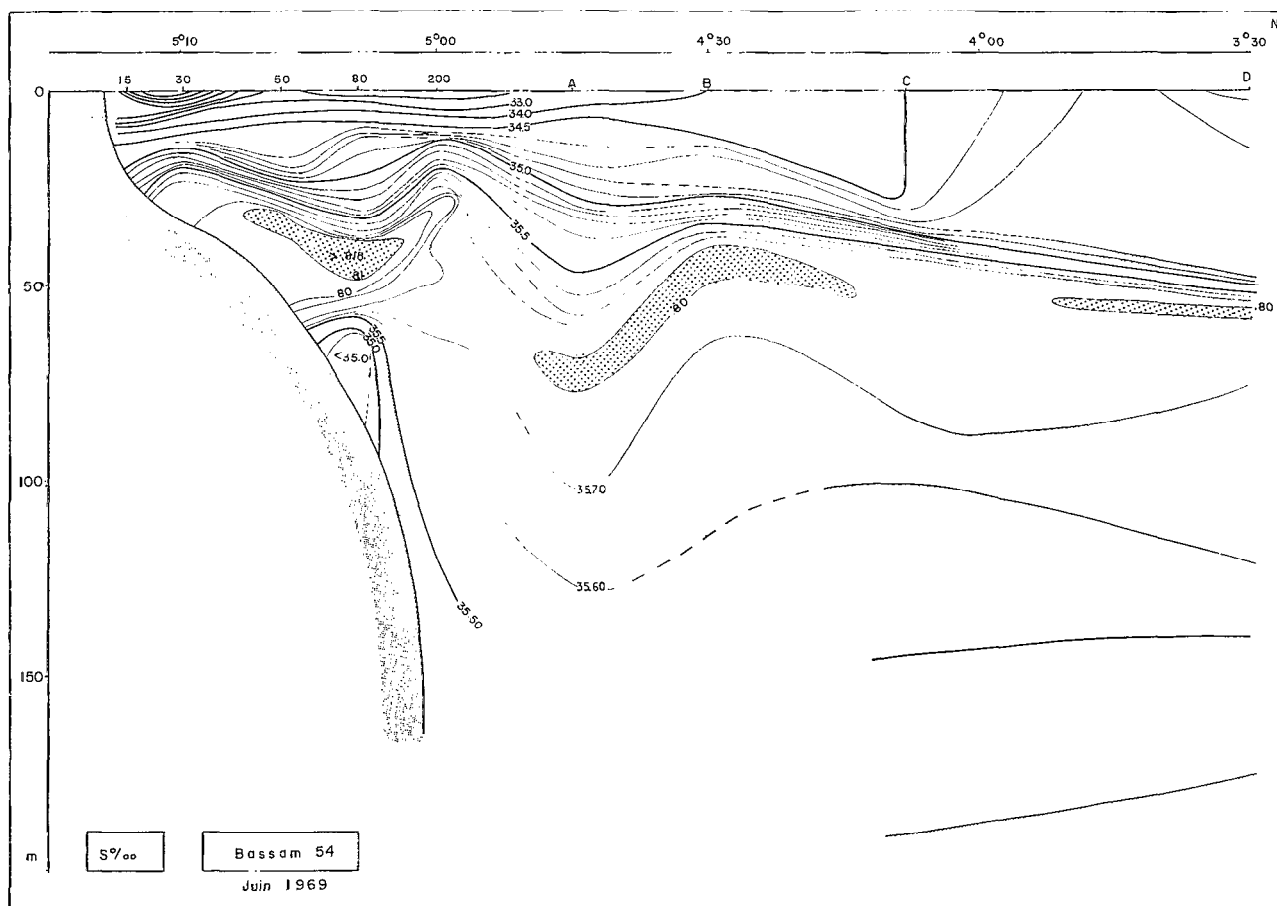


Fig. 13. — Distribution verticale de la salinité sur Bassam 54.

section (fig. 13) est particulièrement intéressante car elle met en évidence l'association d'un noyau à maximum de salinité avec le contre-courant côtier à une profondeur moyenne de 40 m, soit juste au-dessus de la veine à vitesse maximale. La salinité de ce noyau est supérieure à  $35,81\text{‰}$  et l'isohaline  $35,80\text{‰}$  a la même extension en latitude que l'isotache 80 cm/s. Le maximum de salinité décroît ensuite vers le sud et passe à des valeurs inférieures à  $35,80\text{‰}$ . La profondeur de ce maximum est voisine de 50 m à la station B et de 60 m à la station A. Il se trouve donc au sommet de la couche de courant ouest de faible vitesse que nous avons appelé « Contre-Courant de Guinée ».

La section suivante, Bassam 55, réalisée un mois plus tard est également intéressante car elle a coïncidé avec une campagne (PK 02, juillet 1969) qui a eu lieu sur le plateau continental entre le Cap des Palmes et le Cap des Trois Pointes et sur laquelle nous reviendrons par la suite. La figure 14 représente

la distribution verticale de la composante est-ouest. On retrouve le noyau de vitesse maximum ouest vers 15 m de profondeur (un nœud) sur le plateau continental et un second au large à une profondeur bien supérieure (150 m) où on observe un courant important vers l'ouest (supérieur à 60 cm/s) qui serait le contre-courant profond dont nous avons signalé l'existence précédemment. Cette forte valeur est assez suspecte du fait même de la technique de mesure employée, dite de « courantométrie différentielle ». Toutefois la répétition de résultats semblables au cours de l'ensemble des observations couvrant une année de mesures permet d'accorder un certain crédit à cette méthode et rend l'existence de ce transport ouest profond très probable.

La figure 15 représente les salinités sur cette même radiale; on observe à nouveau un maximum bien net le long de la côte ( $>35,83\text{‰}$ ) séparé du maximum de salinité observé plus au large ( $35,78\text{‰}$ ) par une zone où le maximum est plus faible ( $35,76\text{‰}$ )

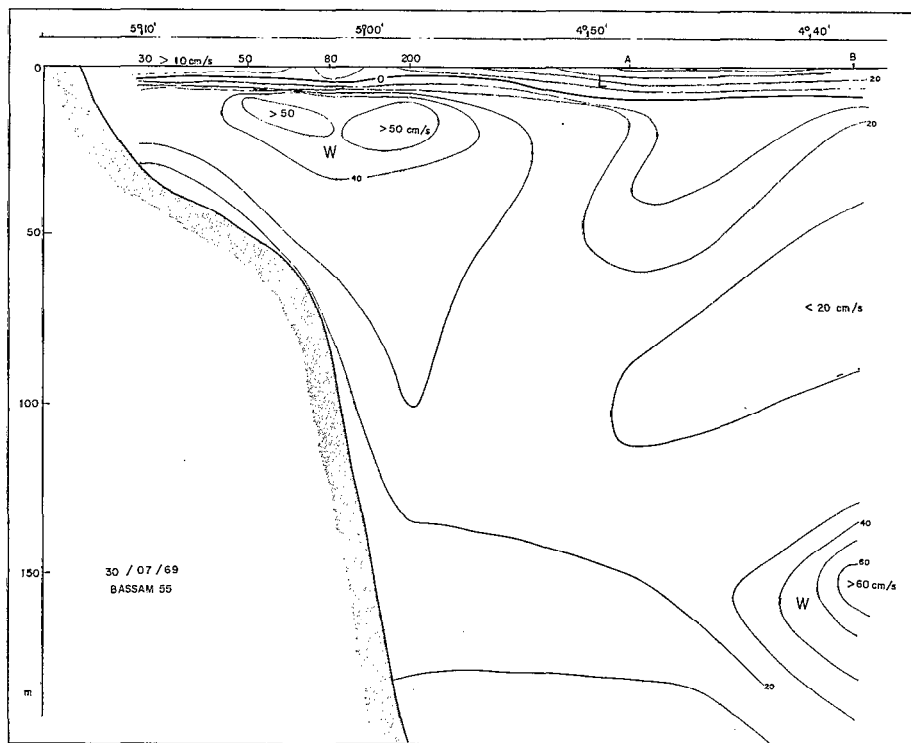


Fig. 14. — Composante zonale du courant sur Bassam 55 (cm/s).

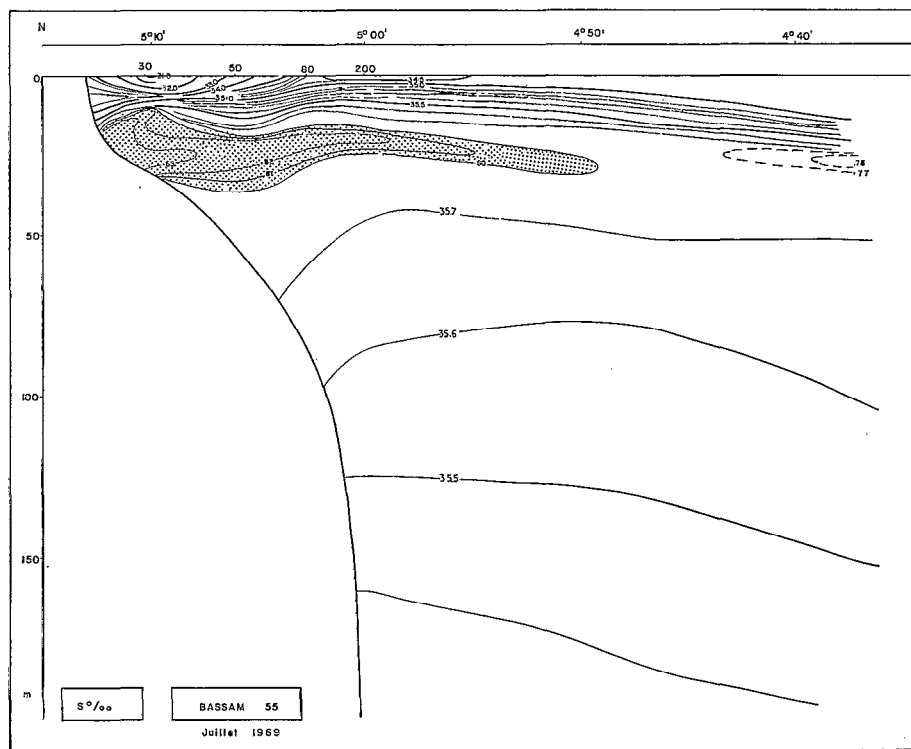


Fig. 15. — Distribution verticale de la salinité sur Bassam 55.

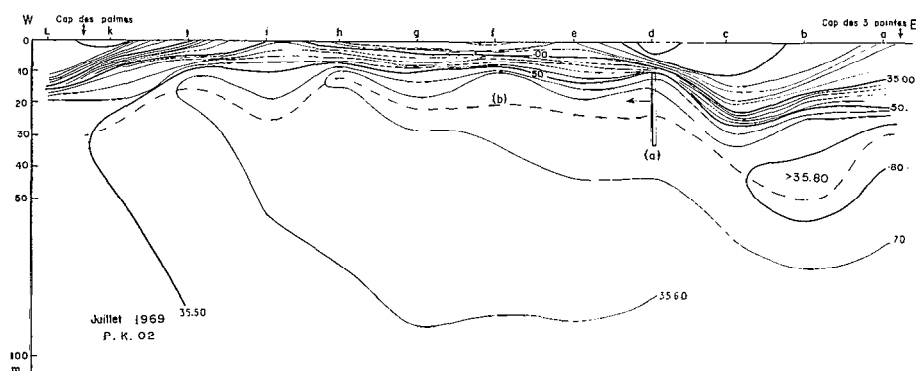


Fig. 16. — Salinités le long du rebord du plateau continental (Stations 200 m). a — position de l'isotache 50 cm/s. b — maximum de salinité.

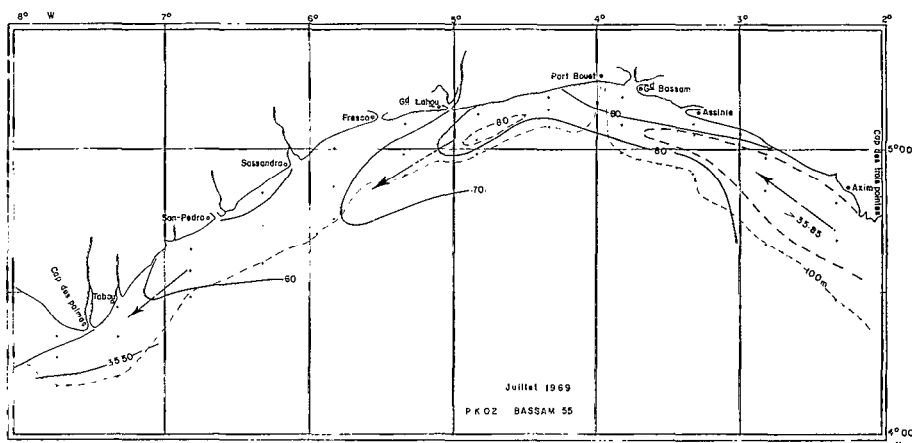


Fig. 17. — Extension du maximum de salinité le long du plateau continental.  
N. B. — Les latitudes ont été multipliées par 2 pour éviter d'avoir un schéma trop étiré.

Il est à noter que si ce maximum côtier isolé a parfois échappé aux descriptions générales de la région, c'est qu'il n'est différencié du maximum observé au large que par quelques centièmes de salinité. Cependant, contrairement à ce que nous venons de voir pour ces courants, vu la précision des analyses la différence est ici tout à fait significative.

Les figures 16 et 17 démontrent clairement que ce maximum de salinité est entraîné vers l'ouest par le contre-courant. Ces deux figures représentent la coupe verticale des salinités le long de la ligne des stations 200 m lors de la campagne PK 02 citée ci-dessus et la distribution horizontale du maximum de salinité au cours de la même campagne devant le littoral ivoirien.

Une langue dont la salinité d'origine est supérieure à  $35,80\text{‰}$  est entraînée vers l'ouest le long de la côte et sa salinité décroît d'est en ouest pour atteindre

$35,54\text{‰}$  au Cap des Palmes. La couche à vitesse maximale représentée par le trait vertical (a) sur la figure 16 est située entièrement dans la zone du maximum de salinité entre les isohalines  $35,70\text{‰}$  et  $35,50\text{‰}$ . On remarquera la rapidité de la diminution des salinités, ce qui dénote des mélanges verticaux et horizontaux particulièrement intenses. La campagne est en effet réalisée en pleine période d'upwelling.

## 9. EXTENSION LONGITUDINALE DU CONTRE-COURANT.

Un certain nombre de mesures ont été faites vers l'est et l'ouest pour déterminer les limites du contre-courant. Une première série d'observations avait été réalisée en décembre 1967 et janvier 1968

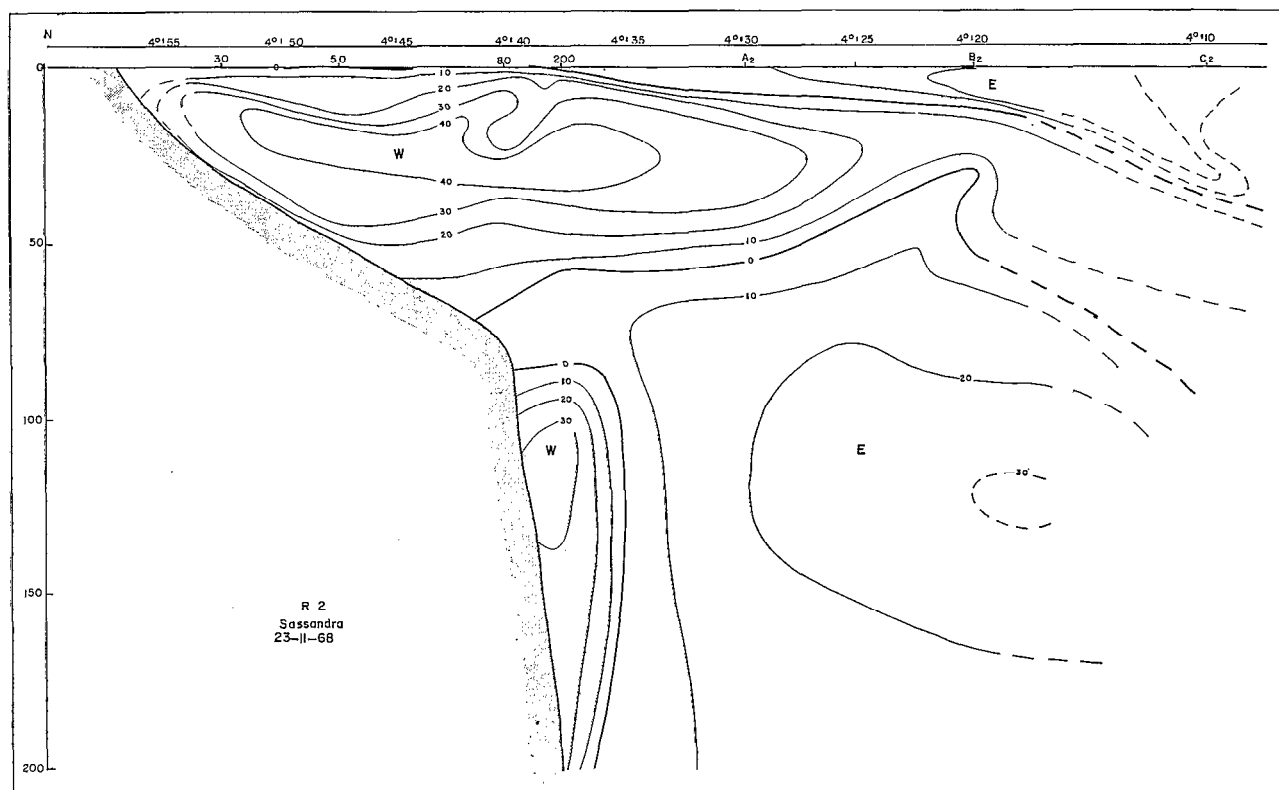


Fig. 18. — Composante zonale de la vitesse le long de R2 (cm/s).

(LEMASSON et REBERT, 1968) entre le Cap des Palmes et Accra. Une nouvelle série de mesures a été entreprise en novembre 1968 pour étudier la zone de disparition présumée du contre-courant, vers le Cap des Palmes.

La radiale R1 (Bassam, fig. 6 f) montre le contre-courant bien individualisé sur le plateau continental, la veine principale se trouvant à 40 m de profondeur, et limité vers le sud aux fonds de 200 m. La radiale R2, réalisée plus à l'ouest au large de Sassandra (fig. 18) est intéressante.

On retrouve le contre-courant sur le plateau continental vers la même profondeur, mais sa vitesse est plus élevée (supérieure à 40 cm/s). D'autre part sa limite sud n'a pas été trouvée. Un phénomène particulier à cette section est l'existence entre 80 mètres et 200 mètres de profondeur sur le talus continental d'un deuxième contre-courant profond dont la veine centrale se trouve vers 120 m de profondeur et qui atteint des vitesses supérieures à 30 cm/s. Par contre aucun transport ouest en profondeur n'est observé au large et le courant de Guinée n'apparaît pas sur le plateau continental.

La troisième section R3 (fig. 19 a) effectuée devant

le Cap des Palmes indique une structure assez différente de celle de R2 : le contre-courant est extrêmement côtier. On le trouve vers 25 m de profondeur sur les fonds de 30 m et sa vitesse est voisine de 30 cm/s. Le courant de surface est beaucoup plus développé et le contre-courant subsuperficiel que l'on trouve vers 25 m de profondeur et dont la vitesse est voisine de 30 cm/s est peu épais et très côtier. On retrouve au large à des profondeurs supérieures (entre 40 et 200 m) un deuxième contre-courant de vitesse supérieure à 40 cm/s qui peut correspondre à la partie profonde du contre-courant observé sur la radiale précédente.

On retrouve sur R4, radiale faite à l'ouest du Cap des Palmes (fig. 20 a) une structure analogue. Le contre-courant côtier, très réduit (20 cm/s et moins de 10 milles de largeur), arrive même en surface et la circulation profonde vers l'ouest que l'on observe entre 80 m jusqu'à plus de 200 m est maintenant entièrement séparée du contre-courant côtier.

La radiale R3 a été refaite deux jours après la première série de mesures (cf. tableau 3), et est illustrée par la figure 19 b (R'3).

La situation a légèrement évolué par rapport aux

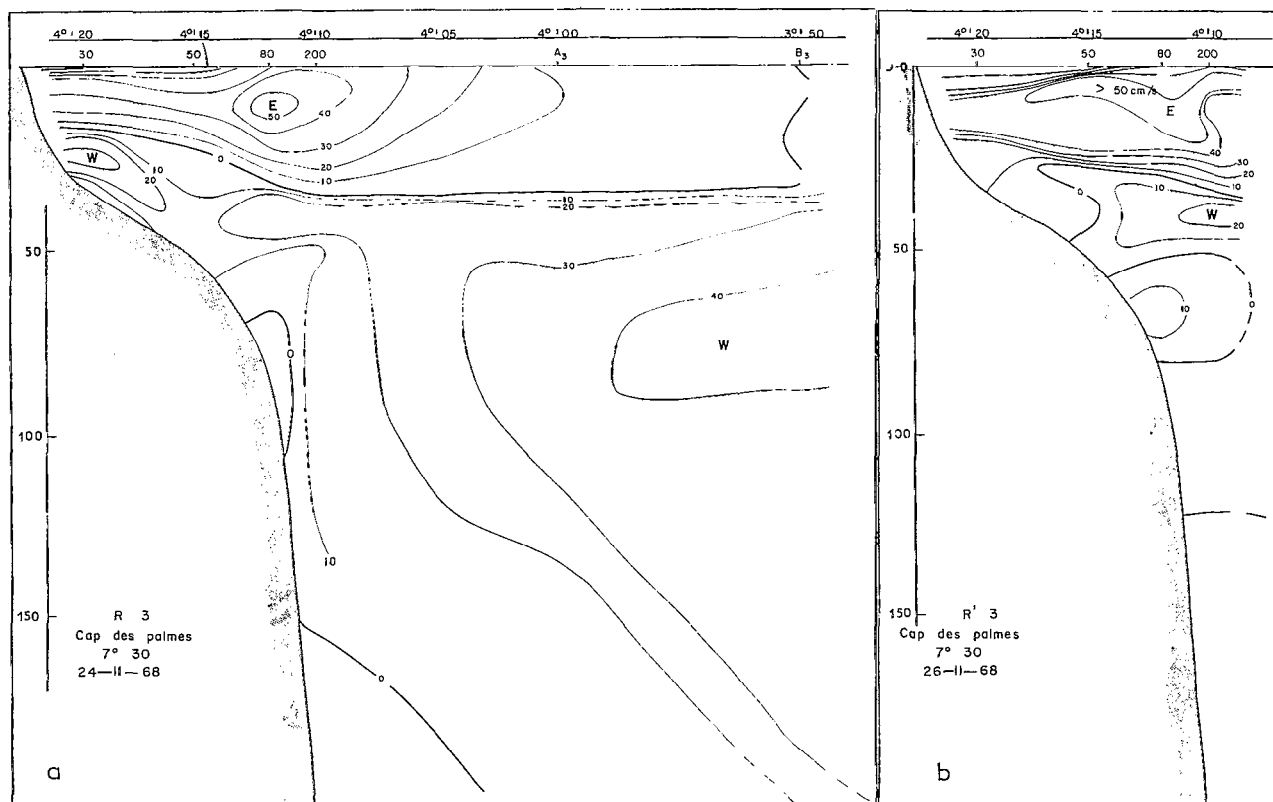


Fig. 19. — Composante zonale de la vitesse le long de R3 et R'3 (cm/s).

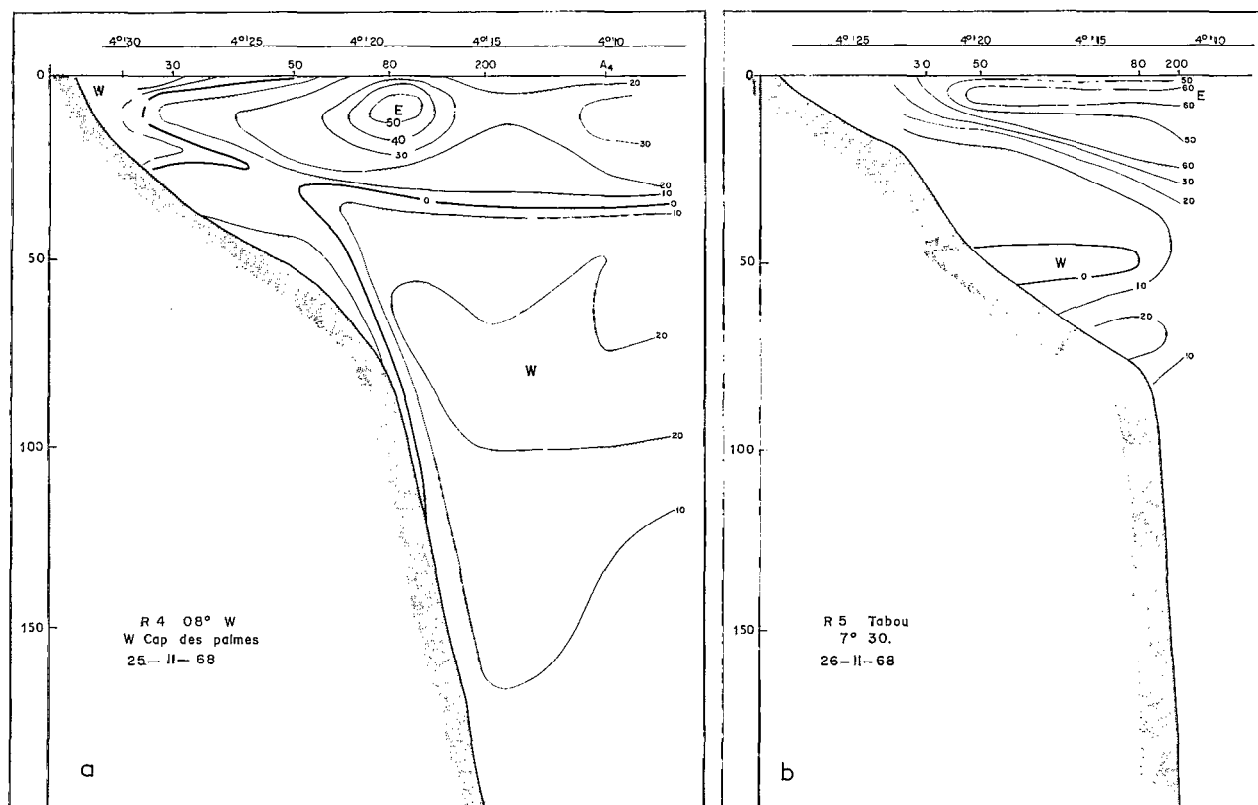


Fig. 20. — Composante zonale de la vitesse le long de R4 et R5 (cm/s).

TABLEAU 3

R1	R2	R3	R4	R'3	R5
Bassam 46	Sassandra	Cap des Palmes 7°30	W du Cap des Palmes	Cap des Palmes	Tabou
21/11 à 15.25 au 22/11 à 04.00	22/11 à 23.00 au 23/11 à 21.00	24/11 à 09.40 au 25/11 à 02.40	25/11 à 10.20 au 26/11 à 13.30	26/11 à 06.50 au 26/11 à 13.30	26/11 à 16.05 au 27/11 à 01.00

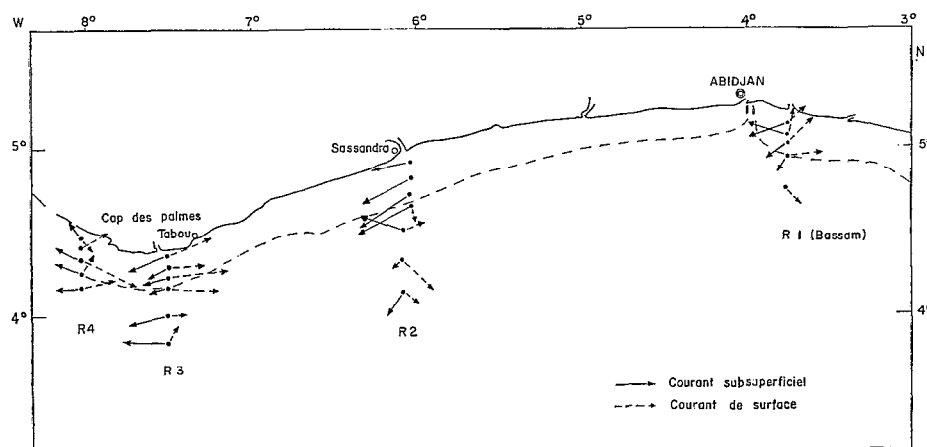


Fig. 21. — Courant moyen dans la couche à vitesse maximale en surface et dans le sous-courant.

observations précédentes. Le contre-courant côtier s'est déplacé des fonds de 30 m vers le large et on trouve une veine de vitesse voisine de 20 cm/s sur les fonds de 200 m. En surface le courant de Guinée conserve les mêmes caractéristiques.

Une radiale R5 exécutée alors un peu plus à l'est, devant Tabou (fig. 20 b) montre que le contre-courant côtier a pratiquement disparu. Les mesures n'ont malheureusement pu être poursuivies au large, afin de confirmer l'existence du contre-courant profond.

Les vecteurs courants correspondant à la veine centrale (maximum de vitesse) du courant de Guinée et du contre-courant ont été reportées figure 21 pour les radiales R1-R2-R3-R4. Toutes ces mesures attestent l'extrême variabilité des courants aussi bien dans le temps que dans l'espace. La comparaison des structures sur R3 montre d'ailleurs à quel point la situation peut évoluer en 36 heures. Le contre-courant côtier en particulier suit certainement un trajet en méandres.

En amont du contre-courant à l'est de la Côte d'Ivoire une radiale a été faite en avril 1969 devant Accra à la longitude 0° (fig. 22) sur laquelle a été

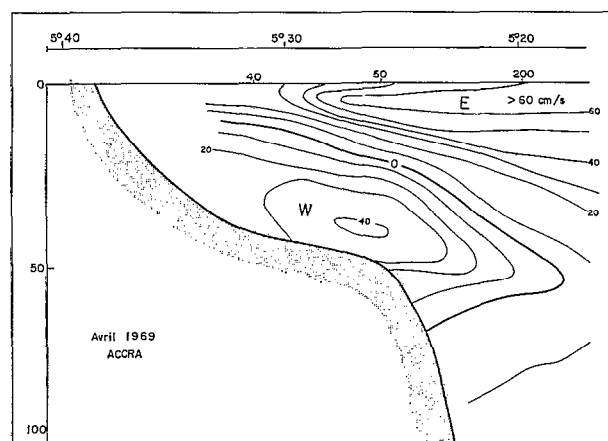


Fig. 22. — Composante zonale de la vitesse devant Accra (longitude 0°) en avril 1969.

observé un contre-courant côtier de vitesses supérieures à 40 cm/s, donc nettement plus fort que celui observé au cours de la campagne de janvier 1968

(LEMASSON-REBERT, 1968). D'autres radiales faites devant Lomé et Cotonou ont également indiqué un transport subsuperficiel vers l'ouest, mais les courants observés étaient très faibles tant pour le courant de Guinée que pour le contre-courant. Ils ne permettent pas d'établir un schéma cohérent. Il est vraisemblable que la région de Cotonou située au fond du Golfe du Bénin, région où l'upwelling du Ghana ne se fait plus sentir, soit la zone d'origine du « sous-courant ».

## 10. COMPOSANTE MÉRIDIENNE.

La composante méridienne des courants, c'est-à-dire perpendiculaire à la côte, est beaucoup plus faible que la composante axiale : environ 5 à 10 fois. Elle est de l'ordre ou même plus souvent inférieure à la composante transversale du courant de marée. On ne peut donc espérer faire une étude critique de

chaque cas. Pour réduire l'influence de la marée nous avons fait la moyenne à chaque niveau des composantes nord-sud pour les quatre stations réalisées sur le plateau continental en nous limitant aux 50 premiers mètres. La distribution spatio-temporelle de cette moyenne est représentée figure 23.

Cette composante est en général faible (inférieure à 10 cm/s) sauf en juin 1969 et juin 1970 où l'on observe des vitesses supérieures à 30 cm/s vers le sud. Le phénomène semble donc régulier et coïncide très logiquement avec l'époque où l'upwelling est à son maximum de développement.

Les composantes moyennes mensuelles nord-sud calculées avec les trois années d'observations sont représentées figure 24. On retrouve ce phénomène caractéristique de transport vers le sud : dans la couche des dix premiers mètres il existe un transport vers le sud de vitesse supérieure à 10 cm/s, d'avril à juin, c'est-à-dire depuis le début de l'établissement de l'upwelling jusqu'à l'arrivée en surface des eaux

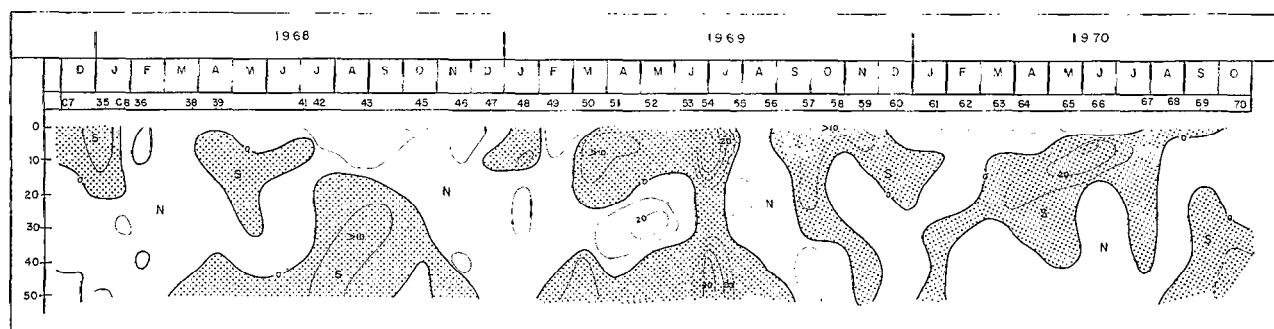


Fig. 23. — Composante méridienne du courant sur Bassam (cm/s).

froides. Le diagramme confirme également qu'en pleine saison froide (juillet-août) l'upwelling a pratiquement cessé devant Abidjan. Les autres valeurs voisines de 5 cm/s sont trop faibles pour avoir une quelconque signification.

La spirale d'Ekman — c'est-à-dire la distribution verticale à chaque station des vecteurs courants — projetée sur un plan horizontal a été établie en construisant les vecteurs moyens à chaque profondeur des quatre stations pour l'ensemble des observations (fig. 25). On remarquera la similitude des quatre figures. Les spirales sont dans l'ensemble très aplaties et orientées est-ouest. Le courant de Guinée est stable et maximum entre 0 et 5 m. Il décroît très rapidement ensuite. Il est à noter que sa direction, qui est ouest sur les fonds de 30 à 50 m s'infléchit

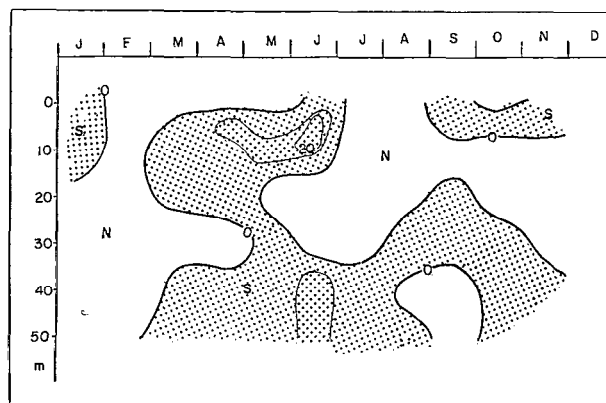


Fig. 24. — Composante méridienne moyenne du courant sur Bassam (1968-1970).

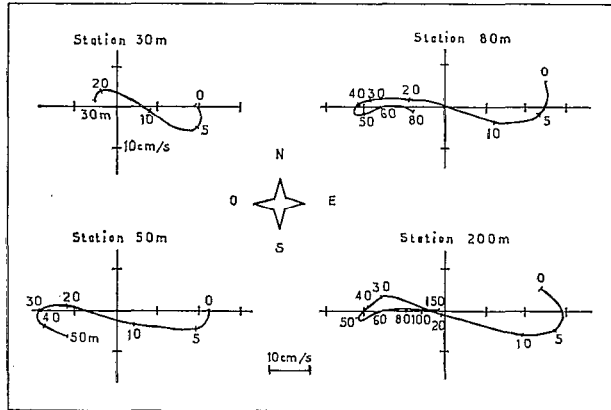


Fig. 25. — Hodographe du courant moyen calculé sur les 3 années d'observations.

vers le nord plus au large, ce qui semble indiquer en moyenne une légère convergence sur la plateau conti-

nental — convergence que l'on observe d'ailleurs très généralement entre deux zones d'upwelling, l'une très côtière et l'autre située sur le talus dans le cas présent (fig. 29). Entre 5 et 20 mètres le transport moyen est dirigé vers le sud et le contre-courant dont le maximum de vitesse est situé entre 30 et 60 m est dirigé plein ouest avec un léger transport vers le nord dans sa partie supérieure.

## 11. TRANSPORTS.

Les débits des courants ont été calculés sur le plateau continental limité arbitrairement par la ligne des 200 m. Le calcul a été fait par simple intégration des vitesses aux quatre stations 30-50-80 et 200 m. La variation de ces débits entre 1968 et 1970 est représentée figure 26 a et le transport global — différence entre les deux — sur le plateau continental figure 26 b.

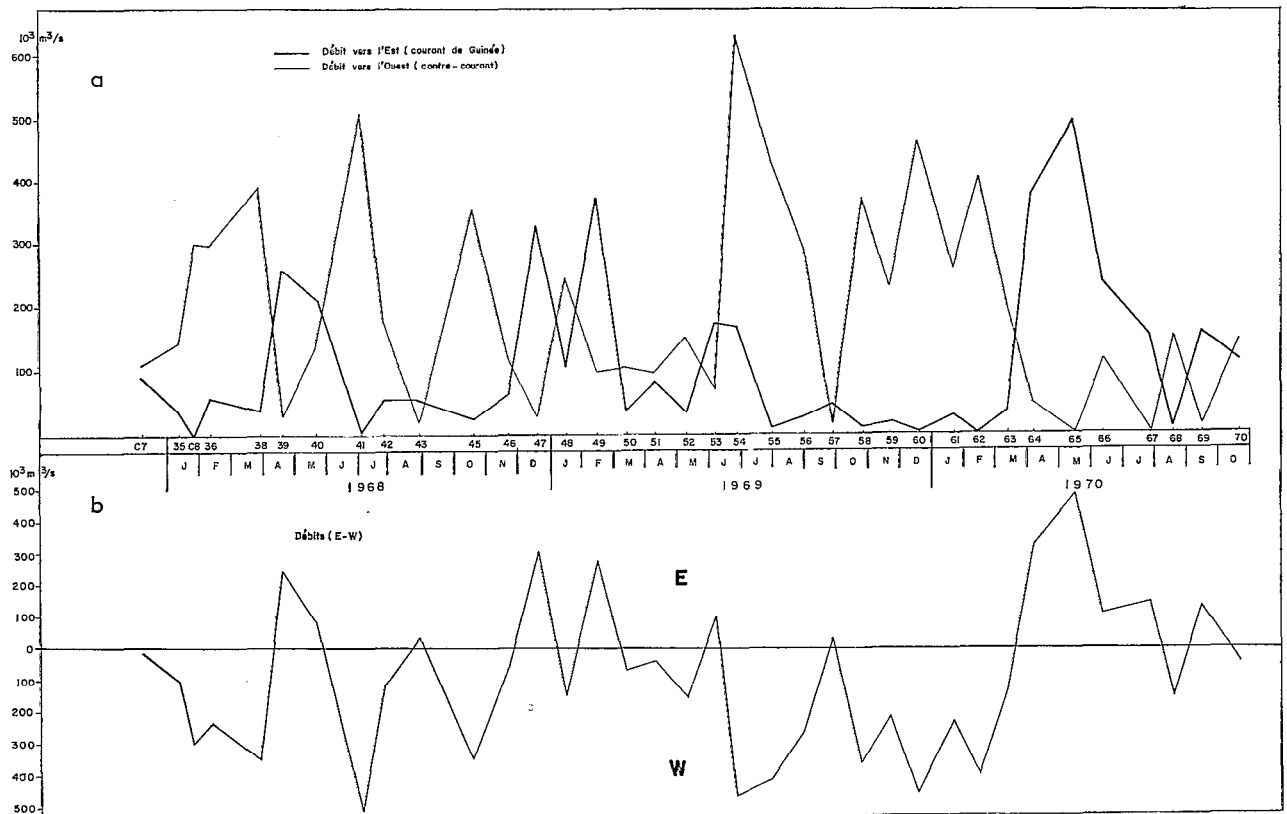


Fig. 26. — a) Débit du courant de Guinée et du sous-courant ; b) Bilan du transport zonal.



Ces transports sont très variables, passant de 0 à  $0,49 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$  pour le courant de Guinée (valeur maximum observée en mai 1970) et de 0 à  $0,62 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$  pour le contre-courant (maximum en juin 1969). Le débit moyen du courant de Guinée sur trois ans est voisin de  $112.000 \text{ m}^3/\text{s}$  et pour le « sous-courant » de  $202.000 \text{ m}^3/\text{s}$ , ce qui donne un transport total moyen de  $90.000 \text{ m}^3/\text{s}$  vers l'ouest. Il est à noter que si le débit du courant de Guinée est calculé par l'intégration des vitesses sur la coupe moyenne (fig. 9) on obtient un résultat légèrement inférieur mais plus représentatif de la moyenne; en effet les valeurs négatives (transport vers l'ouest) sont prises pour nulles dans le premier type de calcul. On retiendra donc les chiffres approximatifs de  $100.000 \text{ m}^3/\text{s}$  pour le courant de Guinée et  $200.000 \text{ m}^3/\text{s}$  pour le contre-courant subsuperficiel.

Le débit du courant de Guinée calculé d'après Bassam 54, radiale qui s'étend le plus au sud, donne un transport global entre la côte et la limite sud de ce courant de  $3,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ . Étant donné la vitesse du courant à la saison à laquelle a été réalisée cette radiale on peut considérer cette valeur comme proche du maximum de débit possible du courant de Guinée. Ce débit est donc faible comparé à celui d'autres grands courants océaniques (courant de Benguela  $15 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Toujours sur cette même radiale le débit du contre-courant calculé en prenant comme limite sud la station A ( $4^\circ 45' \text{ N}$ ) a une valeur de  $1,18 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ . Le débit du contre-courant profond que l'on trouve au large n'a pu être évalué avec précision. On peut l'estimer toutefois d'après cette radiale entre  $4^\circ 45' \text{ N}$  et  $3^\circ 15' \text{ N}$  (zone de convergence) et entre 50 m et 300 m de profondeur à  $0,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$  soit deux fois moins que le débit du contre-courant côtier.

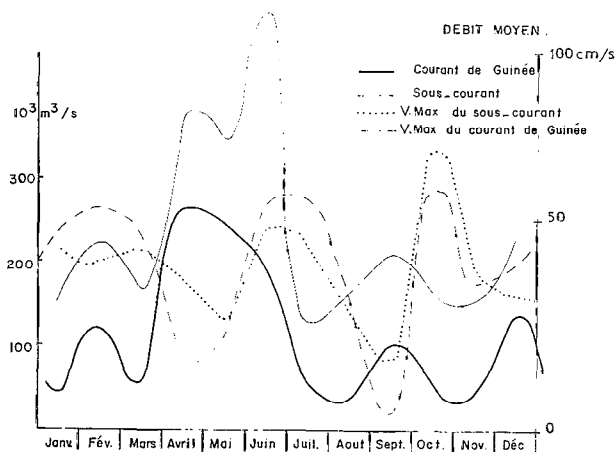


Fig. 27. -- Débit moyen des courants et vitesses maximales moyennes sur 3 ans.

C'est en avril-mai-juin que les transports vers l'est sont supérieurs aux transports ouest, époque du maximum de vitesse du courant de Guinée et du transport minimum du contre-courant sur le plateau continental, dû au fait que celui-ci est rejeté vers le large.

Les débits moyens calculés sur trois ans sont représentés figure 27 où figurent également les vitesses maximales des deux courants considérés. Le débit du contre-courant passe par un premier maximum en juin-juillet, présente un pic en octobre ( $0,28 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ ) et passe par un second maximum de janvier à mars. Le débit du courant de Guinée a un seul maximum en avril-mai entre les deux pics du contre-courant. Le contre-courant a son débit minimum en septembre ( $0,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Au cours de ce mois d'ailleurs les courants vers l'est ( $0,1 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ ) et vers l'ouest sont très faibles.

Les débits étant fonction de la vitesse du courant et de l'épaisseur de la couche considérée, nous avons représenté sur la figure 28 la profondeur moyenne de la couche de transport nul sur les fonds de 200 m ainsi que la profondeur moyenne de la thermocline.

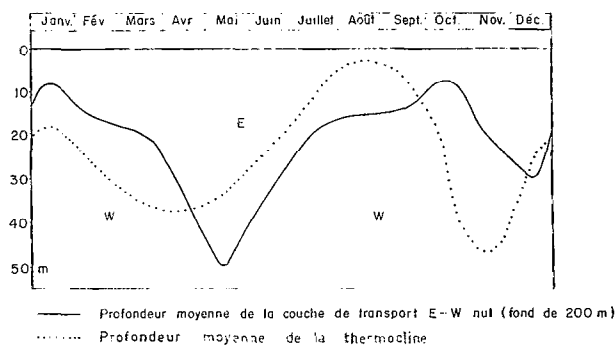


Fig. 28. -- Profondeur moyenne de la couche de transport zonal nul, à la station 200 mètres.

La comparaison des diagrammes 27 et 28 met en évidence l'étroite relation qui existe entre la profondeur de la couche de transport nul et le débit : celui du courant de Guinée est maximum lorsque le courant atteint son épaisseur la plus forte en avril-mai; il est également intéressant de noter l'évolution de la profondeur moyenne de la thermocline qui suit assez bien les variations de la couche de transport nul ce qui confirme le fait que le courant de Guinée n'intéresse que les eaux superficielles. Il est cependant manifeste qu'il n'y a pas coïncidence totale entre la couche homogène de surface et le courant de Guinée. Un calcul de corrélation entre la profondeur de la couche de transport nul et celle d'une isotherme

caractéristique de la thermocline à partir des 36 points de mesure a donné un coefficient de corrélation  $r = 0,11$  seulement. L'approximation dynamique de l'océan à deux couches ne peut donc être employée sur le plateau continental qu'avec une extrême circonspection.

## 12. DISCUSSION.

Les contre-courants côtiers subsuperficiels sont un phénomène commun à toutes les régions d'upwelling côtier que l'on trouve sur le bord oriental des courants; cela a été mis en évidence par l'observation directe le long des côtes de Californie (courant de Davidson), du Pérou ou du Sud-Ouest Africain. Dans le cas de la Côte d'Ivoire où la côte est orientée est-ouest, il y a une zone d'upwelling bien marquée à l'ouest d'Abidjan; on trouve également une région d'upwelling devant les côtes du Ghana à l'ouest d'Accra; ces régions sont situées sur le bord nord du contre-courant équatorial (ou courant de Guinée), et correspondent à la divergence nord équatoriale du schéma classique de Defant (1936) dans la troposphère de l'Atlantique. On retrouve bien dans le cas de la Côte d'Ivoire le même système que dans les régions précitées d'un upwelling associé à un courant superficiel parallèle à la côte et à un contre-courant subsuperficiel, et on peut supposer que ce contre-courant est ce que HART et CURRIE (1960) appellent « Courant de Compensation ». Toutefois sa profondeur dans le cas qui nous préoccupe est moindre (30 à 80 m), alors que les courants subsuperficiels dans les autres zones d'upwelling sont à des profondeurs de l'ordre de 200 mètres.

Aucune explication valable n'a été donnée sur l'origine de ces sous-courants. Plusieurs interprétations ont été proposées, une des plus satisfaisantes étant le modèle de YOSHIDA (1967) dans son étude théorique de l'upwelling qu'il a appliquée en particulier aux régions orientales des océans; ce modèle rend compte en effet de l'existence d'un contre-courant subsuperficiel. Se plaçant en régime permanent, il part de l'hypothèse d'un océan à deux couches plus une couche inférieure de mouvement nul, avec un upwelling qui décroît exponentiellement à partir de la côte, étudiant le cas d'une côte orientée nord-sud. Dans ces conditions il constate la présence entre autres résultats d'un contre-courant sans l'expliquer, la vitesse de celui-ci étant proportionnelle à la vitesse verticale et dix fois moins forte que la vitesse de la couche de surface.

Malheureusement, dans notre cas, ces valeurs sont trop éloignées de la réalité (les vitesses des deux couches sont du même ordre de grandeur) et en outre il ne peut être question d'effet  $\beta$  puisque la côte est orientée est-ouest.

Le modèle de SVERDRUP (1938) donne une explication physique plus simple qui a de plus l'avantage de négliger l'effet  $\beta$ . Son modèle s'appuie sur la théorie d'Ekman et est appliqué à l'upwelling du sud de la Californie. Dans le cas de la Côte d'Ivoire, nous retrouvons un schéma très voisin de celui de la côte Californienne. Le contre-courant serait alors le courant homologue de celui que SVERDRUP appelle « Courant Côtier Profond ».

Si nous nous plaçons en régime permanent c'est-à-dire à une époque où l'upwelling est bien établi par exemple en août (Bassam 56), l'examen de la distribution des densités sur cette radiale met en évidence l'existence du contre-courant entre la station A et le plateau continental, et en dessous d'une profondeur voisine de 20 mètres (fig. 6 d et fig. 29).

Sur le bord sud du contre-courant, c'est-à-dire en gros au sud de la station A, la théorie d'Ekman suggère l'existence d'une divergence entre le courant de Guinée dirigé vers l'est et le contre-courant; celle-ci est visible sur la figure 29 où on observe une remontée des isopycnes entre les stations A et B, ainsi que sur la figure 30 qui représente la distribution des salinités; les isohalines remontent vers la surface entre les stations 200 m et A.

Un calcul de vitesses verticales a été fait à partir de l'équation de continuité appliquée pour les quatre stations du plateau continental à la moyenne des composantes nord-sud; dans ce calcul le gradient longitudinal de vitesse a été négligé, hypothèse qui s'avère a posteriori des plus discutables; il en ressort néanmoins une circulation de type cellulaire qui correspond assez bien aux phénomènes observés: il y a une remontée d'eau au large du talus continental, puis plongée et mélange dans la couche de surface aux abords du plateau avec entraînement vers l'est par le courant de Guinée de ces eaux superficielles; près du littoral, sur le bord nord du contre-courant et la partie côtière du courant de Guinée, il y a une deuxième petite divergence qui engendrerait bien la remontée des isohalines que l'on note habituellement dans le contre-courant.

Ces remontées d'eau intéressent une couche peu épaisse, limitée à 80 m comme le suggère la distribution des salinités où à partir de 100 m les isohalines plongent en direction de la côte (fig. 29). Toutefois ce n'est qu'en régime stationnaire, c'est-à-dire à l'époque où l'upwelling est bien établi et que la distribution de la température et de la salinité sont stables, que l'on se rapproche ainsi de l'équilibre géostrophique.

Notons par ailleurs une autre similitude qui existe avec le courant de Davidson: c'est l'apparition en surface du contre-courant lorsque les vents de SW s'affaiblissent ou disparaissent.

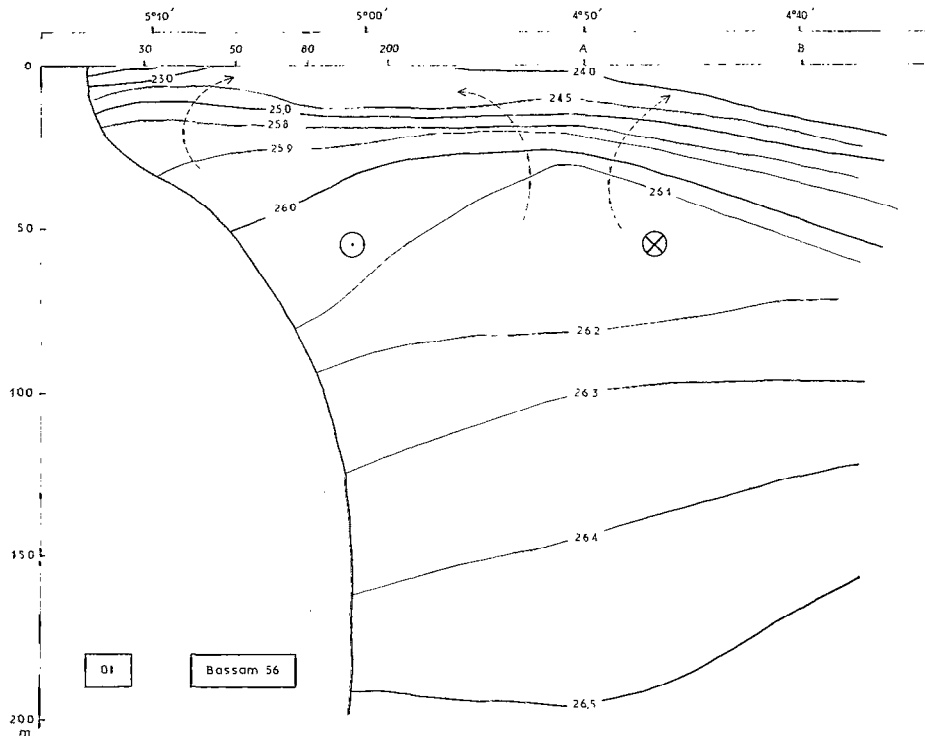


Fig. 29. — Distribution des  $\sigma_t$  sur Bassam 56. — Schéma de la circulation.

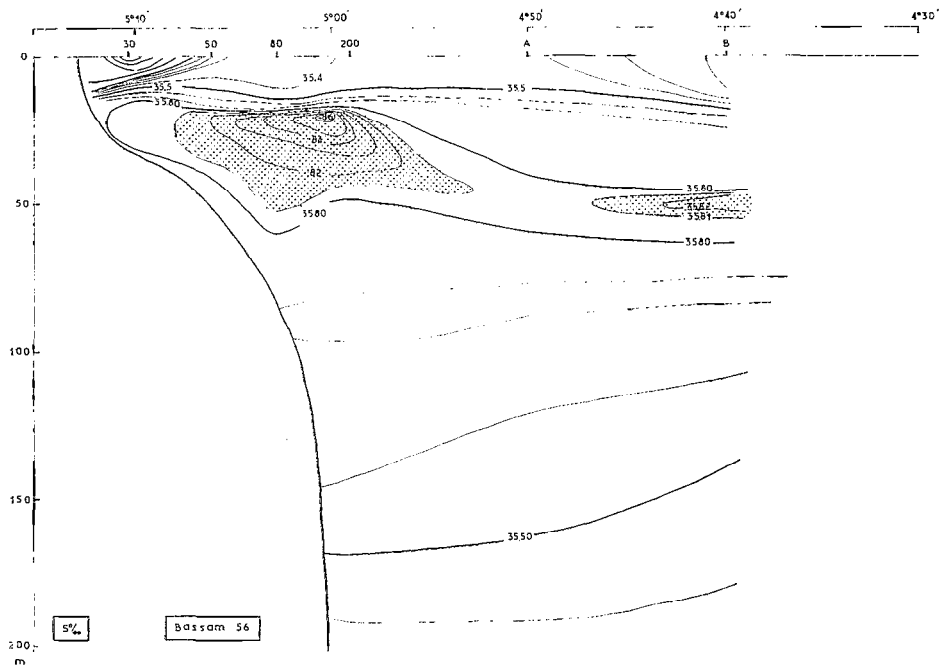


Fig. 30. — Distribution verticale de la salinité sur Bassam 56.

### Relations avec la circulation générale du Golfe de Guinée.

Outre le contre-courant côtier nous avons vu qu'il y avait plusieurs preuves de l'existence d'un transport vers l'ouest important dans les couches plus profondes (entre 100 et 300 m), sous le courant de Guinée, et que nous avons proposé d'appeler « Contre-Courant de Guinée ». Ce courant avait été mesuré pour la première fois en septembre 1964 (GÉRARD *et al.*, 1965) à l'aide de drogues-parachute, et un courant de 29 cm/s avait été observé au sud du Cap des Palmes (4° N); DONGUY et PRIVE (1964) ont également mis en évidence ce transport ouest au cours d'une série de radiales entre la côte et l'équateur par les calculs dynamiques et ils trouvent en dessous de 100 m une composante inférieure à 20 cm/s, résultat proche de ceux de LE FLOCH (1970) qui lors d'une coupe de courantométrie faite en mai 1968 avait observé entre la côte et 3° N une composante zonale importante vers l'ouest supérieure à 20 cm/s dans les couches inférieures à 50 m, et qui devenait superficielle au sud de 3° N (fig. 31). Également en

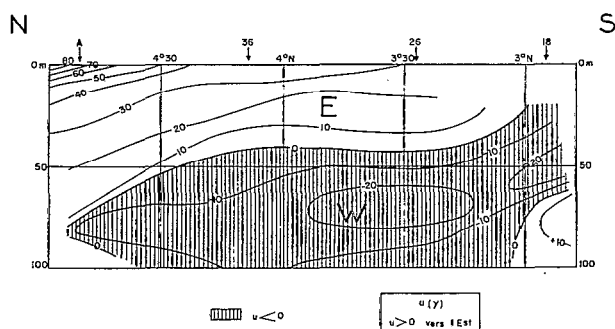


Fig. 31. — Distribution mesurée de la composante zonale de la vitesse sur une coupe méridienne (3°58'W) d'après J. LE FLOCH (1970).

1968, lors d'une campagne du CHARCOT, LEMASSON *et al.* (1969) ont mesuré entre 3° N et la côte et dans la région du Cap des Palmes des courants ouest dans une couche comprise entre 40 et 100 m. La topographie dynamique établie avec les résultats de cette campagne met également en évidence un transport ouest au sud de la Côte d'Ivoire aux niveaux 75 et 100 décibars et suggère l'entraînement du maximum de salinité qui apparaît vers 4° N sur les coupes méridiennes faites à 6° W et 10° W. Cette question sera discutée par la suite.

Ces résultats sont confirmés par Bassam 54 effectuée à la même époque (fig. 12) où apparaît très

bien la continuité entre le courant sud équatorial superficiel au sud de 3° N et le contre-courant de Guinée profond entre 3° N et le talus continental.

En ce qui concerne la circulation générale des eaux du maximum de salinité, il semble bien que celle-ci se fasse en fait d'est en ouest au moins en ce qui concerne la zone proche du plateau continental, puisque nous avons vu qu'il y avait entraînement d'un maximum de salinité d'est en ouest (fig. 16) le long de la côte; cette eau à forte salinité serait une branche détachée au niveau du Cap des Trois Pointes du maximum de salinité profond du contre-courant de Guinée qui proviendrait alors comme le suggère LE FLOCH (1970) soit de la branche nord du courant de LOMONOSOV lorsque celui-ci est à son maximum (mars-avril), et qui serait entraîné le long de 3°30' N (fig. 32), soit du maximum de salinité de l'Atlantique

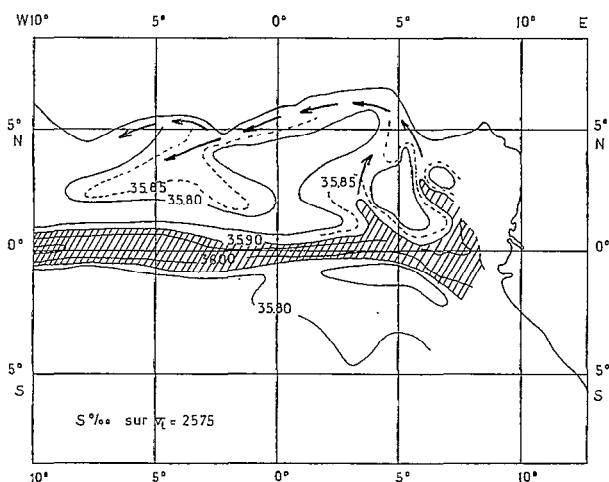


Fig. 32. — Distribution de la salinité sur la surface  $\sigma_t = 25,75$ . ÉQUALANT III (LE FLOCH, 1970).

sud lorsque le sous-courant équatorial est peu développé (août à octobre). À cette époque, les salinités maximales que l'on trouve dans le sous-courant ivoirien sont alors les plus fortes et supérieures à 35,80‰.

L'origine du contre-courant côtier serait à rechercher dans le golfe du Benin dans la région de Lagos c'est-à-dire dans la partie orientale de la zone d'upwelling ghanéenne. Le problème de sa terminaison reste obscur; nous avons vu que dans la zone du Cap des Palmes vers 7°30' W le contre-courant ivoirien qui était très affaibli aux environs de Tabou avec une vitesse inférieure à 10 cm/s disparaissait pratiquement à l'ouest du Cap des Palmes c'est-à-dire dans une zone sans upwelling et très différente hydrologiquement. Par contre quelques heures plus

tard toujours devant Tabou la vitesse était devenue supérieure à 30 cm/s, ce qui illustre la grande variabilité de la circulation.

Quoiqu'il en soit étant donné que ce contre-courant est toujours observé dans la région d'upwelling ivoiro-ghanéenne et non dans la zone d'accumulation du Liberia, que sa vitesse est maximum au moment

où l'upwelling est le plus intense et également dans les zones où il est le mieux établi (LEMASSON et REBERT, 1968), il est pratiquement certain que son existence et ses variations sont à rattacher directement à ce dernier phénomène.

*Manuscrit reçu au S.C.D. le 5 août 1972.*

### BIBLIOGRAPHIE

- DEFANT (A.), 1936. — Die Troposphäre des Atlantischen Ozeans. Deutsche Atl. Exped. « Meteor » 1925-1927, Wiss. Erg., vol. 6, Teil 1, Liefg. 3 : 289-411.
- DONGUY (J. R.) & PRIVE (M.). — Les conditions de l'Atlantique entre Abidjan et l'équateur : 1<sup>re</sup> partie : 1964. — *Cah. Océanogr.*, XVI, 3 : 193-204 ; 2<sup>e</sup> partie : 1964 — *Cah. Océanogr.*, XVI, 5 : 393-398 ; 3<sup>e</sup> partie : 1965 — *Cah. Océanogr.*, XVII, 1 : 33-43.
- GERARD (R.), SEXTON (R.) & MAZEIKA (P.), 1965. — Parachute Drogue Measurements in the Eastern Tropical Atlantic in September 1964. *J. Geophys. Res.*, vol. 70, n° 22 : 5696-5698.
- HART (T.) & CURRIE (R.), 1960. — The Benguela Current. Discovery Report, vol. 31 : 123-298 — Cambridge Univ. Press.
- JANKE (J.), 1920. — Strömungen und Oberflächentemperaturen im Golfe von Guinea. Archiv der Deutschen Seewarte, n° 6 : 1-68, 5 fig., 7 tabl.
- LE FLOCH (J.), 1970. — Mesures différentielles de courants au large de la Côte d'Ivoire. *Cah. Océanogr.*, n° 8 : 781-799.
- 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.) & 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 — CRO Abidjan.
- LEMASSON (L.), NOËL (J.), REBERT (J.-P.), GERARD (R.), MONTEL (Y.) & VERGESI (L.), 1969. — GUINÉE I. Croisière du navire océanographique « Jean Charcot ». O.R.S.T.O.M., Paris, 87 pages.
- LONGHURST (A.), 1962. — Surface currents of the central Atlantic Ocean. *Bull. IFAN*, t. XXIV, sér. A, n° 3 : 633-663.
- MAZEIKA (P.), 1968. — Eastward flow within the South Equatorial Current in the eastern South Atlantic. *J. Geophys. Res.*, vol. 73, n° 18 : 5819-5828.
- MORLIÈRE (A.), 1970. — Les saisons marines devant Abidjan. *Doc. Scient. Centre Rech. Océanogr.* Abidjan, vol. 1, n° 2 : 1-15.
- SVERDRUP (H. U.), 1938. — On the process of upwelling. *J. Mar. Res.*, vol. 1 : 155-164.
- SVERDRUP (H. U.) & FLEMING (R. H.), 1941. — The waters off the coast of Southern California. March to July, 1937. *Bull. Scripps Inst. Ocean.*, vol. 4, n° 10 : 261-378, 66 fig.
- VERSTRAETE (J. M.), 1970. — Étude quantitative de l'upwelling sur le plateau continental ivoirien. *Doc. Scient. Centre Rech. Océanogr.* Abidjan, vol. 1, n° 3 : 19-35.
- YOSHIDA (K.), 1967. — Circulation in the eastern tropical oceans with special references to upwelling and undercurrents. *Jap. J. of Geophys.*, vol. 4, n° 2 : 1-75.