

000

**Mesure par la méthode au C^{14} de l'activité photo-synthétique
de quelques masses d'eau du Pacifique Sud-Ouest en relation
avec l'étude de la fertilité de ces mêmes eaux**

par H. R. JITTS et H. ROTSCHI

*Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Australia et
Institut français d'Océanie, Nouméa, Nouvelle-Calédonie.*

Présenté par H. ROTSCHI

Résumé:

Au cours des croisières 56-4 et 56-5, de l'ORSOM III, bateau de recherches de l'Institut français d'Océanie, des essais systématiques ont été entrepris pour mesurer à chaque station occupée l'activité photosynthétique des différents masses d'eau rencontrées. Pour faciliter l'interprétation des résultats obtenus, aux mêmes stations, étaient déterminés les éléments intervenant de manière directe ou indirecte dans la fertilité de l'eau de mer.

L'activité photosynthétique a été mesurée par la méthode au C^{14} . Les échantillons prélevés en double en surface et à vingt-cinq mètres de profondeur, avec des bouteilles en plastique spécialement construites à cette intention afin d'éliminer tout effet de mélange et l'influence considérable du transvasement sur le phytoplancton, étaient ensemencés directement dans les bouteilles de prélèvement de quantités constantes de carbone radioactif sous forme de carbonate d'activité connue. Les bouteilles étaient ensuite placées dans un bac à incubation à circulation d'eau de mer et à illumination constante, l'éclairage étant assuré par huit tubes au néon de 30 watts. Après incubation de quatre heures les échantillons étaient filtrés sous vide sur filtres millipores, les filtres étant ensuite séchés et conservés en boîtes plastiques pour mesure de leur activité en laboratoire. L'activité photosynthétique était ensuite déterminée par la différence entre l'activité des échantillons incubés en bouteilles transparentes et ceux incubés en bouteilles non transparentes. Les résultats ont été exprimés en milligramme de carbone fixé par heure et par mètre cube.

Les mesures ainsi faites font apparaître une grande variation dans l'activité photosynthétique des masses d'eau rencontrées bien qu'en première apparence les autres mesures exécutées semblent indiquer une plus grande homogénéité dans la distribution des variables classiques telles que température, salinité, oxygène, phosphore minéral.

I. INTRODUCTION

La commodité et la sensibilité de la méthode au C^{14} développée par Steemann Nielsen (1) pour la mesure de la fixation de CO_2 a rendu plus réelle la possibilité d'études extensives de l'activité photosynthétique des masses d'eau du monde. Alors qu'il faudra encore un travail considérable avant que la méthode puisse être utilisée pour des mesures quantitatives absolues de la production primaire, elle peut être utilisée même dans sa forme actuelle pour fournir des informations très utiles sur les taux relatifs de production de différentes masses d'eau.

Jusqu'à présent il existe peu d'informations sur les taux de production des eaux du Pacifique. En plus du travail original de Steemann Nielsen (2), l'on

ne peut faire référence qu'au travail de Doty (3). Sur une ligne de stations allant de la Nouvelle-Zélande à San-Francisco, Steemann Nielsen (2) montra que les eaux du Pacifique avaient un taux de production relativement uniforme. Il trouva une variation de 0,10 à 0,19 g C/m^2 /jour pour toutes les eaux tropicales et subtropicales à l'exception de la zone du contre-courant équatorial entre $2^{\circ}S$ et $5^{\circ}N$ (longitude approximative $165^{\circ}W$) il trouva deux valeurs de 0,26 et 0,50 g C/m^2 /jour. Doty (3), à la suite de croisières plus orientales, a donné une estimation du taux de production dans les eaux équatoriales, entre $10^{\circ}S$ et $10^{\circ}N$, de 0,4 à 0,6 mg $C/m^3/h$, alors que pour des eaux plus septentrionales il a donné des valeurs de l'ordre de 0,1 mg $C/m^3/h$.

En Septembre - Octobre 1956, l'ORSOM III, bateau de recherches de l'Institut Français d'Océanie à Nouméa, prenant part à l'expédition conjointe Equapac, a exécuté deux lignes de stations dans les eaux équatoriales, de l'Equateur à $20^{\circ}S$, le long des méridiens $170^{\circ}E$ et $177^{\circ}E$. En plus des travaux hydrologiques standards, l'activité photosynthétique des eaux aux stations fut mesurée par la méthode au C^{14} . Les résultats obtenus seront publiés prochainement dans le rapport de l'expédition Equapac. Des mesures identiques furent aussi faites par l'ORSOM III au cours de la croisière qui suivit en Octobre et Novembre 1956 dans la Mer de Corail occidentale. Une tentative sera faite dans cette étude de déterminer le taux de production de matière organique des masses d'eaux rencontrées au cours de ces croisières.

II. METHODES

(A) Mesure de la fixation du CO_2

La fixation du CO_2 fut mesurée par la méthode au C^{14} adaptée de Steemann Nielsen (1) et de Doty (3). La méthode et l'équipement utilisés ont été décrits en détail ailleurs (Jitts, 4) et ne seront repris que rapidement ici.

Les échantillons d'eau furent prélevés en double à la surface et à 25 m de profondeur au moyen de bouteilles spéciales formées de deux cylindres identiques de plexiglass fermés par deux soupapes plates de plexiglass également. Un cylindre, non transparent, était peint en noir, alors que l'autre, clair, était laissé transparent. Ces bouteilles permirent la collecte et l'incubation des échantillons d'eau en contact seulement du plastique inerte, et qui ne subirent qu'un minimum d'agitation.

Dans chaque échantillon l'on injecta une quantité connue de C^{14} , (approximativement 30 micro C) sous forme de solution de bicarbonate stérilisé en quantité minimum. Cette 'activité ajoutée' était prélevée à partir d'ampoules scellées dont l'activité préalablement déterminée était de 25×10^5 impulsions par minute.

Les échantillons furent alors placés dans un bac illuminé et incubés pendant une durée connue (environ 4 heures). L'intensité lumineuse dans le bac, fournie par 8 tubes au néon de 20 watts du type lumière du jour, était de 12 000 bougies/m². La constance de la température du bac était assurée par circulation d'eau de mer superficielle. Après incubation, les échantillons furent filtrés sur filtres Millipore type H A, lavés avec 10 ml d'HCl 0,001 N dans Na Cl à 3% séchés par aspiration et conservés en siccatéur sur gel de silice pour mesure de leur activité au retour à terre.

Le taux de fixation de CO_2 par photosynthèse exprimé en mg $C/m^3/h$ fut calculé au moyen de la formule suivante donnée par Doty (3)

$$\frac{\text{activité nette}}{\text{activité ajoutée}} \times \frac{\text{CO}_2 \text{ total}}{\text{heures d'incubation}} \times \frac{12}{44} \times 1000$$

où "l'activité nette" est l'activité de l'échantillon de la bouteille transparente diminuée de celle de l'échantillon de la bouteille non transparente; "l'activité ajoutée" est 25×10^5 impulsions/minute; le 'CO₂ total' déterminé séparément est la teneur en CO₂ sous toutes ses formes, exprimée en mg CO₂ /l. Les résultats ne furent corrigés ni pour la discrimination isotopique ni pour la respiration car il n'existe actuellement aucun chiffre valable pour ces corrections.

(B) Mesure du CO₂ total

La teneur en CO₂ total des échantillons d'eau de mer fut mesurée par la méthode décrite par Rotschi (5) pour la détermination de l'alcalinité totale et calculée à l'aide des tables données par Harvey (6). Le principe de la méthode est la mesure de la chute du pH d'un échantillon de 100 ml d'eau de mer quand on y ajoute 25 ml d'HCl 0,01 N. Les mesures de pH furent faites avec un pH mètre Beckman en utilisant une électrode de verre et une électrode de référence au calomel.

(C) Epaisseur de la zone euphotique

Dans cette étude l'épaisseur de la zone euphotique a été prise égale à la profondeur de la couche où pénètre 1% de la lumière superficielle. Le travail de Steemann Nielsen (1-2), suggère que c'est une assez bonne approximation. Les intensités lumineuses furent mesurées au photomètre sous-marin à la surface et à 10, 20, 30, 40 et 50 m de profondeur. Sur un graphique, l'on a porté le logarithme des intensités lumineuses en fonction de la profondeur et la courbe obtenue fut extrapolée pour obtenir la profondeur de pénétration de 1% de l'intensité superficielle.

(D) Calcul de la production organique quotidienne par m² de surface

Afin de permettre la comparaison des résultats obtenus au cours de ces deux croisières avec ceux de Steemann Nielsen (2) pendant la croisière de la 'Galathée', l'on a tenté d'obtenir une estimation du taux de production organique quotidien par m² de surface à chaque station. Pour cela, la moyenne des taux de production en mg C/m³/h à 0 et 25 m à chaque station fut multipliée par le facteur $12 \times D/2$ où D est l'épaisseur de la couche euphotique. L'on a considéré que la multiplication par 12 du taux horaire donnait le taux quotidien de production. Posant que le taux de production est inversement proportionnel à la profondeur et égal à 0 au bas de la zone euphotique, la multiplication par $D/2$ doit donner le taux de production par m².

Cette méthode est une approximation inévitable compte tenu des différences entre les techniques utilisées par Steemann Nielsen et les auteurs. L'on peut noter cependant que cette méthode d'estimation appliquée aux chiffres donnés par Steemann Nielsen (ref. 2, table 2) pour les stations de la 'Galathea' Nos. 690, et 693, toutes dans le Pacifique central, a donné des résultats différant des nôtres seulement de 7 à 15%.

(E) Mesure de la teneur en phosphate minéral et en oxygène dissous

Toutes les méthodes d'analyse chimique à bord utilisées pendant les deux croisières, ont été décrites en détail par Rotschi (5). Nous les rappellerons succinctement pour mémoire.

L'oxygène dissous a été déterminé par la méthode de Winkler adaptée par Dussart et Francis-Boeuf (7). Les échantillons étaient prélevés immédiatement dans les bouteilles à renversement par drainage sans barbotage dans les flacons de 250 ml tarés et bouchés émeri. L'oxygène était fixé par addition immédiate de 1 ml de solution de KOH-IK et de 1 ml de $MnCl_2$. Après sédimentation de tous les échantillons d'une station, c'est à dire 12, les précipités étaient dissous par addition de 1 ml de SO_4H_2 concentré et l'iode libéré était dosé par une solution titrée de $S_2O_3Na_2$ en utilisant de l'amidon comme indicateur. Le titre de la solution de $S_2O_3Na_2$ était déterminé régulièrement par étalonnage avec une solution titrée de IO_3K . Toutes les analyses titrimétriques ont été faites le soir dans les mêmes conditions d'éclairage, à la lumière de tubes fluorescents type lumière du jour. Les résultats ont été exprimés en ml O_2/l .

Le phosphate minéral dissous a été déterminé colorimétriquement en utilisant la méthode de Wooster et Rakestraw (8). Les échantillons de 100 ml, prélevés en double dans des bouteilles en plastique, étaient abandonnés au laboratoire. Après mise en équilibre thermique avec l'air ambiant l'on ajoutait les réactifs nécessaires à la formation du complexe bleu ceruléo-molybdique, acide sulfomolybdique et chlorure stanneux, et l'intensité de la coloration formée était mesurée au spectrophotocolorimètre Beckman modèle DU à 700 millimicrons, entre 10 et 25 minutes après addition des réactifs. La concentration était déterminée par comparaison de l'extinction lue directement à celle d'une solution étalon utilisée pour la construction d'une courbe d'étalonnage. Les résultats ont été exprimés en micro at-g PO_4-P/l .

(F) Mesure de la salinité et de la température

Chaque bouteille était couplée avec une paire de thermomètres à renversement permettant la lecture de la température à 1/100 de degré; les températures lues ont été corrigées pour l'expansion thermique de verre et les déviations d'étalonnage.

La salinité déterminée directement à bord par mesure de la conductivité avec un salinomètre construit par le C.S.I.R.O. a Cronulla a été déterminée ensuite au laboratoire par la méthode de Mohr Knudsen sur quatre à cinq échantillons, la précision de la mesure étant de 0,02 S ‰.

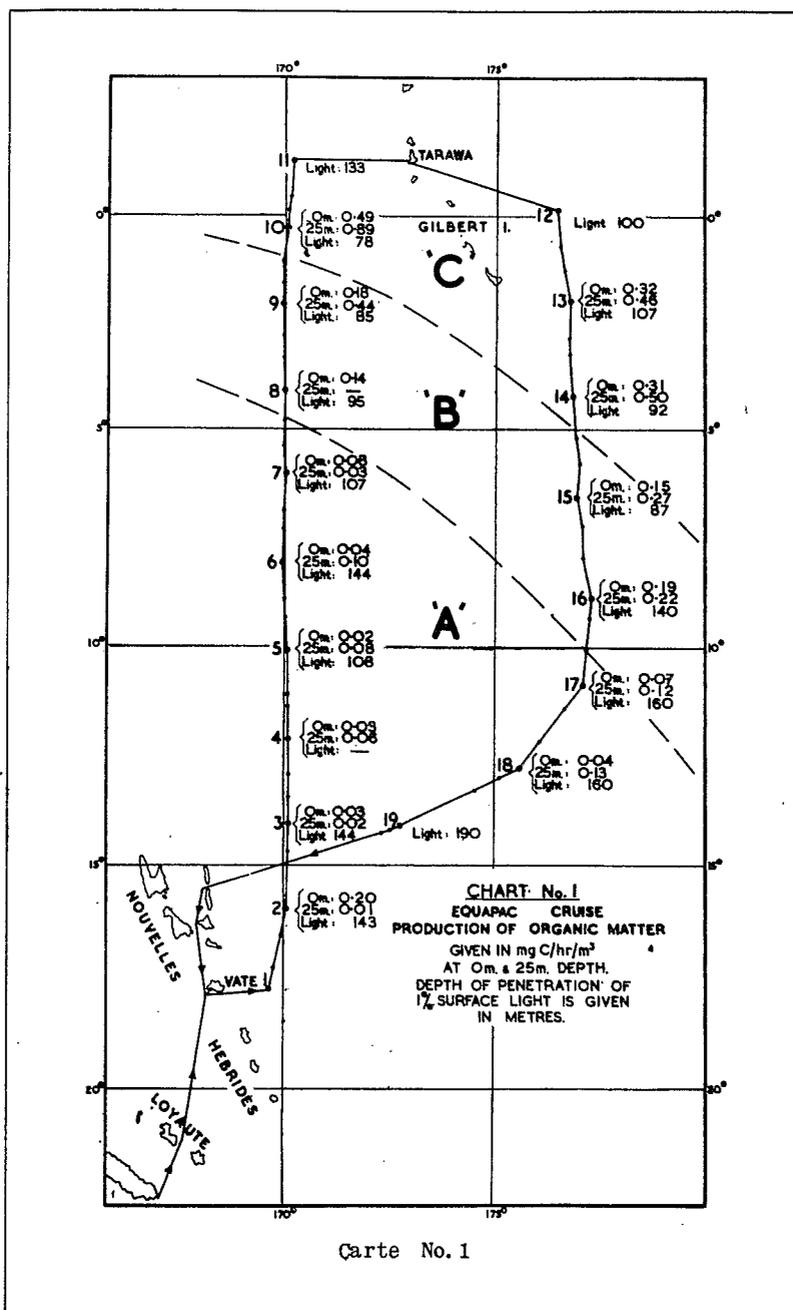
III. RESULTATS

(A) Taux de production de matière organique

Les mesures de fixation de CO_2 ont été faites à la surface et à 25 m de profondeur en 15 stations pendant la croisière Equapac. Les résultats obtenus sont résumés dans la carte No.1. Des résultats détaillés seront publiés dans un prochain rapport. L'on a trouvé des variations considérables dans le taux de production photosynthétique de matière organique dans les eaux rencontrées. Les valeurs varient de 0,02 à 0,89 mg $C/m^3/h$.

Du point de vue seulement de leur productivité, les eaux rencontrées pendant cette croisière se divisent clairement en trois types; elles ont été indiquées sur la carte No.8 par 'A', 'B', et 'C'.

Le type 'A' correspondant aux eaux situées au sud de la ligne passant par les stations 7 et 17, a un taux de production très bas. La moyenne des 16 mesures faites dans cette région est de 0,05 mg $C/m^3/h$. La profondeur moyenne de la couche à 1% d'illumination de l'illumination superficielle, c'est-à-dire l'épaisseur approximative de la zone euphotique, est 140 m.



Carte No. 1

Le type 'C' correspondant aux eaux situées au nord de la ligne reliant la station 10 à la station 14 a un taux de production très élevé. Ici, la moyenne des 6 mesures faites est de 0,50 mg C/m³/h avec une épaisseur moyenne de la zone euphotique de 90m.

Le type 'B' situé entre les deux précédents a des valeurs intermédiaires pour les deux propriétés. Les taux moyen de production est de $0,24 \text{ mg C/m}^3/\text{h}$ et l'épaisseur moyenne de la zone euphotique 100 m.

On a calculé à chaque station le taux quotidien de production de matière organique par m^2 de surface. Les résultats sont données figure 1. On a trouvé que les types d'eau 'A', 'B' et 'C' ont une production moyenne de $0,05$, $0,13$ et $0,26 \text{ g C/m}^2/\text{jour}$ respectivement.

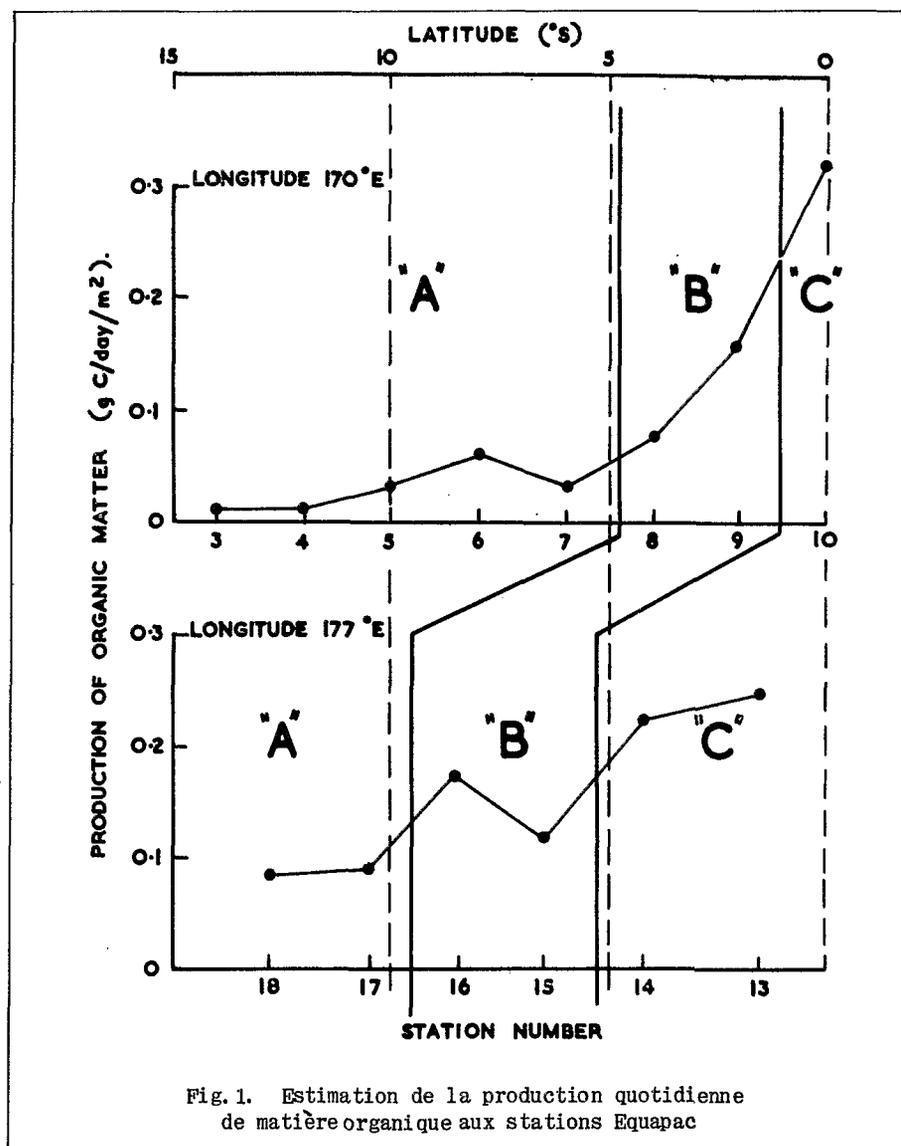
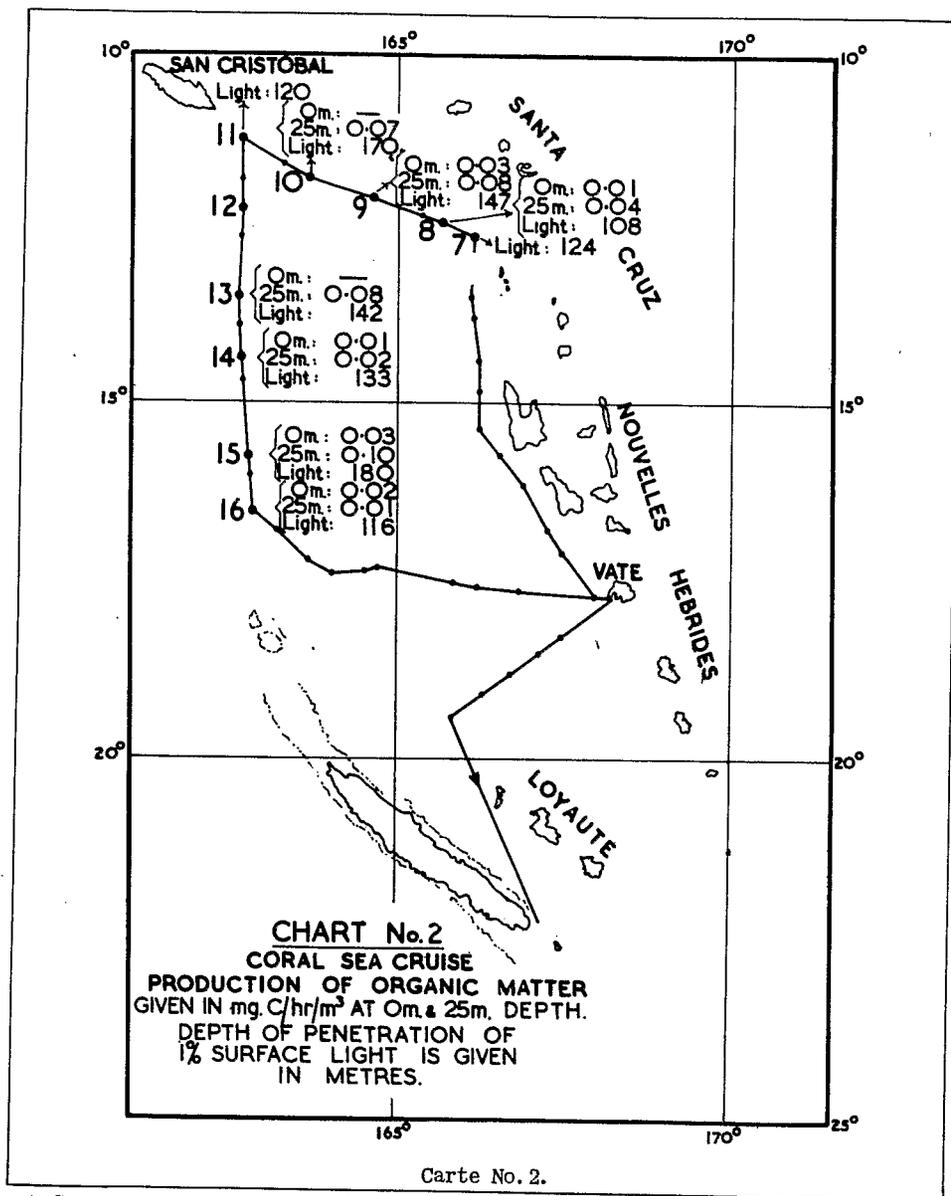


Fig. 1. Estimation de la production quotidienne de matière organique aux stations Equapac

On a mesuré également le taux de production à 0 et 25 m en 7 stations pendant la croisière en Mer de Corail. Les résultats sont donnés dans la carte 2. Il fut trouvé que les eaux rencontrées au cours de cette croisière ont un taux de production encore plus bas que les eaux du type 'A' rencontrées pendant la croisière Equapac. La moyenne des 14 mesures faites est $0,04 \text{ mg}$

$C/m^3/h$ avec des valeurs variant de 0,01 à 0,09 $mg C/m^3/h$. L'épaisseur moyenne de la zone euphotique est 142 m. La production moyenne quotidienne est 0,04 $g C/m^2/jour$.



(B) Sets nutritifs et propriétés hydrologiques

(a) *Caractéristiques générales* - Les figures 2 à 11 donnent l'ensemble des propriétés hydrologiques telles qu'elles ont été mesurées dans les deux coupes le long des méridiens 170° E et 177° E. Il n'est pas question ici de les discuter en détail, une telle étude devant faire l'objet de rapports ultérieurs, mais simplement de résumer brièvement les principaux renseignements qu'elles peuvent donner au point de vue de la caractérisation des masses d'eau rencontrées de la surface à 1200 m, une attention plus spéciale devant être portée ensuite aux propriétés des eaux superficielles.

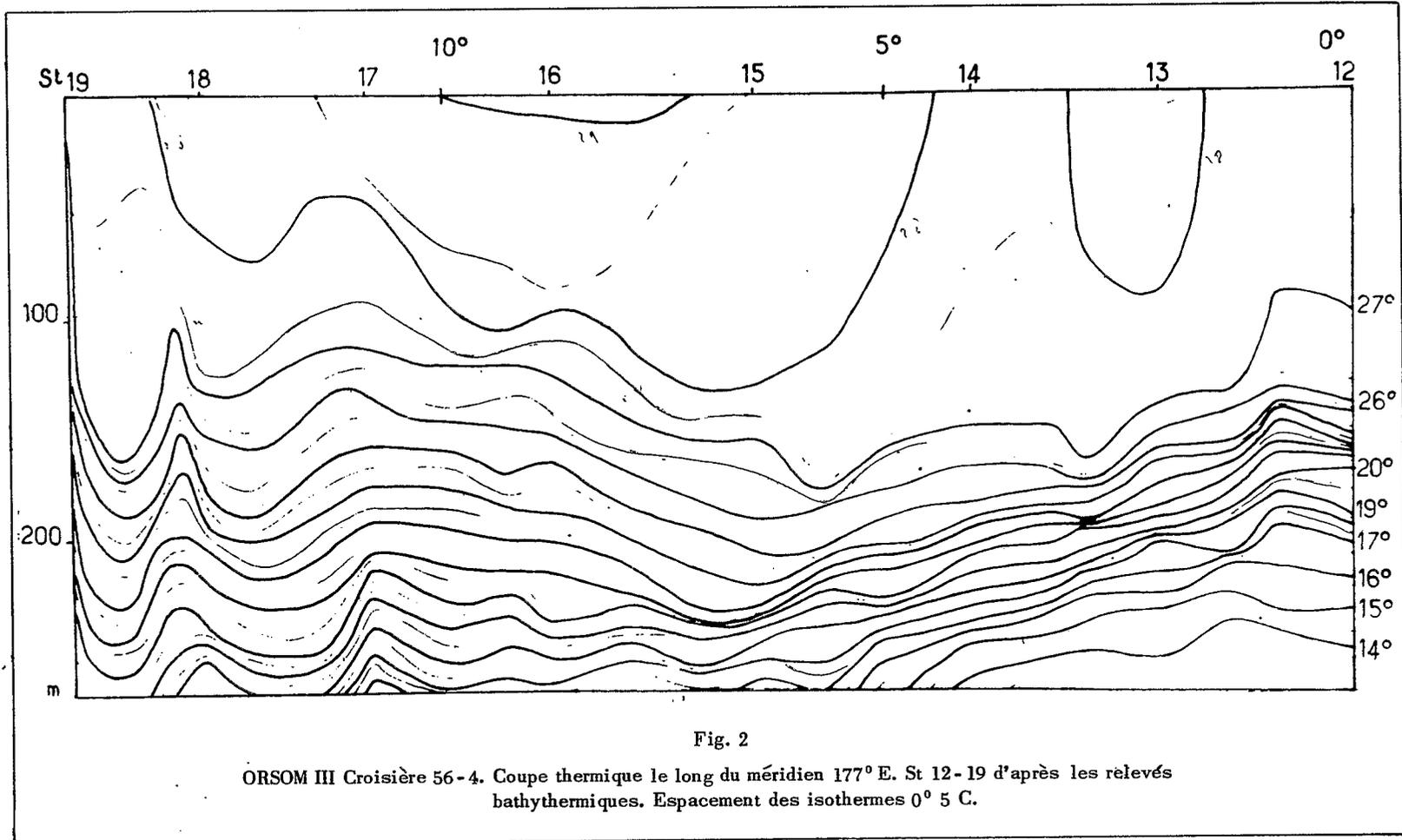


Fig. 2

ORSOM III Croisière 56-4. Coupe thermique le long du méridien 177° E. St 12-19 d'après les relevés bathythermiques. Espacement des isothermes 0° 5 C.

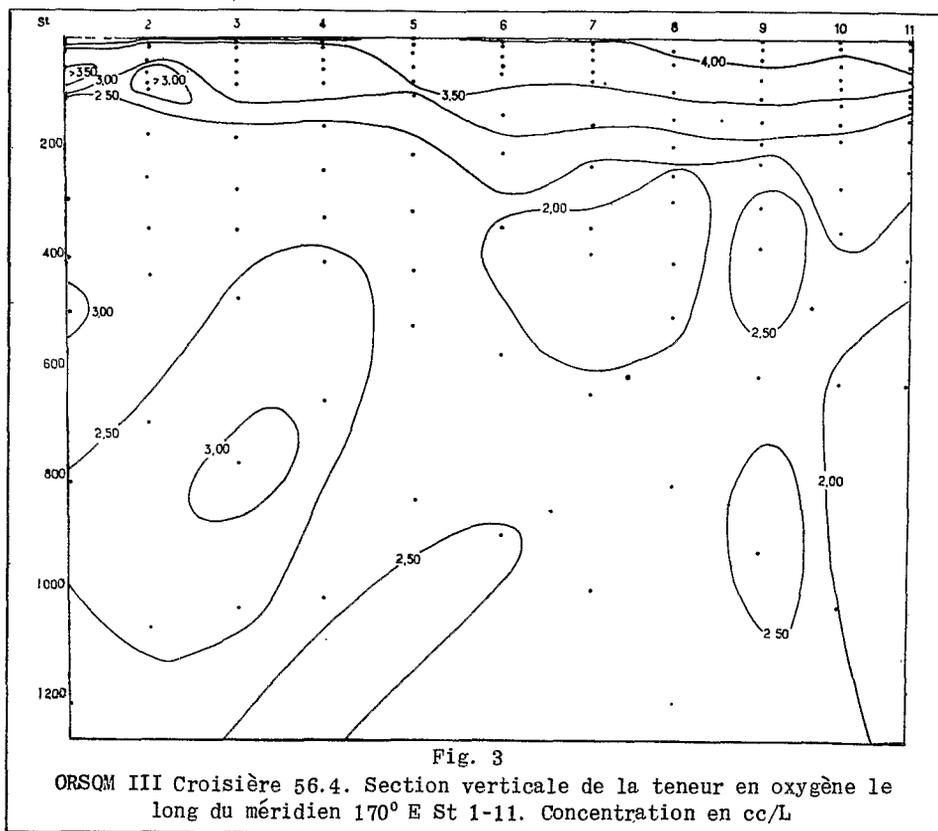


Fig. 3

ORSQM III Croisière 56.4. Section verticale de la teneur en oxygène le long du méridien 170° E St 1-11. Concentration en cc/L

Les figures 2 à 11 donnent les coupes thermiques établies d'après les mesures bathythermiques le long des méridiens 177° E et 170° E. L'on constate l'existence d'une thermocline assez marquée entre 8° - 6° S et l'Equateur et dont la profondeur diminue assez rapidement en remontant vers le nord. Vers l'Equateur, 13° S et 16° S l'on constate une tendance de remontée d'eau plus froide de quelques degrés vers la surface résultant en une transition moins brusque de la température vers les profondeurs plus grandes. On notera enfin qu'au Sud de 6° - 8° S la thermocline est inclinée sud-nord alors qu'au nord de cette latitude elle a l'inclinaison inverse. Audessus de la thermocline on trouve une couche d'eau d'une épaisseur moyenne de 100 m et thermiquement très stable.

Les figures 7 - 8 donnent les coupes verticales de la salinité. Le fait le plus frappant est l'existence vers 200 m de profondeur d'une langue d'eau à très forte salinité s'étendant jusque vers l'Equateur. En surface, à l'Equateur, on peut noter une chute de la salinité correspondant à la baisse de température déjà signalée.

Les caractéristiques de la distribution de l'oxygène dissous sont données dans les figures 3 et 4. La teneur en oxygène est surtout remarquable par l'existence de nombreuses inversions dans la coupe le long du 170° E et par un noyau très pauvre s'étendant vers le Sud dans le coupe le long du 177° E et apparaissant au voisinage de l'Equateur dans l'autre section.

La répartition du phosphate minéral dissous (fig. 5-6) est beaucoup plus caractéristique. Les teneurs dans la zone superficielle (200-300 m) sont

relativement faibles, mais entre 5° S et l'Equateur, il existe un noyau d'eau relativement riche poussant vers la surface des eaux à plus forte teneur.

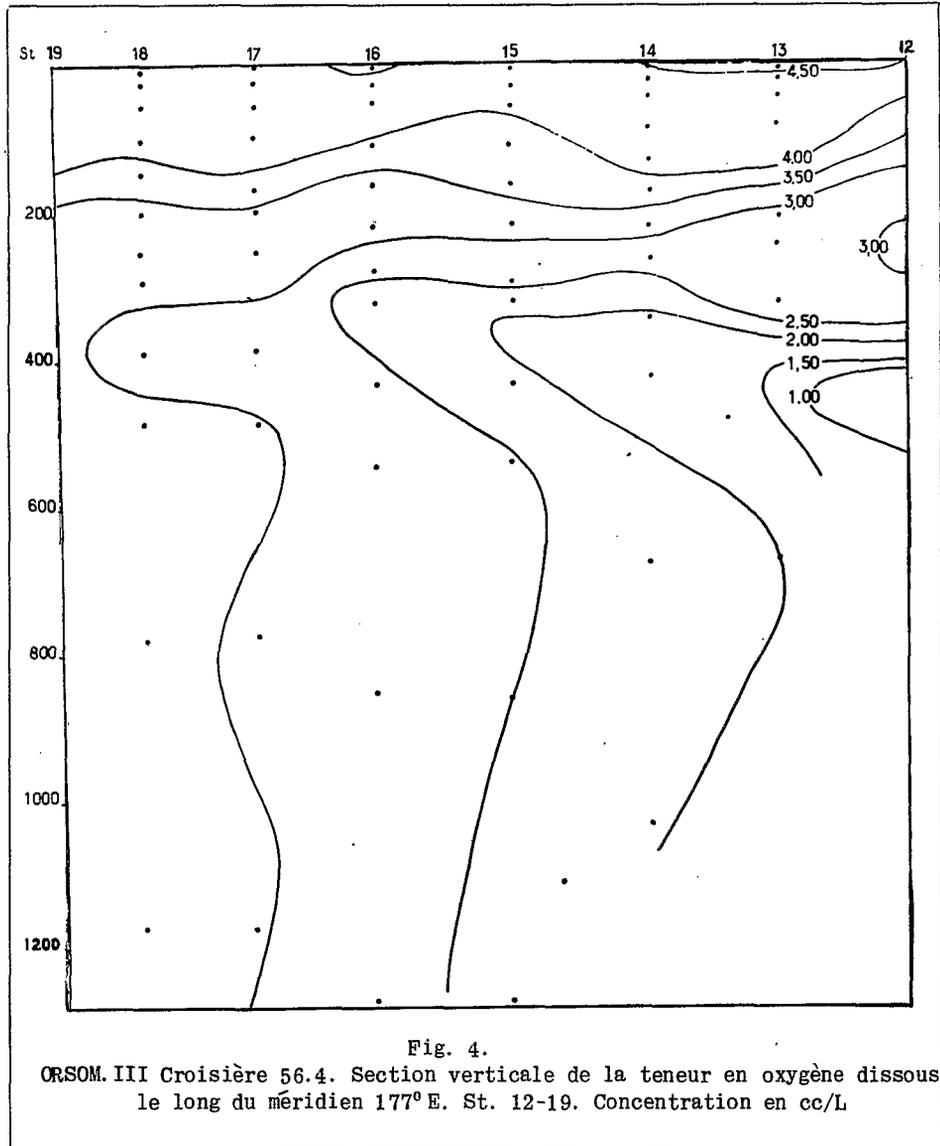


Fig. 4.

ORSOM. III Croisière 56.4. Section verticale de la teneur en oxygène dissous le long du méridien 177° E. St. 12-19. Concentration en cc/L

Les courbes $\sigma\text{-t}$ (fig. 9-10), par comparaison avec les courbes température et salinité, indiquent entre l'Equateur et 15° S une pente du Nord au Sud correspondant au courant équatorial sud avec pour la coupe 170° E un fléchissement un peu au nord de l'Equateur correspondant certainement à la divergence signalée par Austin (1954).

Du point de vue hydrologique, l'on peut tenter de classer les eaux rencontrées en les différentes masses suivantes:

1. Eaux antarctiques intermédiaires, de salinité comprise entre 34, 42 ‰ et 34, 58 ‰, la température variant entre 3° C et 8° C; ces eaux ont un $\sigma\text{-t}$ compris entre 27,0 et 27,5 et elles apparaissent vers 600 m de profondeur.

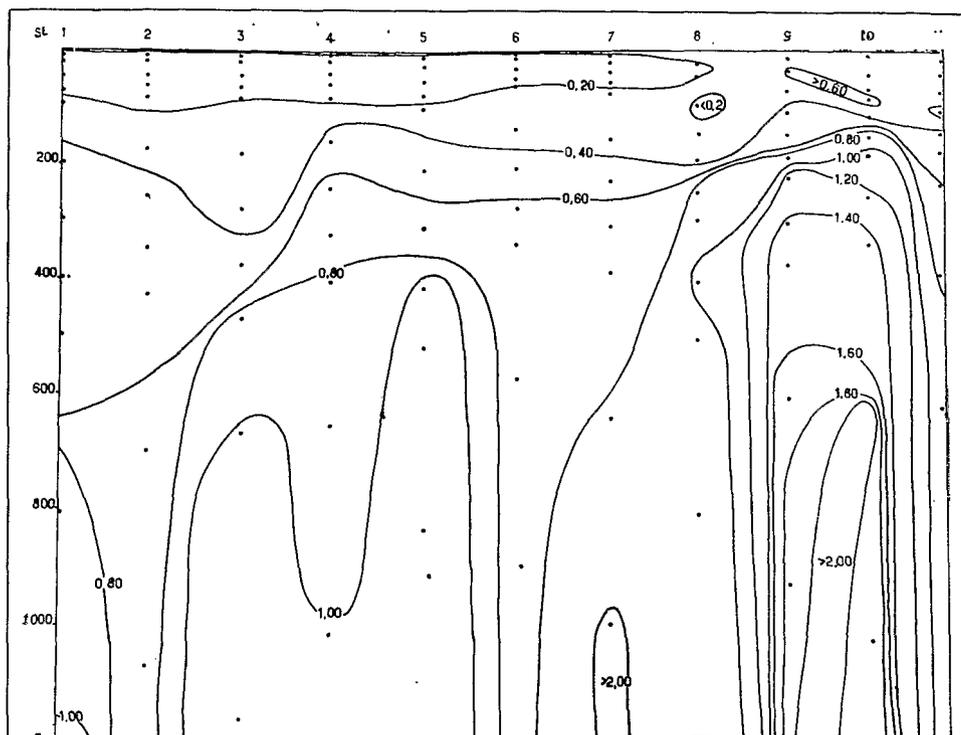


Fig. 5.

ORSOM. III Croisière 56.4. Section verticale de la teneur en phosphate minéral dissous le long du méridien 170° E.
St 1-11. Concentration en μ at g/L

2. Au-dessus, des eaux que Sverdrup (9) identifie comme la masse équatoriale pacifique caractérisée par une variation presque linéaire de la courbe T-S, dont la salinité est comprise entre $34,6 \text{ ‰}$ et $35,15 \text{ ‰}$ et la température entre 8° C et 15° C.

La limite supérieure de cette masse est comprise entre 400 et 300 m.

3. Jusque vers 200 m une autre masse dont le diagramme T-S est également rectiligne mais avec une pente différente, égale à celle définie par Sverdrup comme la masse pacifique sud-occidentale; les valeurs extrêmes de la température et de la salinité sont $35,8 \text{ ‰}$, 21° C et $35,15 \text{ ‰}$, 15° C.

4. Vient ensuite pour l'ensemble des stations, sauf les Nos. 10, 11 et 12, un noyau d'eau de salinité supérieure à $35,8 \text{ ‰}$ et donc l'origine serait à rechercher dans la convergence subtropicale. C'est à l'existence de la divergence équatoriale que l'on doit le fait que cette masse subtropicale est maintenue au sud des stations 10, 11 et 12. Ce noyau a son axe autour de 200 m. Aux stations 13 et 14 on ressent encore l'effet répulsif de la divergence sur cette masse dont le maximum de salinité est inférieur à celui des autres stations.

5. Viennent ensuite les couches superficielles dont l'identification est beaucoup plus difficile. On retrouve des eaux de salinité comprise entre $35,0 \text{ ‰}$ et $35,8 \text{ ‰}$ et dont la température indique une remarquable stabilité.

En conclusion, les diagrammes T-S des stations Equapac confirment de manière remarquable les résultats d'Austin (10) et font apparaître que sauf

pour les stations 10, 11 et 12 situées nettement dans la zone de divergence, l'ensemble des eaux rencontrées est caractéristique de la distribution de la température et de la salinité entre l'Equateur et la convergence subtropicale.

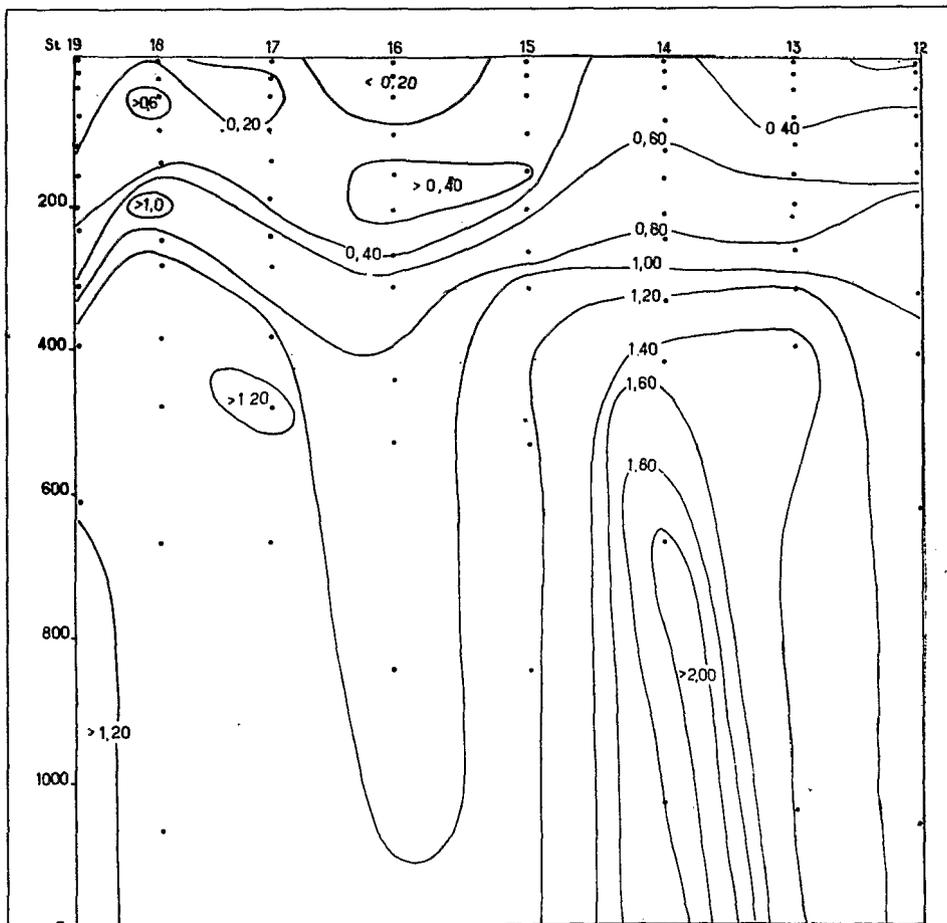


Fig. 6.

ORSOM III Croisière 56-4 Coupe verticale de la teneur en phosphate minéral dissous le long du méridien 177°E. St 12-19. Concentration en μ g/L.

Les mêmes remarques s'appliquent à la nature des eaux rencontrées pendant la croisière suivante dans la Mer de Corail, entre la Nouvelle-Calédonie, les Nouvelles-Hébrides et les Salomon. A toutes les stations exécutées, l'on trouve en bas une eau antarctique intermédiaire, puis une eau équatoriale pacifique couverte par une masse à caractère moins bien défini mais qui pourrait correspondre à une masse pacifique sud-occidentale; dans les stations largement ouvertes à l'influence du seuil Salomon-Santa Cruz-Nouvelles Hébrides on retrouve le corps d'eau à forte salinité; dans les autres, ce maximum s'atténue considérablement; au-dessus de 150-200 m on trouve des eaux dont la salinité est comprise entre 34,80 ‰ et 35,70 ‰ et dont la température varie entre 29° C et 22° C.

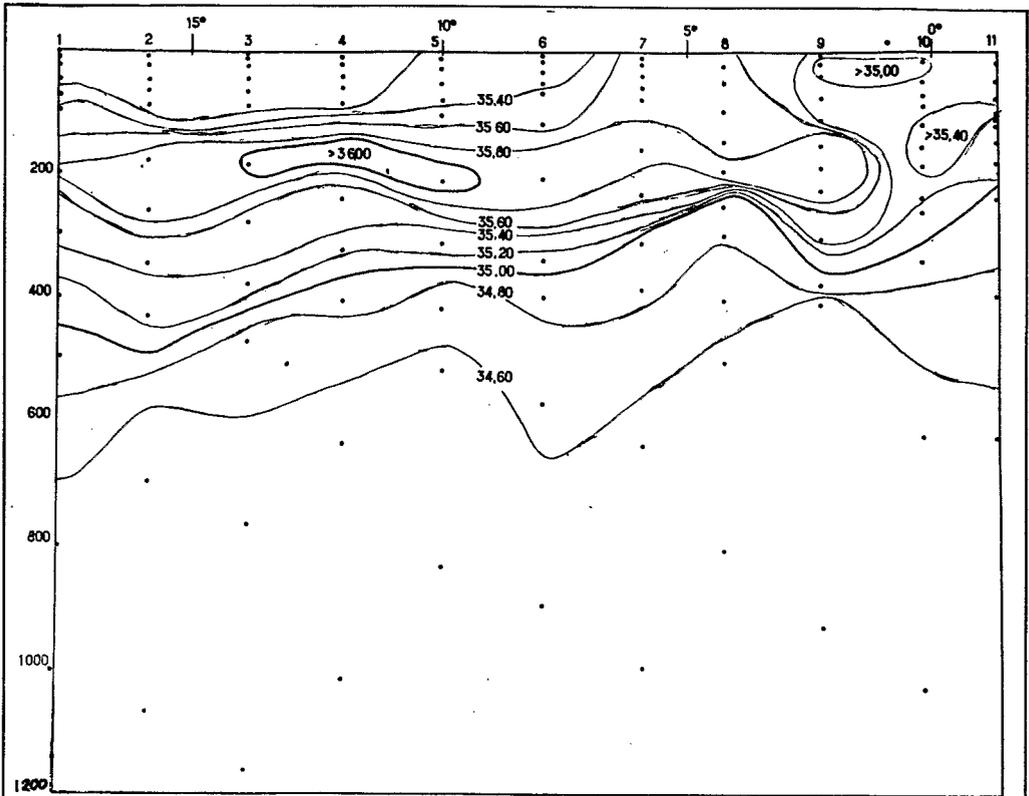


Fig. 7
Coupe verticale de la salinité le long du méridien 170° E Stations 1-11
Espacement des Isohalines 0.20‰

((b) Nature des couches superficielles entre 0 et 25 m - L'on trouvera dans les tableaux 1 et 2 les valeurs à 0 et 25 m des variables étudiées pendant les deux croisières. Les variations de ces différents facteurs sont:

1. pour la croisière Equapac

- 34,99 - 35,70 ‰ en surface et
35,01 - 35,72 ‰ à 25 m pour la salinité
- 26,10° C-28,87° C en surface et
25,83° C-28,80° C à 25 m pour la température
- 3,78-4,58 ml O_2 /l en surface et
3,30-4,45 ml O_2 /l à 25 m pour l'oxygène
- 0,10-0,66 micro at-g/l en surface et
0,08-0,55 micro at-g/l à 25 m pour le phosphore

2. pour la croisière 56-5

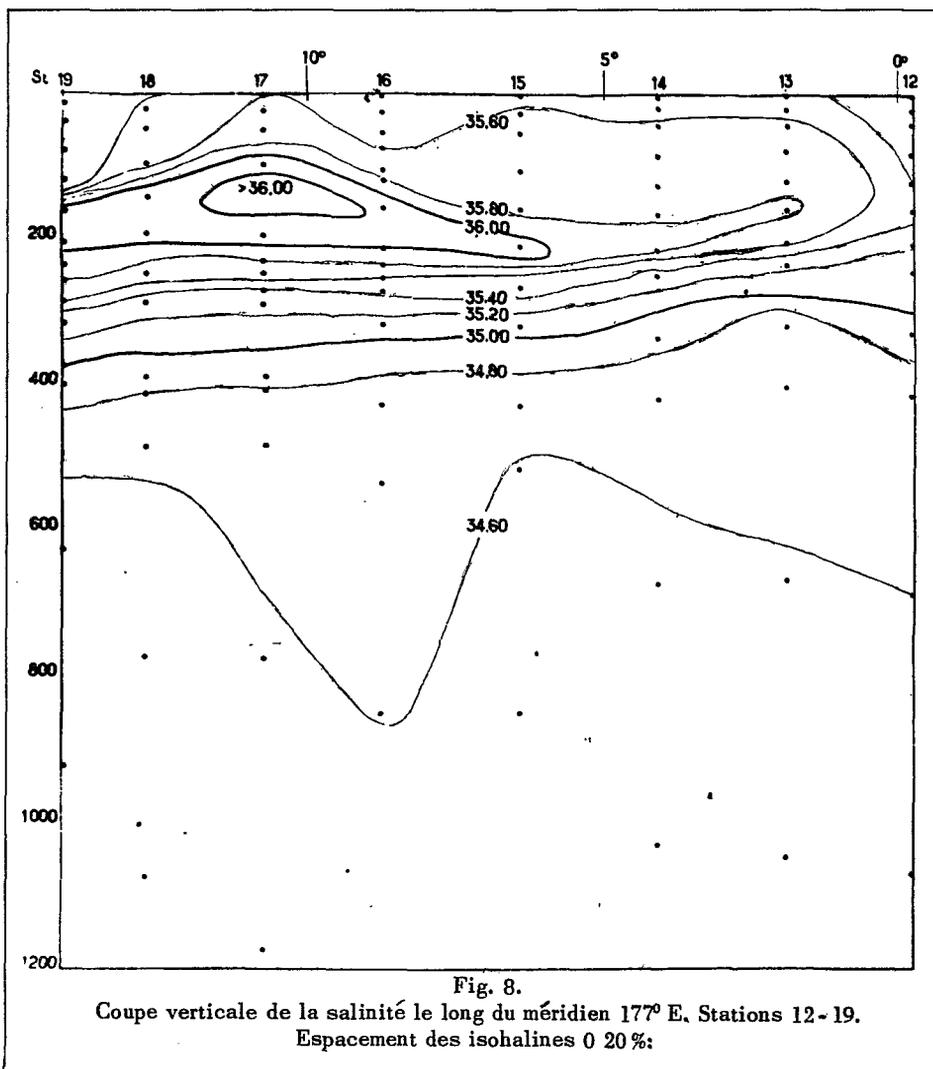
- 34,72-34,99 ‰ en surface et
34,78-35,04 ‰ à 25 m pour la salinité
- 27,18-29,21° C en surface et
26,50-29,05° C à 25 m pour la température

Tableau 1. Propriétés des eaux superficielles Croisière Equapac - ORSOM III											
	S ‰		t°		O ₂		PO ₄ P		CmgC/m ³ /h		Lumière m
	0 m	25 m	0 m	25 m	0 m	25 m	0 m	25m	0 m	25	
1	34,99	35,01	26,10	25,83	4,56	3,35	0,50	0,30			
2	35,01	35,07	27,31	27,31		3,45	0,29	0,12	0,02	0,01	143
3	35,07	35,12	27,25	27,15	4,31	3,35	0,22	0,08	0,03	0,02	144
4	35,12	35,02	28,43	28,35	4,32	3,30	0,29	0,17	0,03	0,06	
5	35,26	35,25	28,85	28,60	3,78	3,70	0,30	0,18	0,02	0,08	188
6	35,32	35,36	28,78	28,70	4,23	3,80	0,28	0,16	0,04	0,10	144
7	35,70	35,72	28,87	28,75	4,14	3,80	0,35	0,33	0,08	0,03	107
8	35,62	25,66	28,68	28,55	4,34	4,05	0,66	0,20	0,14	0,00	95
9	35,39	35,07	28,45	28,35	4,38	4,05	0,37	0,50	0,18	0,44	85
10	35,39	35,17	27,95	27,85	4,20	4,00	0,39	0,42	0,49	0,89	78
11	35,30	25,21	28,14	28,05	4,18	4,05	0,29	0,39			133
12	35,30	35,30	27,62	27,50	4,55	4,25	0,53	0,35			100
13	35,55	35,59	28,04	27,95	4,53	4,30	0,37	0,26	0,32	0,46	107
14	35,55	35,59	27,79	27,70	4,40	4,40	0,62	0,55	0,31	0,50	92
15	35,53	35,61	28,44	28,40	4,21	4,00	0,36	0,24	0,15	0,27	87
16	35,43	35,48	28,83	28,80	4,58	4,25	0,13	0,09	0,19	0,22	190
17	35,59	35,68	28,40	28,35	4,41	4,38	0,23	0,14	0,07	0,12	160
18	35,30	35,43	28,23	28,17	4,45	4,45	0,20	0,33	0,04	0,13	160
19	35,03	35,07	27,73	27,47	4,34	4,05	0,10	0,11			

Tableau 2. Propriétés des eaux superficielles
Croisière 56 - 5 ORSOM III

	S%		t° C		O ₂		PO ₄ P		Cmg C/m ³ /h		Lumière
	0 m	25mm	0 m	25 m	0 m	25 m	0 m	25 m	0 m	25	m
1	34,90	34,92	27,83	26,57	4,86	4,61					
2	34,78	34,78	28,11	27,71	4,65	4,34					
3	34,76	34,81	28,20	28,14	4,66	4,29					
4	34,78	34,78	28,03	27,98	4,21	4,26	0,16	0,21			
5	34,94	35,00	28,47	28,43	4,63	4,40	0,13	0,09			
6	34,85	34,96	28,82	28,46	4,48	4,32					
7	34,97	34,97	28,90	28,87	4,62	4,44	0,28	0,16			
8	34,97	34,94	29,07	28,85	4,43	4,40			0,01	0,04	108
9	34,99	23,92	29,03	29,00	4,51		0,11	0,34	0,03	0,07	147
10	34,97	34,94	29,21	29,02	4,54	4,38	0,17	0,11	0,02	0,07	170
11	34,90	35,02	29,09	20,04	4,68	4,37	0,05	0,10			120
12	34,83	34,85	29,00	28,50	4,50	4,10	0,12	0,07			
13	34,92	34,97	28,68	28,63	4,70	4,60	0,11	0,08	0,02	0,07	142
14	34,86	34,88	28,86	28,50	4,45	4,35	0,09	0,08	0,01	0,02	133
15	34,72	34,85	28,61	28,50	4,53	4,40	0,08	0,08	0,03	0,09	180
16	34,83	34,81	29,06	28,73	4,48	4,38	0,11	0,06	0,02	0,01	166
17	34,87	35,00	27,84	27,80	4,62	4,70	0,13	0,10			
18	34,92	25,03	27,32	27,20	4,73	4,50	0,26	0,00			
19	34,81	35,04	27,18	26,50	4,64	4,70	0,11	0,05			
20	34,79	34,85	27,83	27,50	4,61	4,50	0,08	0,05			

- 4,21-4,86 cc O_2 /l en surface et
4,10-4,70 cc O_2 /l à 25 m pour l'oxygène,
- 0,05-0,38 micro at-g/l
0,00-0,34 micro at-g/l à 25 m pour le phosphore



Un examen plus approfondi de la nature des eaux superficielles, en particulier du diagramme T-S des eaux à 0 et 25 m, montre qu'il existe une homogénéité relative entre des eaux et qu'il est difficile de caractériser des types d'eau bien définis. Au point de vue de toutes les variables examinées, les variations sont faibles en général ou lorsqu'elles ne le sont pas, il n'existe aucune relation entre les valeurs trouvées ou entre ces valeurs et la latitude.

En reprenant la classification qui apparaît par examen des taux de fixation du carbone on trouve pour les différents types décrits les valeurs moyennes suivantes des variables étudiées:

'Type'	T° C	S ‰	O ₂	PO ₄ - P
A	27,9	35,3	4,04	0,23
B	28,6	35,5	4,25	0,31
C	27,9	35,5	4,33	0,44

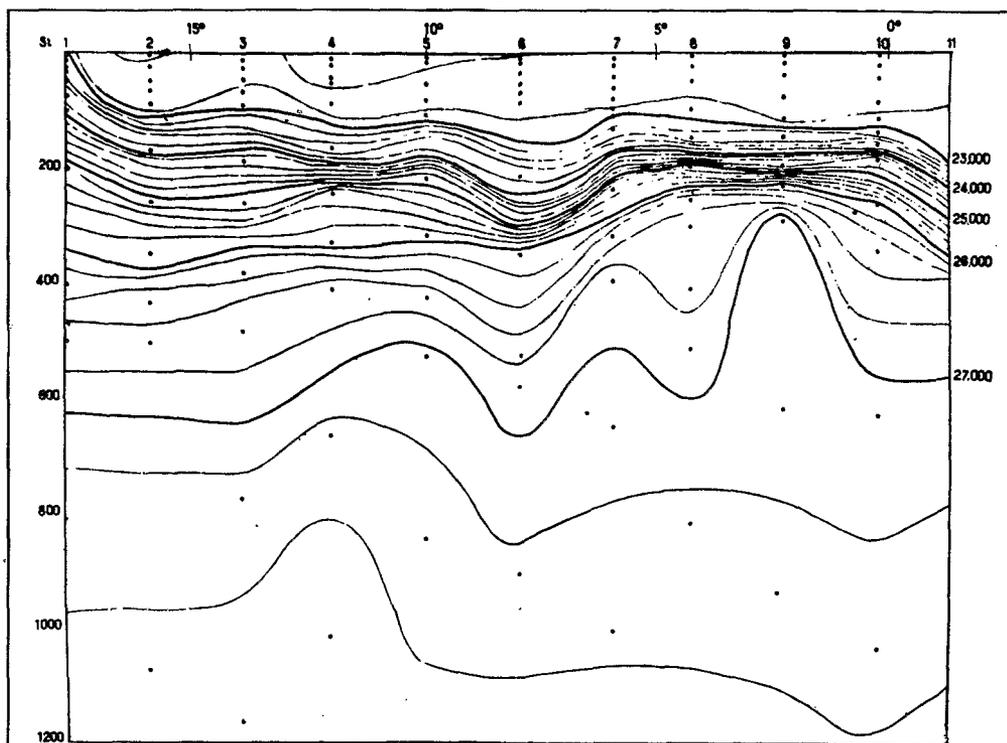


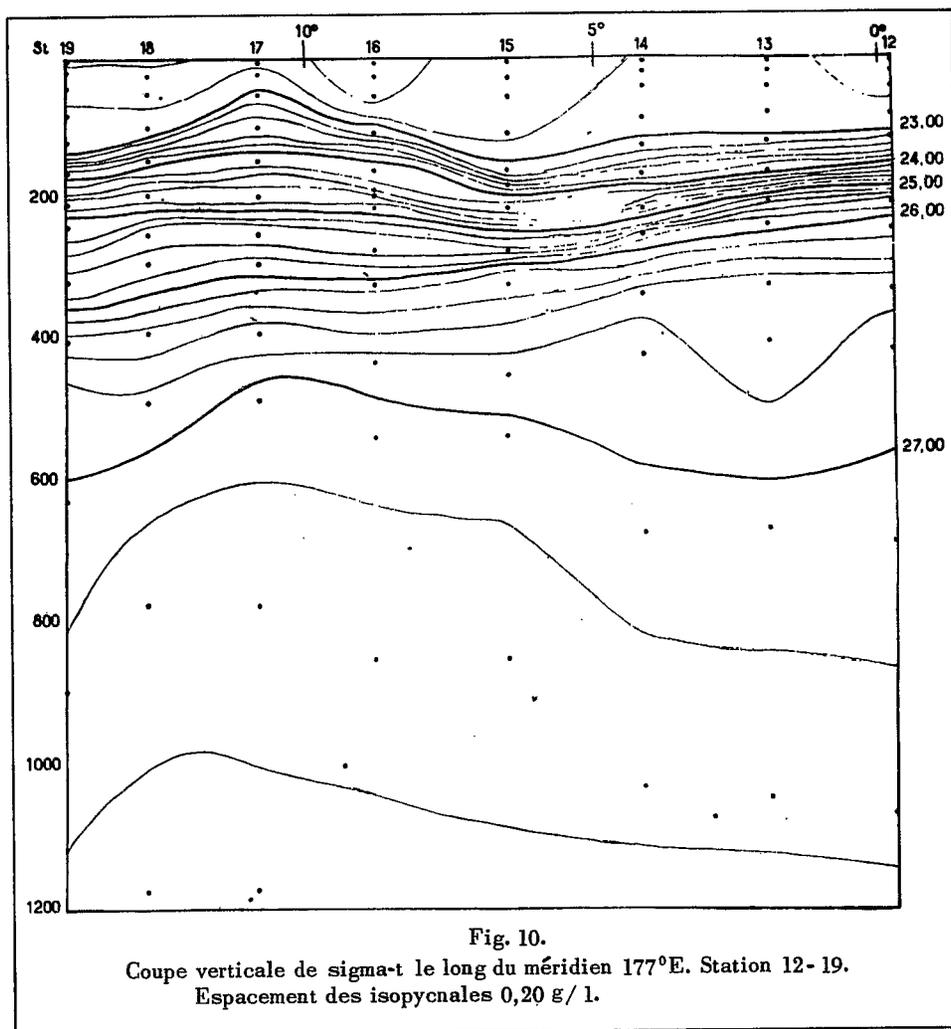
Fig. 9.

Coupe verticale de sigma-t le long du méridien 170° E.
Station 1-11. Espacement des isopycnales 0.20 g/l.

Comme il a été signalé plus haut, les stations 10, 11, 12, 13 et 14 sont caractérisées par l'absence plus ou moins marquée vers 200 m de profondeur du noyau d'eau à forte salinité venant de la convergence subtropicale. Cette absence est due à la proximité de la divergence équatoriale poussant vers la surface des eaux à salinité plus faible, dont la teneur en phosphate est plus élevée et celle en oxygène plus basse. Ceci est clairement indiqué par les coupes qui montrent que l'on se trouve probablement à ces stations près de la marge méridionale de la divergence dont les effets se font ressentir plus au sud dans la coupe le long du 177° E eu égard à la présence à l'ouest de la barrière constituée par les îles Gilbert. Les eaux superficielles de cette zone sont donc fortement influencées à la fois par le courant équatorial sud et par la divergence équatoriale; c'est la raison pour laquelle leur température est plus basse et leur teneur en sels nutritifs plus élevée que celle des eaux adjacentes.

Les eaux méridionales reposent, nous l'avons vu, sur une lentille d'eau salée provenant de la convergence subtropicale qui forme écran à l'apport en surface d'eau profonde. Dans ces conditions, et comme le courant équatorial sud est de moins en moins marqué lorsque la latitude augmente, il existe une stratification relativement stable et les différences entre les températures et

les salinités moyennes observées pour les types dits 'A' et 'B' sont dues essentiellement à la latitude et à la circulation locale superficielle.

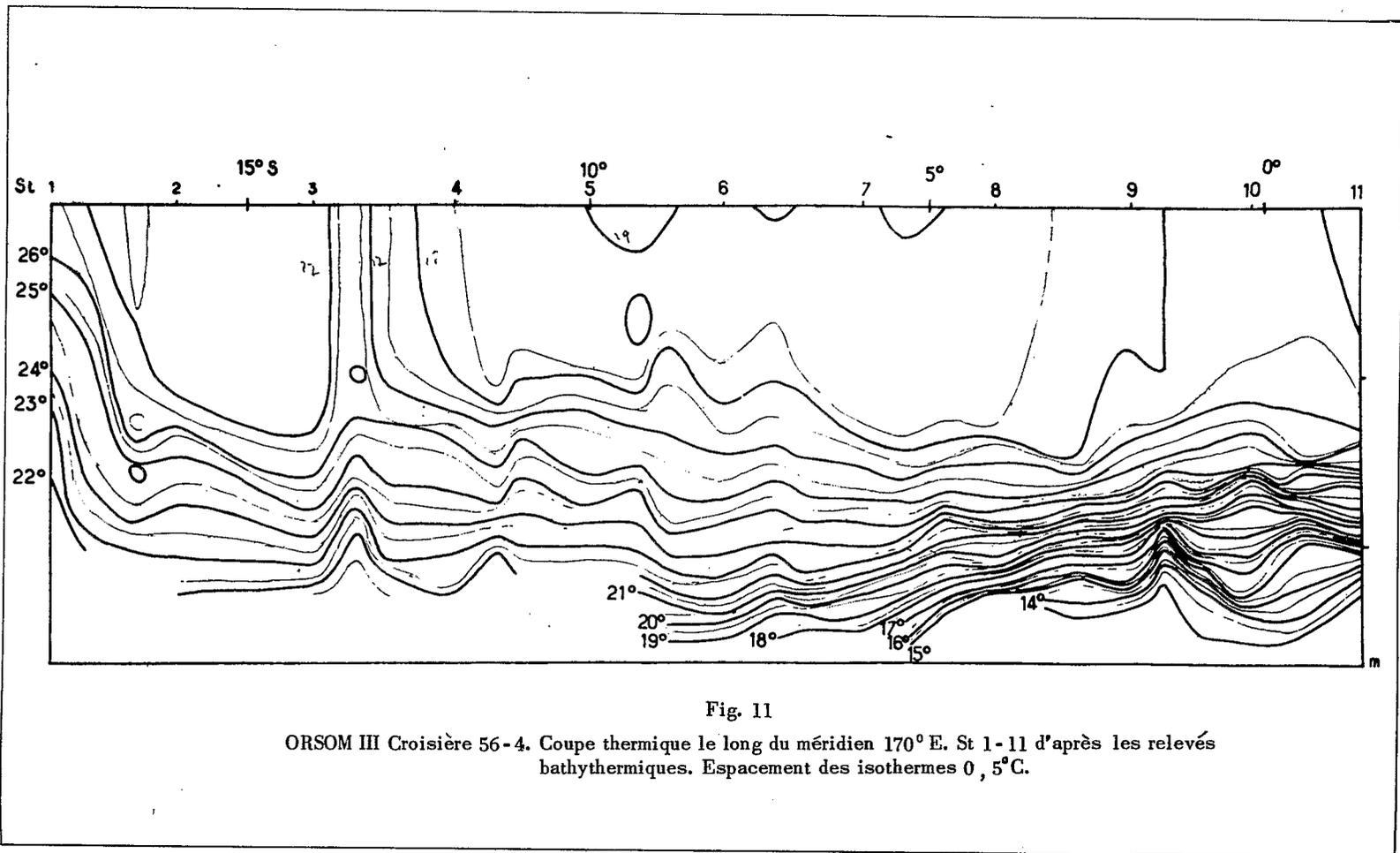


IV. DISCUSSION

(A) L'identification des masses d'eau

Nous ferons ici la synthèse des conclusions atteintes au cours de ce qui précède.

Les eaux du type 'C' appartiennent, au courant équatorial sud. Cela ressort à la fois de leurs propriétés hydrologiques et de leur productivité. Leur taux moyen de production de 0,5 mg $C/m^3/h$ ou bien 0,26 g $C/m^2/jour$ est en concordance avec la valeur donnée par Doty (3) de 0,6 mg $C/m^3/h$ pour des eaux situées entre 5° S et l'Equateur bien qu'il soit plus haut que les valeurs données par Steemann Nielsen (2) de 0,10 et 0,14 g $C/m^2/jour$ pour des eaux de latitude similaire (stations de la 'Galathea' 691 et 692).



Les eaux du type 'A' doivent avoir une extension relativement grande. Elles sont caractérisées par un taux de production très bas, 0,05 mg $C/m^3/h$ ou 0,05 g $C/m^2/jour$, dont on ne trouve de semblable que dans la Mer de Corail ou dans la Mer des Sargasses (Steedmann Nielsen (2), bien que Doty (3)) ait donné une valeur d'environ 0,1 mg $C/m^3/h$ pour des eaux situées dans le Pacifique nord entre les latitudes 20° N et 35° N. Les valeurs trouvées par Steedmann Nielsen au cours de la croisière de la 'Galathea' en des stations situées entre la Nouvelle-Zélande et l'Equateur et qui peuvent être considérées comme caractéristiques des eaux centrales du Pacifique sud sont comprises entre 0,10 et 0,16 g $C/m^2/jour$; elles pourraient suggérer que les eaux de type 'A' ont une autre origine que le Pacifique sud-ouest, d'autant plus que la moyenne du taux de production des eaux adjacentes, Mer de Corail centrale et orientale, égale à 0,04 mg $C/m^3/h$ ou 0,04 g $C/m^2/jour$ est de l'ordre des valeurs trouvées dans la partie sud de la zone explorée par l'ORSOM III. Actuellement, cependant, aucune confirmation d'ordre hydrologique ne vient appuyer l'hypothèse d'un transport d'eau vers l'Est aux latitudes étudiées. L'on doit se contenter de noter la similarité des taux de production.

Hydrologiquement parlant, les eaux de type 'B' peuvent être considérées comme intermédiaires entre les eaux équatoriales sud et des eaux plus méridionales; elles pourraient appartenir à la masse décrite par Austin (1) comme formant le courant équatorial sud. Mais leur taux moyen de production de 0,24 mg $C/m^3/h$ ou 0,13 g $C/m^2/jour$ s'accorde mieux à celui des eaux décrites par Steedmann Nielsen sous le nom de partie tropicale et subtropicale de l'Océan bien qu'il soit ici difficile de faire la part du courant équatorial sud dans la définition de la partie tropicale de l'Océan. Les chiffres donnés par lui, pour les stations de la 'Galathea' entre la Nouvelle-Zélande et l'Equateur montrent que les eaux appartenant à la masse d'eau du Pacifique sud-ouest (9) ont un taux de production très uniforme compris entre 0,10 et 0,16 g $C/m^2/jour$. Cela suggère que le type 'B' appartient à la masse du Pacifique sud-ouest; cependant ce terme n'a qu'une valeur d'indication, nos connaissances de cette région étant encore très réduites.

(B) Relations entre sels nutritifs et production

Les résultats obtenus suggèrent qu'il existe peu de relations directes entre la teneur en phosphate minéral nutritif et le taux de production de matière organique de l'eau de mer. Par exemple, pendant la croisière Equapac, la teneur en phosphate minéral dissous aux stations 7, 13 et 15 est de l'ordre de 0,3 micro at-g PO_4-P/l , bien que les taux de production de matière organique soient 0,05, 0,2 et 0,4 mg $C/m^3/h$ respectivement. Cependant, les moyennes arithmétiques de la teneur en phosphate et de la production de la matière organique sont respectivement pour les trois types trouvés 'A', 'B' et 'C': 0,23, 0,31 et 0,44 micro at-g PO_4-P/l pour le phosphore et 0,05, 0,24 et 0,50 mg $C/m^3/h$ pour la production. Ces valeurs suggèrent l'existence d'une relation encore à trouver entre ces propriétés.

La comparaison de nos résultats et de ceux d'autres chercheurs montre la même absence de relation évidente. Pour les deux stations de la 'Galathée' 690 et 691 Steedmann Nielsen donne un taux de production de 0,19 mg $C/m^3/h$ avec une teneur en phosphate de 0,2 micro at-g/l. Le contraste est grand entre ces résultats et ceux trouvés pour les eaux du type 'A' qui ont une teneur en phosphate similaire mais dont le taux de production est de 0,05 mg $C/m^3/h$. Il faut noter cependant que les valeurs de Steedmann Nielsen pour la teneur en phosphate sont remarquablement basses comparées à celles trouvées par les auteurs et d'autres chercheurs (10,11) pour des eaux de latitudes similaires.

Une caractéristique intéressante de la teneur en phosphate trouvée au cours de la croisière Equapac est que dans la majorité des stations la teneur en surface est supérieure à celle à 25 m de profondeur. Il n'a pas encore été trouvé d'explication à ce phénomène qui n'apparaît ni dans les résultats de Steemann Nielsen ni dans les recherches de la P.O.F.I. (Austin et Stroup). Il se pourrait que les résultats de Steemann Nielsen montrant un maximum d'activité photosynthétique sous la surface donnent une explication possible: l'appauvrissement en surface des couches subsurface par la croissance du plancton.

BIBLIOGRAPHIE

1. Steeman Nielsen, E., The use of radio-active carbon for measuring organic production in the sea. *J. Cons. Int. Explor. Mer*, 18 (1952) 117-140.
2. Steeman Nielsen, E., On organic production in the oceans. *J. Cons. Int. Explor. Mer* 19 (1954) 309-328.
3. Doty M.S., Current status of carbon-fourteen method of assaying productivity of the oceans. Univ. of Hawaii (Botany Department). Progress Report (1956).
4. Jitts, H.R., The C^{14} method for measuring CO_2 uptake in marine productivity studies. C.S.I.R.O. Aust. Div. Fish Ocean. Rep. No. 8 (1957).
5. Rotschi, H., Méthodes chimiques d'analyse en mer. C.R.E.O., 1 (1954) 8.
6. Harvey, H.W., *The Chemistry and Fertility of Sea-water*, Cambridge Univ. Press, London (1955).
7. Dussart, B & Francis-Boeuf, C., Technique du dosage de l'oxygène dissous dans les eaux, basée sur la méthode de Winkler. Circulaires C.R.E.O., I - T.1. (1949).
8. Wooster, W.S. & Rakestraw, N.W., The estimation of dissolved phosphate in sea-water. *J. Mar. Res.* 10 (1951) 91-100.
9. Sverdrup, H.V., Johnson, M.W. & Fleming, R.H. *The Oceans*. Prentice-Hall. New York (1952).
10. Austin, T.S. Mid-Pacific oceanography. Part III. Transequatorial waters, August-October 1951. U.S. Fish and Wildlife Serv., Spec. Sci Rep. Fish, No. 131 (1954).
11. Stroup, E.D., Mid-Pacific Oceanography. Part IV. Transequatorial waters. Jan-March 1952. U.S. Fish Wildlife Serv., Spec. Sci. Rep. Fish No. 135, (1954).

ABSTRACT

Systematic trials have been made to measure the photosynthetic activity of the different water masses encountered at each occupied station during the cruises 56/4 and 56/5 of the research vessel ORSOM III. To facilitate the interpretation of the results, the variables affecting, directly or indirectly, the fertility of the sea water have also been determined.

The photosynthetic activity was measured by the C^{14} method. Samples were taken in duplicate at the surface and at a depth of 25 metres with plastic sampling bottles specially designed to eliminate any disturbance of the phyto-plankton due to mixing and pouring. They were directly treated in the sampling bottles with constant quantities of radio-active carbon in the form of carbonate of known activity. The samples were then placed in an incubation tank in which sea water was circulating and were illuminated by eight 30-watt neon lamps.

After four hours, the samples were filtered under vacuum on millipore filters and the pads were then dried and preserved in plastic containers for measurement of their activity in the laboratory. The photosynthetic activity was determined by the difference between the observed activity of the filter pads from the light and dark samples taken at the same depth. The results were expressed in milligramme of carbon fixed/hour/cubic metre.

These measurements show a considerable variation in the photosynthetic activity of the water masses encountered, whereas other measurements seem to show, at first sight, a greater homogeneity in the distribution of the classical variables such as temperature, salinity, dissolved oxygen and inorganic phosphorus.

RESUMEN

Durante los viajes 56-4 y 56-5 del buque para investigaciones ORSOM III del Instituto Francés de Oceanía, se han hecho análisis sistemáticos para medir la actividad fotosintética de las distintas masa de agua en las estaciones elegidas. Para mejor interpretar los resultados obtenidos, se determinaban en las propias estaciones los elementos que intervienen directa o indirectamente en la fertilidad del agua marina.

La actividad fotosintética se midió por el método del C^{14} . Las muestras se tomaron por duplicado en la superficie y a 25 metros de profundidad, con botellas de plástico especialmente fabricadas con objeto de eliminar cualquier efecto de mezcla y la considerable influencia de la transvasación sobre el fitoplancton. En las mismas botellas de toma se añadieron directamente a las muestra cantidades constantes de carbono radiactivo en forma de carbonato de actividad conocida, colocándose luego en una incubadora por la que circulaba agua de mar, con iluminación constante debida a ocho tubos de neón de treinta vatios. Tras una incubación de cuatro horas, las muestra fueron filtradas al vacío por filtros con poros de micra, secándose luego y conservándose en cajas de plástico para medir en el laboratorio su radiactividad. La actividad fotosintética se determinaba después por la diferencia entre la radiactividad de las muestras incubadas en botellas transparentes y la de las no transparentes. Los resultados se expresaron en miligramos de carbono fijado por hora y por metro cúbico.

Las medidas realizadas muestran una gran variación en la actividad fotosintética de las diversas masas de agua encontradas, pese a que a primera vista el resto de las medidas efectuadas parecen indicar una homogeneidad mayor en la distribución de las variables clásicas; tales como la temperatura, la salinidad el contenido de oxígeno y de fósforo inorgánico.

DISCUSSION

A.P. ORR (U.K.): Have you looked at the phytoplankton present in the water samples? How does it conform with the production results?

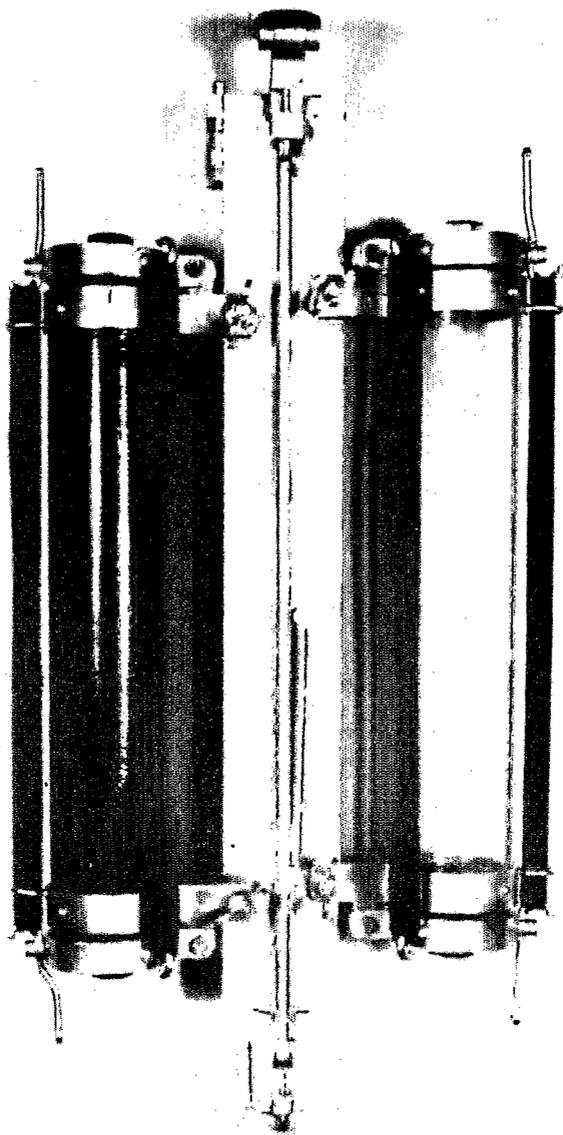


Fig. A. (a) Twin "light" and "dark" sampling bottle assembly, showing the two perspex tubes which are detachable from the central clamp and tripping mechanism.

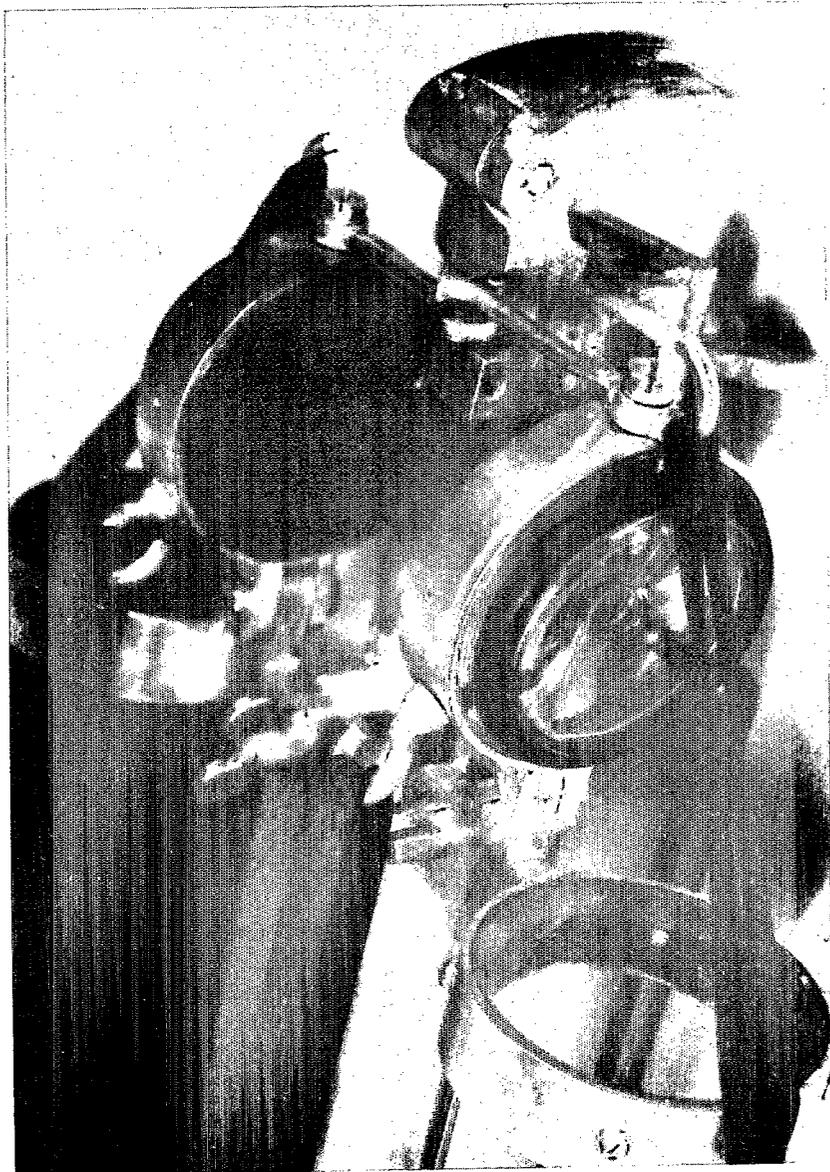


Fig. B. Close-up of the twin sampler in the open position, showing the perspex end-flaps with neoprene O-ring seals, and a central plug for introducing C^{14} and for emptying the sampler

ANSWER: Les mesures entreprises au cours de la même croisière par M.M. Legand sur la répartition quantitative du zooplankton dans les eaux étudiées montrent que les variations dans les volumes mesurés sont liées directement aux variations des quantités de carbone fixé par photosynthèse.

E.C. WASSINK (Netherlands): This is a general remark which may also apply to Mr. Sorokin's work. Evidently the method of bringing to the surface bottles of water is the best one can think of at the moment. Nevertheless it is obvious that there are several possible interferences:

1. The bottles are brought under a quite different water pressure
2. The exchange with the surrounding medium is annihilated.
3. The test is carried out under light conditions that may strongly and in an unknown way deviate from the natural ones.

I wonder whether there are experiments that would tend to give confidence that the differences pointed to do not seriously interfere with the interpretation of the results.

G.F. HUMPHREY (Australia): I speak on behalf of Mr. Jitts because he is absent and we work in the same laboratory. It is true that changes occur when water samples are kept in bottles. Not enough study has been made of this point. However, it has been shown that there is often an increase in periphytic bacteria. Such changes affect greatly the results obtained. It is interesting to note, Dr. Wassink, that next week the United Nations will sponsor a meeting in Bergen to discuss these very matters.

I. SOROKIN (U.S.S.R.): J'aimerais savoir s'il existe des données démontrant que lors de la prise des échantillons d'eau et de son transvasement dans des récipients afin de déterminer la photosynthèse ainsi que cela se fait ordinairement, il se produit un abaissement de l'activité photosynthétique du phytoplancton. Au cas contraire, l'usage des appareils compliqués et coûteux recommandés par les Docteurs Jitts et Rotschi ne se justifie pas.

G.F. HUMPHREY (Australia): The questions raised by Mr. Sorokin are very important. Our sampling bottles (Fig. A and B) consist of cylinders lowered through the water and closing is effected by lids at each end. In this way the plankton is not disturbed. Where water is collected by pumps or in ordinary sampling bottles, and then transferred to the incubation bottles, it has already been shown that the plankton is affected. I agree that much testing of new apparatus is necessary and such work is now being carried out in Australia.

ИЗМЕРЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ УГЛЕРОДА- 14 ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОЙ
АКТИВНОСТИ НЕКОТОРЫХ ВОДНЫХ МАСС В ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ
ТИХОГО ОКЕАНА, ПРОИЗВЕДЕННЫЕ В СВЯЗИ С ИЗУЧЕНИЕМ
ПРОДУКТИВНОСТИ ЭТИХ ВОД

Джитс и Роци

Во время рейсов 56-4 и 56-5 "Орсом-III", научно-исследовательского судна французского института Океании, на каждой стоянке предпринимались систематические измерения фотосинтетической активности различных водных масс, встречаемых на пути. Для облегчения интерпретации полученных результатов, на тех же стоянках определяли величины, вли-

яющие прямым или косвенным путем на продуктивность морской воды.

Фотосинтетическую активность измеряли при помощи C^{14} . С поверхности воды и с глубины в двадцать пять метров, в специально изготовленные для этой цели сосуды из пластмассы (чтобы устранить влияние смешения и переливания на фитопланктон), отбирали по две рыбы. Непосредственно в эти сосуды вводили одинаковые количества радиоактивного углерода в виде карбоната известной удельной активности. Затем сосуды помещали в инкубационный бак, в котором циркулировала морская вода, и подвергали освещению постоянной интенсивности, при помощи восьми неоновых трубок по тридцать ватт каждая. После инкубации, в течение четырех часов, пробы фильтровали под вакуумом через мелкопористые фильтры, которые затем высушивали и хранили в коробках из пластмассы для измерения их активности в лаборатории. Фотосинтетическая активность определялась при этом как разность между активностями проб, подвергавшихся инкубации в прозрачных и в непрозрачных сосудах. Результаты выражали в миллиграммах углерода, связанного в час на кубический метр.

Измерения, проведенные указанным путем, показали большие различия в фотосинтетической активности встречающихся на пути водных масс, хотя на первый взгляд, по данным других измерений, распределение классических переменных таких, как температура, содержание солей, кислорода, минерального фосфора, как будто более однородно.