

CHAPITRE I

Océanographie physique et production primaire

par

G.R. BERRIT * et J.P. REBERT*

1. Le régime météorologique et les apports d'eau douce en mer	3
2. La dynamique	14
3. Hydrologie	19
4. Hydroclimatologie	41
5. Productivité des eaux	48
6. Bibliographie	56

* Océanographe physicien, Inspecteur Général de Recherches de l'ORSTOM

** Océanographe physicien, Maître de Recherches de l'ORSTOM

INTRODUCTION

La Guinée Bissau offre, entre 11° et 12°30'N, une façade maritime d'environ 90 milles marins de développement, orientée NW-SE. La côte, bordée de mangrove, limite une plaine basse traversée par les estuaires envasés des fleuves Geba, Corubal, Cacheu, que de nombreux bras réunissent entre eux. Les eaux marines peu profondes sont parsemées d'îles, dont certaines s'étendent loin au large (archipel des Bissagos). Le plateau continental, qui se développe sur 100 milles environ dans la direction WSW, est le plus étendu vers le large de ceux des pays de l'Afrique intertropicale, avec le Banc d'Arguin, (Mauritanie). Comme ce dernier, il correspond à une submersion récente.

La bordure de l'archipel des Bissagos est décrite, sur les documents nautiques, jusqu'aux fonds de 20 m, comme une "région dangereuse parsemée de pâtés de roches, d'écueils et de brisants". Le talus continental est entaillé de fosses (fosse du rio Grande, du rio Cacine, etc...) qui amènent des fonds de plus de 40 m dans des zones où la profondeur est ordinairement de 15 à 20 m. Au nord, le "Grand Plateau de Geba", au sud la région des fosses, offrent, par petits fonds, des possibilités de navigation plus aisée.

La profondeur de la plus grande partie du plateau est inférieure à 50 m et même 20 m. La pente augmente sensiblement à partir de 40 m ; la profondeur passe de 50 à 100 m sur moins de 10 milles. (fig 1)

1. LE REGIME METEOROLOGIQUE ET LES APPORTS D'EAU DOUCE EN MER

La Guinée Bissau offre la particularité de se trouver dans la zone limite de développement vers le sud des alizés nord. Cette situation détermine les principaux traits de son régime météorologique, ainsi qu'hydrologique, les deux étant plus ou moins étroitement liés, en ce qui concerne particulièrement les eaux marines de surface.

.../...

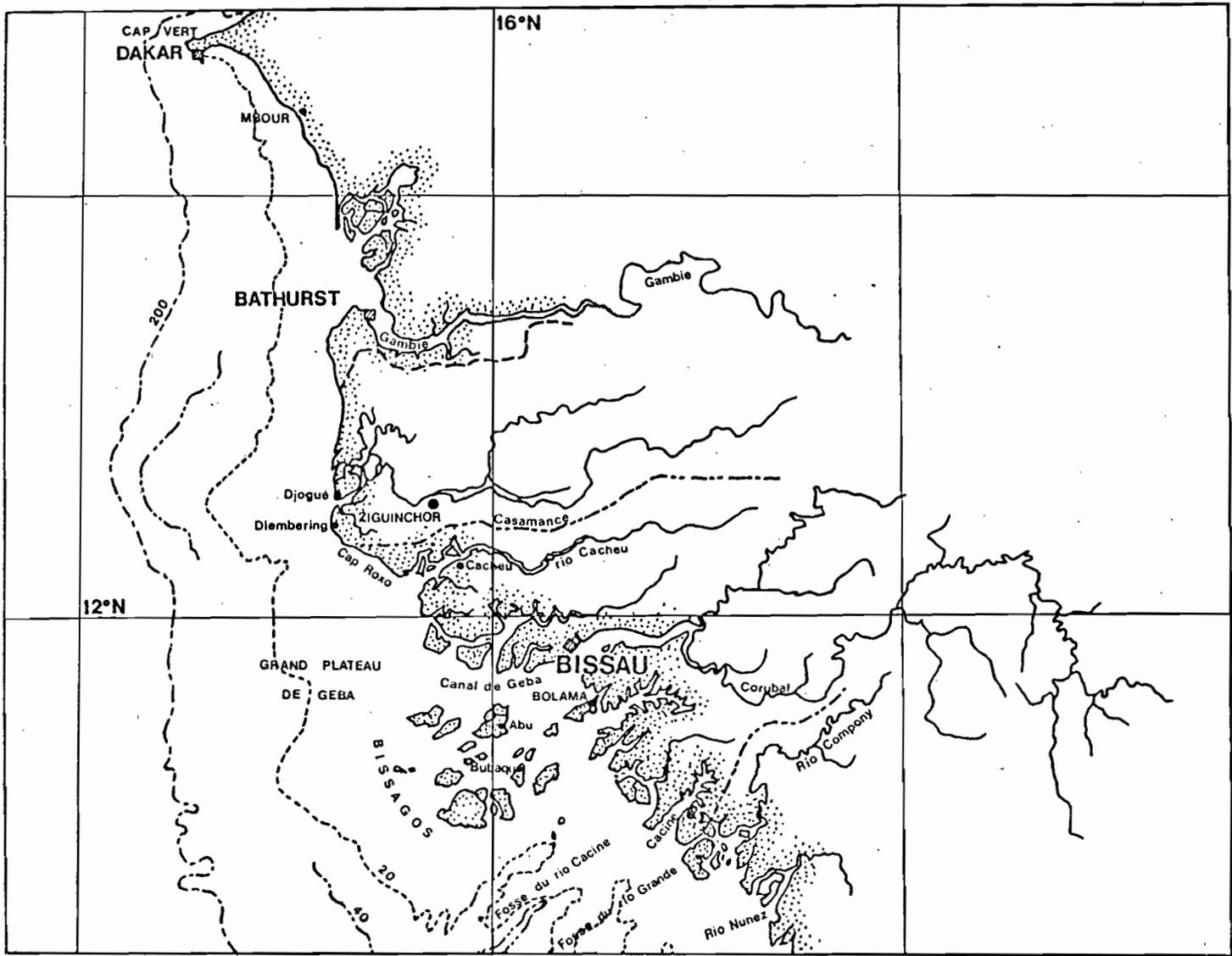


Figure 1 - Le plateau continental et le réseau hydrographique de la Guinée Bissau et de la Casamance

Le régime météorologique est essentiellement sous la dépendance des hautes pressions subtropicales de l'Atlantique Nord, anticyclones des Açores et des Bermudes. Celles-ci sont séparées des hautes pressions subtropicales sud (anticyclone de Ste Hélène) par une vallée de basses pressions relatives. Sur les bords équatoriaux des anticyclones, des vents de secteur Est, les alizés, limitent dynamiquement, en latitude, la zone des basses pressions. (fig 2). Cette situation se traduit pendant une grande partie de l'année par une zone de marais barométrique. Dans celle-ci les vents sont variables, les calmes fréquents, le ciel couvert, les grains violents : " Pot au noir", "Doldrums", calmes équatoriaux.

La convergence des deux systèmes d'alizés forme la ZITC -zone intertropicale de convergence-. Celle-ci varie saisonnièrement en position avec les anticyclones tropicaux.

En été boréal, l'influence du continent africain crée un centre de basses pressions qui atteint son maximum d'extension vers le nord (20°N) et d'intensité en août-septembre. La situation météorologique est alors sur la côte ouest-africaine celle d'un "drift" typique ; les alizés du sud subissent, sous les effets conjugués de la variation de sens de la force de Coriolis au passage de l'équateur et de la dépression saharienne, une rotation qui les amène à des directions W à SW. Transportant des masses d'air très humides et soumis aux effets de la forte convergence des deux systèmes d'alizés dans la ZITC les vents du SW ou W sont donc accompagnés de précipitations abondantes : c'est le régime caractéristique de la mousson sur tout l'Ouest-africain.

Sur la côte de l'Afrique occidentale la limite sud des alizés nord se place, en février, le plus au sud, vers 10°N, c'est-à-dire au voisinage de la Guinée Bissau ; en juillet et septembre à la latitude de St Louis du Sénégal -position extrême nord- ; en août à celle de Dakar, pendant que l'influence des alizés sud fait régner des vents dominants de SW (Pilot charts).

.../...

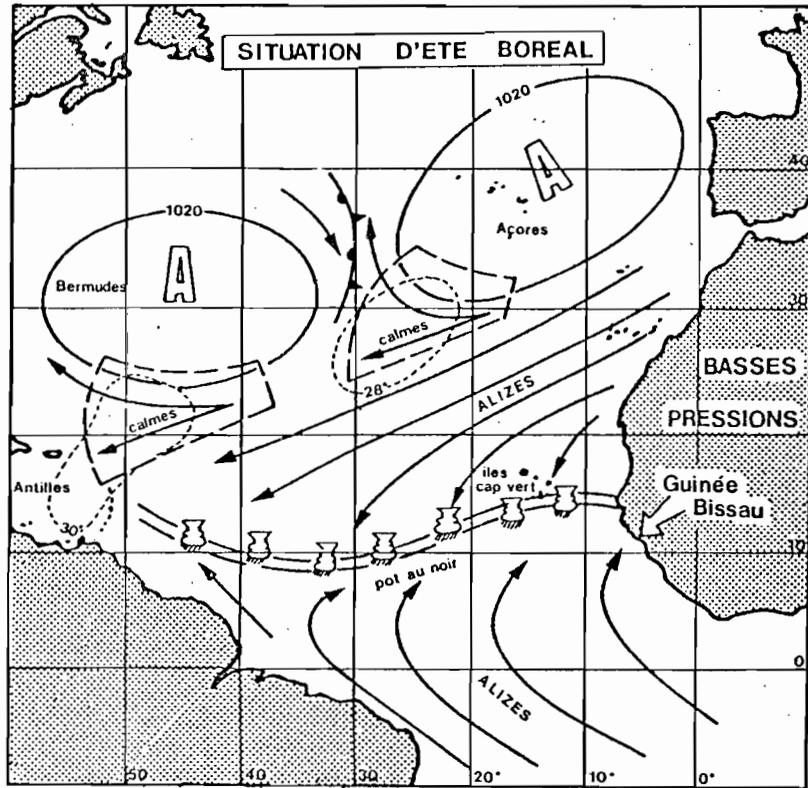


Figure 2 - Les grands systèmes de pression de l'Atlantique Nord - D'après Darchen (1977) - Pendant l'été boréal, la Guinée Bissau est soumise à un flux de mousson SW

1.1. LES VENTS

1.1.1. En mer (fig 3)

Les données historiques permettent de décrire statistiquement le régime des vents dans le carré 10°-15°N, 15°-20°W, (Marsden 038, quart SW), qui couvre la façade maritime de la Guinée Bissau jusqu'à 250 milles environ au large.

Les vents dominants y sont de force 2 à 4 dans l'échelle de Beaufort avec une moyenne de 3. Leur direction varie, au cours de l'année, dans une demi rose : de N et NE en novembre-décembre-janvier ils tournent vers l'ouest, où ils sont du secteur N-NW en février-mars-avril-mai ; NW-W en juin ; puis W-SW en juillet-août-septembre pour revenir ensuite vers le N-NE. En octobre le vent est plus variable et plus faible (force 2) : 20 %N, 15 %W, 10 %NE. Le mois d'octobre présente l'allure la plus proche de celles des calmes équatoriaux, alors que, le reste de l'année, les vents sont assez forts (3 ou 4 Beaufort) et bien établis.

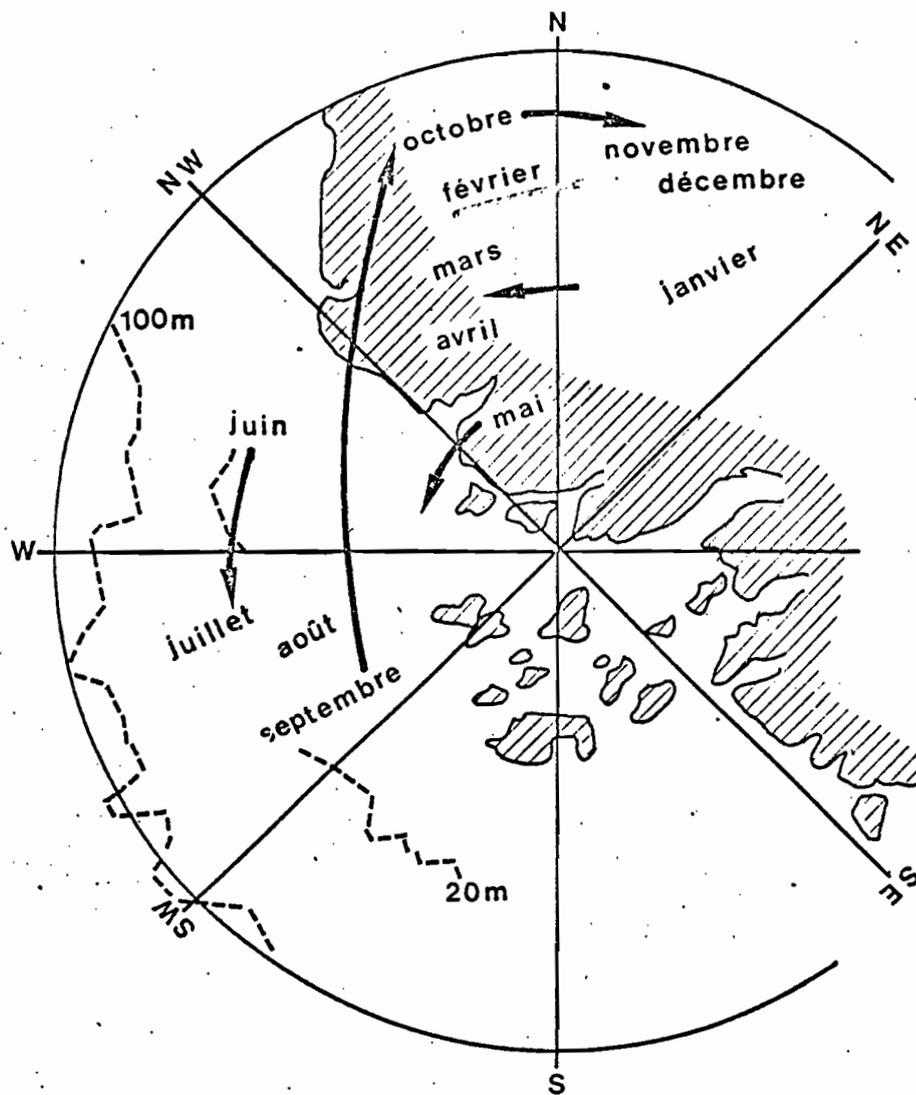
1.1.2. A la côte

Du large à la côte, les vents mollissent en tournant de 20° à 50° vers l'ouest et le sud. La variation diurne est forte. Les indications relevées aux stations climatologiques côtières ne donnent donc sur le vent en mer que des indications qualitatives assez approximatives.

1.2. LA TEMPERATURE DE L'AIR (fig 4)

1.2.1. Au dessus du proche océan (Pilot charts) la moyenne annuelle est de 25,2°C. L'écart moyen entre le mois le plus froid (février) et le plus chaud (novembre) est de 5,5°C. L'année se partage en deux périodes principales : l'une avec moins de 25°C va de décembre à mai ; l'autre, plus chaude, (plus de 26°), de juin à novembre avec un rafraichissement d'environ 1°C en août.

.../...



A CACHEU						EN MER						
S	SW	W	NW	N	NE		NE	N	NW	W	SW	S
			13	23	17	J	26	49				
						F	12	49	23			
17	31	25	8	11		M		44	32			
13	35	22		10		A		36	40			
21	40	20		7		M		28	40			
21	33	22				J		16	30	20		
21	35	17				J			16	21	23	
24	32	15				A			13	23	35	12
24	23	17		11		S			12	15	20	15
18	18	12	11			O	10	20	15			
	15	27	14	15		N	17	38	12			
		12	14	15	14	D	29	45				

Figure 3 - Vents dominants en mer et % d'occurrence des orientations principales des vents, en mer et à terre

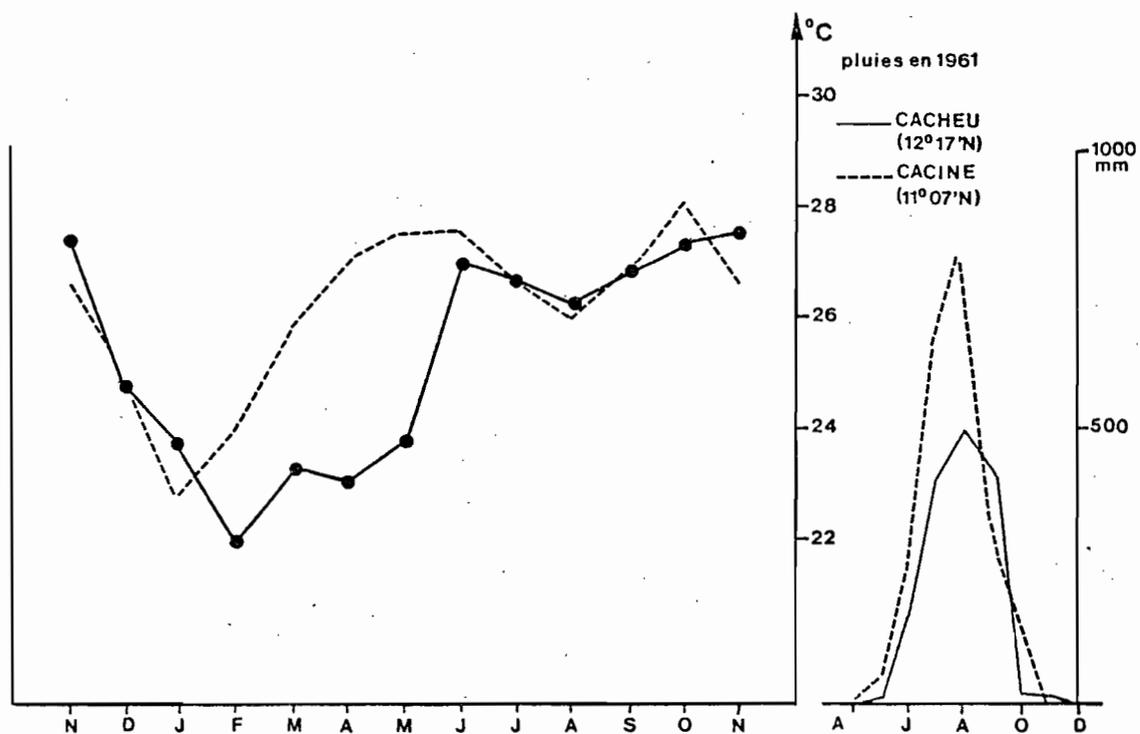


Figure 4 - Température de l'air et précipitations.
 En traits pleins, les températures au-dessus du proche océan, par 11°N, 17°W (d'après les Pilot Charts).
 En tiretés, les températures moyennes 1970-74 à Bissau-aéroport, à 9 h (Anuario climatologico de Portugal).
 Les précipitations ne sont notables que de mai à novembre.

1.2.2. A terre et à proximité immédiate de la côte (aéroport de Bissau) la moyenne annuelle est plus élevée : $26,1^{\circ}\text{C}$; les mois chauds, de juin à novembre, ont des températures à terre peu différentes de celles du large ; il en est encore de même en décembre et janvier. Mais, en février-mars, et surtout en avril-mai, les valeurs sont sensiblement plus basses en mer qu'à terre, de 1 à 2°C , mais manifestent une forte variation diurne à la côte (Anuario climatologico de Portugal).

1.3. LE REGIME DES PLUIES (fig 4)

Des pluies de mousson arrosent la région côtière de juin à septembre principalement. Quelques précipitations ont lieu avant et après en mai, octobre et novembre sous forme de grains. Le reste de l'année il ne tombe mensuellement que moins de 10 mm. Les valeurs sont de $1\ 570$ mm en moyenne sur 16 ans à Cacheu ($12^{\circ}17'\text{N}$), augmentant vers le sud : $2\ 526$ mm à Cacine ($11^{\circ}07'\text{N}$).

Par le régime et l'intensité, la pluviométrie est intermédiaire entre le Sénégal et la Guinée : la saison des pluies y commence plus tôt (mai) qu'en Casamance (juin), mais un peu plus tard qu'en Basse Guinée (avril). Elle se termine, comme en Guinée, en novembre, plus tard qu'au Sénégal (octobre).

Il s'agit essentiellement de pluies de mousson qui diminuent très rapidement vers le nord : on observe un gradient de la pluviométrie important dans le sens nord-sud (tableau 1).

Les précipitations en Guinée Bissau semblent assez régulières d'une année à l'autre : l'indice de variabilité interannuelle (quotient de l'écart-type par la moyenne) est de $0,16$ à Cacheu. Il est nettement plus élevé au nord : $0,38$ à M'Bour, (Sénégal), plus de $0,20$ sur la côte de Casamance. Il n'y a guère de données sur la variabilité interannuelle de la pluie sur les côtes de Sierra Leone ou du Libéria, mais on note $0,14$ à Conakry, (Guinée). Le gradient de variabilité serait, comme celui de la pluviosité, surtout fort entre Guinée et Sénégal (tableau 1).

.../...

Tableau 1
Pluviométrie à la côte
 (entre 9° N et 15° N)

Station pluviométrique	Saison des pluies	Moyenne annuelle	Période de mesure	I = E/M
M'Bour (Sénégal) 14°25'N	juin- octobre	739	1950 - 73 24 ans	0,38
Diemberring * (Sénégal) 12°28'N	juin- octobre	1218	1963 - 74 6 ans	0,21
Kabrousse (Sénégal) 12°21'N	juin- octobre	1410	1963 - 74 7 ans	0,32
Cacheu (Guinée Bissau) 12°17'N	mai- novembre	1570	1954 - 73 16 ans	0,16
Cacine * (Guinée Bissau) 11°17'N	mai- novembre	2526	1955 - 62 8 ans	0,09
Conakry (Guinée) 09°30'N	avril- novembre	4162	1922 - 67 42 ans	0,14

En résumé, deux saisons météorologiques, d'hiver et d'été, bien tranchées : en hiver, saison sèche, vents de nord, températures fraîches : (moins de 25°C) ; en été, pluies moyennes au nord, abondantes au sud, vents de sud-ouest, températures plus élevées (supérieures à 26°C). Qualitativement, le régime est semblable à

.../...

* : Séries pas très significatives parce que trop courtes.

celui des régions situées plus au nord. Quantitativement, la Guinée Bissau est une zone de fort gradient nord-sud.

1.4. LES APPORTS D'EAU DOUCE EN MER

Ils sont représentés en partie par les pluies en mer, sur lesquelles nous ne disposons d'aucune information mais dont on peut penser qu'elles ont, au-dessus du plateau continental au moins, le même régime qu'à la côte : saison des pluies de mai ou juin à novembre, avec des taux de précipitations très probablement inférieurs aux valeurs côtières, peut-être entre 1 000 et 2 000 mm par an.

Une autre partie provient des fleuves, Cacheu, Geba, Corubal. Nous n'avons trouvé aucune indication sur leurs débits ni sur leurs régimes*. Ce qui est connu en Casamance et en Guinée, la géologie, l'étendue et le régime pluviométrique des bassins versants permettent d'avancer quelques généralités et des ordres de grandeur.

Le débit total se situe probablement dans une fourchette : 1000 - 3000 m³/s en moyenne annuelle. Avec des débits faibles, les rios Cacheu et Geba ont vraisemblablement des régimes analogues à celui de la Casamance : faibles apports dus au ruissellement superficiel (plus important pour rio Geba que pour rio Cacheu), alimentation par infiltrations à travers le continental terminal (Brunet-Moret 1970). Le débit du Corubal est certainement beaucoup plus important et l'apparenterait à la Gambie : ces deux fleuves ont leur source dans le Fouta Djallon où les pluies sont très fortes (3 à 4 m par an). Il n'y a certainement qu'une seule crue, vers fin septembre-début octobre.

En saison sèche, les arrivées d'eau douce en mer doivent être nulles, en ce qui concerne les rios Cacheu et Geba.

.../...

* : Certaines informations sur ce point sont peut-être détenues par l'Institut Hydrographique portugais.

Comme pour la Casamance *, les larges rias doivent jouer un rôle de bassins d'évaporation et on doit s'attendre à de fortes salinités dans les embouchures et à l'intérieur des terres (Brunet-Moret 1969).

Les apports d'eau douce des deux sources -pluie et eaux continentales- se traduisent par une tendance à la dessalure qui a, selon son origine, des effets différents au niveau de la production : dans le premier cas (pluie en mer), les apports de sels nutritifs sont ou nuls ou très faibles (traces de composés azotés) ; avec les eaux continentales arrivent à la mer des complexes et des radicaux variés et, en conséquence, une possibilité de développement de la production primaire, particulièrement s'il s'agit d'eaux de ruissellement sur des terres riches (Dandonneau 1973).

* : On a observé à Djogué (embouchure de la Casamance), de mars à juin des salinités de surface supérieures à 36, et pouvant même dépasser 37 ‰ (Berrit 1952 b).

2. LA DYNAMIQUE

2.1. LES COURANTS DE SURFACE

Au large des Guinées et du Sénégal, les courants sont en gros, au-delà des fonds de 100 m, parallèles à la côte et portent au SE avec des vitesses voisines de 0,5 noeud.

Plus près de la côte, on observe fréquemment un contre-courant NW : en juin ce flux est signalé entre 9° et 15°N ; en juillet il s'étendrait jusqu'aux environs de 20°N avec un plus large développement vers le large (fig 5), suggérant l'existence de dômes ou de crêtes ; la situation est à peu près la même en août, la limite méridionale du dôme se plaçant un peu plus au nord (vers 11°N). Les documents nautiques ne font plus état de directions nord en septembre mais on retrouve, entre 14° et 21°N en octobre des contre-courants côtiers ; ceux-ci sont la règle tout le long de la côte, du cap Blanc (Mauritanie) au-delà de Conakry en novembre et décembre. Il ne subsisterait plus de courant NW en janvier qu'entre 8° et 11°N.

Dans les eaux marines de la Guinée Bissau la circulation superficielle porterait ainsi au SE pour ce qui est du large. Les eaux du plateau continental seraient soumises, de février à mai, à ce même flux. Le courant serait NW en juin, juillet, août, novembre et décembre. Pendant les mois de septembre, octobre et janvier il y a probablement prédominance de la direction SE (Pilot charts). Certains mécanismes peuvent expliquer la formation, même en période d'alizés, d'un contre-courant superficiel dirigé vers le nord dans la partie côtière du plateau continental, du fait de la faiblesse des vents et de la grande étendue des petits fonds :

Nous avons vu (1.1.2.) que les vents mollissent, du large à la côte, en tournant vers l'ouest. L'upwelling côtier intense bien connu au Sénégal est souvent limité (3,2) , devant la Guinée Bissau, au talus continental (au nord des Bissagos). Plus à l'est, par petits fonds, les courants de dérive subissent des frottements importants et deviennent très faibles et instables.

.../...

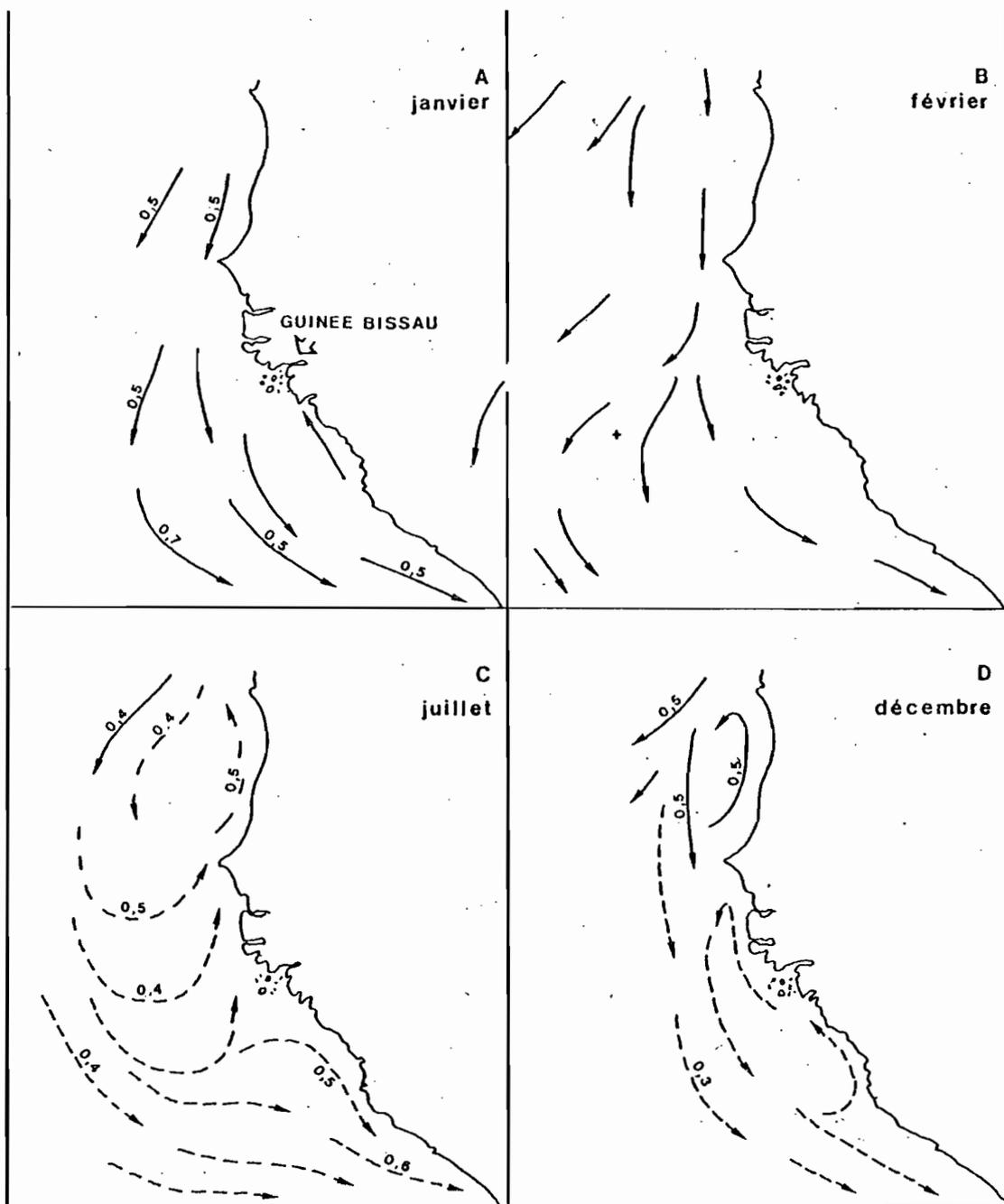


Figure 5 - Courants de surface (extrait des Pilot Charts)

D'autres facteurs que le vent peuvent alors devenir prépondérants dans la circulation des eaux, notamment les effets thermiques et halins :

d'une part, le gradient positif de température vers le sud a pour conséquence une tendance à l'écoulement des eaux plus légères vers le nord (le processus a été décrit par Yoshida en 1967) ; d'autre part, l'accumulation à la côte en face de la Guinée d'eaux douces d'origine fluviale crée un courant de pente dirigé aussi vers le nord. Ces deux effets se conjuguent pour créer une circulation thermohaline dirigée en quasi-permanence vers le nord dans la zone côtière.

Le changement d'orientation de la côte à partir du cap Roxo, l'entraînement des eaux du large vers le sud par la dérive due au vent, le courant général qui porte à l'est dans le contre-courant équatorial au sud du front des Bissagos et la circulation thermohaline portant au nord dans la zone côtière, sont les constituants d'un vortex cyclonique sur le plateau continental de la Guinée Bissau. La conséquence en serait le maintien, sur les petits fonds, d'une masse d'eau relativement isolée du contexte océanique et expliquerait la persistance d'eaux dessalées dans cette région bien après que les pluies et les crues aient contribué à leur formation.

2.2. MAREE ET COURANTS DE MAREE

La marée est du type semi-diurne à inégalité diurne. L'onde marée principale M2 vient du sud et se propage vers le nord le long de la côte. Les pleines mer ont lieu (en mer) vers 9h (et 21h) en période de vive eau, et vers 3h (et 15h) en morte-eau.

L'amplitude est variable et souvent assez forte : pour le rio Cacheu, 3 m à Caio et 1 m à 25 milles dans l'ouest. Dans certains estuaires, la marée peut être plus forte à l'intérieur qu'à l'embouchure (des hauteurs de 7 m ont été observées dans la rivière Compony, Guinée, qui coule au voisinage de la frontière sud de la Guinée Bissau).

.../...

Les courants de marée sont importants dans la région de la Guinée Bissau. Au voisinage des Bissagos ils ont une vitesse de l'ordre de 1,5 noeud. Dans les rios ils peuvent être plus forts : on observe jusqu'à 2,4 nd dans le Cacheu aux environs des mi-marées de vive-eau.

Le retard de l'étale du courant sur celui des hauteurs peut atteindre 2h. A l'entrée du chenal du Geba les vitesses sont de 2 à 3 nd. Dans les chenaux du rio Grande on note jusqu'à 4 nd en vive-eau. Les courants diminuent en général quand on remonte les rios.

Ces courants subissent des variations dues notamment aux crues qui tendent à augmenter la vitesse et la durée du courant descendant par rapport à celle du courant entrant. Après les crues et au début de la saison de l'harmattan, le vent soufflant du NE à l'ESE tend, lui aussi à renforcer le courant descendant.

En pleine mer les courants de marée sont nettement moins forts ; ils restent cependant élevés par rapport à ceux observés le long de l'Afrique de l'ouest. Une série de mesures a été réalisée par le "Météor" en avril 1937 aux accores du plateau continental (fonds de 93 m) par 10°16'N. Les résultats ont été analysés par Tomszac (1970). Les courants dus à l'onde semi-diurne décrivent dans le sens cyclonique une ellipse dont l'axe principal tend à s'orienter SW-NE quand la profondeur augmente. Le maximum de vitesse paraît se situer à des profondeurs intermédiaires (de 30 à 50 m) avec environ 0,6 noeud. L'aplatissement de l'ellipse augmente avec la profondeur ; à partir de 50 m le courant de marée tend ainsi à suivre la pente du talus continental et à être perpendiculaire à la direction moyenne de la côte (fig 6).

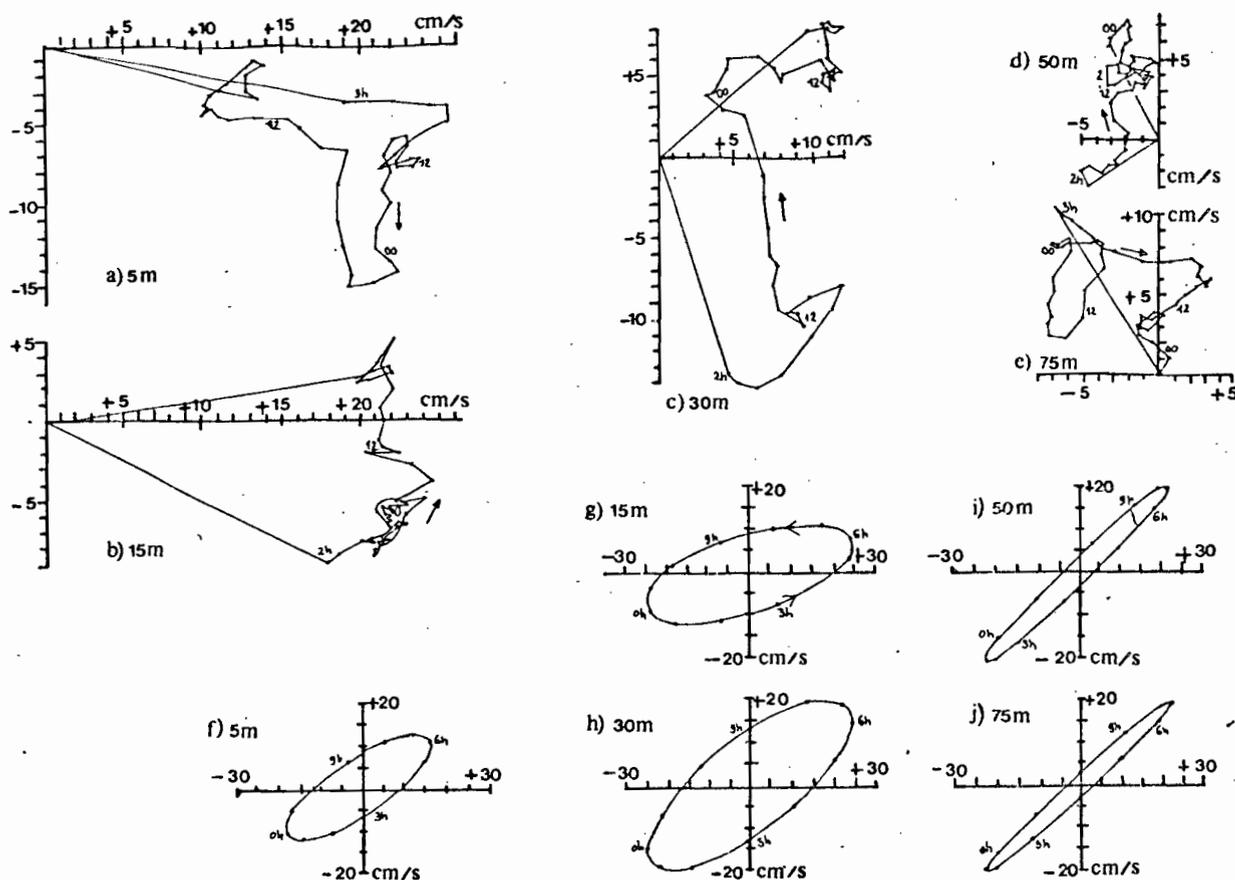


Figure 6 - Courants de marée - Fonds de 93 m sur 10°16'N - Avril 1937
Extrait de Tomczac (1970)

3. HYDROLOGIE

3.1. CARACTERES GENERAUX

Dans sa "Géographie des atlantischen Ozeans", Schott (1942), partage l'océan en régions naturelles où les conditions hydrologiques et océanographiques peuvent être considérées comme assez comparables (fig 7). Les travaux postérieurs confirment largement ce grand découpage. Pour ce qui est de la côte occidentale d'Afrique au nord de l'équateur, l'océan est partagé en deux régions : l'une "région nord ouest africaine", l'autre "région équatoriale", séparées en gros au niveau des parallèles 10°-15°N.

3.1.1. Dans la région nord-ouest africaine ou "canarienne" le régime permanent d'alizés de NE est la cause d'une anomalie négative * des températures de surface de la mer qui, dans l'archipel du Cap Vert, est de -3°C et de -6°C au Cap Blanc (Mauritanie). Cette anomalie n'affecte pas seulement les eaux de surface mais est encore sensible au-dessous de 500 m. La température de l'air manifeste une tendance analogue.

Alors que, en règle générale, la mer est un peu plus chaude que l'air, on trouve, de Gibraltar au sud du Cap Vert, une large zone où les moyennes annuelles sont plus élevées pour l'air que pour l'eau de surface.

C'est la région du "Courant des Canaries" ou de la "dérive canarienne" où la direction et la force des courants, au demeurant assez faibles (0,5 nd au maximum) sont assez variables mais portent statistiquement vers le sud ou le sud-ouest.

* : Par rapport à la valeur moyenne des trois océans à la même latitude.

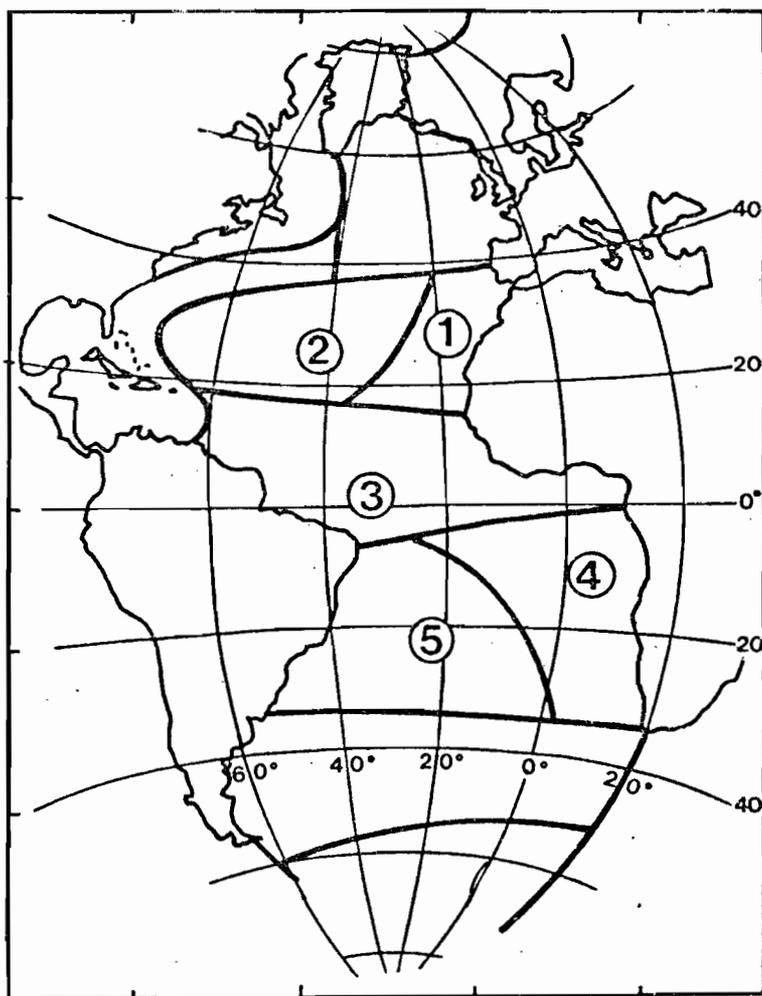


Figure 7 - Les grandes régions de l'Atlantique d'après Schott (1942)
 1 : région nord-ouest africaine ou "canarienne"
 3 : région équatoriale

3.1.2. La "région équatoriale", qui correspond à la vallée dépressionnaire entre les hautes pressions des hémisphères nord et sud (1.) connaît toute l'année des températures de surface élevées, pouvant dépasser 28°C. Les fortes précipitations y entretiennent des salinités faibles entre les zones de forte évaporation nord et sud qui produisent dans chaque hémisphère des eaux fortement salées. Le système des courants est complexe, tant en surface qu'en subsurface : le courant nord-équatorial transporte vers l'ouest les eaux relativement fraîches de la dérive canarienne. Un contre-courant, dit "équatorial", puis dans sa partie orientale "Courant de Guinée", porte à l'est des eaux dont les températures sont supérieures à 26°C. Au-dessous de ces flux superficiels, des sous-courants ont des directions inverses. Le mieux connu est le sous-courant équatorial qui véhicule d'ouest en est des eaux à fortes salinités. D'autres sous-courants, avec fortes salinités relatives associées, existent, dans les deux hémisphères, entre les latitudes 4° et 10°.

Les amplitudes annuelles de variation thermique sont faibles en haute mer (de 1° à 2°C), inférieures à celles de la région canarienne où on observe par exemple 4°C aux îles du cap Vert et où l'écart augmente vers le continent, jusqu'à dépasser 10° au voisinage de la côte en raison d'upwellings côtiers.

3.1.3. La frontière entre ces deux régions varie au cours de l'année (Berrit 1961). La Guinée Bissau se trouve dans la zone des fluctuations, ce qui la fait appartenir alternativement à l'une ou à l'autre. Schemainda et al (1975) ont synthétisé les variations saisonnières de 9° à 25°N le long de la côte d'Afrique. Ils distinguent la zone des upwellings, partie est de la région canarienne, de celle des eaux tropicales, les deux, séparées par un front marqué entre 10 et 12°N, déjà signalé par Berrit (1962). Ce front est renforcé près de la côte par une eau faiblement salée qui s'étend vers le nord en été et en automne (fig8). Ils mettent en évidence la relation étroite entre upwellings et vents, confirment les remarques d'Ingham (1970).

.../...

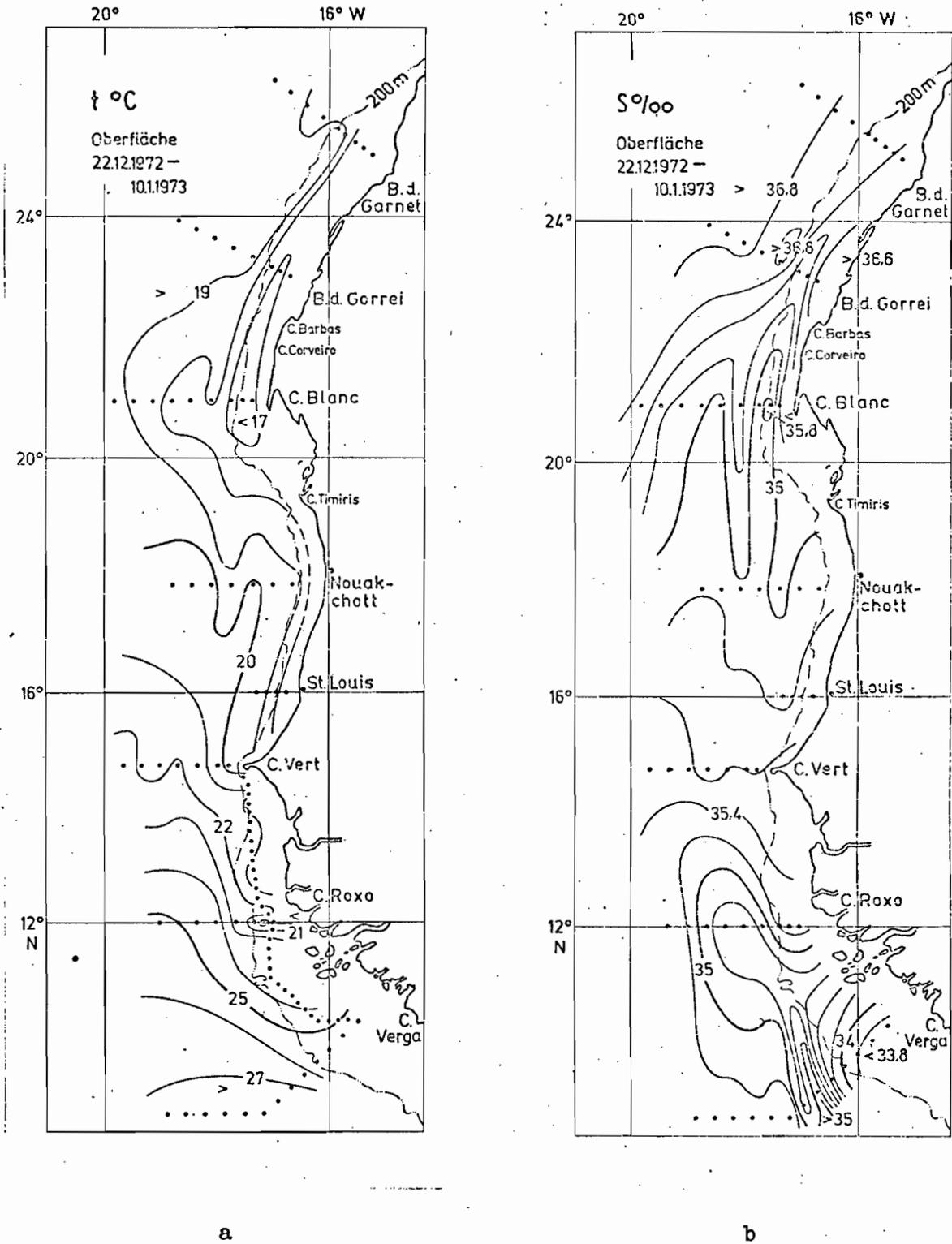


Figure 8. La zone frontale entre cap Roxo et cap Verga (a).
 Le front est renforcé par la dessalure (b)
 (d'après Schemainda et al. , 1975)

3.1.4. Rossignol (1973) et Oren (1972) ont examiné les masses d'eau et leurs variations saisonnières jusqu'à environ 400 m (le cycle climatique n'est pratiquement plus sensible aux profondeurs plus grandes). Les effets atmosphériques ne se font directement sentir que jusqu'à 100 m en moyenne ce qui représente ainsi l'épaisseur des "eaux de surface". Aux plus grandes profondeurs les eaux restent pratiquement identiques à elles-mêmes sur des étendues à l'échelle de l'océan.

De 100 à 600-700 m s'étend le domaine des "Eaux Centrales", formées aux latitudes moyennes dans chaque hémisphère.

L'Eau-Centrale-Sud-Atlantique (ECSA) traverse l'équateur et coexiste avec l'Eau-Centrale-Nord-Atlantique (ECNA) au nord de 10°N. Devant la côte africaine on trouve encore des traces d'ECSA jusqu'à 23°N ; elle est plus légère que l'ECNA et peut se trouver pure aux niveaux supérieurs, au-dessus d'un mélange avec l'ECNA. L'épaisseur de chaque Eau-Centrale et sa proportion dans les mélanges, varient avec la position géographique et sont affectées par une variabilité saisonnière.

Oren (1972) et Rossignol (1973), traitant des eaux de surface, utilisent la classification de Berrit (1961) qui partage le plan TS en quatre par l'isotherme 24°C et l'isohaline 35 ‰, faisant apparaître des eaux chaudes déssalées, d'origine équatoriale et dites ici, d'après leur origine, ou leur parenté, "libériennes" ; des eaux froides salées qui sont, ou des eaux de la dérive canarienne, ou des eaux d'upwelling ; des eaux chaudes salées tropicales, formées par un excédent d'évaporation sur les précipitations ; enfin des eaux froides déssalées d'origine locale (fig 9). Pour ce qui est de la répartition spatiale et de la succession de ces catégories d'eaux, nous reprenons presque textuellement Rossignol* (1973) :

.../...

* : les citations ont subi des contractions

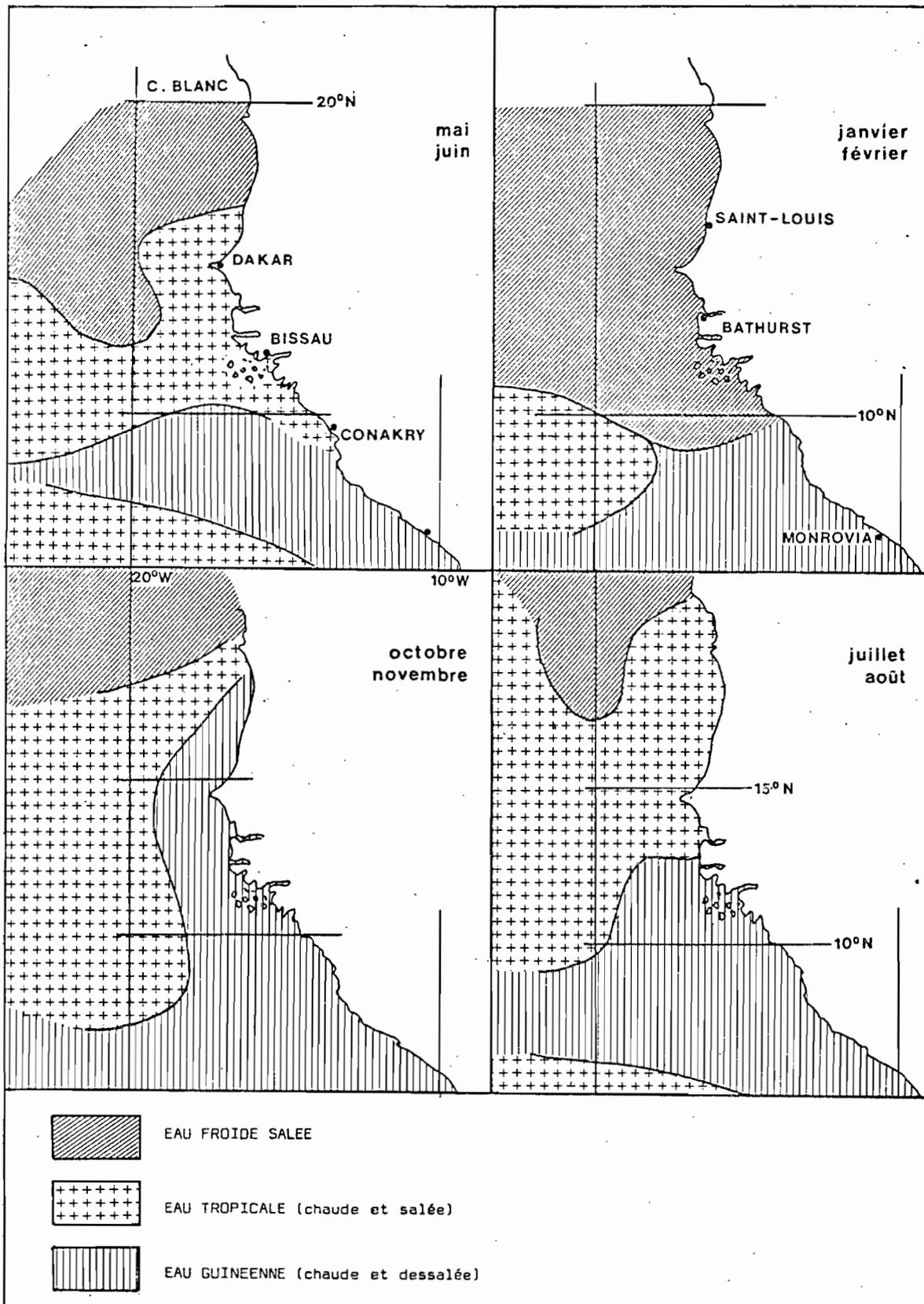


Figure 9 - Les catégories d'eaux de surface - d'après Rossignol (1973)

"Conditions de saison froide : le front des eaux chaudes, qui a reflué rapidement pendant le mois de janvier jusqu'aux Bissagos atteint sa position extrême sud (latitude du cap Verga) en février". La surface est occupée par des eaux d'upwelling plus ou moins froides selon l'intensité de celui-ci (et du vent qui le provoque).

"En mai-juin, l'anticyclone nord-atlantique faiblit, les alizés ne se font plus sentir que sur la côte mauritanienne (au nord du parallèle 16°N). Les vents sont faibles, de secteur nord, à la latitude de cap Vert. Ils sont de SW sur la côte du Libéria où il pleut. En conséquence, le niveau de la mer s'élève dans le bassin libérien ; les eaux chaudes, dessalées, atteignent la latitude du cap Roxo ; les eaux tropicales progressent, sur la côte, jusqu'au parallèle 17°N. Seuls subsistent dans la région, les upwellings mauritaniens et un faible upwelling au sud du cap Vert (fig 9).

"En juillet- août, les alizés ont disparu de tout le secteur situé au sud du cap Blanc. Les vents sont de W-SW sur les côtes du Sénégal, Sierra Leone, Guinée, Libéria. Il pleut fortement partout à partir du sud-Sénégal. C'est la période du maximum d'extension des eaux chaudes vers le nord ; les eaux tropicales atteignent et dépassent le cap Blanc (21°N) ; les eaux libériennes arrivent à la latitude du cap Vert en août.

"En septembre, les alizés s'intensifient sur la côte mauritanienne. Il pleut encore fortement. On observe un retrait du front des eaux tropicales (front thermique), avec l'installation de l'upwelling au sud du cap Blanc, alors que les eaux libériennes atteignent leur maximum d'extension vers le nord (17°N).

"En octobre-novembre, les alizés progressent vers le sud. Les précipitations sont nettement moins abondantes en Sierra Leone et au Liberia". Rossignol constate "un double mouvement des masses d'eaux : en octobre, l'upwelling mauritanien, en s'amplifiant, chasse tout d'abord les eaux superficielles chaudes tropicales et libériennes, vers le sud."

.../...

" Dans la deuxième quinzaine de novembre les fortes précipitations de la Sierra Leone et du Liberia entraînent une élévation du niveau de la mer dans le bassin libérien et une augmentation du gradient de pression. Aussi voyons-nous, dans la deuxième quinzaine de novembre et au début de décembre, une langue d'eau libérienne progresser sur la côte en direction nord, atteignant Nouakchott (18°N), alors que les eaux tropicales continuent à refluer vers le sud. "

A partir de décembre, les eaux libériennes sont en contact avec les eaux froides. Il y a alors un front thermo-halin, alors qu'en général on observe la succession : eaux froides, eaux tropicales, eaux libériennes, avec des fronts thermiques et halins distincts.

En décembre, l'upwelling déborde le cap Vert vers le sud. Il y a retrait progressif du front vers le sud, jusqu'à son installation à peu près stable, en janvier, entre Bissagos et cap Verga.

3.2. LES CARACTERES LOCAUX DE L'HYDROLOGIE

Les documents qui permettent de préciser l'hydrologie locale sont nombreux et hétéroclites.

Quelques campagnes ont couvert tout ou partie de la zone 10° - 12°N à l'est de 18°W : Campagnes Mousson du "Gérard Tréca" en septembre-octobre 1963 (Rossignol et Cremoux 1973), 70-03 du "Laurent Amaro" en février 1970 (Cremoux 1971), campagne 74-01 et 76-02 du "Capricorne" en janvier 1974 et février 1976.

En 1960-1961, une radiale suivant le parallèle $12^{\circ}30'\text{N}$ (légèrement au sud de l'embouchure de la Casamance) a été visitée 5 fois à diverses saisons, par le "Gérard Tréca" (Anonyme 1961 et 1962). L'"Arfang", puis le "Laurent Amaro" ont répété 10 fois, en 1968 et 1969, une radiale WSW sur 12°N du cap Roxo aux accores (Champagnat et al, 1969 ; Cremoux, 1970).

Au cours d'opérations de grande envergure, certains navires ont visité la région. Parmi les plus récents :

.../...

en mars 1963, l'"Explorer", dans le cadre d'Equalant (Anonyme, 1973) ; "La Rafale" en décembre 1963 et juin 1964, au cours du "Guinéan Trawling Survey" (Williams, 1968) ; l'"Alexander von Humbolt", participant à CINECA, avec 5 campagnes de 1970 à 1973 (Schemainda et al 1975). Signalons encore qu'en avril 1937 le "Meteor" a occupé pendant 57 heures une station ancrée par 93 m de fond ($10^{\circ}16'N$ et $16^{\circ}37'W$) et effectué des observations sur la variabilité à courte échelle (Tomezac, 1970).

Examinant les radiales "Roxo" de l'"Arfang" et du "Laurent Amaro" Merle (non publié) décrit ainsi les situations d'été et d'hiver

"Hivers - Les températures en surface sont plus chaudes à la côte (supérieures à 22°) qu'au large (inférieures à 21°). La variabilité thermique est très importante à tout niveau.

Les salinités sont très homogènes (35,5) jusqu'à 50 mètres de profondeur ; au-delà elles décroissent lentement ; on est dans la zone des eaux centrales. Variabilité haline très faible.

" Les teneurs en oxygène sont fortes en surface (supérieures à 5ml/l) ; elles décroissent rapidement (oxycline importante) pour atteindre 2 ml/l sur le fond du plateau continental et à la profondeur de 50 mètres au niveau du talus. Variabilité de l'oxygène importante en surface (0 et 10 mètres), faible près du fond et à partir de 100 mètres de profondeur au large.

"Été - Températures de surface voisines de 28° , plus chaudes à la côte ; couche homogène peu épaisse (10 à 20 mètres) ; thermocline bien marquée. Variabilité thermique importante entre 20 et 50 mètres (thermocline), moyenne en surface.

" Salinités très contrastées ; dessalures très importantes, d'autant plus fortes qu'on est près de la côte (salinité inférieure à 32 ‰) ; gradients verticaux très forts. Au-delà du plateau, maximum de salinité ($35,6 \text{ ‰}$) autour de 50 mètres de profondeur. Variabilité haline très importante à la côte (dessalures), moyenne et faible ailleurs.

.../...

Teneurs en oxygène plus faibles (entre 4 et 4,5 ml/l) qu'en hiver dans les couches superficielles. Par contre l'isoligne 2 ml/l est plus profonde (100 mètres) qu'en hiver. Variabilité faible en surface, moyenne près du fond".

3.2.1. Hiver

La variabilité élevée dont fait état Merle a plusieurs niveaux, temporels et spatiaux. Elle est géographique : la présence d'une zone frontale a pour conséquence la coexistence de différentes eaux de surface et donc d'une gamme étendue de températures et de salinités. Il existe aussi une variabilité temporelle notable au sein de la saison, plus ou moins directement liée à la variabilité atmosphérique : au cours de l'hiver, les vents dominants restent du nord mais la seconde direction dominante du vent évolue ; les vents de NE présents en décembre (29 %) diminuent au bénéfice de la direction NW qui devient en mars, avec 23 %, la deuxième direction dominante ; cette rotation vers l'ouest n'est pas un phénomène continu : les moyennes expriment que des situations de vents entre NE et NW se présentent de décembre à mars, avec des probabilités de secteur ouest de plus en plus élevées avec l'avancement de la saison. Enfin la variabilité interannuelle est grande aussi. A titre d'exemple nous donnons (fig 10) les températures de surface observées par les navires océanographiques au cours de leurs différentes campagnes. On voit que les écarts entre valeurs observées au même point et à la même époque, en des années différentes, sont de plusieurs degrés. Berrit (non publié) a examiné la variabilité interannuelle sur les stations de la côte d'Afrique et trouvé que, de St Louis du Sénégal à Cotonou, les saisons froides étaient celles qui manifestent la moins grande fidélité. A cet égard comme à bien d'autres, la Guinée Bissau semble soumise, pendant l'hiver, à la même loi que la région Sénégal-Mauritanie. Le schéma de Merle, qui exprime une situation moyenne (peut-être la plus probable), demande ainsi à être nuancé, compte tenu de la grande variabilité.

.../...

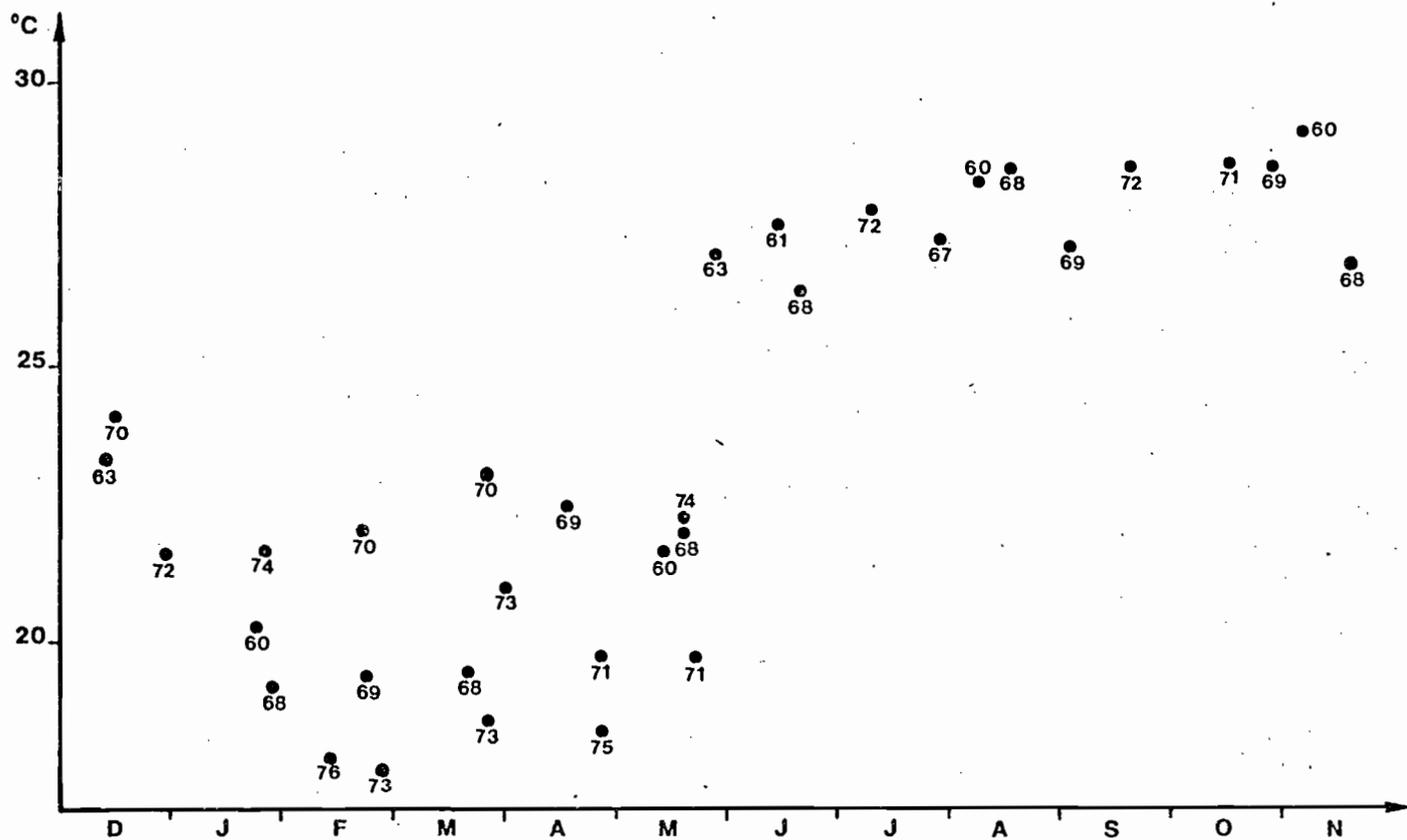


Figure 10 - Températures de surface observées par les navires océanographiques par 12°N au-dessus des fonds de 100 m. La dispersion est forte de janvier à mai.

En règle générale les températures sont plus élevées au sud qu'au nord et la différence peut être de plusieurs degrés sur les 120 milles d'extension en latitude de la façade maritime de la Guinée Bissau : c'est la phénomène de zone frontale.

D'ouest en est, des situations différentes peuvent se présenter en ce qui concerne l'évolution du large vers la côte des températures et des salinités. Les figures 11 et 12 présentent les coupes déduites de deux séries d'observations, en février 1969 et 1970, respectivement.

Les coupes de février 1970 (fig 12) indiquent une situation d'upwelling qui amène en surface, à la côte, des eaux de $20,2^{\circ}$ à 21° avec des sigma t de 24,5 à 25,0 qui se trouvent aux accores à des profondeurs de 30-50 m. La salinité de ces eaux qui serait de $35,50$ ‰ environ est abaissée au voisinage de 35 très probablement par mélange avec des eaux déssalées venant du sud - * (on observe moins de 35 ‰ à 30 milles au sud). Il y a eu vraisemblablement, à l'époque de la coupe, un contre-courant très côtier NW que ne mentionnent pas les documents nautiques. L'upwelling peut se produire plus au large comme il est visible sur la coupe du Humbolt (fig 13), où les eaux à la côte ont des températures qui dépassent les 22°C mais où un minimum est atteint aux accores ($18,7^{\circ}\text{C}$), alors que, à 140 milles au large on observe $21,4^{\circ}$.

L'autre situation, en février 1969 (et une autre, analogue, en février 1961) n'est pas une situation d'upwelling. Les températures et les salinités plus fortes à la côte qu'au large s'expliquent par un réchauffement et une concentration des sels par évaporation sur les faibles fonds, peut-être par l'influence de la Casamance qui, comme on le sait, joue le rôle de bassin de concentration en saison sèche (Brunet Moret, 1969). Le courant côtier serait alors de SE, comme au large.

.../...

* Cette situation correspond vraisemblablement à un vent de NW.

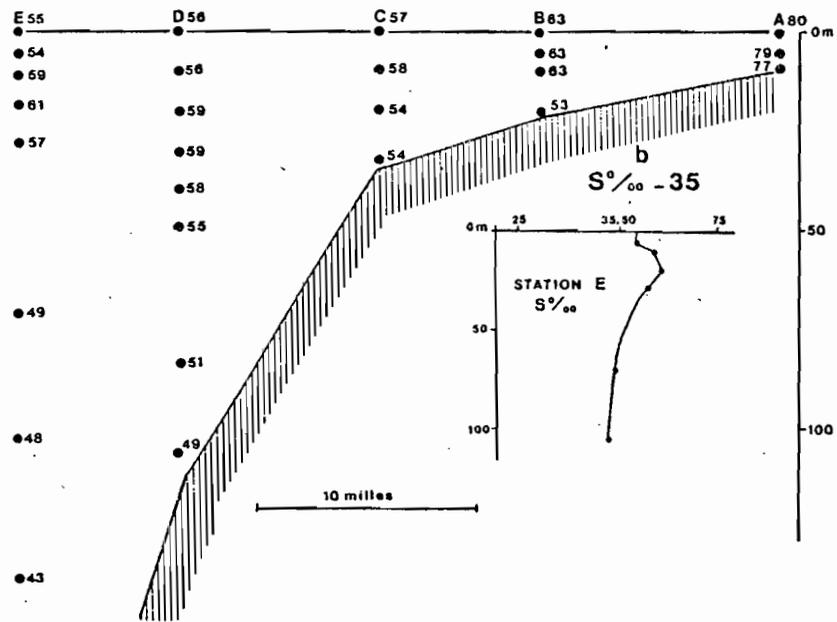
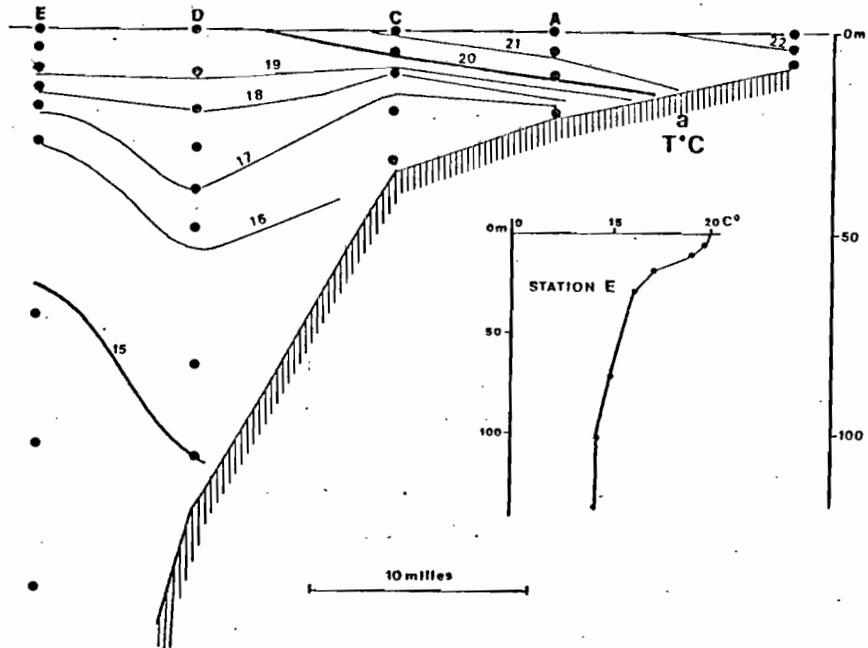


Figure 11 - Coupe 12°N - 24 février 1969

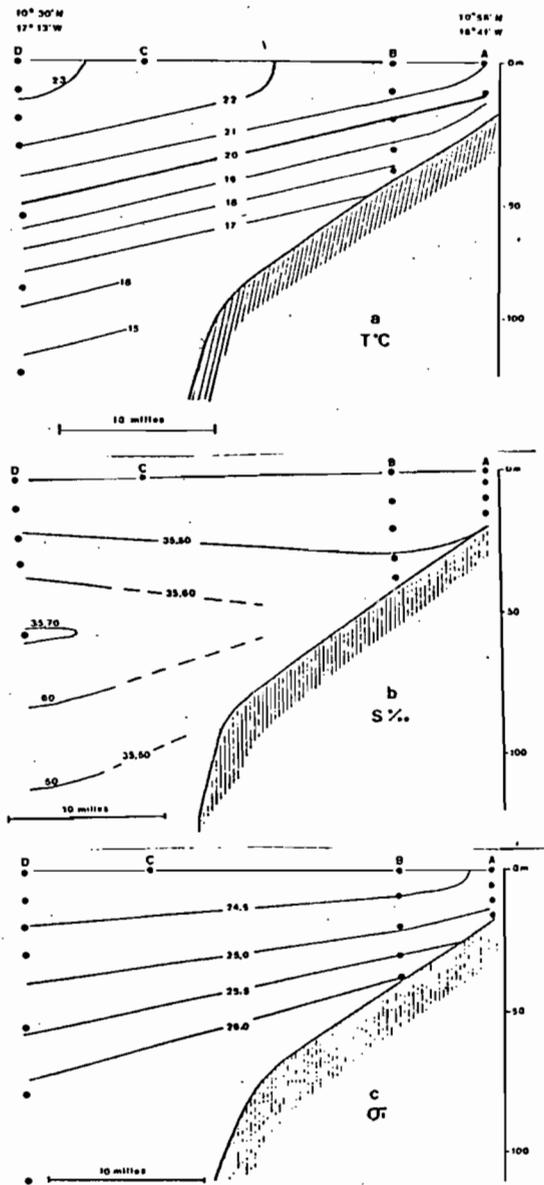


Figure 12 - Coupe 12°N - 24 février 1970

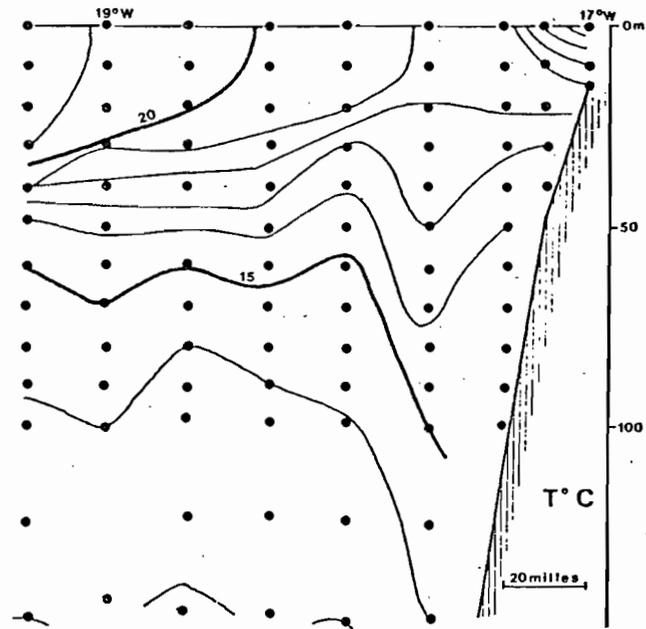


Figure 13 - Coupe du "Humbolt" - 12°N.
Les salinités n'ont pas été représentées:
elles varient peu ($35,50 \pm 0,10 \%$).

En résumé, en hiver, les couches superficielles sont relativement froides : la Guinée Bissau appartient à la partie nord de la zone frontale. Selon les années les températures peuvent différer de plusieurs degrés. Deux situations type sont possibles, en relation probable avec des directions SW ou NE du vent et l'existence du contre-courant NW : dans l'une il y a upwelling avec températures plus basses à la côte ; dans l'autre, sans upwelling, les eaux côtières sont plus chaudes et aussi plus salées qu'au large.

3.2.2. En été *

De juillet à septembre, les vents dominants sont de SW (fig 3). Les contre-courants NW sont bien développés sur tout le plateau continental. Il pleut abondamment (fig 4).

Là encore la situation moyenne décrite par Merle demande à être analysée.

Alors qu'en hiver les gradients verticaux étaient, en règle générale, assez faibles et variaient peu, sur les 100 premiers mètres, on trouve en été une thermocline à des profondeurs de 15 à 50 m, associée ou non à une halocline. La couche de mélange peut être constituée par deux eaux différentes : ou très salées, généralement en début de saison (fig 14), ou moyennement dessalées (fig 15). Le premier cas (eaux salées) correspond probablement à un flux superficiel d'ouest ou nord-ouest ; le second, avec la dessalure, à la présence d'eaux venant du sud ou formées sur place par les précipitations et les apports fluviaux.

3.2.3. Pendant le printemps les vents continuent à tourner vers le NW. En moyenne les fréquences de NE tombent au-dessous de 5 %, celles de N de 36 % en avril à 16 % en juin. Leur force se maintient à 3 Beaufort. A terre, on observe au sol des vents dominants de SW avec des occurrences de S allant jusqu'à 20 %. Dès avril il a commencé à pleuvoir sur les côtes de Guinée.

.../...

* Les observations océanographiques sont plus rares qu'en hiver.

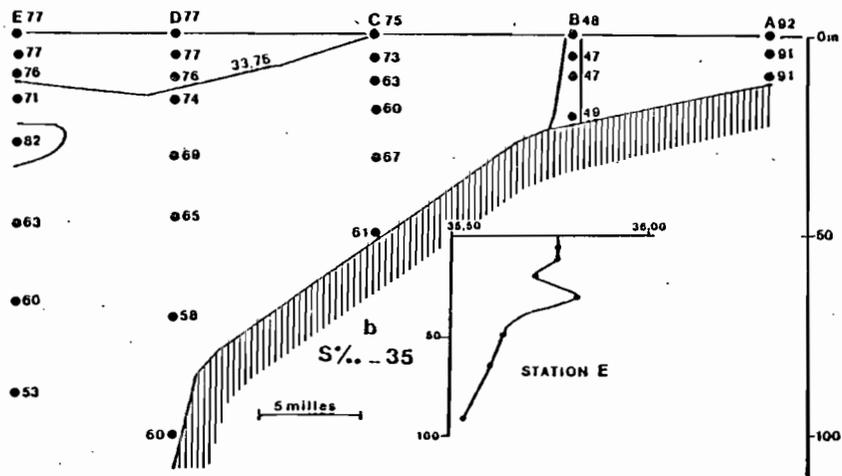
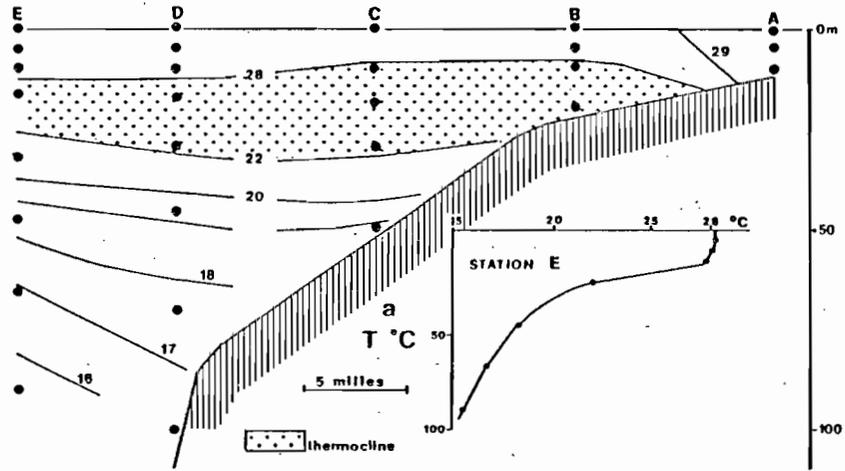


Figure 14 - Coupe 12°N - 17 août 1968

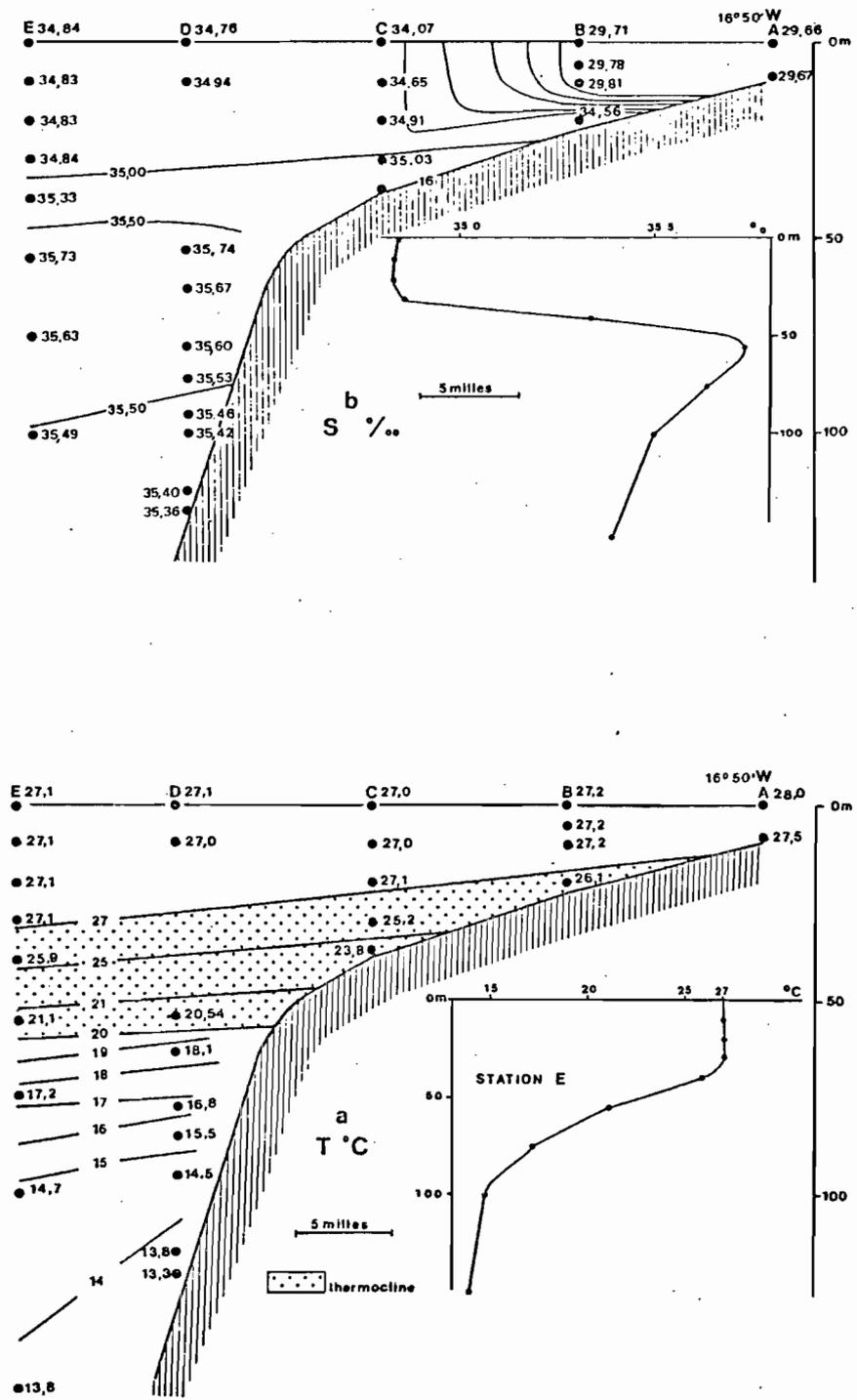


Figure 15 - Coupe 15°N - 3-4 septembre 1969

A Cacheu, mai et surtout juin subissent des précipitations notables. Les contre-courants NW sont la règle au voisinage de la terre.

Les observations concordent, sur la radiale Roxo, de la côte aux accores et jusqu'à une centaine de milles au large : une thermocline assez diffuse ($0,1^{\circ}\text{C}/\text{m}$ environ) limite une couche de mélange dont la température peut être, selon la période, de 22 à 26°C et dont l'épaisseur va de 10 à 50 m, selon la date et l'éloignement de la côte.

Les salinités sont très homogènes variant peu autour de $35,60$ ‰, avec parfois des valeurs plus élevées par petits fonds, en sorte que les isopycnes sont sensiblement confondues avec les isothermes. L'allure de ceux-ci révèle un upwelling faible le long du talus continental, amenant sur une dizaine de milles des eaux du niveau 50 m à celui de 20 m et qui n'est généralement perceptible en surface que par une baisse légère de la température au-dessus des fonds de 100 m (fig 16).

3.2.4. En automne le retour de la situation d'été à celle de l'hiver se fait, en ce qui concerne les vents, par une période (septembre-octobre) où la force tombe à 2 Beaufort et où la direction est fluctuante entre le NE et le S :

Tableau 2

Fréquences des vents d'août à décembre en %

Mois	NE	N	NW	W	SW	S
S	6	11	12	15	20	15
O	10	20	15	10	9	10
N	17	38	12	6	4	
D	29	45	9			

.../...

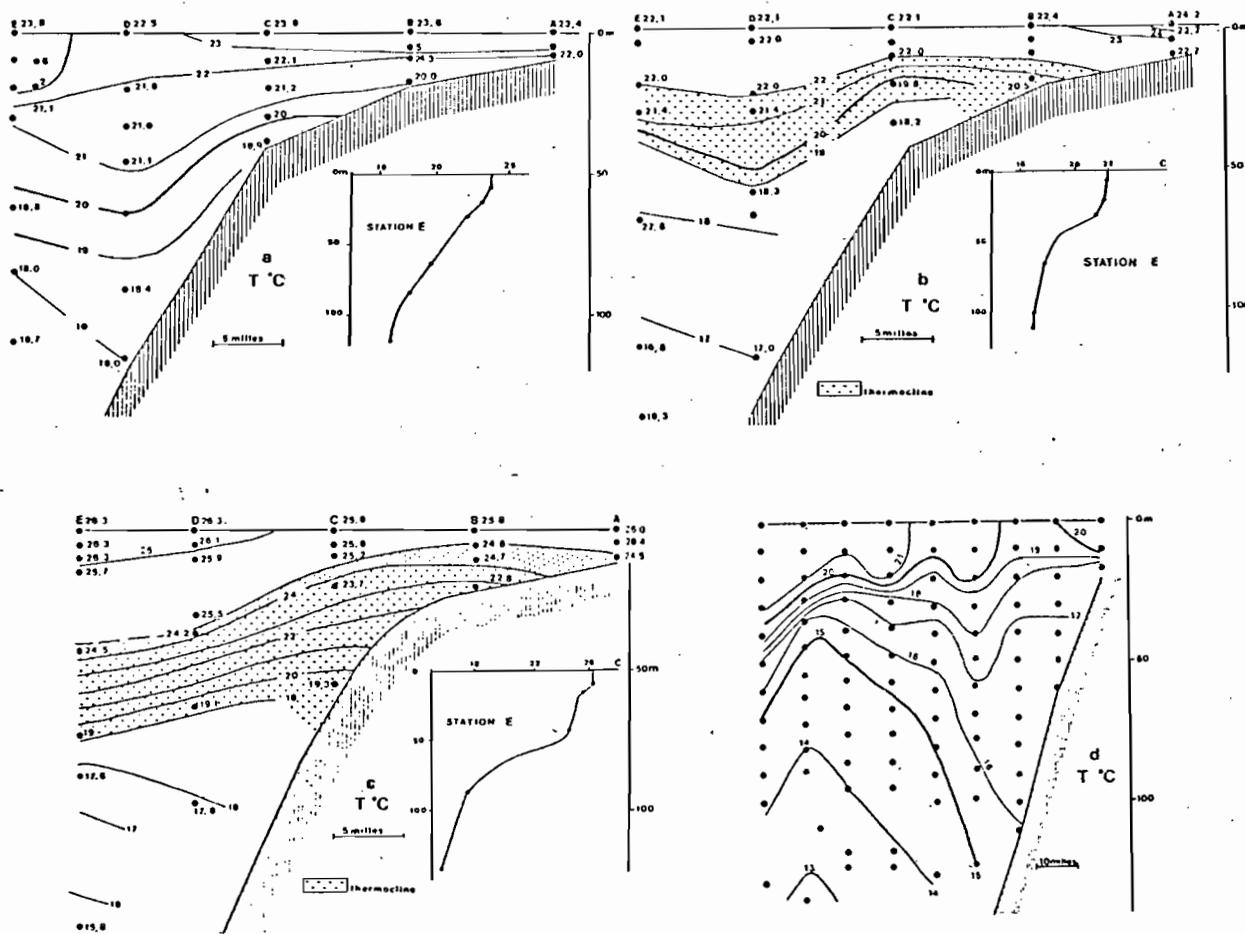


Figure 16 - Températures sur 12°N
 a - 17 avril 1969 ; b - 17 mai 1968
 c - 21 juin 1968 , d - 23-24 avril 1971

Les fréquences SW, W, et NW baissent tandis qu'augmentent celles de N et de NE. En décembre, le vent est bien établi au nord avec une force 3.

Les pluies ont cessé en novembre (1.3.). C'est vraisemblablement au début de l'automne que les apports fluviaux d'eau douce sont à leur maximum (1.4.).

Le contre-courant de surface portant au NW pendant l'automne est connu des navigateurs (2.1.).

Cette saison représente bien, semble-t-il, une période intermédiaire où se rencontrent des situations type d'été et d'hiver : couche de mélange chaude, soit salée fortement, soit déssalée (été) ; ou relative homogénéisation et températures basses (hiver).

La figure 17 représente les conditions hydrologiques en octobre 1971 sur 12°N, analogues à celles rencontrées en été : environ 30 m de couche de mélange à plus de 27°C, une thermocline sur 20 m entre 20° et 27°, un noyau de salinité maximum voisin de 35,75 ‰. Les eaux, au voisinage de la côte sont fortement déssalées devant la Guinée (campagne "Mousson", Rossignol et Cremoux 1973) et c'est probablement à elles que se rattachent les faibles salinités de surface.

En décembre, les conditions thermohalines sont déjà, généralement, celles de l'hiver.

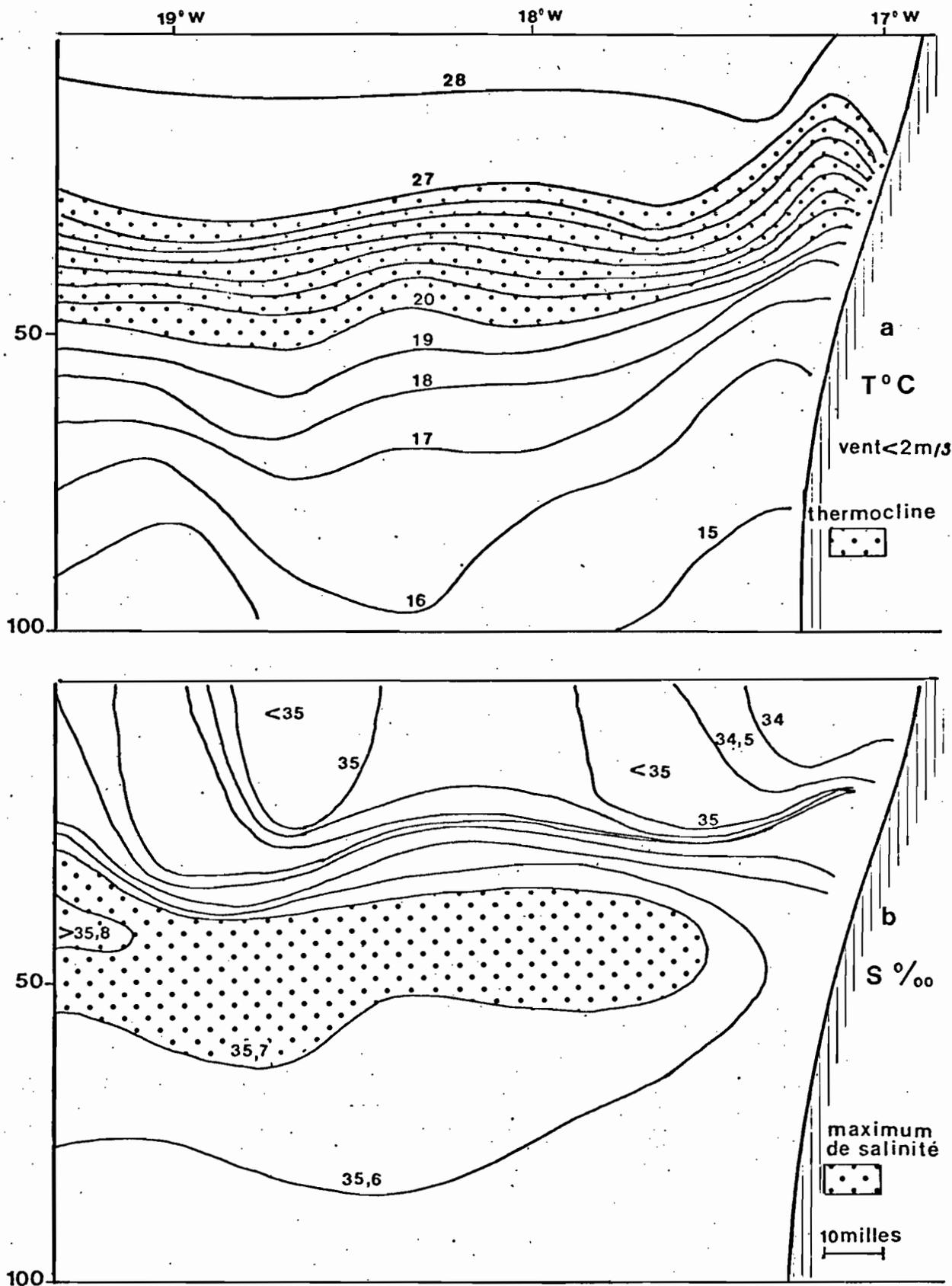


Figure 17 - Coupe 12°N - 16 octobre 1971

4. HYDROCLIMATOLOGIE

L'hydroclimat est défini comme "la succession habituelle des caractères d'une couche d'eau en un lieu donné" (Berrit, 1973). L'hydroclimatologie descriptive d'une région représente, pour les conditions de milieu, la vue synthétique la mieux adaptée à un usage écologique. Elle couvre les notions de moyennes et de variabilité, et suppose donc une certaine densité temporelle d'observations, généralement à point fixe.

4.1. Il n'existe pas, à notre connaissance, de station fixe en Guinée Bissau. Les plus proches sont celles de Conakry (une série de températures de 2 ans) et la relativement longue chronique de M'Bour (24 ans), 200 milles au nord ($14^{\circ}24'N$).

Les observations de Berrit en 1957-1958 (1962) sur la ligne de navigation Dakar-Conakry, fournissent, au voisinage des accores, un exemple de l'évolution des températures et des salinités sur une année (fig 18). La variabilité du cycle ne peut être appréciée que par une extension des informations fournies par les chiffres de M'Bour.

La figure 19 représente les variations thermiques en 1957-1958 à Conakry, M'Bour, et sur le parallèle $11^{\circ}30'N$, aux accores. On voit que le cycle des températures devant la Guinée Bissau ressemble à celui de M'Bour, avec 3 à $4^{\circ}C$ de plus de novembre à avril, et des valeurs voisines (différant de moins de $1^{\circ}C$) de juin à octobre.

Les températures de surface extraites de l'atlas de Mazeika (1968) confirment le découpage thermique saisonnier apparent sur la figure 19 :

- de janvier à avril, saison froide ($22-23^{\circ}C$ en surface)
- de juin à novembre, saison chaude, avec plus de $26^{\circ}C$.

Mai et décembre sont des mois de transition.

Les moyennes de Mazeika, comme l'exemple de 1957-1958, font apparaître un minimum secondaire en août. Il se produit aussi en ce même mois un léger reflux vers le sud du front des alizés nord ; les deux phénomènes sont vraisemblablement liés.

.../...

Diagramme halin sur le trajet Dakar-Sierra Leone

Les eaux salées descendent au Sud de Dakar de décembre à juillet. Elles dépassent Conakry en avril.

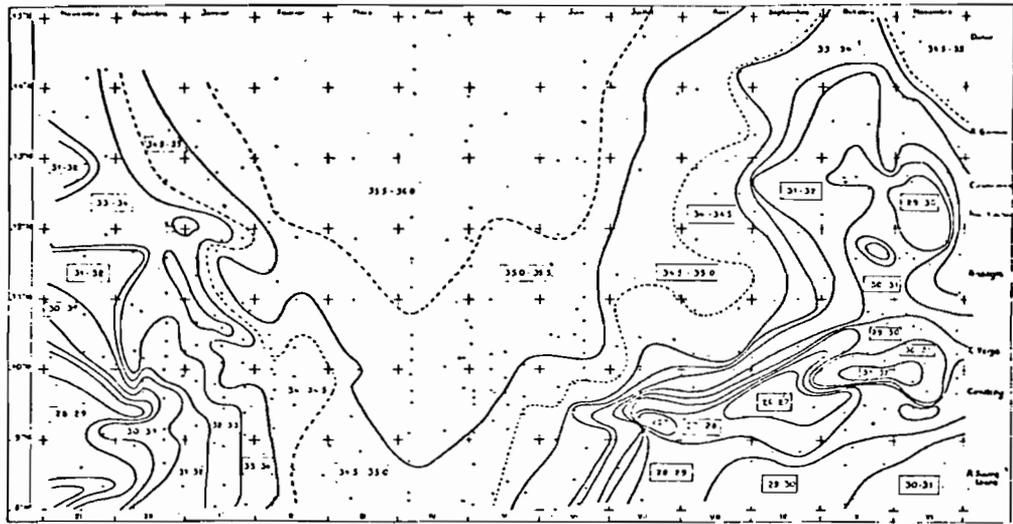


Diagramme thermique sur le trajet Dakar-Sierra Leone

De janvier à avril, eaux froides au Sud de Dakar jusqu'aux îles Bissagos. La zone frontale se place entre le cap Verge et la Casamance

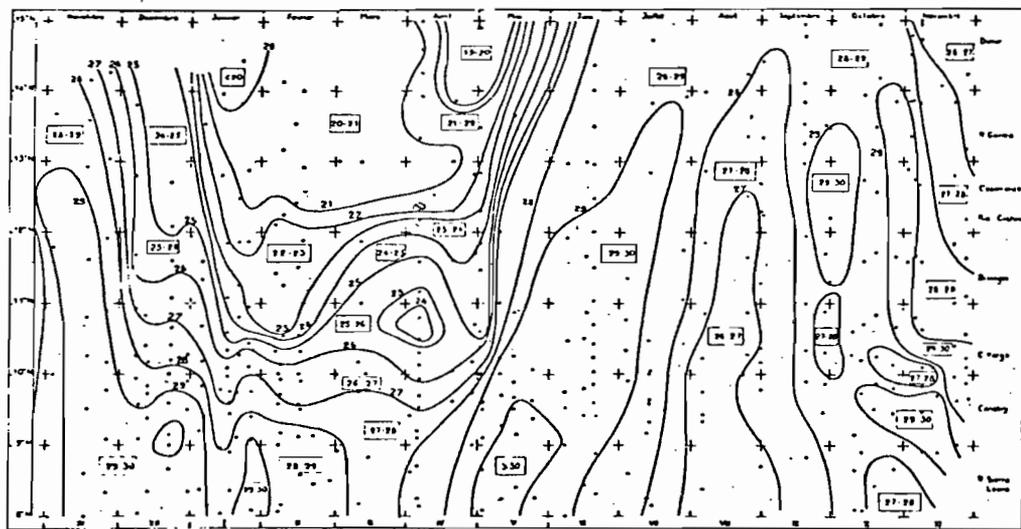


Figure 18 - Variations thermiques et halines en 1957-58 - Extrait de Berrit (1962)

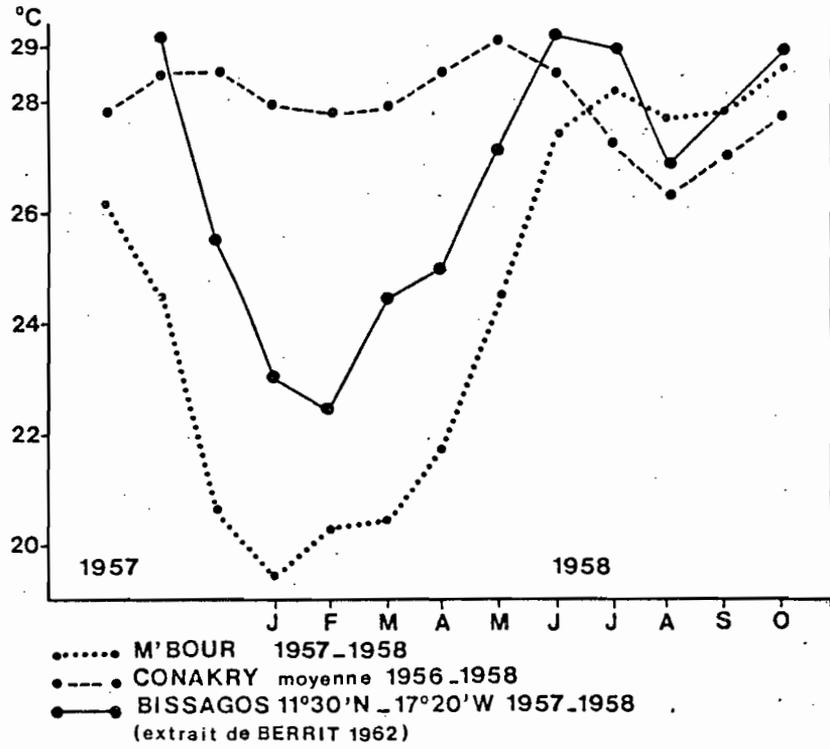


Figure 19 - Températures à M'Bour, Conakry, et aux Bissagos.

Le régime des salinités est plus difficile à décrire, faute d'observations suffisantes. De Berrit (1961 et 1962) on extrait la figure 19b valable pour les accores en 1957-1958 : voisines de 35 ‰ ou supérieures de janvier à août, les salinités seraient basses (moins de 33 ‰) de septembre à décembre. C'est une variation analogue, avec des dessalures nettement moins marquées, qui a été observée en baie de Gorée en 1951 par Berrit (1952) et qui a été depuis confirmée par les diverses stations du Sénégal (Rebert et Privé, 1977).

Les observations ponctuelles confirment les régimes de température et de salinité schématisés ci-dessus.

Les fortes amplitudes de variation annuelle de la température de surface (plus de 6°C) et de la salinité (5 ‰ environ) sont interprétables par les changements de catégories d'eau et par les mouvements des fronts, thermiques et halins : nous avons vu (3.1.) que trois catégories d'eaux occupent successivement la région au cours de l'année : eaux froides et salées, ce sont les basses températures et les salinités de plus de 35 ‰ de la saison froide ; eaux tropicales, chaudes et salées, du début de saison chaude ; eaux libériennes, chaudes et dessalées en fin de saison chaude (fig 9).

Les considérations ci-dessus ne valent, au sens strict, que pour les conditions de surface. Celles-ci reflètent très généralement celles d'une tranche d'eau de quelques dizaines de mètres. Le fait que les radiales 12°N et 12°30'N aient été au total, visitées 25 fois de 1960 à 1973 à différents mois de l'année, permet d'examiner les variations de températures et de salinité sur une épaisseur de 50 m (fig 20). Nous y voyons que les indications fournies par les températures de surface sont valables en profondeur, et y trouvons quelques informations complémentaires:

.../...

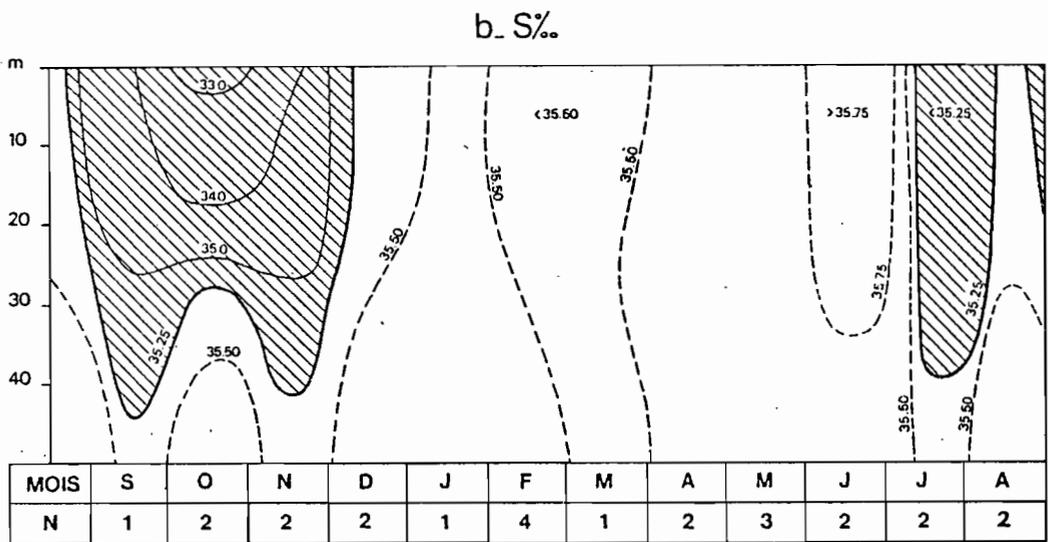
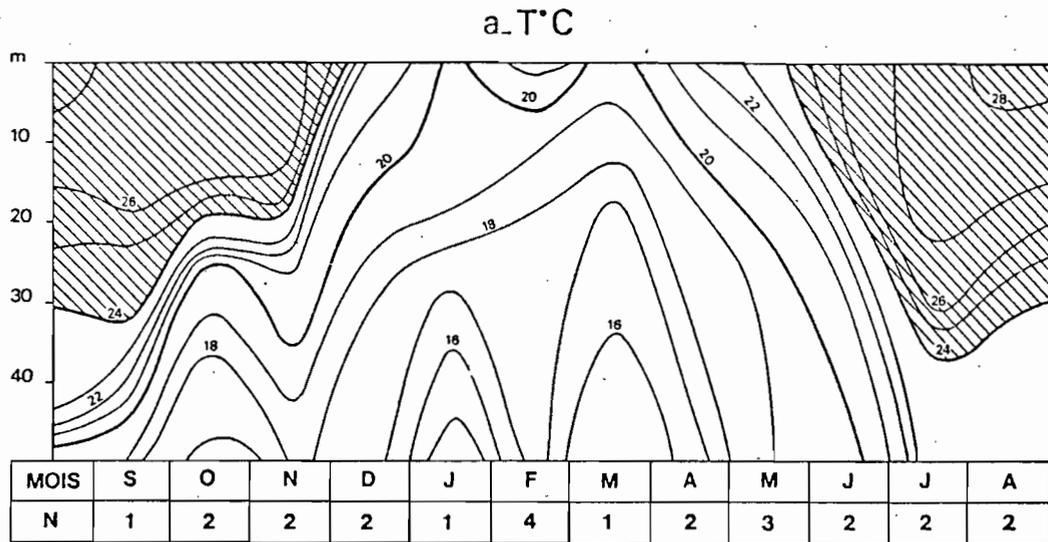


Figure 20 - Evolution des températures et des salinités sur 12°/12°30'N

- les eaux chaudes (plus de 24°C), de juin à novembre, ont une épaisseur de 20 à 30 m. Une thermocline (de 23 à 21°) les sépare des eaux froides sous-jacentes.

- la période d'eaux froides apparaît plus clairement à partir de 10 m de profondeur qu'en surface où des phénomènes peut-être secondaires font apparaître un réchauffement en février. Nous remarquerons que de tels réchauffements sont observés à M'Bour en février-mars

Le diagramme des salinités de la figure indique que celles-ci restent pratiquement constantes au niveau 50 m, mais que des variations saisonnières se manifestent jusqu'à 40 m :

- de janvier à avril, les valeurs restent voisines de 35,50 sur toute la couche d'eau. C'est aussi la saison froide.

- en mai-juin, les salinités, plus fortes, vont jusqu'à avoisiner 36 ‰. Elles sont maximum en surface. Cette période est, au point de vue thermique, une transition et le début de la saison chaude. L'eau est de la catégorie "tropicale".

- de juillet à novembre, une dessalure se manifeste jusqu'à 40 m où on relève moins de 35,25. L'isohaline 35 dépasse les 20 m de septembre à novembre. En surface on note moins de 33 en octobre. Les eaux sont alors chaudes et appartiennent donc à la catégorie "eaux chaudes dessalées", comme celles qu'on trouve plus au sud devant la Guinée, la Sierra Leone et le Libéria.

4.2. VARIABILITE INTERANNUELLE

Les informations directes sont rares. Il est toutefois possible de supposer quelques caractères qualitatifs :

- la Guinée Bissau se trouve, en saison froide (de janvier à avril), dans une zone frontale dont la position et la forme varient probablement quelque peu d'une année à l'autre.

.../...

D'autre part, la variabilité thermique interannuelle, sur la côte africaine de St Louis à Lagos, est élevée en saison froide (Berrit, non publié). Ces deux remarques amènent à supposer, sans grand risque d'erreur, qu'au point de vue des températures :

- janvier, février, mars et avril sont très variables d'une année à l'autre.

- mai et décembre, en tant que transitions le sont sûrement aussi.

La plus grande fidélité se placerait ainsi de juin à novembre, avec une valeur minimum en août, correspondant au reflux, passager et probablement très variable, des alizés.

Il est encore plus difficile de s'avancer sur le terrain de la variabilité des conditions halines. On sait seulement que, du fait du très faible gradient vertical de salinité, la variabilité haline est peu affirmée en saison froide malgré les fluctuations de l'upwelling (qui sont causes d'une forte variabilité thermique). La part principale de la variance du cycle halin est très probablement, en Guinée Bissau comme au Sénégal, supportée par les mois de saison chaude.

5. PRODUCTIVITE DES EAUX

La productivité réelle des eaux de la Guinée Bissau est actuellement très mal connue. Un seul programme d'étude systématique a été entrepris jusqu'à présent par le "Alexander von Humbolt" dans l'ensemble de la zone de l'upwelling ouest-africain qui couvre la Guinée Bissau (3.). Les données utilisées dans ce rapport proviennent essentiellement des résultats de ces campagnes présentées par Schemainda et al en 1975.

Les conclusions relatives à la Guinée Bissau découlent des mesures exécutées sur la radiale 12°N (au sud du cap Roxo) qui a été visitée 7 fois, de 1970 à 1973, à différentes périodes de l'année ; et aussi d'une radiale "cap Verga", visitée 3 fois.

Seule la production végétale a été évaluée par la technique classique du C14. Cette production primaire peut être reliée aux autres facteurs grâce à des mesures simultanées de chlorophylle a qui permet une estimation de la biomasse végétale, et des principaux sels nutritifs (nitrates et phosphates).

En ce qui concerne la production secondaire, quelques déterminations isolées de biomasse zooplanctonique ont été réalisées par le "Laurent Amaro" et le "Capricorne", mais en nombre insuffisant pour autoriser une estimation même grossière à l'échelle de la région.

5.1. MECANISMES DE PRODUCTION

Le développement d'une production primaire importante, premier maillon de la chaîne alimentaire, nécessite la présence de sels nutritifs dans la zone euphotique, où ils sont consommés lors des processus de photosynthèse.

.../...

La Guinée Bissau est dans une zone tropicale où les apports naturels en sels nutritifs en provenance des couches profondes sont limités en raison de la forte stratification due à l'existence d'une thermocline permanente. La stratification est d'ailleurs ici renforcée par la présence quasi-permanente en surface, au-dessus du plateau continental, d'une eau faiblement salée. On pourrait donc penser que la région est peu favorable à une forte production primaire.

Plusieurs phénomènes viennent modifier ce schéma, et font, au contraire, de la Guinée Bissau, une région de forte production :

- l'upwelling côtier qui se produit sur le plateau continental de décembre à mars ou mai selon les années, est accompagné d'un flux de sels nutritifs, dans toute la zone située au nord du front des Bissagos. Au sud du front, bien qu'on n'observe plus d'eau froide en surface, l'élévation de la thermocline qui pénètre largement dans la couche euphotique permet une production à ce niveau.

- le régime des courants (2.2.) qui, en saison sèche, enrichit toute la zone côtière par advection de la biomasse végétale produite par l'upwelling de la "Petite Côte" sénégalaise. Il y a accumulation sur le plateau continental au niveau de la convergence, au voisinage des Bissagos, de la dérive sud des eaux sénégalaises et du contre-courant côtier.

- après la saison d'upwelling, alors que les eaux très pauvres du contre-courant équatorial atteignent la côte, se produit un nouveau phénomène favorable à l'enrichissement : les apports continentaux d'eaux douces relativement riches en sels nutritifs. C'est surtout la partie sud, où la dessalure est la plus importante, qui serait favorisée. Ces eaux fluviales étant surtout riches en phosphates, il se produit un déséquilibre entre les proportions relatives des sels nutritifs nécessaires à la photosynthèse. Des teneurs très basses en nitrates ont été observées en mer.

.../...

Cet ion peut devenir un facteur limitant de la production. Il est vraisemblable que cette situation entraîne des différences taxonomiques au niveau du phytoplancton, mais ce point n'a pas été encore examiné.

L'importance relative de ces divers facteurs d'enrichissement est difficile à évaluer vu surtout le petit nombre des mesures effectuées. Il semble cependant que l'upwelling soit le principal facteur de modulation de la production.

5.2. RESULTATS DES MESURES ET ESTIMATIONS

Pour la radiale 12°N, d'après les chiffres de Schemainda et al (1975), la production primaire, estimée en grammes de carbone fixé par m² et par jour, est maximum en période d'upwelling. Des valeurs supérieures à 1,5 gC/m² .j. ont été mesurées en mars. Géographiquement, les plus fortes sont dans la zone du talus continental (fig 21).

La divergence des courants amène une forte accumulation de biomasse végétale près de la côte où des taux de chlorophylle a supérieurs à 9 mg/m³ ont été relevés en avril. Vers le large des taux moins élevés sont à attribuer à la dispersion des cellules, les eaux restant cependant riches, jusqu'à plus de 100 milles au large où des teneurs supérieures à 1 mg/m³ peuvent encore subsister au niveau de la thermocline (fig 22).

A partir de juillet et jusqu'à la reprise de l'upwelling en décembre, les eaux semblent pauvres, production et biomasse sont uniformément faibles malgré un taux élevé de phosphates dans les eaux côtières de surface (fig 22). Il est probable que la carence en nitrates empêche un développement de la production primaire à cette période de l'année.

Plus au sud par contre, entre cap Verga et Bissagos, une très forte production apparaît en décembre (plus de 1,5 gC/m² j.) . . associée à une nappe d'eau côtière déssalée (fig 22).

.../...

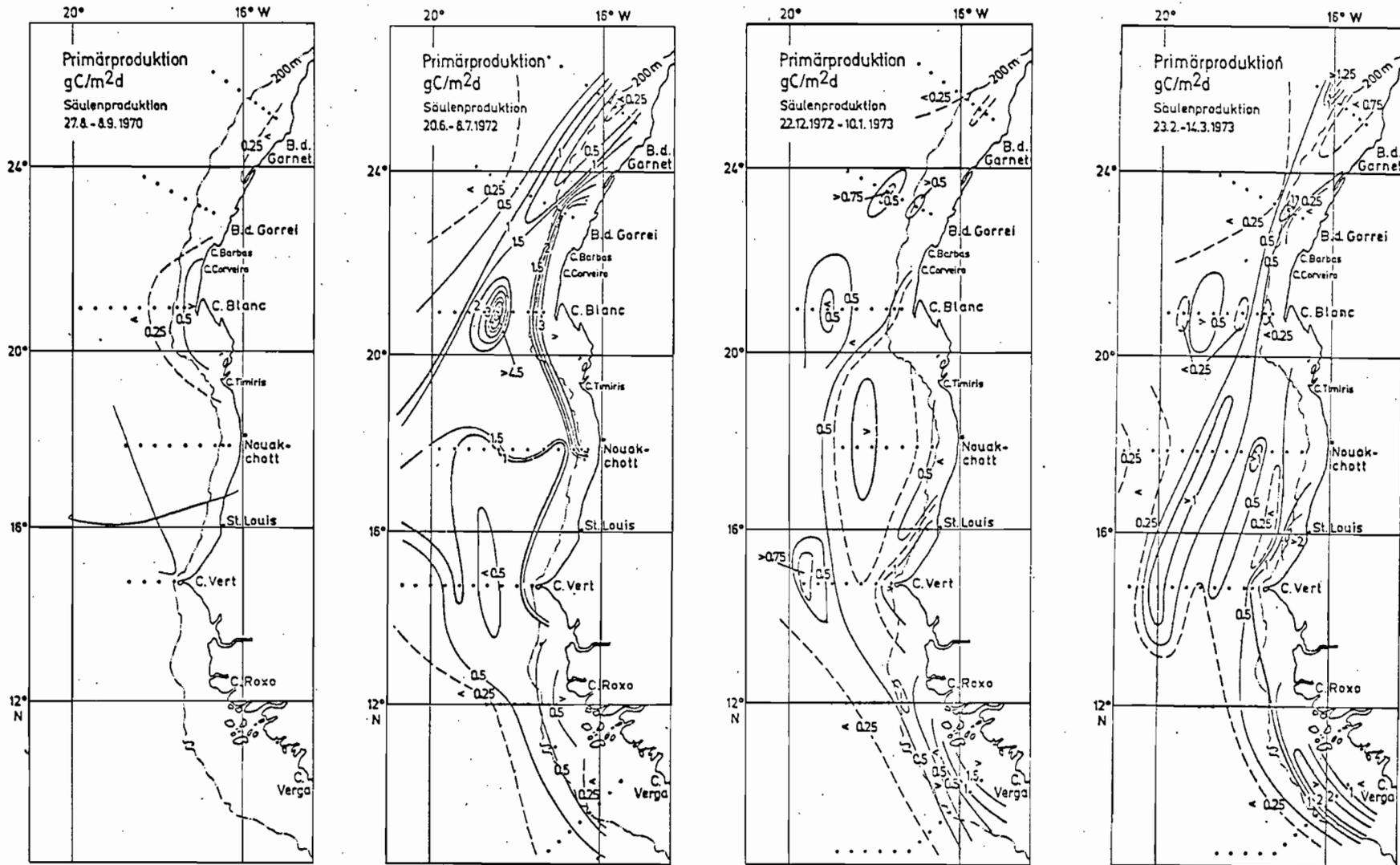
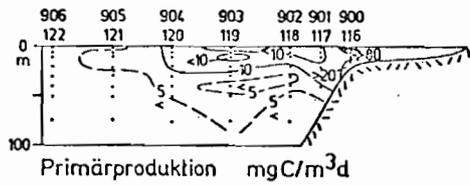
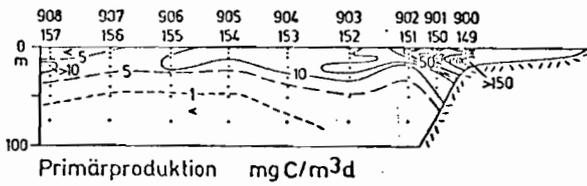
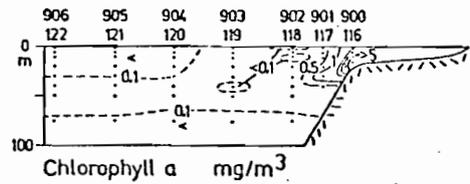
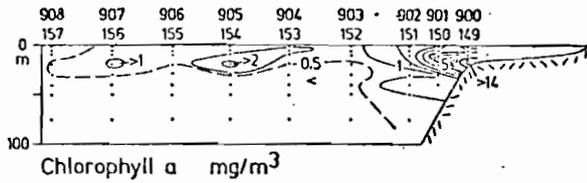
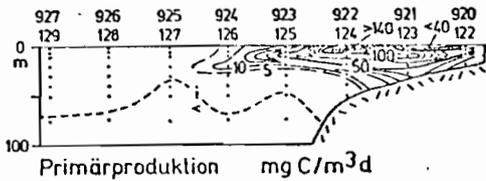
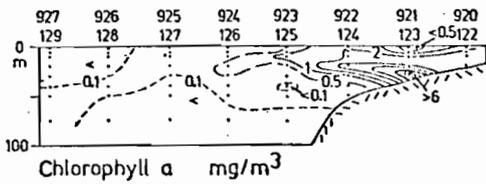


Figure 21 - Production primaire - Extrait de Schemainda et al (1975)



- a -

- b -



- c -

Figure 22 - Répartition verticale de la chlorophylle a, et de la production primaire devant le cap Roxo et le cap Verga-
Extrait de Schemainda et al (1975)
a : cap Roxo (12°N) - 27-28 février 1973
b : cap Roxo (12°N) - 6 juillet 1972
c : cap Verga (8°37' - 10°12'N) - 23-24 février 1973

Aucune mesure n'a été réalisée malheureusement en pleine période de dessalure. Une estimation, même approximative, de la production est donc impossible. Il est probable cependant, qu'en fonction de cet ensemble de phénomènes, la productivité des eaux en face de la Guinée Bissau connaisse d'importantes variations géographiques suivant les saisons considérées, l'upwelling intéressant principalement la partie nord et le front des Bissagos, l'influence de la dessalure étant au contraire maximum au sud de l'archipel.

5.3. Quant aux VARIATIONS INTERANNUELLES DE LA PRODUCTION, rien ne permet de les estimer actuellement. Toutefois, l'intensité et la durée de l'upwelling côtier étant très variable d'une année à l'autre, il s'ensuit que la partie de la production liée à cette source d'enrichissement serait certainement beaucoup plus variable que celle due aux apports fluviaux qui bénéficient comme on l'a vu précédemment (1.3.) d'une pluviométrie assez régulière.

5.4. PRODUCTION HALIEUTIQUE POTENTIELLE

En partant des séries de mesure du A. von Humbolt, Schemainda et al (1975) ont calculé la production totale annuelle de carbone pour différents secteurs de la côte ouest-africaine, notamment la zone comprise entre cap Verga et cap Roxo (fig 23). La production primaire moyenne y serait de 16,6 millions de tonnes de carbone par an, avec 9 millions sur le plateau continental, dont la superficie est estimée à 38 000 km². Le rendement de la production serait donc de 240 t/km² ou 0,665 gC/m² et par jour. Ces chiffres sont du même ordre de grandeur que ceux calculés dans l'ensemble de la zone des upwellings ouest-africains.

.../...

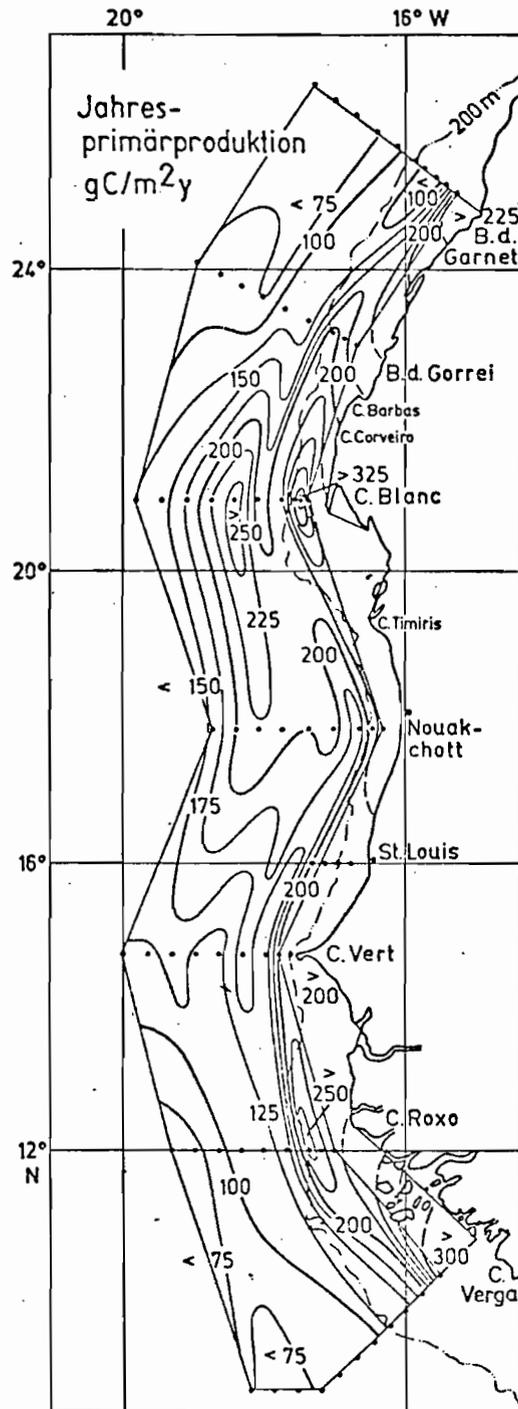


Figure 23 - Production totale annuelle de carbone - Extrait de Schemainda et al (1975)

Pour les eaux de la Guinée Bissau, on obtiendrait donc une production primaire totale d'environ 11 millions de tonnes par an pour l'ensemble des eaux jusqu'à 150 milles au large, dont 6 millions pour le plateau continental.

A titre de comparaison avec d'autres parties du monde, la productivité se situe en deçà de la région de l'upwelling Perou-Chili où la production peut atteindre 11,2 gC/m² .j. et qui est considérée comme la plus riche du monde. Elle est par contre beaucoup plus productive que les régions océaniques tropicales où l'on estime la production de carbone par an à 70 g/m², ou bien la Mer du Nord, pourtant tenue pour riche, dont la productivité est du même ordre (50 à 120 gC/m² par an).

A partir de ces chiffres de production primaire, on peut estimer très grossièrement la production halieutique maximum pour l'ensemble des espèces, en tenant compte de la longueur moyenne de la chaîne alimentaire et des rendements des maillons successifs. Pour l'ensemble du plateau continental de Guinée Bissau, la production totale maximum, au niveau tertiaire (poissons, crustacés, ...), serait de l'ordre de 1,4 millions de tonnes par an.

Il est à noter qu'un tel chiffre classe cette région dans les zones les plus riches de la côte ouest-africaine et qu'il est comparable à celui du secteur Mauritanie au voisinage du cap Blanc.

6. BIBLIOGRAPHIE

Anuario climatologico de Portugal. II. Parte. Territorios ultramarinos. Publication annuelle.

Berrit, G.R. 1952 a. Esquisse des conditions hydrologiques du plateau continental du Cap Vert à la Gambie. Bull. I.F.A.N. 14 (3) : 735-761.

Berrit, G.R. 1952 b. Mesures de températures et de salinité en A.O.F. en 1950-51. Comité Local d'Océanographie et d'Etude des côtes de l'A.O.F. Annexe II. Dakar. 1952. 30 p ronéo. r 10-29.

Berrit, G.R. 1961 et 1962. Contribution à la connaissance des variations saisonnières dans le golfe de Guinée. Cahiers Océanogr. 1961. 13 (10) : 715-727. 1962. 14 (9) : 633-643. (10) : 719-729.

Berrit, G.R. 1973. Recherches hydroclimatiques dans les régions côtières de l'Atlantique tropical oriental. Etat. des connaissances et perspectives. Bull. Museum. Nat. Hist. Nat. 3^e Sér. N° 148. mai-juin 1973 Ecol. Gen. 4. : 85-99.

Berrit, G.R. 1976. Les eaux froides côtières du Gabon et de l'Angola sont-elles dûes à un upwelling d'Ekman ? Cah. O.R.S.T.O.M. Sér. Océanogr. 14 (4) : 273-8.

Brunet-Moret, Y. 1969. Mesures de salinité dans le fleuve Casamance. Cahiers O.R.S.T.O.M. Sér. Hydrologie. 6 (1), 1969 : 3-16.

.../...

- Brunet-Moret, Y. 1970. Etudes hydrologiques en Casamance.
Rapport définitif. O.R.S.T.O.M. Service hydrologique.
Sénégal. 52 pp ronéo. 104 tabl., 101 fig.
- Champagnat, C. Boëly, T. de Bondy, E. Crémoux, J.-L. 1969.
Observations océanographiques dans la région de
Dakar. 1958-1967. O.R.S.T.O.M.-CRODT. DSP N° 18.
159 p. 16 planches.
- Champagnat, C. Boëly, T. de Bondy, E. Conand, F. Crémoux,
J.-L. 1969. Observations océanographiques exécutées en
1968. O.R.S.T.O.M.-CRODT Dakar. DSP N° 19. 169 p,
28 planches miméo.
- Crémoux, J.L. 1972. Observations océanographiques effectuées
en 1971. O.R.S.T.O.M.-CRODT. DSP N° 40. 100 pp. miméo.
- Crémoux, J.L, Diarra, J. 1973. Observations océanographiques
effectuées en 1972. O.R.S.T.O.M.-FAO. CRODT. DSP. N° 51.
99 p; miméo.
- Crémoux, J.L. 1970. Observations océanographiques exécutées
en 1969. II. Observations de surface et de fond-
Bathythermogrammes. O.R.S.T.O.M.-CRODT. DSP N° 25.
23 p ; 12 planche miméo.
- Crémoux, J.L. 1970. Observations océanographiques effectuées
en 1969. I. Stations hydrologiques. O.R.S.T.O.M.
Centre de Recherches Océanographiques de Dakar-Thiaroye.
DSP. N° 24. 218 p . miméo.
- Crémoux, J.L. 1971. Observations océanographiques effectuées
en 1970. O.R.S.T.O.M.-FAO. CRODT. DSP. N° 33. 170 p.
23 planches ; miméo.

.../...

- Croisière Capricorne 7602. Résultats d'observations. 1976.
Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye. Archive N° 35.
86 p. miméo.
- Dandonneau, Y. 1973. Etude du phytoplancton sur le plateau
continental de Côte d'Ivoire. III. facteurs dynamiques
et variations spatiotemporelles. Cah. O.R.S.T.O.M.
Sér. Océanogr. 11 (4) : 431-454.
- Darchen, J. 1977. L'Atlantique central nord, zone météorolo-
gique méconnue. MET-MAR. N° 94. pp 29-39.
- Dorot, M. 1971. Pluies dans le golfe de Guinée. Interprétation
océanographique. Météorologie Nationale Paris-1971.
45 p. miméo. non publié.
- Equalant I et Equalant II. Atlas océanographique. Vol I.
Océanographie physique. 1973. UNESCO. Paris. 3
52 p. 289 planches.
- Ingham, M.L. 1970. Wind and sea-surface temperature off
Mauritania. Contr. N° 154. Bureau of Comm. Fish. Trop.
Atl. Biol. Lab. Miami : 55-58.
- Afrique-Côte Ouest. 1^{er} Vol. Chap. VIII. Du Cap Roxo à la
Pointe Sallafouk. Instructions nautiques. Service
Hydrogr. Mar. Série C. Vol IV. pp 287-300.
- Leroux. 1972. La dynamique des précipitations en Afrique
occidentale. ASECNA. Publ. Direction. Exploitation N° 23.

.../...

Guinée Bissau - Océanographie physique.

- Mazeika, P. 1968. Mean monthly sea surface temperatures and zonal anomalies of the tropical Atlantic. *Series Atlas of the marine Environment*. Folio 16. Amer. Geogr. Soc.
- Merle, J. 1975. Cartes de T, S, O_t, O₂, de 0 à 300 .
Topographies de T1 : 24,5 ; 25 ; 25,5 ; 26 ; 26,3 ; ...
en hiver et été. Doc provisoire.
- Observations océanographiques. Année 1960. Centre Océanographique de Dakar-Thiaroye. 82 p. miméo. 1 carte.
- Observations océanographiques. Année 1961. Centre Océanogr. Dakar-Thiaroye. 89 p. miméo. 1 carte.
- Oren, O.H. 1972. Results of UNDP (SF) FAO. Regional Fisheries Survey in West Africa. Report N° 4. T/S relationship in the Canary Current Area. *Marine Biology*. 17, pp 187-200.
- Pilot Charts of the North Atlantic. Issued monthly. Department of the Navy Océanogr. Office. H.O 1400.
- Rébert, J.P., Privé, M. 1974. Répertoire des données hydrologiques collectées par le Centre de Recherches Océanographiques de Dakar-Thiaroye de 1958 à 1973. CRO-Dakar-Thiaroye. DS. N° 56. 17 p. 36 fig. miméo.
- Rébert, J.P., Privé, M. 1977. Moyennes générales des observations océanographiques côtières au Sénégal. CRODT-Dakar. Archive N° 47.
- Rossignol, M. 1973. Contribution à l'étude du "Complexe guinéen". Centre O.R.S.T.O.M. Cayenne-Océanogr. 017. 143 p.

.../...

Guinée Bissau - Océanographie physique.

- Rossignol, M., Crémoux, J-L. 1973. Hydrologie de la presqu'île du Cap Vert (1962-63). Campagne "Mousson" du patrouilleur "Sénégal" (sept-oct. 63). Résultats d'observations. Centre O.R.S.T.O.M. Cayenne Océanogr. N° 18. 69 p.
- Schemainda, R., Nehring, D., Schultz, S. 1975. Ozeanologische Untersuchungen zum Productionpotential der nordwest-africanischen Wasserauftriebsregion 1970-73. Geodätische u. Geophys. Veröff. 4 (16) : 4-88.
- Schott, G. 1942. Géographie des atlantischen Ozeans. Berlin, 1944. 438 pp.
- Schulz, S., Schemainda, R., . Nehring, D. 1975. Beiträge der DDR zur Erforschung der küstennahen Wasserauftriebsprozesse im Ostseil des nördlichen Zentralatlantiks. Das oceanographische Beobachtungsmaterial des Teil Va. Reiseabschnitts 16-11-72 bis 3-2-73. Geod. Geophys. Veröff. R. IV. H 14 , 79 p.
- Tomczak, M. 1970. Schwankungen von Schichtung und Strömung im westafrikanischen Auftriebsgebiet während der "Deutsche Nordatlantischen Expedition" 1937. "Meteor". Forschungsergebnisse Reihe A, Heft 7 : 18-27.
- Williams, F. 1968. Report on the Guinean Trawling Survey (G.T.S.) 3. Hydrographic data report. Organis. African Unity ; Scientific, Technical and Research Commission. Lagos. Nigeria. Publ. 99. 551 p.
- Yoshida, K. 1967. Circulation in the eastern tropical oceans with special references to upwelling and undercurrent. Jap. Journ. Geophys. 4 (2) : 1-75.