

La matière organique des eaux baignant le Sénégal et la Gambie

Roger POCKLINGTON (1)

RÉSUMÉ

Les résultats obtenus sur la matière organique dans les eaux et les sédiments prélevés au large du Sénégal et de la Gambie, en février et mars 1976, sont ici présentés. Le premier indice d'une remontée d'eaux profondes et, par conséquent, de l'enrichissement nutritif des eaux de surface, est une température de la couche de surface plus basse que la normale en cette saison, pour cette latitude.

Les conséquences pour la matière organique particulaire (MOP) en sont :

(1) la concentration de la MOP est sensiblement plus élevée dans les eaux froides situées près de la côte que dans l'eau de surface, plus chaude, située à l'ouest ;

(2) le rapport C/N suit un modèle opposé puisqu'il est sensiblement inférieur à l'est et plus élevé à l'ouest, avec une bande longitudinale des faibles valeurs aux environs de 20° W ;

(3) la concentration en carbone organique total (COT) n'a pas de corrélation sensible avec l'emplacement et la variation de la MOP a peu d'effet sur le COT.

Cependant, ces données indiquent, en comparaison avec d'autres régions de remontée d'eaux profondes dans l'océan, que les effets au large du Sénégal ne sont pas marqués par des concentrations très élevées de MOP (n'étant que de 25 % supérieures à celles du plein océan adjacent) et qu'ils ne sont pas aussi intenses qu'en d'autres endroits de l'Atlantique nord-est, une limitation étant imposée par la courte durée des conditions physiques favorables.

MOTS CLÉS : Sénégal - - Gambie — Océan — Matière organique.

ABSTRACT

ORGANIC MATTER OF SENEGAL AND GAMBIA OFFSHORE WATERS

Results of analyses of organic matter in seawater and surface sediments sampled off the coasts of Senegal and the Gambia, during February-March, 1976, are presented. The principal indication of upwelling of subsurface water and, consequently, of nutrient enrichment of the surface waters, is a surface layer temperature lower than the expected at this season.

The consequences for the particulate organic matter (POM) are :

(1) the concentration of POM is substantially higher in the cold waters close to the coast than in the warmer surface waters to the west ;

(2) the C/N ratio follows the opposite pattern being significantly lower in the east and higher to the west, with a longitudinal band of lower values around 20° W ;

(3) the concentration of total organic carbon (TOC) shows no significant correlation with location, the variations in POM having little effect upon TOC.

(1) Institut Océanographique de Bedford, Dartmouth, N.-E., Canada B2Y 4A2.

The data indicate that, in comparison with other upwelling areas in the World Ocean, the effects off Senegal are not followed by very high concentrations of POM (no more than 25 % greater than in the adjacent open Atlantic) and that the effects of upwelling off Senegal are not as intense as at other locations in the northeast Atlantic, a limitation being imposed by the short duration of favorable physical conditions.

KEY WORDS : Senegal — Gambia — Ocean — Organic matter.

1. INTRODUCTION

La remontée d'eaux profondes est le phénomène par lequel les couches d'eaux sous-jacentes sont transportées à la surface par des courants ascendants pour être ensuite poussées hors de la zone de remontée par des courants horizontaux (SMITH, 1968). Ce phénomène est particulièrement fréquent le long des côtes ouest des continents, là où la force du vent s'exerce parallèlement à la côte et entraîne les eaux de surface vers le large. Les eaux transportées par le vent sont continuellement remplacées par les remontées qui sont généralement riches en sels nutritifs.

Aux latitudes où la lumière n'est pas un facteur limitant, le taux de production primaire est souvent fonction de la disponibilité en sels nutritifs dans la zone euphotique. On conçoit facilement pourquoi les zones de remontées d'eaux profondes sont parmi les plus productives des océans. Quoiqu'elles constituent seulement 0,1 % de la surface totale des mers, on y pêche 44-50 % du total mondial des captures de poissons (Anon., 1974) et bien que des remontées d'eaux profondes se produisent aussi ailleurs, c'est dans les régions tropicales et subtropicales qu'elles sont biologiquement les plus importantes. Elles se caractérisent par la présence à la surface d'eaux plus froides que la normale à cette latitude (WOOSTER *et al.*, 1976), une diminution de la concentration en oxygène et une augmentation de la concentration en sels nutritifs, comparativement aux régions voisines, où le phénomène n'existe pas. La salinité peut être plus élevée ou plus basse, dépendant de la salinité propre des eaux ascendantes.

La première source de matière organique dans la mer est la photosynthèse des algues. Il est peu douteux que le phytoplancton contribue à hauteur de 90 % ou plus au stock de base de la substance organique océanique (RILEY, 1970), la végétation fixée et les matériaux terrigènes fournissant de faibles quantités. Dans les régions de forte production primaire, le phytoplancton est le principal élément constitutif (de 70 à 90 %) de la matière organique particulaire (MOP) qui comprend également les bactéries, le zooplancton, le necton et les détritiques non vivants ; dans les eaux oligotrophes, le phytoplancton forme de 10 à 55 % de la MOP (HOBSON *et al.*, 1973). La MOP qui s'enfonce sous la couche de surface joue un rôle important dans le transfert vertical de matières organiques et inorganiques au

sein de l'océan et constitue l'ultime source de nutrition du benthos marin, ainsi que la source d'énergie de la diagenèse dans les sédiments des grands fonds (LISITZIN, 1972). La fraction particulaire de la matière organique est définie par rapport à la porosité du filtre utilisé (voir méthodes). La MOP est normalement mesurée en termes de carbone organique particulaire (COP) ; la matière organique qui traverse le filtre représente le carbone organique dissous (COD) ; les deux phases COP + COD représentent la totalité du carbone présent (COT).

Nos études entreprises en février et mars 1976 avaient pour but d'établir la distribution spatiale du carbone organique total et particulaire et de l'azote organique particulaire dans la région sénégalienne, de faire le lien entre cette distribution et d'autres caractéristiques du milieu, et d'apprécier, en particulier, s'il y avait une corrélation entre eux et la remontée d'eau profonde que l'on prévoyait devoir être active dans la région à l'époque.

2. MÉTHODES

1. La température superficielle de la mer était relevée toutes les deux heures au moyen d'un thermomètre à mercure pendant toute la croisière ($n = 1073$). Aux stations indiquées sur les figures 1 et 2, des échantillons d'eau ont été prélevés avec des bouteilles Niskin (12 litres) munies de thermomètres à renversement. Nous avons tenté d'obtenir au moins trois échantillons dans la couche de surface définie au moyen d'un profil de bathythermographe (XBT, Sippican Corp.) enregistré en arrivant à la station. Le contenu restant dans la bouteille, après prélèvements de sous-échantillons pour l'analyse de la salinité, de l'oxygène, des sels nutritifs et du COT, a été filtré par gravité dans un système fermé au moyen de filtres d'argent de $0,8 \mu\text{m}$ (Selas Flotronics), préalablement chauffés à 400°C pendant deux heures. Le volume filtré (*ca.* 10 litres) a été mesuré avec une précision de $\pm 0,01$ litre. Les filtres ont été analysés selon une méthode très semblable à celle qui a été décrite par SHARP (1974), sauf que :

(1) on utilise des filtres d'argent de préférence à des filtres en fibres de verre car leur tendance à l'absorption de la substance organique dissoute est négligeable, ils ne retiennent pratiquement aucune humidité et ils ne fondent pas pour former une boulette de verre, intraitable dans la cuillère de

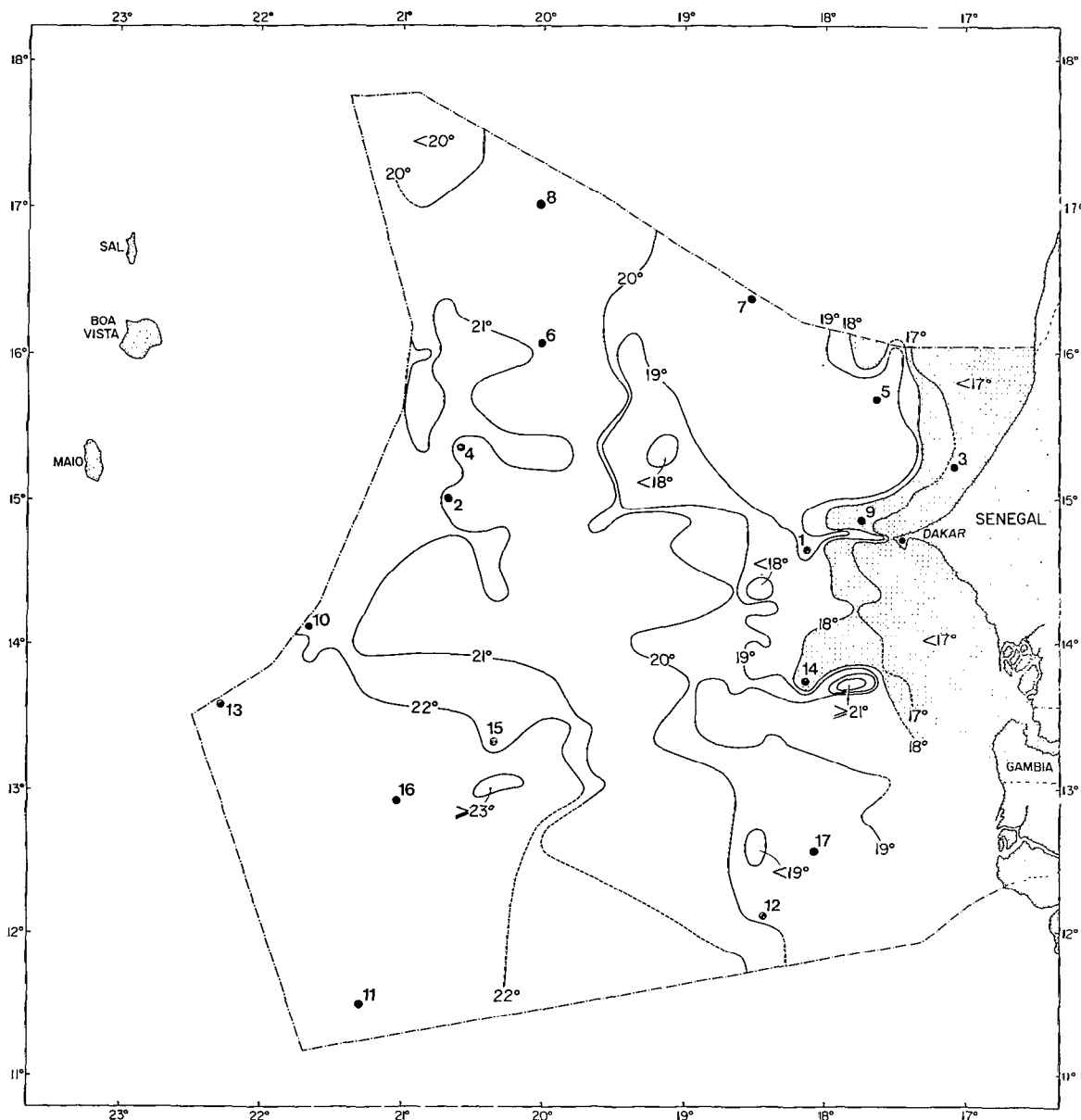


Fig. 1. — Position des stations et isothermes de surface au large du Sénégal et de la Gambie, 6-29 février 1976, indiquant les eaux plus froides que 18 °C, la limite de la zone des remontées, et ses effets qui s'étendent à la station 17.

Station locations in relation to sea surface isotherms off Senegal and The Gambia, 6-29 Feb., 1976, indicating water colder than 18 °C, the offshore boundary of active upwelling, the effects of which extend to station 17.

combustion. BANSE (1977) a indiqué que les filtres d'argent sont nettement préférables aux filtres en fibres de verre si l'on veut améliorer la justesse et la précision du dosage du carbone organique,

(2) notre blanc (filtre + catalyseur + instrument + gaz porteur) est $< 10 \mu\text{g}$ pour le carbone (c'est-à-dire $< 1 \text{ mg C m}^{-3}$ pour un échantillon de 10 litres) et

$1 \mu\text{g}$ pour l'azote, ce qui est comparable à la technique de WANGERSKY (1974) qui considère une différence $> 5 \text{ mg C m}^{-3}$ comme représentative d'une différence réelle en termes de COP,

(3) les filtres ont été analysés à bord du navire dans les 24 heures qui ont suivi le prélèvement. Une seule exception à cette règle : un quart des filtres,

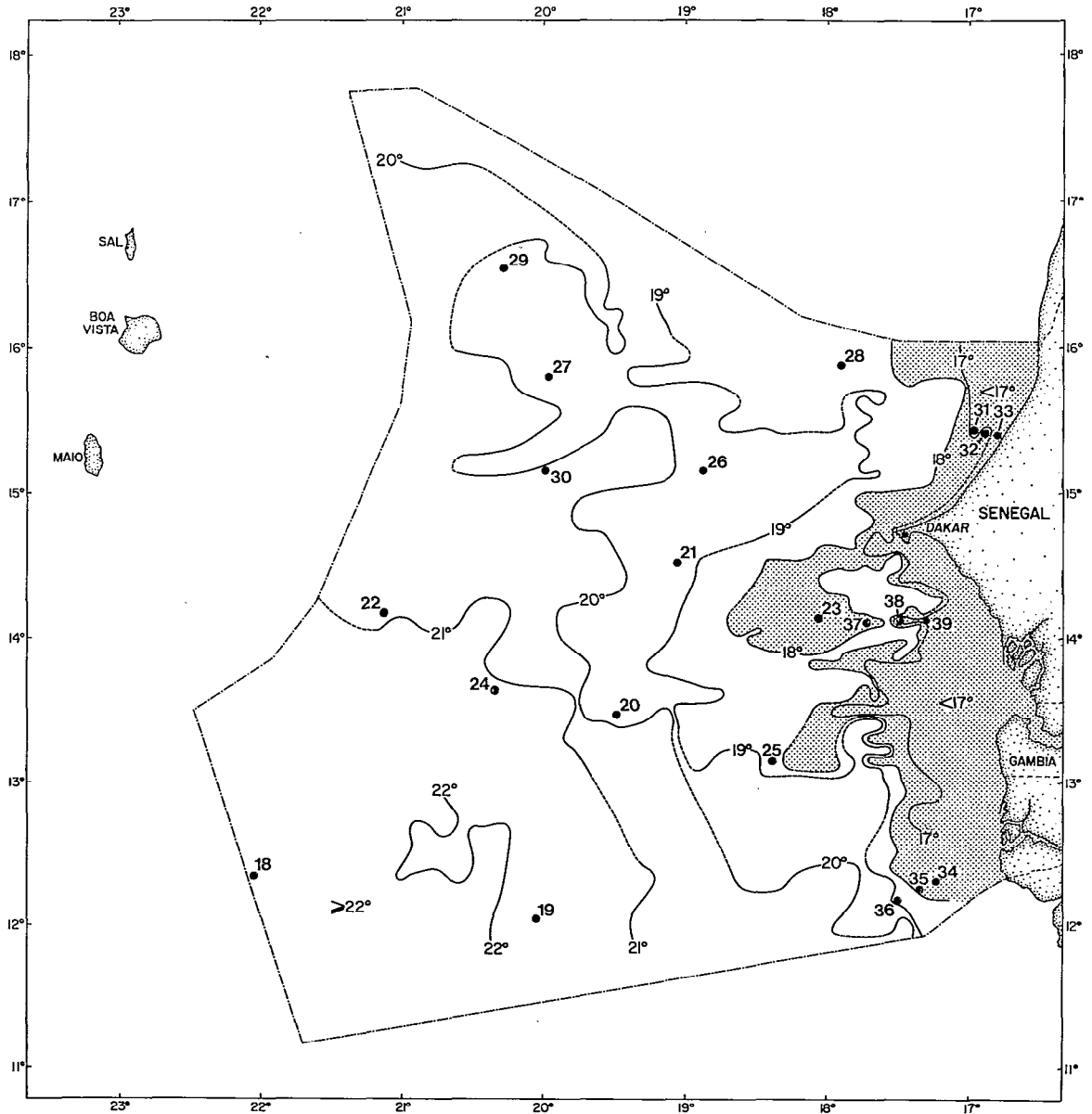


Fig. 2. — Position des stations et isothermes de la surface au large du Sénégal et de la Gambie, 1-31 mars, 1976, indiquant les eaux plus froides que 18 °C, la limite de la zone des remontées des eaux, et ses effets qui s'étendent aux stations 25 et 36.

Station locations in relation to sea surface isotherms off Senegal and The Gambia, 1-31 Mar., 1976, indicating water colder than 18 °C, the offshore boundary of active upwelling, the effects of which extend to stations 25 and 36.

provenant tous de profondeurs de 500 à 1200 m, a été entreposé dans un dessiccateur à vide jusqu'à ce qu'ils soient analysés par des méthodes très semblables à terre (décrites en détail par GORDON, 1977).

Les déterminations de COT ont été faites après la croisière sur des échantillons acidifiés (H_3PO_4) puis congelés à bord du navire, en utilisant une méthode de combustion à sec (MACKINNON, 1978). La salinité

a été mesurée au moyen d'un salinomètre à induction (Autosal Model 8400, Guildline Instruments, Smiths Falls, Ontario, Canada), l'oxygène évalué par la méthode de Winkler et les sels nutritifs (phosphate et silicate) analysés par les méthodes de STRICKLAND et PARSONS (1968).

La quantité de données publiées concernant la matière organique au large du Sénégal et de la

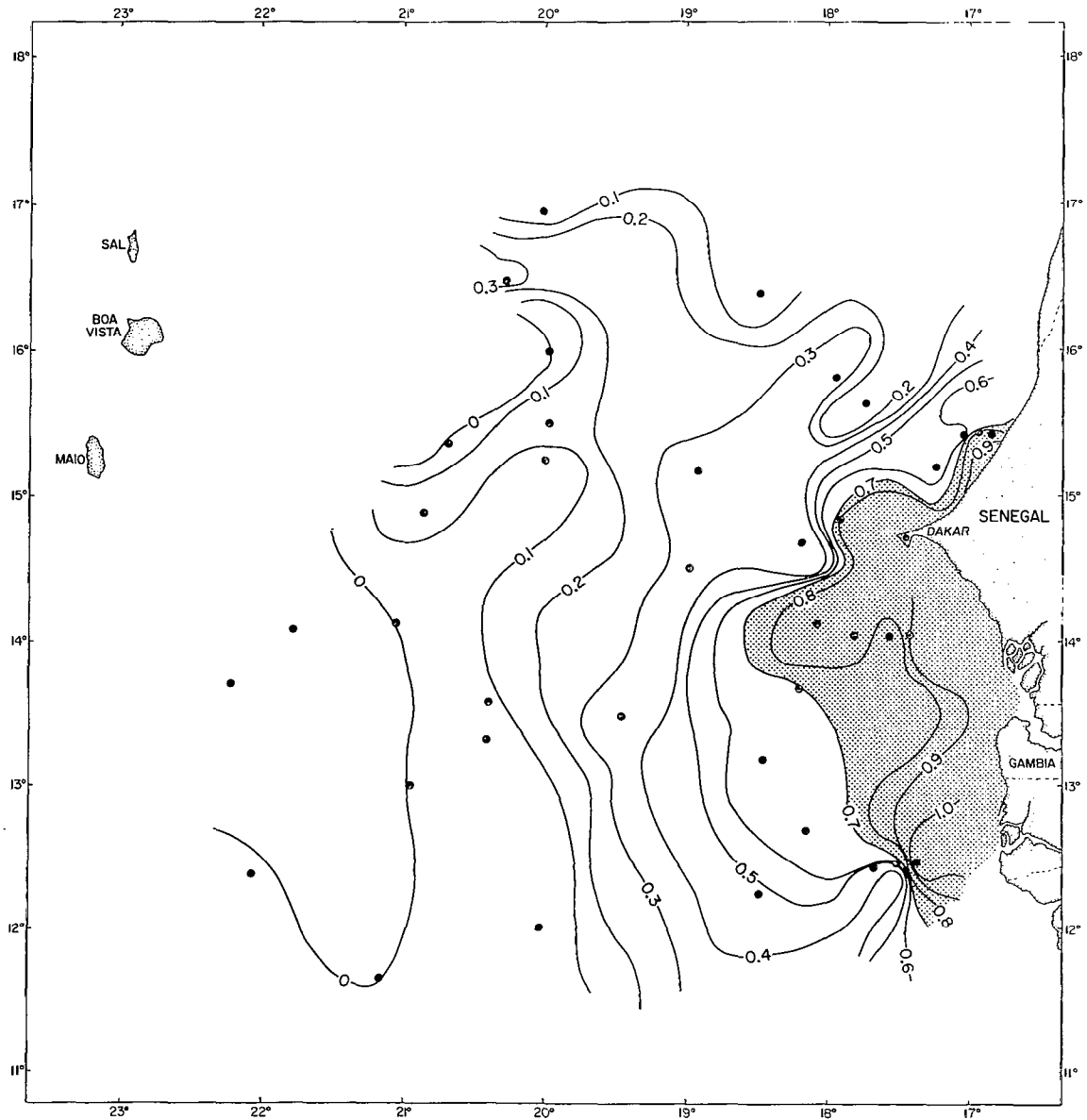


Fig. 3. — Concentration du phosphate de surface au large du Sénégal et de la Gambie, 5 fév.-31 mars 1976. Valeurs des isoplièthes en mmol m^{-3} .

Concentration of phosphate at the surface off Senegal and The Gambia, 6 Feb. -- 31 Mar., 1976. Values of isopleths in mmol m^{-3} .

Gambie s'est révélée limitée, ce qui est d'autant plus surprenant que les régions situées au nord, au large des côtes du Maroc et de la Mauritanie, ont fait l'objet de nombreuses études (MARGALEF, 1974 ; HUNTSMAN et BARBER, 1977) dans le cadre de la campagne internationale CINECA. Les régions équatoriales situées plus au sud ont, elles aussi, fait l'objet d'études (LEMASSON *et al.*, 1977). Les données de stations océanographiques que nous avons pu

obtenir du World Oceanographic Data Center, Washington, D.C., nous ont permis de prévoir que des remontées étaient susceptibles de se produire à l'intérieur des limites de la région étudiée durant les mois de février et mars.

La liaison entre toutes les paires des variables a été testée par le calcul d'une matrice des coefficients de corrélation de Pearson (SOKAL et ROHLF, 1969).

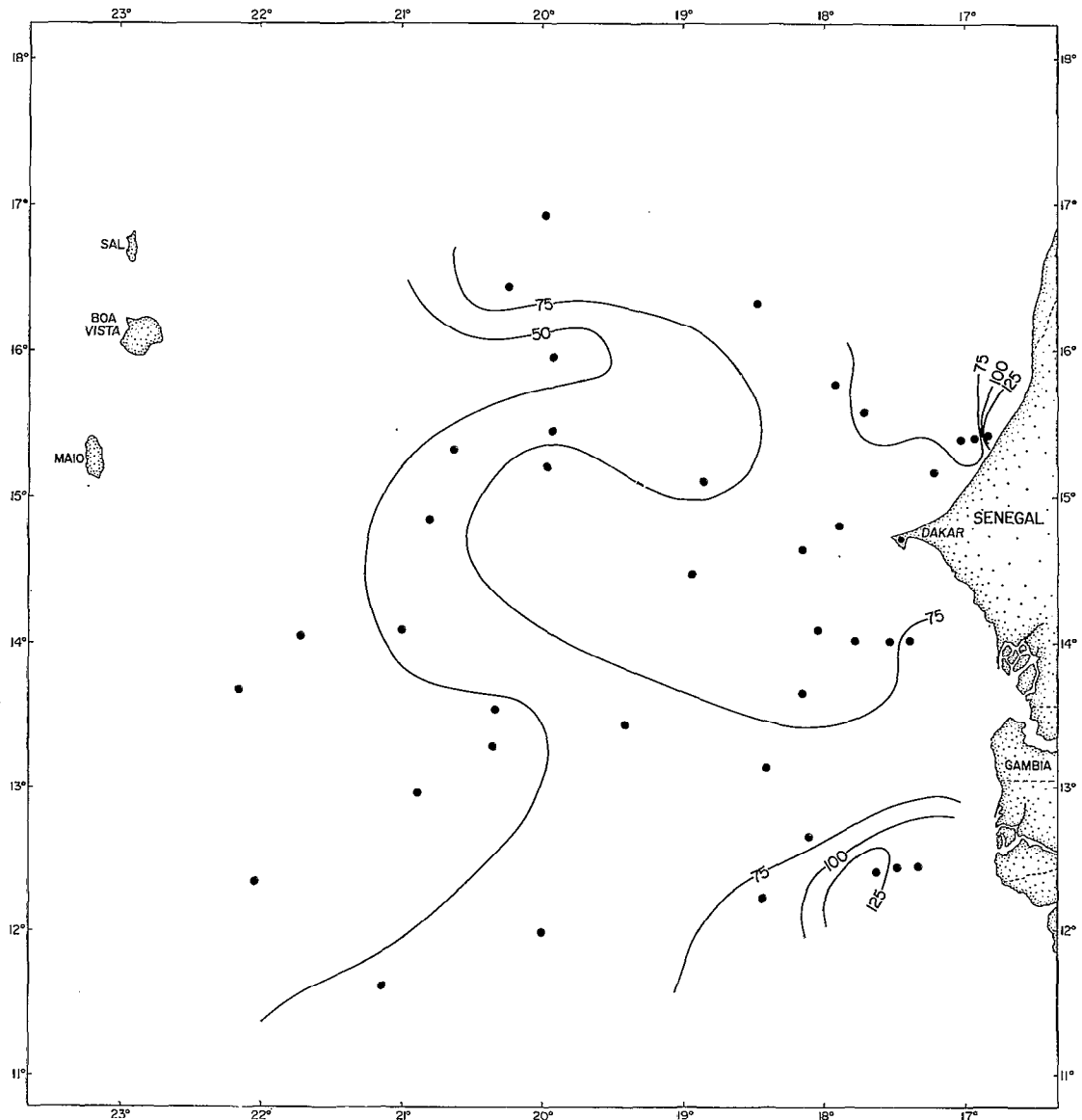


Fig. 4. — Distribution de COP dans la couche de surface au large du Sénégal et de la Gambie en février et mars 1976. Valeurs des isoplèthes en mg C m^{-3} .

Distribution of POC in the surface layer off Senegal and The Gambia in Feb. and Mar., 1976. Values of isopleths in mg C m^{-3} .

3. RÉSULTATS

3.1. Océanographie générale de la région

Une description hydrologique détaillée a été fournie par POCKLINGTON (1976b). Compte tenu du but poursuivi actuellement, la mise en évidence des structures auxquelles seront reliées les distributions de matière organique est suffisante.

Dans toute la zone d'étude ($270\,000\text{ km}^2$), il y avait une couche de surface peu profonde d'eau

oxygénée de densité à peu près uniforme, au dessous de laquelle se trouvait une eau peu oxygénée. La pycnocline se trouvait entre 75 et 100 m au nord de la région, entre 50 et 75 m à l'ouest, entre 30 et 50 m au centre, entre 20 et 30 m à l'est et entre 10 et 20 m tout près de la côte. La couche mixte de surface est définie comme la masse d'eau située au-dessus de ces profondeurs et dans laquelle la température, la salinité, l'oxygène et les teneurs en phosphate et en silicate ne changeaient pas de façon statistique

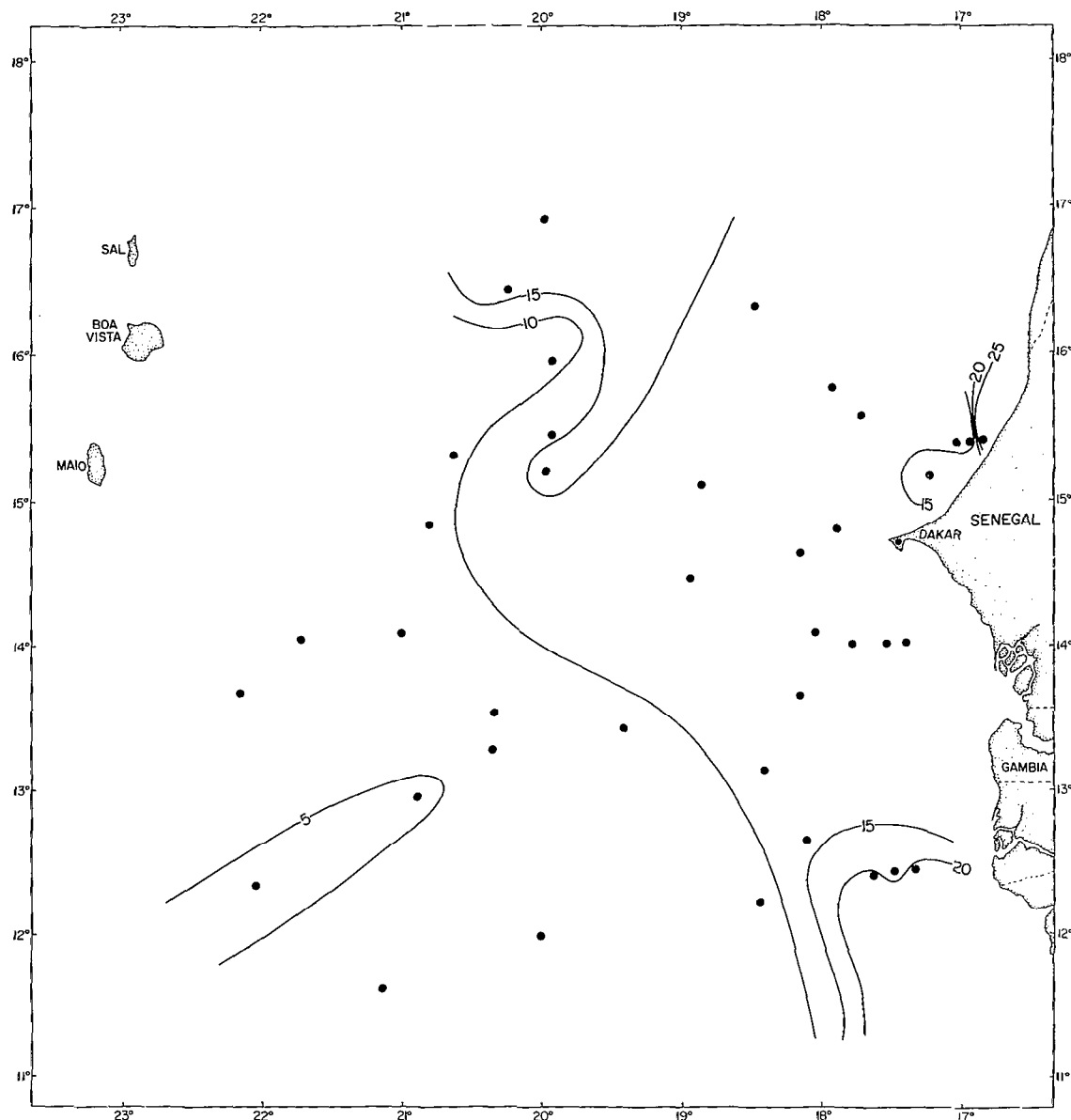


Fig. 5. — Distribution de NOP dans la couche de surface au large du Sénégal et de la Gambie en février et mars 1976. Valeurs des isoplèthes en mg N m^{-3} .

Distribution of PON in the surface layer off Senegal and The Gambia in Feb. and Mar., 1976. Values of isopleths in mg N m^{-3} .

significative ($P > 0,01$) en fonction de la profondeur. Cependant, il existe des variations significatives dans cette couche mixte d'un lieu à un autre : brièvement, une eau fraîche ($< 18^\circ\text{C}$), de faible salinité ($< 35,55\text{‰}$), à faible teneur en oxygène dissous (sous-saturation), avec des concentrations accrues de sels nutritifs ($\text{PO}_4 > 0,7$, $\text{SiO}_3 > 2,0 \text{ m mol m}^{-3}$) remonte le long de la côte. La température de la couche mixte de surface (Fig. 1, 2 et 3) s'élève en

s'éloignant de la zone de remontée et les concentrations de sels nutritifs décroissent (Fig. 3).

3.2. Matière organique particulaire

La concentration de carbone organique particulaire dans la couche mixte de surface est distribuée de façon asymétrique (Fig. 4) : les valeurs les plus élevées ont été observées aux stations situées près de

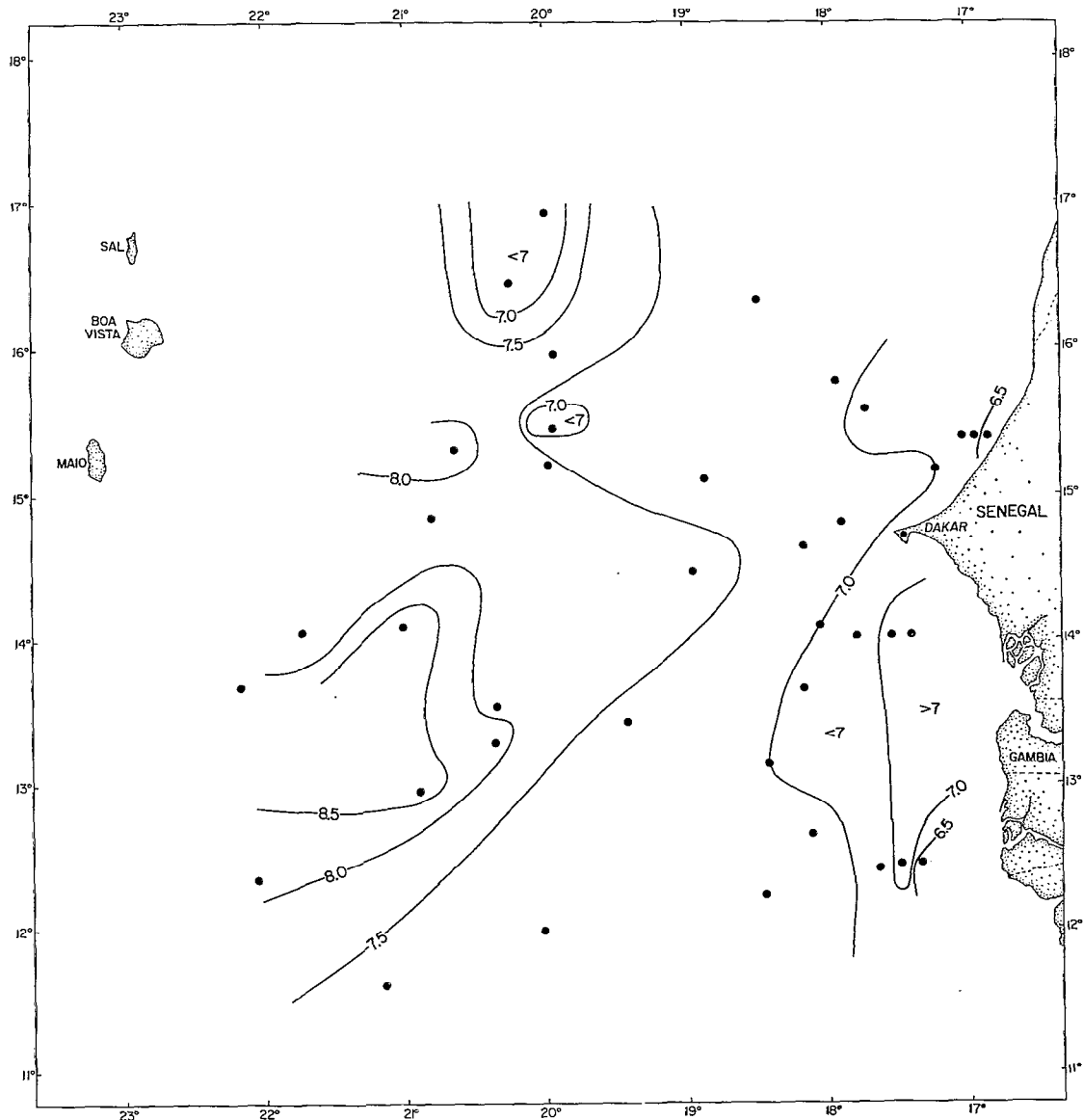


Fig. 6. — Distribution dans la couche de surface du rapport C/N (atomique) dans la matière organique particulaire en février et mars 1976.

Distribution in the surface layer of the C/N ratio (atomic) in particulate organic matter in Feb. and Mar., 1976.

la côte, au nord du Cap Vert et au sud de la Gambie, et les valeurs les plus faibles au sud-ouest de la région, loin des côtes.

Tout comme le COP, l'azote organique particulaire (NOP) est distribué de façon asymétrique (Fig. 5) ; les valeurs les plus élevées se trouvant aux mêmes endroits, près des côtes, que les valeurs les plus élevées du COP et les valeurs les moins élevées se trouvant dans le sud-ouest de la région.

Le rapport des atomes de carbone par rapport à l'azote est distribué de façon inverse (Fig. 6) ; les

valeurs les plus élevées se trouvant dans le sud-ouest de la région, loin des côtes, et les valeurs les moins élevées au nord du Cap Vert et au sud de la Gambie, près de la côte. Sur deux bandes, il existe des valeurs de ce rapport inférieures à 7,0 : l'une aux environs de 20° W et l'autre à l'est de 18° W.

La concentration de MOP est sensiblement plus élevée dans les eaux froides situées près de la côte que dans l'eau de surface plus chaude située à l'ouest. Superposé sur le gradient de MOP déclinant vers le large, se trouve une bande de valeurs plus

élevées, approximativement à la longitude de l'isotherme de 20 °C, où les températures de surface changent rapidement sur une courte distance. Une hypothèse plausible est qu'il s'agit là du front de convergence situé au large, où l'eau qui a remonté des profondeurs près de la côte et s'est déplacée vers le large, s'enfonce sous la surface d'eau plus légère située à l'ouest (MITTLESTAEDT, *sous presse*). Il y avait une activité biologique accrue dans cette région (BROWN, 1979). Le rapport C/N suit un schéma opposé puisqu'il est sensiblement inférieur à l'est et plus élevé dans l'eau plus chaude qui se trouve à l'ouest, avec une bande longitudinale de valeurs inférieures qui suit celle de la température aux environs de 20° W.

Même sous la couche mixte de surface, la MOP est sensiblement plus faible à l'ouest, ce qui indique que les concentrations de MOP dans la couche

mixte de surface influent sur la variation à l'intérieur des couches inférieures. A des profondeurs supérieures à 500 m, il n'y a pas de variations statistiques sensibles de la MOP dans le plan horizontal. MARGALEF (1974) a trouvé que dans une zone située au large, au nord-ouest de l'Afrique, la concentration en seston, exprimée sous forme de volume, était distribuée horizontalement de façon plus uniforme dans les couches profondes (de 50 à 600 m) qu'à la surface.

Le rapport C/N s'accroît en fonction de la profondeur (Fig. 7); les rapports moyens C/N passent de 7,4 dans la couche mixte de surface à 9,1 aux profondeurs se trouvant entre 75 et 100 m, puis à 14,0 à des profondeurs supérieures à 500 m. Il n'y a pas de rapports C/N supérieurs à 12,0 à des profondeurs inférieures à 150 m ou inférieurs à 10,0 à des profondeurs supérieures à 500 m. Ces rapports, et

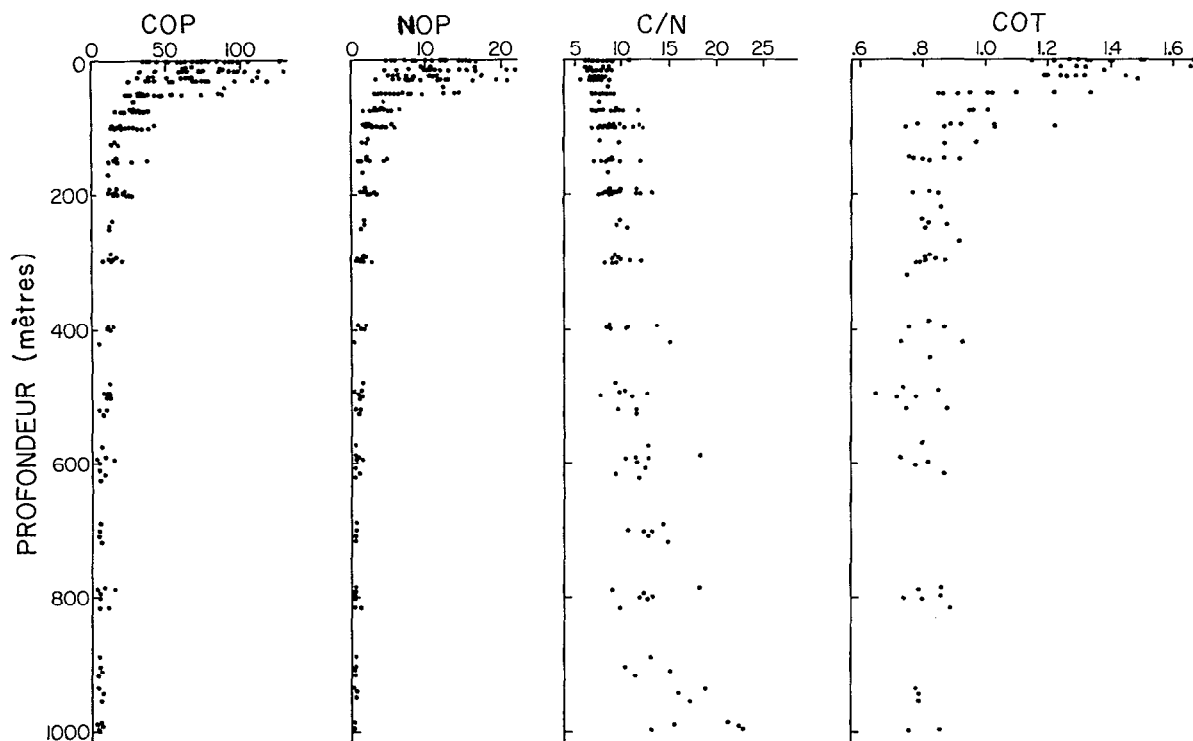


Fig. 7. -- Distribution verticale de COP, NOP, C/N et COT dans les 1 000 m supérieurs au large du Sénégal et de la Gambie. Les trois concentrations les plus élevées en COP et NOP ne peuvent apparaître (231 mg C m⁻³, 45 mg N m⁻³ à 1 m ; 211 mg C m⁻³, 36 mg N m⁻³ à 15 m ; 175 mg C m⁻³, 35 mg N m⁻³ à 30 m). La transition entre la couche mixte de surface et les eaux au-dessous est brusque : COP ≤ 20 mg C m⁻³, NOP ≤ 3 mg N m⁻³, COT ≤ 1,1 g C m⁻³ n'existent pas au-dessus de 45 m ; COP ≥ 55 mg C m⁻³, NOP ≥ 8 mg N m⁻³, COT ≥ 1,3 g C m⁻³ n'existent pas au-dessous de 55 m.

Vertical distribution of POC, PON, C/N and TOC in the top 1 000 m off Senegal and The Gambia. The three highest concentrations of POC and PON cannot be shown on these scales (231 mg C m⁻³, 45 mg N m⁻³ at 1 m ; 211 mg C m⁻³, 36 mg N m⁻³ at 15 m ; 175 mg C m⁻³, 35 mg N m⁻³ at 30 m). The transition between the surface mixed layer and the waters below is abrupt : POC ≤ 20 mg C m⁻³, PON ≤ 3 mg N m⁻³, TOC ≤ 1.1 g C m⁻³ are not found above 45 m ; POC ≥ 55 mg C m⁻³, PON ≥ 8 mg N m⁻³, TOC ≥ 1.3 g C m⁻³ are not found below 55 m.

leur augmentation avec la profondeur, sont très semblables à ceux qui ont été trouvés par KNAUER *et al.* (1979) dans une remontée côtière dans le Pacifique nord-est. L'augmentation du rapport C/N avec la profondeur est une conséquence des processus qui diminuent la quantité d'azote dans la MOP : la corrélation entre l'augmentation du rapport et la diminution de la concentration en NOP est très

significative (Tab. I). Le rapport C/N est relié de façon significative à la concentration en silicate (Tab. I) à toutes les profondeurs, parce que les organismes qui composent la MOP ont des parties du corps qui sont siliceuses. Au nord de la zone qui nous intéresse, le phytoplancton est certainement dominé par les diatomées (GILLBRIGHT, 1977) qui contiennent 65 % de SiO_4 (VINOGRADOV, 1953).

TABLEAU I

Coefficients de corrélation de Pearson entre la teneur en matière organique et quelques facteurs susceptibles de l'influencer : profondeur (PROF), température (TEMP), salinité (SALI), teneurs en oxygène (OXYG), phosphate (PHOS) et silicate (SILI). Valeur supérieure : nombre de données ; valeur inférieure : coefficient de corrélation. La probabilité d'indépendance des deux variables est ≤ 1 % dans tous les cas

Product-moment correlation coefficients between organic matter and several influencing factors: depth (PROF), temperature (TEMP), salinity (SALI), oxygen (OXYG), phosphate (PHOS) and silicate (SILI). Number of pairs of variates above, correlation coefficient below. The probability of independence of the two variables is equal or less than one percent in all cases

	PROF	TEMP	SALI	OXYG	PHOS	SILI	COP	NOP	C/N
COP.....	265 -0,838	245 0,812	248 0,780	248 0,585	223 -0,626	228 -0,817	—	—	—
NOP.....	262 -0,835	242 0,835	245 0,800	245 0,543	220 -0,608	225 -0,808	262 0,988	—	—
C/N.....	262 0,671	242 -0,743	245 -0,709	245 -0,297	220 0,448	225 0,591	262 -0,758	262 -0,849	—
COT.....	112 -0,861	111 0,779	111 0,757	109 0,665	91 -0,757	95 -0,885	75 0,828	74 0,815	74 -0,563

3.3. Carbone organique total

La concentration en carbone organique total était distribuée de façon normale dans toutes les couches et diminuait de façon sensible en fonction de la profondeur (Fig. 7) depuis la couche mixte de surface ($\bar{x} = 1,33$ g C m^{-3} ; $n = 30$; $w = 1,10$ à $1,67$; $C_v = 10$ %) (1), en passant par la couche inférieure ($\bar{x} = 0,82$ g C m^{-3} ; $n = 55$; $w = 0,65$ à $1,01$; $C_v = 12$ %) pour atteindre la couche se trouvant au-dessous de 1000 m ($\bar{x} = 0,72$ g C m^{-3} ; $n = 12$; $w = 0,65$ à $0,79$; $C_v = 9$ %). Il y a également des corrélations significatives, positive entre le COT et le COP et le NOP et négative entre le COT et le phosphate et le silicate (Tab. I). La corrélation négative avec la concentration de silicate est plus forte qu'avec toute autre variable mesurée ; elle implique que les processus qui concentrent le

silicate à des surfaces de densité spécifiques ont un effet opposé sur le COT.

Le COP ne constituait qu'une petite fraction du COT, le pourcentage le plus élevé ($\bar{x} = 4,8$ % ; $n = 30$; $w = 3,4$ à $6,6$ %) se trouvant dans la couche mixte de surface et étant de $1,8$ % dans la couche inférieure (jusqu'à 1000 m). Il semble que la variation dans le COP ait peu d'effet sur le COT, spécialement dans la couche mixte de surface où il n'y a pas de corrélation significative entre le COP et le COT, bien que, dans l'ensemble des données, la corrélation soit étroite (Tab. I).

4. DISCUSSION

4.1. Matière organique particulière

Le tableau II donne les valeurs représentatives de COP, d'NOP et de leurs rapports dans la couche

(1) \bar{x} , moyenne ; n , nombre de données ; w , intervalle ; s , écart-type ; $C_v = s/\bar{x} \times 100$.

TABLEAU II

Concentrations dans la couche mixte de surface de COP et NOP et leurs rapports. Toutes les moyennes sont géométriques.

Coefficient de variation, $C_v = \text{écart-type/moyenne} \times 100$ Concentrations in the surface mixed layer of POC, PON and their ratios. All means are geometric. Coefficient of variation, $C_v = \text{standard deviation/mean} \times 100$

Région (mois)	Couche concernée (m)	Nombre d'échantillons (1)	COP mg m ⁻³ moyenne (intervalle) C _v	NOP mg m ⁻³ moyenne (intervalle) C _v	C/N (atomes) moyenne (intervalle) C _v	Sources des données
Mer des Sargasses (tous les mois).....	0-100	28	17 (4-70) 25 %	2,2 (0,8-10,7) 40 %	8,9 (7,9-9,7) 5 %	GORDON, 1977
Plateforme de Nouvelle Écosse (tous les mois)....	0-70	28	42 (16-124) 14 %	4,8 (1,7-19,9) 39 %	10,0 (7,3-10,6) 8 %	GORDON, 1977
Atlantique du sud (déc.-jan.).....	0-100	125	54 (31-134) 9 %	non disponible	—	WANGERSKY, 1976
Dôme de Guinée (2) (sept.)..	0-60	80	60 (30-90) 7 %	10,0 (4,0-18,0) 16 %	7,0 (5,4-9,1) 5 %	MINAS <i>et al.</i> , sous presse
Au large du Sénégal et de la Gambie (fév.-mars).....	0-75	87	68 (31-231) 9 %	10,5 (4,2-44,6) 19 %	7,6 (5,7-10,7) 6 %	POCKLINGTON, 1978 a
Remontée des eaux au large du Sénégal (sous ensemble des échantillons précédents).	0-30	36	84 (42-231) 8 %	14,7 (7,3-44,6) 15 %	6,9 (5,7-7,6) 3 %	
Afrique du nord ouest (fév.-mai).....	0-50	245	133 (23-390) 14 %	23,8 (6,0-49,6) 17 %	6,5 (4,5-9,2) 5 %	BARBER and HUNTSMAN, 1975; PACKARD and DORTCH, 1975
Afrique du sud ouest (avr.-mai).....	0-50	18	152 (68-864) 17 %	26,6 (11,0-163,0) 20 %	6,7 (5,8-7,9) 4 %	HOBSON, 1971
Californie du sud (tous les mois (2)).....	0-60	433	168 (50-1 000) 15 %	29,2 (10-200) 22 %	6,7 (5,8-7,7) 4 %	EPPLEY <i>et al.</i> , 1977
Baie de Kaneohe, Oahu, îles Hawaii (du printemps à l'automne).....	0-10	244	215 (47-579) 12 %	32,6 (6,4-103,9) 19 %	7,7 (6,0-11,5) 8 %	CAPERON <i>et al.</i> , 1976
Au large du Pérou (nov.)..	0-30	47	241 (56-1 056) 16 %	36,6 (7,2-125,2) 24 %	7,7 (6,3-10,2) 5 %	POCKLINGTON, 1978b
Bassin de Bedford, Nouvelle Écosse (2) (tous les mois).	0-10	302	324 (50-1 200) 14 %	non disponible	7,0 (5,5-8,5) 6 %	GORDON <i>et al.</i> , 1978

(1) Parfois moins pour NOP et C/N. (2) L'intervalle a été estimé à partir des figures.

(1) Possibly less for PON and C/N. (2) Range estimated from figures.

mixte de surface au large du Sénégal et de la Gambie en comparaison avec d'autres régions de l'océan. Les gammes de COP et de NOP se prolongent asymétriquement en direction des valeurs les plus élevées. Une transformation logarithmique a été appliquée aux données en vue de les normaliser et, dans cette forme, elles sont utilisées dans la discussion suivante. La variabilité d'échantillonnage du COP a été traitée de façon détaillée par WANGERSKY (1974 et 1978) qui conclut que la MOP semble être distribuée sous forme d'un arrière-plan relativement uniforme sur lequel se superposent des accumulations locales de particules. La majeure partie de l'activité biologique, par exemple la nourriture du zoo-

plancton, est limitée aux concentrations plus élevées que la moyenne.

En dépit de ces réserves et d'autres réserves au sujet de l'échantillonnage et des procédures analytiques non-uniformes utilisés, les gammes de COP et de NOP en excès de l'erreur d'analyse indiquent qu'une variation réelle dans l'environnement, dans une séquence qui est explicable en termes de l'origine des échantillons, est démontrée. Il semble que les zones de remontée d'eaux profondes aient une concentration moyenne plus forte que les régions situées au large dans l'océan (COP océanique 17-54 mg m⁻³; remontées 60-241 mg m⁻³; terrigène et apports anthropogéniques 215-324 mg m⁻³). La

zone de remontée d'eaux profondes située au large du Sénégal n'est pas marquée par des concentrations très élevées de COP dans la couche mixte de surface. La comparaison de moyennes et de la dispersion des concentrations de NOP représentatives indiquent la même chose. La plus grande teneur observée dans une remontée se trouve dans une zone située au large du Pérou, mais la concentration moyenne la plus élevée se trouve dans le Bedford Basin, N.S. ; vient ensuite la zone de remontée d'eaux profondes située au large de la Californie du sud, au sud-ouest de l'Afrique, au nord-ouest de l'Afrique et puis la remontée se trouvant au large du Sénégal, cette dernière n'étant que de 25 % supérieure en plein océan Atlantique adjacent.

La comparaison des rapports atomiques C/N exige que l'on explique séparément certains résultats. Le phytoplancton a un rapport C/N (atomique) de 5 à 10 ($\bar{x} = 6$; PARSONS, 1975) et il est peu probable qu'il y ait des valeurs dépassant 12 lorsqu'il n'y a pas d'apport significatif de substances organiques ferrigènes (POCKLINGTON, 1976a). La moyenne de tous les rapports C/N qui figurent sur la liste du tableau 1 est de 7,6. Des moyennes inférieures à cette valeur sont trouvées dans une zone située au large, au sud-ouest de l'Afrique, en Californie du sud, dans le dôme de Guinée, dans le Bedford Basin ainsi qu'au large du Sénégal. Ces rapports inférieurs proviennent d'une production primaire accrue dans les eaux récemment remontées (HOBSON, 1971 ; LEMASSON *et al.*, 1977) ou dans lesquelles il y a eu un apport important de matières produites par les activités humaines (CAPERON *et al.*, 1976). La première explication convient mieux à la situation que l'on trouve au large du Sénégal où les apports de matières produites par l'homme sont négligeables, sauf à proximité de Dakar (REBERT, 1978). Dans

les sédiments de surface au nord du Cap Vert, les rapports C/N que nous avons mesurés (7,4 - 7,8) sont identiques à ceux de la couche d'eau au-dessus des sédiments et beaucoup plus bas que prévu pour une origine terrestre. La matière particulaire produite dans la région adjacente serait la source de la matière organique dans les sédiments de surface (DOMAIN, 1978).

L'indice le plus important d'une remontée d'eau profonde et de l'enrichissement simultané en matières nutritives est une température plus basse que normale pour la latitude et la saison dans la couche de surface de la mer. Les autres variables — la salinité, les concentrations en oxygène et en sels nutritifs — indiquent les régions du large où se trouvent des anomalies de surface et confirment elles aussi, l'indication fournie par la température. La profondeur de la couche mixte dans la zone de remontée au large du Sénégal est moindre que celle de la remontée des eaux au nord-ouest de l'Afrique (Tab. III). La concentration en COP dans cette couche mixte au large du Sénégal était de 35 % plus basse que la concentration de COP dans la même couche au large de l'Afrique nord-ouest, mais la concentration en phosphate était de 48 % plus élevée, ce qui signifie peut-être que les sels nutritifs étaient sous-utilisés au large du Sénégal et de la Gambie. Ces données indiquent que les effets du phénomène de la remontée des eaux sur la matière organique ne sont pas aussi forts au large du Sénégal que plus au nord, mais sont probablement limités par la courte durée des conditions physiques favorables (SCHEMAINDA *et al.*, 1975).

4.2. Matière organique totale

Dans la couche mixte de surface qui se trouve au large du Sénégal, la concentration moyenne de COT

TABLEAU III

Comparaison des paramètres mesurés dans les zones de remontées au large du Sénégal et de l'Afrique du nord-ouest (1)
Comparison of parameters measured in the zones of upwelling off Senegal and north-west Africa

Paramètre	Nombre de prélèvements	Sénégal moyenne (intervalle)	Nombre de prélèvements	Afrique N.-O. moyenne (intervalle)
Profondeur de la couche mixte (m).....	13	26 (12-30)	23	38 (10-100)
Température (°C).....	36	17,1 (15,6-18,4)	23	16,7 (15,7-17,7)
Salinité ‰.....	36	35,5 (35,4-35,7)	16	36,2 (35,9-36,3)
Phosphate (mmol m ⁻³)....	36	0,7 (0,3-1,3)	24	0,5 (0,2-0,8)
Silicate (mmol m ⁻³).....	36	2,0 (0,3-8,2)	24	2,5 (0,4-6,0)

(1) Données de HUNTSMAN et BARBER, 1977.

(1) *Data of HUNTSMAN and BARBER, 1977.*

se situe à moins de 10 % de la concentration moyenne que l'on trouve dans le golfe du Saint-Laurent ($\bar{x} = 1,43 \text{ g C m}^{-3}$, $n = 44$, $s = 0,26$), alors que la concentration moyenne de COP au large du Sénégal est de 33 % inférieure à son équivalent dans ce golfe. L'homogénéité de la concentration de COT entre des régions où la concentration de COP diffère a été notée ailleurs (HOBSON *et al.*, 1973).

De fortes concentrations de COP ne peuvent pas être la cause immédiate d'une concentration de COT élevée. Cette situation contraste avec la situation dans les eaux péruviennes (POCKLINGTON, 1978b), où les concentrations de COT varient directement en fonction des concentrations de COP et où le COP

constitue jusqu'à 25 % du COT, ainsi qu'au large du sud-ouest de l'Afrique, où le COP constitue, dans certains cas, 50 % du COT (HOBSON, 1971).

REMERCIEMENTS

Je voudrais remercier R. G. B. Brown, D. C. Gordon, Jr., et M. D. MacKinnon pour leur collaboration et l'Agence Canadienne de Développement International qui a patronné notre croisière au large du Sénégal et de la Gambie, en coopération avec les gouvernements de ces deux pays.

*Manuscrit reçu au Service des Éditions de l'O.R.S.T.O.M.
le 20 septembre 1981.*

BIBLIOGRAPHIE

- ANON., 1974. — The International Decade of Ocean Exploration (IDOE) 1971-1980, Technical Series No. 13, Intergovernmental Oceanographic Commission (I.O.C.), U.N.E.S.C.O., Paris.
- BANSE (K.), 1977. — Determining the carbon-to-chlorophyll ratio of natural phytoplankton. *Mar. Biol.*, 41: 199-212.
- BARBER (R. T.) and HUNTSMAN (S. A.), 1975. — JOINT-1 carbon, chlorophyll and light extinction R.V. *Atlantis II* Cruise 82. — CUEA Data Report No. 14, 165 p.
- BROWN (R. G. B.), 1979. — Seabirds of the Senegal upwelling and adjacent waters. *Ibis*, 121: 283-292.
- CAPERON (J.), HARVEY (W. A.) and STEINHILPER (F. A.), 1976. — Particulate organic carbon, nitrogen, and chlorophyll as measures of phytoplankton and detritus standing crops in Kaneohe Bay, Oahu, Hawaiian Islands. *Pacific Sci.*, 30: 317-327.
- DOMAIN (F.), 1978. — Répartition de la matière organique de la couverture sédimentaire du plateau continental ouest-africain entre 17° N et 12° N. Symposium sur le courant des Canaries : Upwelling et ressources vivantes. Contribution No. 97, Las Palmas de Gran Canaria, 11-14 avril 1978.
- EPPLEY (R. W.), HARRISON (W. G.), CHRISHOLM (S. W.) and STEWART (E.), 1977. — Particulate organic matter in surface waters off Southern California and its relationship to phytoplankton. *J. Mar. Res.*, 35: 671-696.
- GILLBRIGHT (M.), 1977. — Phytoplankton distribution in the upwelling area off NW Africa. *Helgolander wiss. Meeresunters.*, 29: 417-438.
- GORDON (D. C.), Jr., 1977. — Variability of particulate organic carbon and nitrogen along the Halifax-Bermuda section. *Deep-Sea Res.*, 24: 257-270.
- GORDON (D. C.), Jr., KEIZER (P. D.) and DALE (J.), 1978. — Temporal variation and probable origins of hydrocarbons in the water column of Bedford Basin, Nova Scotia. *Estuarine Coastal Mar. Sci.*, 7: 243-256.
- HOBSON (L. A.), 1971. — Relationships between particulate organic carbon and micro-organisms in upwelling areas off southwest Africa. *Inv. Pesq.*, 35: 195-208.
- HOBSON (L. A.), MENZEL (D. W.) and BARBER (R. T.), 1973. — Primary productivity and sizes of pools of organic carbon in the mixed layer of the ocean. *Mar. Biol.*, 19: 298-306.
- HUNTSMAN (S. A.) and BARBER (R. T.), 1977. — Primary production off northwest Africa: the relationship to wind and nutrient conditions. *Deep-Sea Res.*, 24: 25-33.
- KNAUER (G. A.), MARTIN (J. H.) and BRULAND (K. W.), 1979. — Fluxes of particulate carbon, nitrogen and phosphorus in the upper water column of the northeast Pacific. *Deep-Sea Res.*, 26: 97-108.
- LEMASSON (L.), CRÉMOUX (J.-L.) et MONTEL (Y.), 1977. — Analyse des rapports C/N/P du seston dans la partie orientale de l'Atlantique équatorial. *Mar. Chem.*, 5: 171-181.
- LISITZIN (A. P.), 1972. — *Sedimentation in the World Ocean*. The Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication No. 17, 218 p.
- MARGALEF (R.), 1974. — Distribution du seston dans la région d'affleurement du nord ouest d'Afrique en mars 1973. *Telhus*, 6: 77-88.
- MACKINNON (M. D.), 1978. — A dry oxidation method for the analysis of the TOC in seawater. *Mar. Chem.*, 7: 17-37.

- MITTLESTEADT (E.). — Physical oceanography of coastal upwelling regions with special reference to Northwest Africa. *Rapp. P.-V. Réun. Cons. perm. int. Explor. Mer* (sous presse).
- MINAS (M.), ABBOUD (M.) et SLAWYK (G.). — Production primaire et relations entre les paramètres de la biomasse microplanctonique dans le dôme de Guinée. *Rapp. P.-V. Réun. Cons. perm. int. Explor. Mer* (sous presse).
- PACKARD (T. T.) and DORTCH (Q.), 1975. — Particulate protein-nitrogen in North Atlantic surface waters. *Mar. Biol.*, 33: 347-354.
- PARSONS (T. R.), 1975. — Particulate organic carbon in the sea. In: J. P. RILEY and G. SKIRROW (eds), *Chemical oceanography*, 2nd edition, vol. 2, Academic Press, Inc., London: 365-385.
- POCKLINGTON (R.), 1976a. — Terrigenous organic matter in surface sediments from the Gulf of St. Lawrence. *J. Fish. Res. Board Can.*, 33: 93-97.
- POCKLINGTON (R.), 1976b. — Études océanographiques de base au large du Sénégal et de La Gambie. Report Series/BI-R-76-14/December 1976. Bedford Institute of Oceanography, Dartmouth, N.S., Canada, 29 p.
- POCKLINGTON (R.), 1978a. — Organic matter in waters off Senegal and The Gambia, February-March, 1976. Report Series/BI-R-78-1/March 1978. Bedford Institute of Oceanography, Dartmouth, N.S., Canada, 17 p.
- POCKLINGTON (R.), 1978b. — Organic matter in the waters and surface sediments off Peru. In Project ICANE: a Progress and Data Report on a Canada-Peru Study of the Peruvian Anchovy and its ecosystem. Ed. L. A. E. Doe, Report Series/BI-R-78-6/December 1978. Bedford Institute of Oceanography, Dartmouth, N.S., Canada, 211 p.
- REBERT (J. P.), 1978. — Les teneurs en chlorophylle des eaux de surface à la station côtière de Dakar (résultats des mesures de 1973-1977). Symposium sur le courant des Canaries : Upwelling et Ressources Vivantes. Contribution No. 102, Las Palmas de Gran Canaria, 11-14 avril 1978.
- RILEY (G. A.), 1970. — Particulate organic matter in seawater. *Ad. Mar. Biol.*, 8: 1-118.
- SHARP (J. H.), 1974. — Improved analysis for 'particulate' organic carbon and nitrogen from seawater. *Limnol. Oceanogr.*, 19: 984-989.
- SCHEMAINDA (R.), NEHRING (D.) and SCHULZ (S.), 1975. — Ozeanologische Untersuchungen zum produktionspotential des nordwestafrikanischen Wasserauftriebsregion 1970-73. *Geod. Geoph. Veroff.* RIV. 11-16.
- SMITH (W. O.) Jr., 1968. — Upwelling. *Oceanogr. Mar. Bio. Ann. Rev.*, 6: 11-46.
- SOKAL (R. R.) and ROHLF (F. J.), 1969. — Biometry. Freeman, San Francisco, 776 p.
- STRICKLAND (J. D. H.) and PARSONS (T. R.), 1968. — A practical handbook of seawater analysis. Office des recherches sur les pêcheries du Canada, Ottawa, 311 p.
- VINOGRADOV (A. P.), 1953. — The elementary chemical composition of marine organism. *Mem. Sears Foundation for Marine Research*, 2, 647 p.
- WANGERSKY (P. J.), 1974. — Particulate organic carbon: sampling variability. *Limnol. Oceanogr.*, 19: 980-984.
- WANGERSKY (P. J.), 1976. — Particulate organic carbon in the Atlantic and Pacific oceans. *Deep-Sea Res.*, 23: 457-465.
- WANGERSKY (P. J.), 1978. — The distribution of particulate organic carbon in the oceans: ecological implications. *Int. Rev. ges. Hydrobiol.*, 63: 567-574.
- WOOSTER (W. S.), BAKUN (A.) and McLAIN (D. R.), 1976. — The seasonal upwelling cycle along the eastern boundary of the North Atlantic. *J. Mar. Res.*, 34: 131-141.