

RECUEIL de TRAVAUX

N° 3

## Sommaire

- Informations sur l'activité du Laboratoire en 1970
- Carte des croisières du N.O. CORIOLIS en 1970.
- 46. RUAL, P. et B. VOITURIEZ — Modification et automatisation de la méthode de Winkler pour le dosage en mer de l'oxygène dissous.
- 47. CASTLE, P.H.J. — Species structure and seasonal distribution of Leptocephali in the Eastern Indian Ocean (110°E).
- 48. MERLE, J. et J. NOEL — Sur l'évolution de la relation Température — Salinité en un point fixe, à l'Equateur, dans le Pacifique Occidental, pendant une période de 6 jours.
- 49. ROTSCHI, H. et B. WAUTHY — Remarques sur le courant de Cromwell.
- 50. MICHEL, A. et R. GRANDPERRIN — Aperçu sur la distribution verticale du micronecton dans le Pacifique Ouest Equatorial (170°E).
- 51. LEGAND, M. et J. RIVATON — Cycles biologiques des poissons mésopélagiques dans l'Est de l'Océan Indien : III : Action prédatrice des poissons micronectoniques.
- 52. ROUGERIE, F. — Sur un noyau a forte teneur en oxygène dans la partie inférieure du courant de Cromwell.
- 53. MERLE, J., H. ROTSCHI et B. VOITURIEZ — Zonal circulation in the Tropical Western South Pacific at 170°E.
- 54. MICHEL, A. — Plancton du lagon et des abords extérieurs de l'atoll de Mururoa.
- 55. MICHEL, A. — Les larves Phyllosomes du genre *Panulirus*. *Palinuridae* (Crustacés Décapodes) du Pacifique Tropical Sud et Equatorial.
- 56. FOURMANOIR, P. — Contenus stomacaux d'*Alepisaurus* (Poissons) dans le Sud-Ouest Pacifique.
- 57. OUDOT, C., P. HISARD et B. VOITURIEZ — Nitrite et circulation méridienne à l'Equateur dans l'Océan Pacifique Occidental.
- 58. LE BOURHIS, J. et B. WAUTHY — Quelques aspects de la distribution de la production primaire le long du méridien 170°E. entre 20°S. et 5°N.
- 59. MICHEL, A. — Les larves Phyllosomes du genre *Palinurellus* VON MARTENS (Crustacés Décapodes : *Palinuridae*).
- 60. COLIN, C. et H. ROTSCHI — Aspects géostrophiques de la circulation Est-Ouest dans l'Océan Pacifique Equatorial occidental.
- 61. REPELIN, R. et J.A. GUEREDRAT — Efficiences comparées de filets à plancton coniques de mêmes dimensions et de mailles différentes : II : Sélectivité de la maille n° 000 pour les Amphipodes et les Copépodes.
- 62. MICHEL, A. et R. GRANDPERRIN — Sélection du chalut Pélagique Isaacs-Kidd 10 pieds.
- 63. HISARD, P., J. MERLE et B. VOITURIEZ — The Equatorial Undercurrent at 170°E in March and April 1967.

## ABSTRACTS

- 64. ROTSCHI, H. — Variations of the Equatorial circulation in the Western Pacific.
- 65. ROTSCHI, H. — Some considerations on the zonal circulation in the Tropical Western South Pacific.
- 66. ROTSCHI, H. — Variations of Equatorial Currents.
- 67. LEGAND, M., P. BOURRET, R. GRANDPERRIN et J. RIVATON — A preliminary study of some micronektonic fishes in the Equatorial and Tropical Western Pacific.

## INFORMATIONS SUR L'ACTIVITE DU LABORATOIRE D'OCEANOGRAPHIE DU CENTRE ORSTOM DE NOUMEA EN 1970

Quelques mots sur le déroulement des travaux en 1970 sont nécessaires pour situer les publications qui suivent par rapport à l'évolution du programme Océanographique de Nouméa.

### 1. Travail à la mer

Nous avons indiqué antérieurement (cf. Rec. Trav. n° 1) que l'activité du Laboratoire et du navire CORIOLIS en 1969 avait été essentiellement constituée par l'exécution du cycle des croisières biologiques "CARIDE" (6 au total) dans le Pacifique Equatorial Central. Ce programme s'est complété en 1970 par la réalisation de deux campagnes :

- l'une ("CASSIOPEE") a été consacrée à l'obtention d'une description physico-chimique assez substantielle de la zone explorée (135°W-160°W)
- l'autre ("CARIDE 7") à la duplication d'une croisière "CARIDE" typique mais en remplaçant le chalut Isaacs-Kidd par un filet ouvrant-fermant à larves type Omori.

En avril 1970, le CORIOLIS quittait sa base provisoire de Papeete pour rejoindre Nouméa, d'où 4 grandes croisières ont été effectuées avant la fin de l'année :

- "DANAIDES" étudia les caractéristiques physico-chimiques de la région tropicale comprise entre la zone des "CARIDE" (150°W) et celle des "BORA" (170°E).
- "EPONITE" fut consacrée à des prélèvements portant sur les premiers maillons de la chaîne alimentaire, à la latitude 5° Sud du 170° E qui correspond à la présence d'une accumulation marquée de nitrates.
- "DIAPHUS 1" et "DIAPHUS 2", réalisées à la fin de l'année, entre la Nouvelle-Calédonie et les Nouvelles-Hébrides, marquèrent le début du nouveau cycle d'études biologiques, axé sur la répartition verticale et l'alimentation des Thons.

### 2. Recherches entreprises au laboratoire en 1970

Au laboratoire, 1970 fut occupée par la phase initiale la plus active du tri des échantillons récoltés au cours des croisières "CARIDE" au niveau des groupes taxonomiques ; cependant, dès maintenant, le tri a pu être poussé jusqu'à l'espèce et au groupe de tailles pour certains taxons. On a pu également démarrer un programme systématique d'étude des contenus stomacaux le long de la chaîne alimentaire. L'interprétation de ces résultats a commencé, mais elle n'apparaîtra évidemment pas dans les publications avant 1971-72.

En physico-chimie, en dehors de la mise au point de certaines analyses en laboratoire et d'un effort sensible d'utilisation des méthodes de calcul moderne, qui est à noter aussi en biologie, les travaux à terre ont surtout consisté à poursuivre l'interprétation des données concernant la structure et la variabilité des courants équatoriaux et la circulation tropicale.

### 3. Prévisions pour 1971

En 1971, les recherches en mer comprendront des opérations physico-chimiques sur l'extrémité Ouest des courants équatoriaux au nord de la Nouvelle-Guinée et le plein développement des croisières "DIAPHUS", avec notamment l'emploi de la longue ligne verticale. A terre, les analyses biologiques donneront la place essentielle aux études de contenus stomacaux.

### 4. Personnel ayant participé aux recherches en 1970

#### A. Physique-chimie

H. ROTSCI (Responsabilité du programme), C. COLIN, J.R. DONGUY, C. HENIN, P. HISARD, F. JARRIGE, C. OUDOT, F. ROUGERIE, P. RUAL.

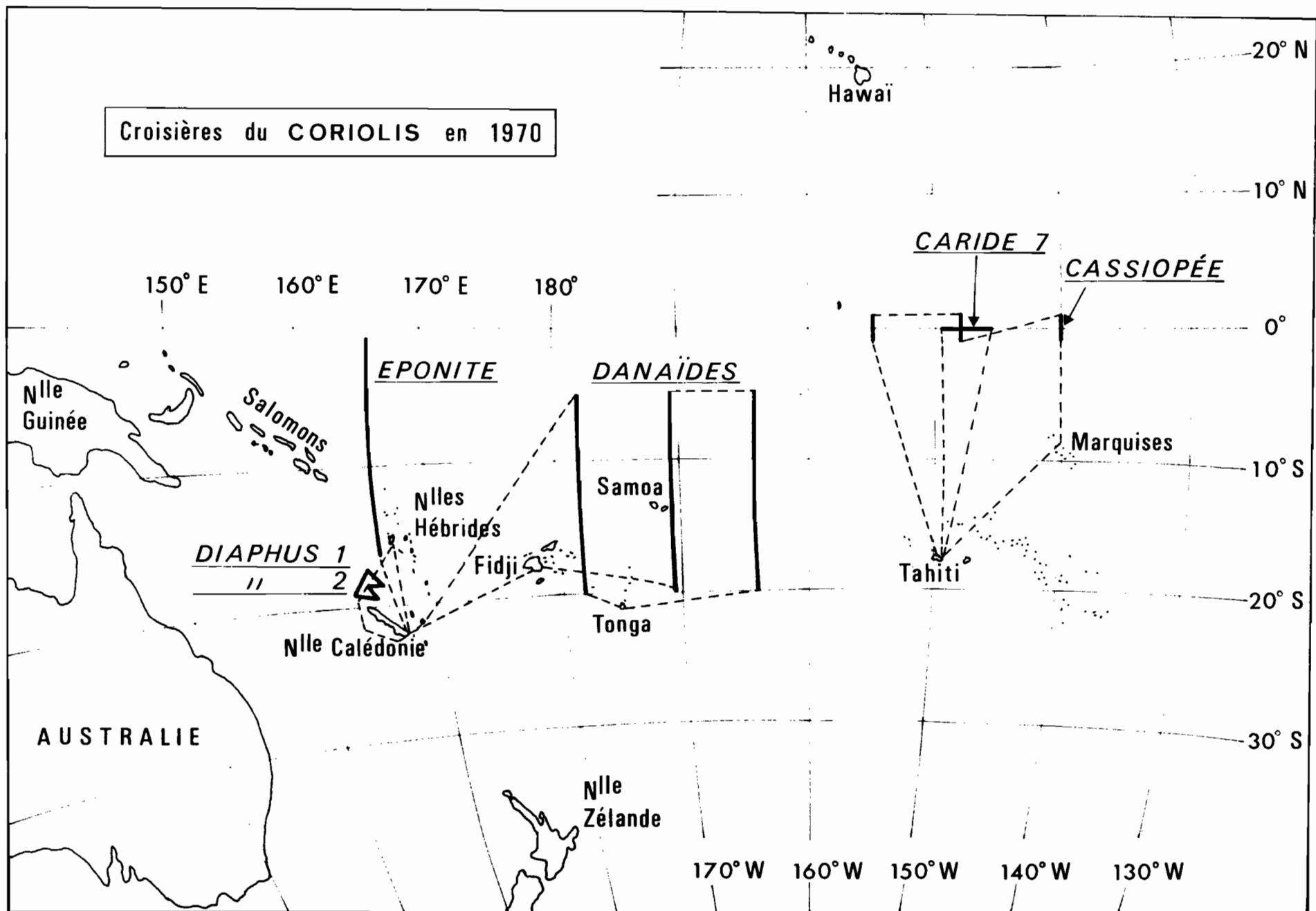
#### B. Biologie

M. LEGAND (Responsabilité du programme, poissons micronectoniques, thons), P. BOURRET (Larves de poissons), R. DESROSIERES (Phytoplancton), P. FOURMANOIR (Poissons littoraux), R. GRANDPERRIN (Méthodologie, thons), J.A. GUEREDRAT (Copépodes), A. MICHEL (Méthodologie, Stomatopodes), J. PAGES (Bactériologie), P. RANCUREL (Céphalopodes), R. REPELIN (Amphipodes, Méduses), C. ROGER (Euphausiacés), B. WAUTHY (Production Primaire).

### 5. Publications

Le présent recueil rassemble toutes les publications du laboratoire parues depuis la sortie du précédent volume.

D'autre part, les données brutes obtenues au cours des croisières du CORIOLIS font l'objet de rapports ronéotés localement. Le dernier fascicule sorti en 1970 porte le n° 40.





**INITIATIONS - DOCUMENTATIONS TECHNIQUES**

**N° 10**

**O. R. S. T. O. M.**

**PARIS**

**1969**



# MODIFICATION ET AUTOMATISATION DE LA MÉTHODE DE WINKLER POUR LE DOSAGE EN MER DE L'OXYGÈNE DISSOUS

par

P. RUAL\* et B. VOITURIEZ\*

Est présenté ici un ensemble de dosage automatique de l'iode par le thiosulfate de sodium, utilisé en mer pour le titrage de l'oxygène dissous par la méthode de Winkler. Cet appareil est construit autour d'un élément de titrateur potentiométrique Beckman, et d'une burette électrique à piston Metrohm. D'autre part, des modifications ont été apportées à la méthode de Winkler pour améliorer la précision des résultats. Elles portent principalement sur des changements de concentration des réactifs et sur le mode d'échantillonnage afin d'éviter une volatilisation de l'iode ou, au contraire, une oxydation de l'iodure en iode. Les mesures effectuées au cours d'une croisière d'un mois mettent en évidence l'amélioration obtenue.

*An automatic apparatus for iodine titration is presented there. It is used on board a ship for the titration by the Winkler method of the dissolved oxygen in sea water. This apparatus is built mainly with the control unit of a potentiometric Beckman titrator and a Metrohm piston burette. On the other hand, some modifications have been done to increase the precision of the results. The concentration of the reagents and the sampling have been modified to avoid the iodine volatilization or the oxydation of the iodide into iodine. The measures made during a month cruise show the obtained improvement.*

Un millier d'analyses d'oxygène au cours de chaque croisière et huit croisières prévues pour l'année 1967, nous ont amenés à rechercher une méthode de dosage facilement utilisable par des opérateurs non avertis et de résistance à la mer variable, tout en conservant et, si possible, en améliorant la précision des mesures.

L'iode libéré par la méthode de Winkler, est titré potentiométriquement par du thio-sulfate de sodium, à l'aide d'un titrateur automatique Beckman. Ce dernier, conçu pour des

\*Océanographes physiciens au Centre ORSTOM de Nouméa.

26 JUIN 1986

~~U. R. S. T. O. M. Fonds Documentaire~~

~~N° : 20 322 3~~

~~Cote : A~~

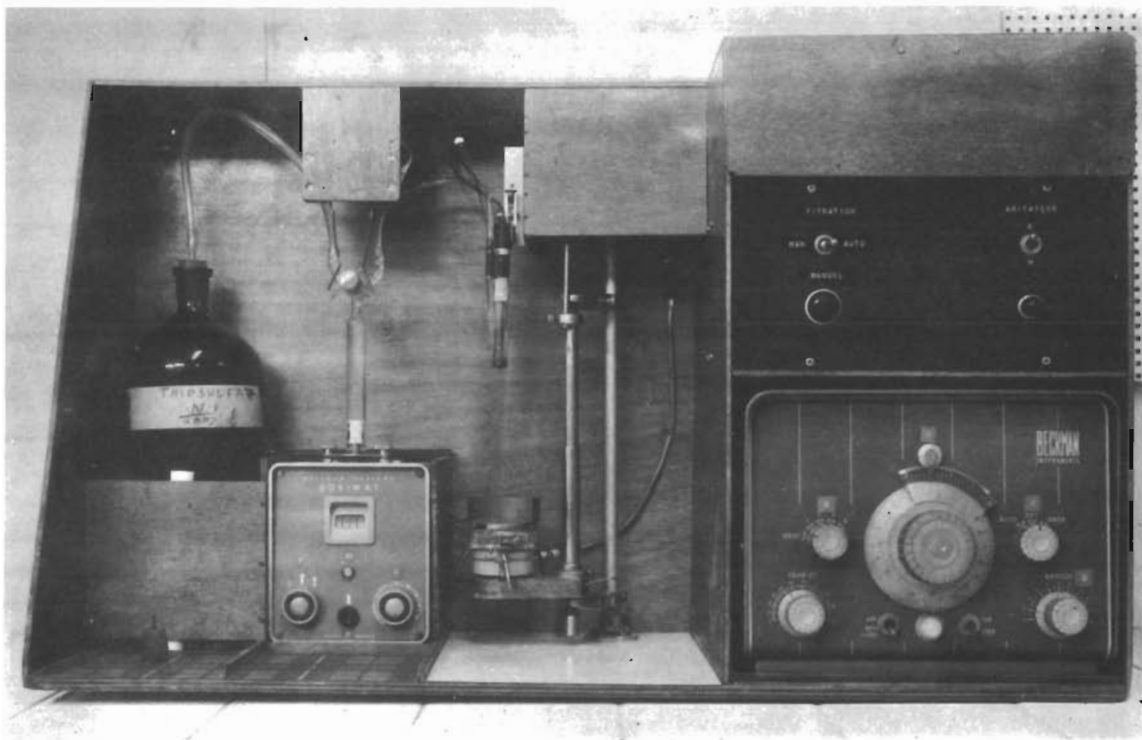


Fig.1 — Ensemble de titrage automatique de l'iode par le thiosulfate de sodium :

- . en bas à droite : unité de contrôle ;
- . en haut à droite : boîte de commande et d'alimentation ;
- . au centre : unité de mesure ;
- . à gauche : burette à piston et réserve de thiosulfate de sodium.

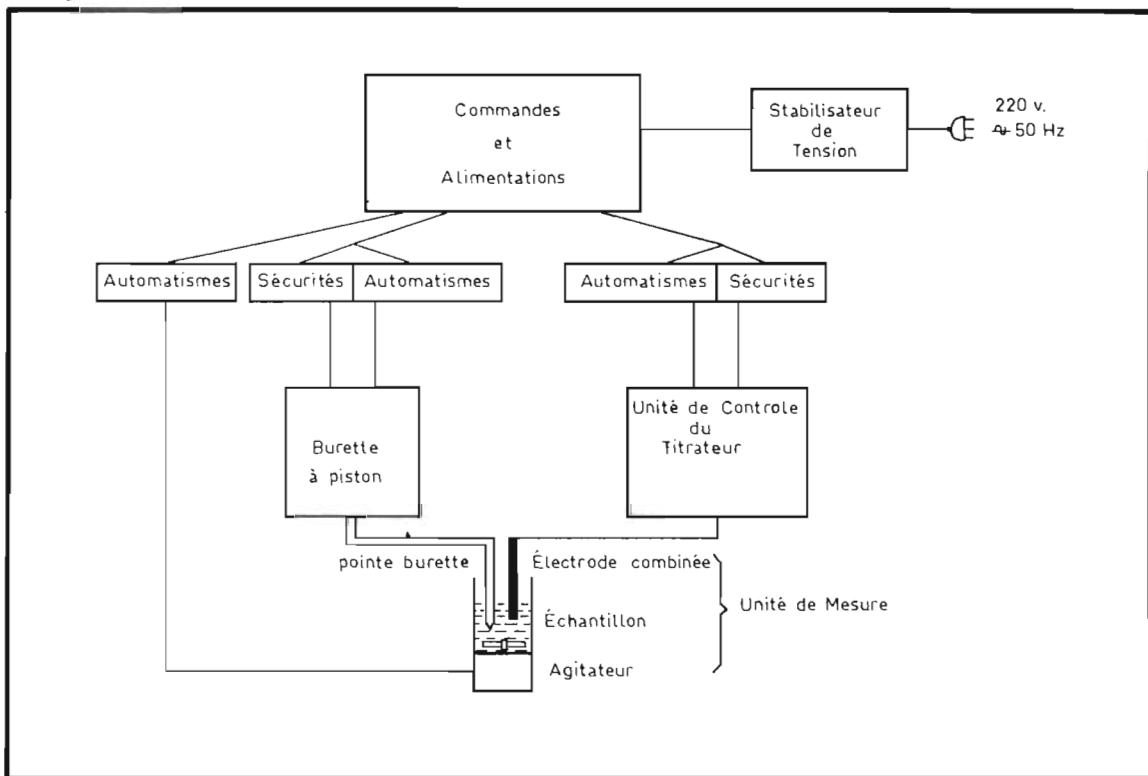


Fig.2 — Schéma de principe de l'ensemble de titrage automatique de l'iode par le thiosulfate de sodium

Elle se compose du porte-échantillon de l'unité de mesure Beckman, d'un agitateur magnétique et d'un ensemble immergé comprenant l'électrode combinée, la pointe de la burette et un fil de masse.

Un petit agitateur magnétique à démarrage automatique est fixé sur le porte-échantillon. L'échantillon lui-même est maintenu en place par une attache en plastique souple ; d'une position basse, où l'on peut l'enlever et le remettre, l'échantillon est amené en position haute, position de mesure où sont immergés l'électrode, la pointe de la burette et le fil de masse. Une butée réglable fixe cette position haute. La montée en butée du porte-échantillon met en marche l'agitateur et démarre le titrage.

L'électrode combinée est formée d'une électrode de référence Ag-AgCl saturée et d'une électrode de mesure en platine.

### Boite de commande et d'alimentation (fig.5)

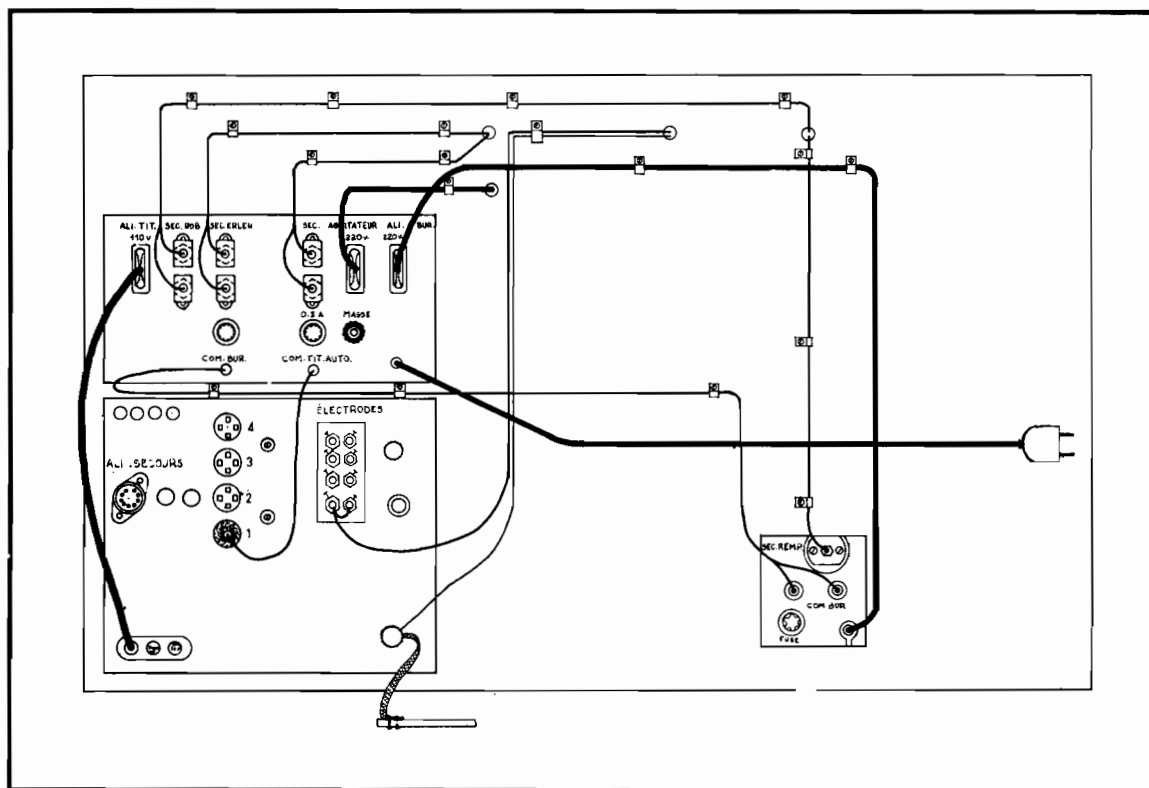


Fig.5 - Vue arrière de l'ensemble de titrage automatique

- . en bas à droite : branchements de la burette
  - SEC. REMP. : sécurité de remplissage
  - COM. BUR. : commande de la burette
- à gauche : branchements du titrateur
  - ALI. SECOURS : alimentation de secours
  - 1 - 2 - 3 - 4 : commande automatique du dosage
- . en haut à gauche : branchements de la boîte de commande et d'alimentation
  - ALI. TIT. 110 V : alimentation normale du titrateur
  - SEC. ROB. : sécurité de titrage (robinet-burette)
  - SEC. ERLEN : automatisme de titrage (porte-échantillon)
  - AGITATEUR SEC : automatisme de démarrage de l'agitateur
  - 220 V : alimentation de l'agitateur
  - ALI. BUR. 220 V : alimentation de la burette à piston
  - COM. BUR. : commande de la burette à piston
  - COM. TIT. AUTO. : commande du dosage par le titrateur automatique.

Cette boîte contient tous les circuits nécessaires aux liaisons entre les différents éléments et à leurs alimentations :

- . circuit de l'agitateur
- . circuit d'alimentation normale du titrateur
- . circuit d'alimentation de secours du titrateur
- . circuit d'alimentation de la burette
- . circuit de commande de la burette manuellement ou par le titrateur

Le tout est alimenté en 220 V à travers un régulateur de tension car le titrateur Beckman est assez sensible aux grosses variations de tension qui peuvent exister à bord d'un navire.

Le circuit d'alimentation de secours est prévu pour remédier aux défaillances, déjà observées deux fois, du transformateur d'entrée du titrateur.

### Sécurités et automatismes

*Sécurités* : Elles sont destinées à empêcher toute fausse manœuvre de la part d'un analyste non expérimenté.

La première se trouve sur le titrateur lui-même : si le sélecteur de mesure n'est pas sur la bonne position, la burette ne délivre pas de thiosulfate de sodium. Les deux autres sont actionnées par le robinet de la burette. En position "remplissage", le circuit de titrage est coupé ; on évite ainsi un faux dosage - la burette se vidant dans la réserve de thiosulfate - au cours duquel l'échantillon subit une perte d'iode par agitation inutile. En position "titrage" par contre, c'est le circuit de remplissage qui est hors-service évitant une fausse manœuvre beaucoup plus grave, l'aspiration de la solution iodée dans la burette.

*Automatismes* : Ils sont destinés à permettre le titrage sans intervention humaine dès que l'échantillon est en place :

- . automatisme de démarrage de l'agitateur
- . automatisme de démarrage du titrage
- . automatisme de fin de titrage

Le démarrage de l'agitateur et du titrage s'effectue par l'intermédiaire de deux contacteurs actionnés par la montée en butée du plateau porte-échantillon. Le titrage est arrêté par un relais, commandé par un circuit électronique sensible à la différence entre le potentiel de l'électrode et le potentiel affiché.

### Conclusion

Après un an d'utilisation intensive, cet ensemble fonctionne toujours de façon satisfaisante et son emploi est beaucoup plus agréable que celui du dispositif ancien. (On trouvera en annexes II et III le détail des caractéristiques et les précisions techniques de construction).

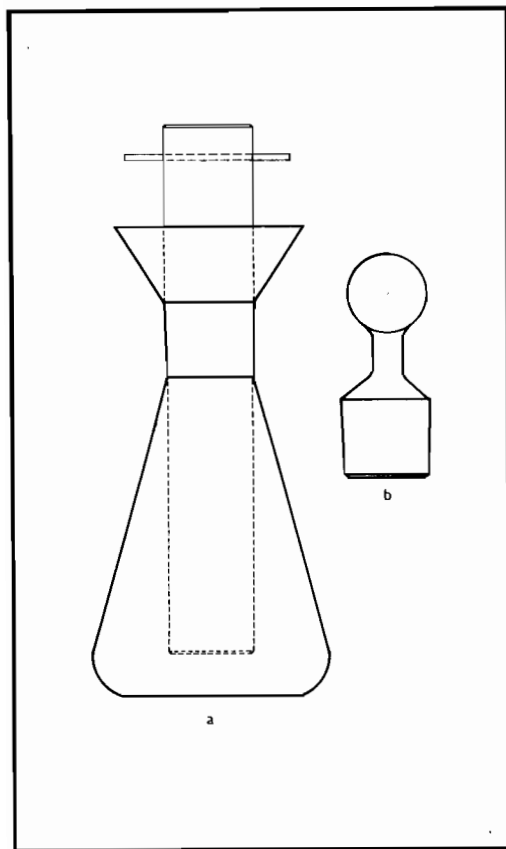
## II - MODIFICATIONS APPORTÉES A LA MÉTHODE DE WINKLER

Les sources d'erreurs de la méthode de Winkler ont été passées en revue par CARRITT et CARPENTER (1966) et par GREEN (1965).

Les résultats de ces travaux ont inspiré les modifications introduites pour tenter d'améliorer la précision de nos analyses.

Les principales sources d'erreurs sont : le soutirage au cours duquel on ne peut éviter un contact entre l'échantillon et l'air, la volatilisation de l'iode durant le pipetage nécessaire pour transférer un volume connu de la solution à doser dans le récipient d'analyse et l'oxydation par l'air, en milieu acide, de l'iodure en iode. Il faut noter également la présence possible de substances oxydo-réductrices, dans l'échantillon ou les réactifs, pouvant produire ou consommer de l'iode, ce qui se traduit par un excès ou un défaut de thiosulfate versé.

Leur élimination ou tout au moins la réduction de leur importance entraîne une modification de l'échantillonnage, de la concentration des réactifs et éventuellement l'introduction d'un témoin des réactifs.



### L'échantillonnage

Le pipetage, et de façon générale tout transvasement d'iode, entraîne une perte d'iode ; il est donc préférable, pour recueillir les échantillons à analyser, d'utiliser des erlenmeyers à bouchons rodés dans lesquels l'analyse sera faite, tout transfert étant ainsi évité. Le volume nécessaire au thiosulfate et à l'électrode est libéré à l'aide d'un plongeur en teflon qui a été tourné aux dimensions du col normalisé des erlens. Ces derniers, à bouchons pleins, ont une capacité de 125 ml (fig. 6). Le volume sur lequel est faite la mesure est déterminé par pesées.

Fig. 6 - Erlenmeyer utilisé pour recueillir les échantillons  
a. erlenmeyer avec son plongeur en teflon  
b. bouchon plein normalisé de l'erlenmeyer

Pour ne pas introduire une nouvelle source d'erreurs, il importe de savoir avec quelle précision doit être connu ce volume. Le volume de thiosulfate versé est proportionnel au volume de l'échantillon. Soit  $V'_0$  le volume de l'échantillon et  $V$  le volume de thiosulfate versé :

$$\frac{dV}{V} = \frac{dV'_0}{V'_0} \quad \text{et} \quad dV'_0 = \frac{V'_0}{V} dV$$

$dV = 0,01$  ml,  $V'_0$  est en moyenne de 120 ml et, dans le cas le plus défavorable,  $V = 10$  ml, donc :

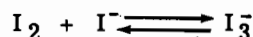
$$dV'_0 = \frac{120}{10} \times 0,01 = 0,12 \text{ ml}$$

Cette précision est facilement atteinte.

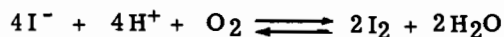
Ces flacons présentent un deuxième avantage signalé par CARRITT et CARPENTER à savoir que lorsque les analyses sont faites en double, l'opérateur n'a pas la tentation de trouver deux fois le même chiffre, tous les volumes sur lesquels sont faites les mesures étant différents.

### Les réactifs

Leur concentration est telle qu'on ajoute 1 ml de chacun d'eux aux échantillons ; de plus elle doit limiter la volatilisation de l'iode en facilitant la formation des ions  $I_3^-$  et entraver l'oxydation de l'iodure favorisée par un milieu acide. En effet, l'iode réagit avec l'ion  $I^-$  suivant l'équation :



et l'oxygène de l'air peut oxyder l'iodure suivant la réaction :



La formation des ions  $I_3^-$  est aidée par la présence d'un excès d'iodure d'où l'intérêt d'une solution d'iodure de potassium très concentrée : 500 g/l. Le pH, lorsqu'il est trop bas, tend à favoriser l'oxydation de l'iodure par l'air. Il semble (CARRITT et CARPENTER, 1966, GREEN, 1965) qu'il doive être entre 2 et 2,5, ce qui conduit à adopter une solution de potasse 6 N soit 336 g/l et une solution d'acide sulfurique 8 N, soit 225 ml d'acide sulfurique concentré par litre. La solution de chlorure de manganèse contient 500 grammes de chlorure de manganèse  $MnCl_2 \cdot 4H_2O$  par litre.

### Le témoin des réactifs

Sa valeur est déterminée en même temps qu'on étalonne à chaque station la solution de thiosulfate N/75 par une solution N/100 d'iodate de potassium.

A un échantillon d'eau de mer on ajoute les réactifs habituels dans l'ordre inverse puis 5 ml d'iodate de potassium ; l'iode libéré est dosé ; on a alors versé le volume  $V_1$  de thiosulfate. On ajoute de nouveau à la même solution 5 ml d'iodate ; l'iode libéré est dosé à nouveau ; soit A le volume de thiosulfate versé. Le volume  $V_1 - A$  représente alors le témoin des réactifs que nous appellerons B. Le titre du thiosulfate N est tel que :  $N \times A = \frac{5}{100}$ . Le volume B est alors à déduire des analyses effectuées. Il peut être positif ou négatif. Dans toutes nos mesures il fut toujours faible, de l'ordre de 1 à 2 centièmes de ml et nous n'en avons pas tenu compte.

### Mode opératoire

Finalement, la méthode se présente ainsi :

- *traitement des échantillons* : l'emploi de nouveaux récipients n'appelle pas de remarques particulières en ce qui concerne le soutirage. L'addition des réactifs est faite de façon simple et précise à l'aide de burettes Metrohm à piston.
- *le dosage* : après avoir chassé à l'aide du plongeur en teflon un certain volume d'iode, l'opérateur met un barreau magnétique dans l'erien qu'il pose sur le porte-échantillon. Le titrage et l'agitation démarrent automatiquement lorsque ce porte-échantillon est en position haute. La lecture du volume de thiosulfate délivré est faite au centième de millilitre.

. **étalonnage** : il est effectué en même temps qu'on détermine le témoin des réactifs.

. **résultat** : la teneur en oxygène d'un échantillon s'exprime de la façon suivante :

$$O_2 \text{ ml/l} = 5598 \frac{V-B}{A} V_{I_{O_3}} \times N_{I_{O_3}} \times \frac{1}{V'_O} \frac{V_O}{V_O-R}$$

avec :

V : volume de thiosulfate versé dans l'échantillon

A : volume de thiosulfate versé à l'étalonnage

$V_{I_{O_3}}$  : volume d'iodate utilisé pour l'étalonnage (ici 5 ml)

$N_{I_{O_3}}$  : titre de l'iodate (N/100)

B : valeur du témoin des réactifs

R : volume de réactif ajouté avant la libération de l'iode (2 ml)

$V_O$  : volume total de l'échantillon prélevé

$V'_O$  : volume sur lequel est effectué le dosage (après introduction du plongeur)

5598 : 1/2 volume occupé par 1 atg d'oxygène en ml.

Dans cette formule, V, A, B, sont mesurés.

$V_{I_{O_3}}$ ,  $N_{I_{O_3}}$ , R,  $V'_O$  sont connus. Le terme  $\frac{V_O}{V_O-R}$  est un terme correctif tenant compte de la dilution due aux réactifs où  $V_O$  représente le volume moyen de l'échantillon prélevé, dans notre cas  $V_O = 125$  ml.

### III - RÉSULTATS

Avant d'adopter ces modifications, des expériences furent faites en laboratoire pour vérifier que la technique du plongeur n'apportait pas plus d'erreurs qu'elle ne prétendait en effacer. Comme il est difficile au laboratoire d'obtenir des échantillons ayant la même teneur d'oxygène, toutes les expériences ont été faites sur des solutions d'iode préparées avec de l'iodate de potassium N/100 comme pour l'étalonnage du thiosulfate N/75. Une série d'expériences fut faite sans utiliser de plongeur, c'est-à-dire en remplissant incomplètement l'erlen, de manière à laisser le volume nécessaire à l'électrode et au thiosulfate. Une deuxième série fut effectuée en utilisant deux fois le plongeur ; une première fois pour libérer un certain volume dans un erlen rempli d'eau de mer où les réactifs ont été ajoutés dans l'ordre inverse et une deuxième fois pour revenir au volume de mesure après avoir libéré de l'iode avec 10 ml d'iodate de potassium.

Dans ces deux séries, l'écart-type, exprimé en ml/l d'oxygène fut identique et égal à 0,0045, soit pour des mesures en double une précision de  $\pm 0,007$  ml/l. Ces résultats garantissent le bien-fondé de l'utilisation du plongeur. Les résultats de la croisière "CYCLONE 6" du N.O. CORIOLIS permettent de vérifier que l'emploi systématique de cette méthode améliore la précision.

Cette croisière eut lieu en août-septembre 1967 et comporta 522 couples de mesures d'oxygène, soit 1044 mesures dont 16 furent aberrantes du fait d'erreurs de manipulation ou dans l'addition des réactifs. La distribution des écarts entre la première mesure et la deuxième est schématisée figure 7, compte non tenu des 16 mesures aberrantes. La variance calculée de ces écarts est  $S^2 = 9,5$  et la moyenne est nulle. Admettant que la distribution des écarts est normale, ce que semble suggérer la figure 7, on peut assigner comme intervalle de confiance à ces écarts, au niveau de probabilité 95% :

$$\pm 1,96 \times S = \pm 0,06 \text{ ml/l}$$

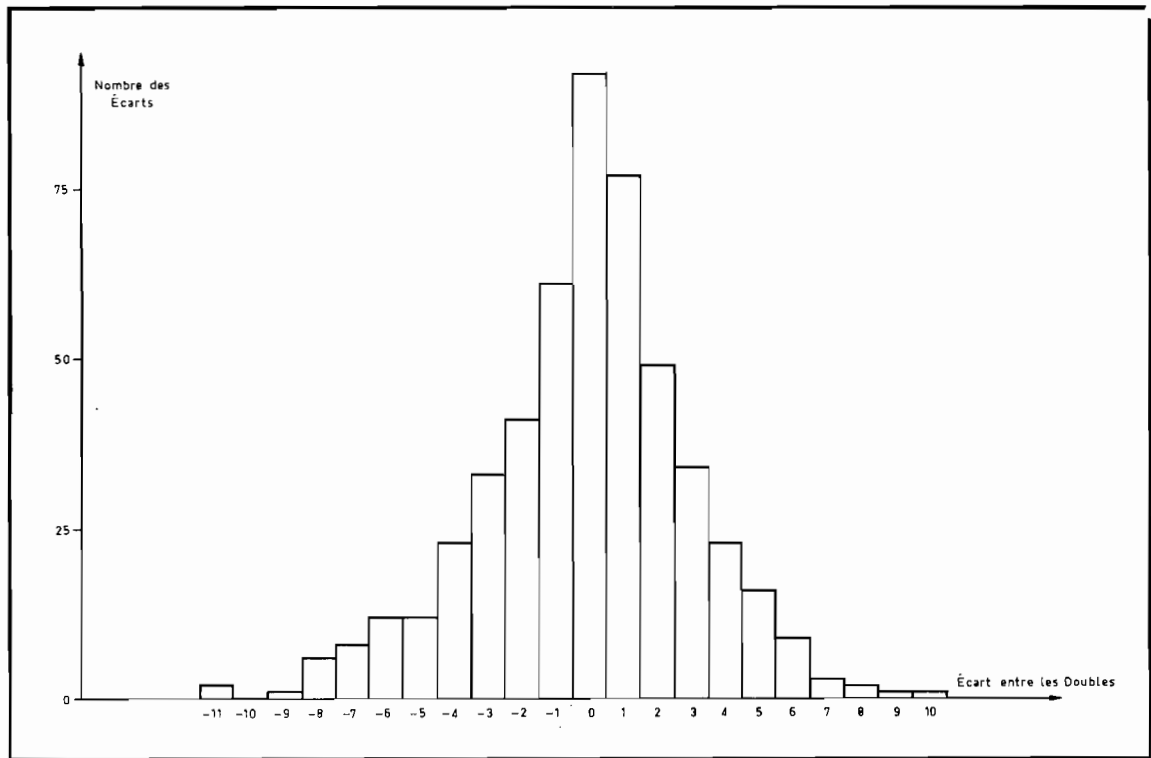


Fig. 7 — Distribution des écarts entre les mesures d'oxygène dissous faites en double au cours de la croisière "CYCLONE 6" du N.O. CORIOLIS.

Cet intervalle traduit la précision ou mieux la répétabilité des résultats. Elle n'est pas éloignée de la valeur  $\pm 0,05$  ml/l estimée par CARRITT et CARPENTER quand il s'agit de la répétition d'étalonnage où les difficultés du soutirage sont éliminées. L'amélioration ainsi obtenue est sensible puisqu'au cours des croisières précédentes cet intervalle se situait entre 0,08 et 0,12 ml/l.

*A  
N  
N  
E  
X  
E  
S*

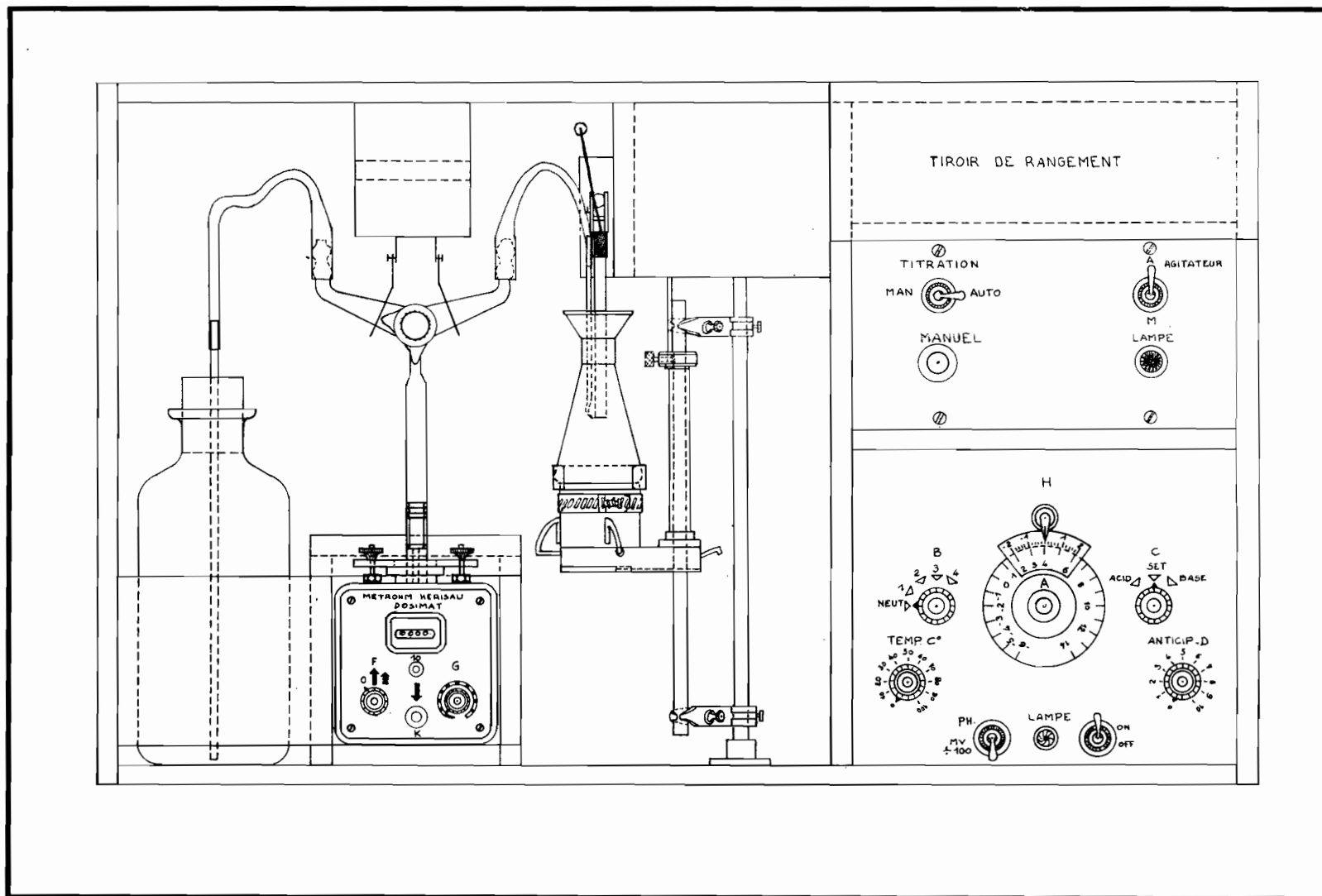


Fig.8 — Ensemble de titrage automatique de l'iode par le thiosulfate de sodium

Unité de contrôle :

- . Bouton A : mesure ou affichage du potentiel
- . " B : sélecteur d'électrodes
- . " C : sélecteur de type de dosage
- . " D : contrôle d'anticipation

Burette à piston :

- . Bouton F : mise sous tension
- . " G : réglage du débit
- . " K : remplissage

Boite de commande :

- Titration **MAN**  
**AUTO** : sélecteur de commande automatique ou manuelle
- MANUEL** : bouton poussoir de commande manuelle.

## REMARQUES SUR LE FONCTIONNEMENT DE L'ENSEMBLE DE TITRAGE AUTOMATIQUE

---

### 1 - Description des boutons de commande (fig. 8)

#### Boite de commande

- . Interrupteur "Titration" : la burette peut être commandée automatiquement par le titrateur ou manuellement à l'aide du bouton poussoir manuel ;
- . Interrupteur "Agitateur" : il commande l'arrêt et la marche de l'agitation.

#### Titrateur

- . Bouton A : il entraîne un volant gradué en millivolts qui permet de mesurer ou d'afficher un potentiel, le repère étant le zéro d'un cadran mobile que l'on recale en fonction du zéro réel de l'appareil ;
- . Bouton B : il branche les électrodes au titrateur, quatre voies sont possibles, une seule est utilisée. La position "Neut" déconnecte l'électrode du titrateur et court-circuite l'entrée de l'appareil ;
- . Bouton C : il permet de passer du titrage automatique ("Base") ou ("Acid") à la mesure du potentiel de la solution ("Set"). Dans le cas du dosage de l'iode par le thiosulfate où le potentiel décroît en cours de mesure, c'est la position "Acid" qui est utilisée.
- . Bouton D : il contrôle l'anticipation qui évite le dépassement par inertie du point d'équivalence. Grâce à ce réglage, le titrage s'arrête à un potentiel supérieur au potentiel d'équivalence ; il reprend ensuite par impulsions successives, délivrant des quantités de plus en plus faibles de thiosulfate. Plus le nombre d'impulsions est grand et plus les dernières injections de thiosulfate sont faibles et donc plus précis est le titrage. Le nombre de ces impulsions doit être de 15 au minimum et mieux vaut ne pas dépasser 25 pour ne pas perdre de temps.
- . L'inverseur pH-M<sub>v</sub>:100 commande le fonctionnement de l'appareil en pH-mètre ou millivoltmètre ;
- . Le titrateur reste toujours allumé au cours d'une croisière afin de conserver une certaine stabilité de fonctionnement

#### Burette

- . Bouton F : sert à mettre en route la burette ;
- . Bouton G : règle le débit de la burette. La plus grande précision est atteinte avec le débit minimum :

- . Bouton poussoir K : commande le remplissage de la burette ;
- . Le robinet supérieur de la burette est à deux voies : à gauche remplissage et à droite titrage, et ceci sans risque d'erreur grâce aux deux sécurités commandées par les pointes du robinet.

## 2 - Réglage du zéro

Une fois l'électrode déconnectée (bouton B sur "Neut") et l'appareil en position mesure (bouton C sur "Set"), le déclic d'un relais définit la position du bouton A qui correspond au zéro réel de l'appareil.

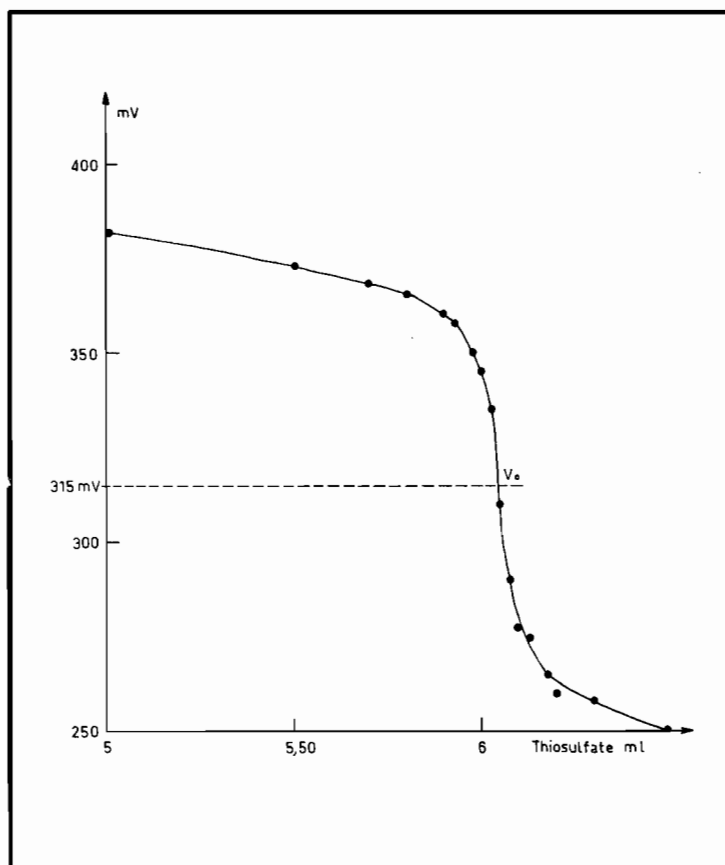
On vérifie le réglage du zéro au début de chaque série de mesures.

## 3 - Détermination du potentiel du point d'équivalence

La courbe de variation du potentiel d'une solution iode/iodure en fonction du volume de thiosulfate versé présente un point d'inflexion à tangente proche de la verticale. C'est le potentiel de ce point qui est le potentiel de la fin de la réaction.

Il est déterminé au départ de chaque croisière en dosant une solution d'iode obtenue exactement de la même manière que dans le cas d'un étalonnage de la solution de thiosulfate, la burette étant commandée manuellement et le titrateur utilisé comme mesureur de potentiel. Après chaque injection nouvelle de thiosulfate on mesure le potentiel de la solution. Sur la courbe de variation du potentiel en fonction du volume de thiosulfate versé, le potentiel  $V_0$  est aisément déterminé (fig. 9).

Fig. 9 - Variation du potentiel d'une solution iode/iodure en fonction du volume de thiosulfate de sodium versé.



## 4 - Dosage de routine

Le dosage proprement dit commence une fois l'iode libéré par acidification des échantillons. La position des boutons est la suivante :

- . TITRATION : automatique
- . AGITATEUR : en marche
- . A : le potentiel du point d'équivalence est affiché face au zéro du cadran. Le réglage du zéro a été fait au préalable ;
- . B : en position 1 : l'électrode est ainsi branchée au titrateur ;
- . C : sur "Acid" ;
- . D : doit être choisi tel que l'anticipation soit entre 15 et 25 coups ;
- . F : flèche pleine (burette allumée) ;
- . G : complètement à gauche : vitesse de la burette minimum.

La manipulation se limite alors à la mise en place de l'erlen et au choix de la position du robinet à double voie de la burette.

## 5 - Difficultés

Les possibilités d'erreurs de manœuvre sont faibles et les réglages en cours de mesure restreints. Il faut, néanmoins, garantir l'électrode d'une souillure par introduction d'iode dans la solution de chlorure de potassium et éviter soigneusement la présence de bulles d'air dans le circuit de distribution du thiosulfate.

La difficulté principale réside dans le réglage de l'anticipation. Le potentiel de la solution est celui du système iode/iodeure. Il dépend donc des concentrations relatives de l'iode et de l'ion  $I^-$ . Il en est de même de la variation de ce potentiel quand on ajoute du thiosulfate. Or, c'est à cette variation qu'est liée l'anticipation. On peut donc s'attendre à devoir la modifier lorsque d'un échantillon à l'autre le rapport des concentrations iode/iodeure varie de façon importante, c'est-à-dire lorsque la teneur en oxygène varie beaucoup, ou encore quand les volumes des erlens sont très différents puisque l'on ajoute toujours la même quantité de potasse iodurée.

Pour limiter ces difficultés, les erlens sont groupés en séries de volume voisin, et l'on évite de trop diminuer l'anticipation quitte à prolonger la durée du dosage.

Néanmoins, quelles que soient les précautions prises, il arrive que les variations du courant du bord entraînent des perturbations temporaires et imprévisibles de l'anticipation.

C'est sans doute cela surtout qui, maintenant, limite la précision des mesures.

# ANNEXE II

## CARACTÉRISTIQUES DE L'ENSEMBLE DE TITRAGE AUTOMATIQUE

---

**Titrateur automatique : Beckman, modèle K (unité de contrôle seulement).**

- . commande possible de 4 unités de mesures
- . mesure des potentiels redox ou des pH
- . en pH mètre, compensation de température
- . titrage de solutions acides ou basiques et oxydo-réductrices
- . possibilités d'alimentation de secours.

**Burette électrique à piston : Metrohm - "Dosimat" E 412**

- . volume utile de 10 cm<sup>3</sup>
- . commande à distance
- . remplissage par bouton poussoir
- . zéro automatique
- . indication numérique du volume (4 chiffres)

**Unité de mesure**

- . agitateur magnétique Houlier et Cie type N/NC 220 V
- . élément porte-échantillon de l'unité de mesure Beckman (modèle K)
- . ensemble immergé dans l'échantillon :
  - électrode combinée Beckman n° 39 186 :
    - électrode de référence Ag-AgCl solution de remplissage Beckman 4 787 saturée en KCl et AgCl
    - électrode de mesure en platine
  - pointe capillaire de la burette
  - fil de masse.

**Boîte de commande et d'alimentation**

- . puissance totale consommée : 300 VA
- . tension d'alimentation : 220 V
- . fusible 2 A
- . 2 sorties : 220 V
- . 1 sortie : 110 V
- . commande de l'agitateur
- . commande manuelle ou automatique de la burette
- . prise de terre.

**Automatisme et sécurités**

- . par micro-contacteurs (220 V - 15 A).

## ANNEXE III

### PRÉCISIONS TECHNIQUES SUR L'ENSEMBLE DE TITRAGE AUTOMATIQUE

---

#### Titrateur automatique (fig.10, fig.11)

. le voyant lumineux qui, dans l'appareil standard, marque les arrêts temporaires dus au circuit d'anticipation, ne sert plus maintenant qu'à indiquer que l'appareil est sous tension. Le simple bruit du relais se fermant permet très facilement de compter ces arrêts et de régler le potentiel d'anticipation.

. circuit de commande de la burette : l'électrovanne de la burette à gravité était commandée par un relais incorporé au titrateur. Cette partie du circuit a été modifiée de façon à utiliser ce relais comme interrupteur automatique pour la commande à distance de la burette "Dosimat".

Ces modifications de circuit n'ont aucunement affecté les fonctions des divers boutons du titrateur.

. étalement de l'anticipation : l'échelle totale du contrôle d'anticipation était couverte en 300° environ par un potentiomètre de 5 M $\Omega$ . Sa place utile a été étalée dans un rapport 10 en le remplaçant par un potentiomètre de 500 k $\Omega$  encadré de résistances fixes de 3,9 M $\Omega$  d'une part et de 470 k $\Omega$  d'autre part.

. prise extérieure pour un transformateur de remplacement : pour pallier en mer une défaillance possible du transformateur d'alimentation du titrateur, nous avons sorti à l'arrière de l'appareil une prise à neuf broches. Il suffira d'y brancher l'alimentation de secours prévue dans la boîte de commande et de sectionner toutes les connections de l'ancien transformateur.

#### Burette électrique à piston (fig.12)

Pour installer une sécurité, nous avons interrompu son circuit de remplissage et mis une prise extérieure. Cette prise est à court-circuit : si on débranche la sécurité, elle rétablit le circuit dans son état primitif, permettant à la burette d'être utilisée d'une façon autonome.

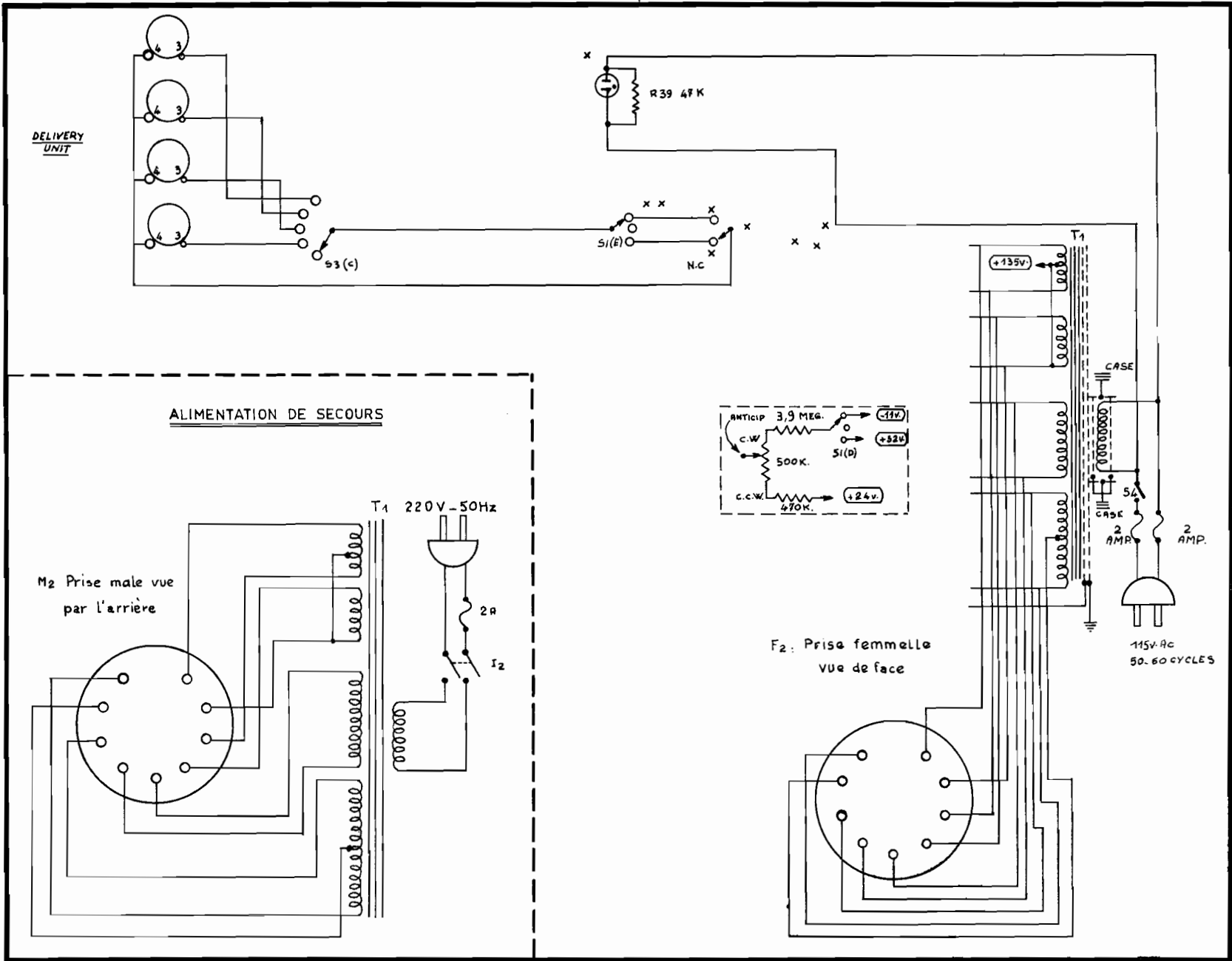


Fig. 10 — Schéma initial de la partie modifiée de l'unité de contrôle du titrateur automatique Beckman (modèle K) (reproduction du schéma de la notice d'emploi Beckman n° 239 B)

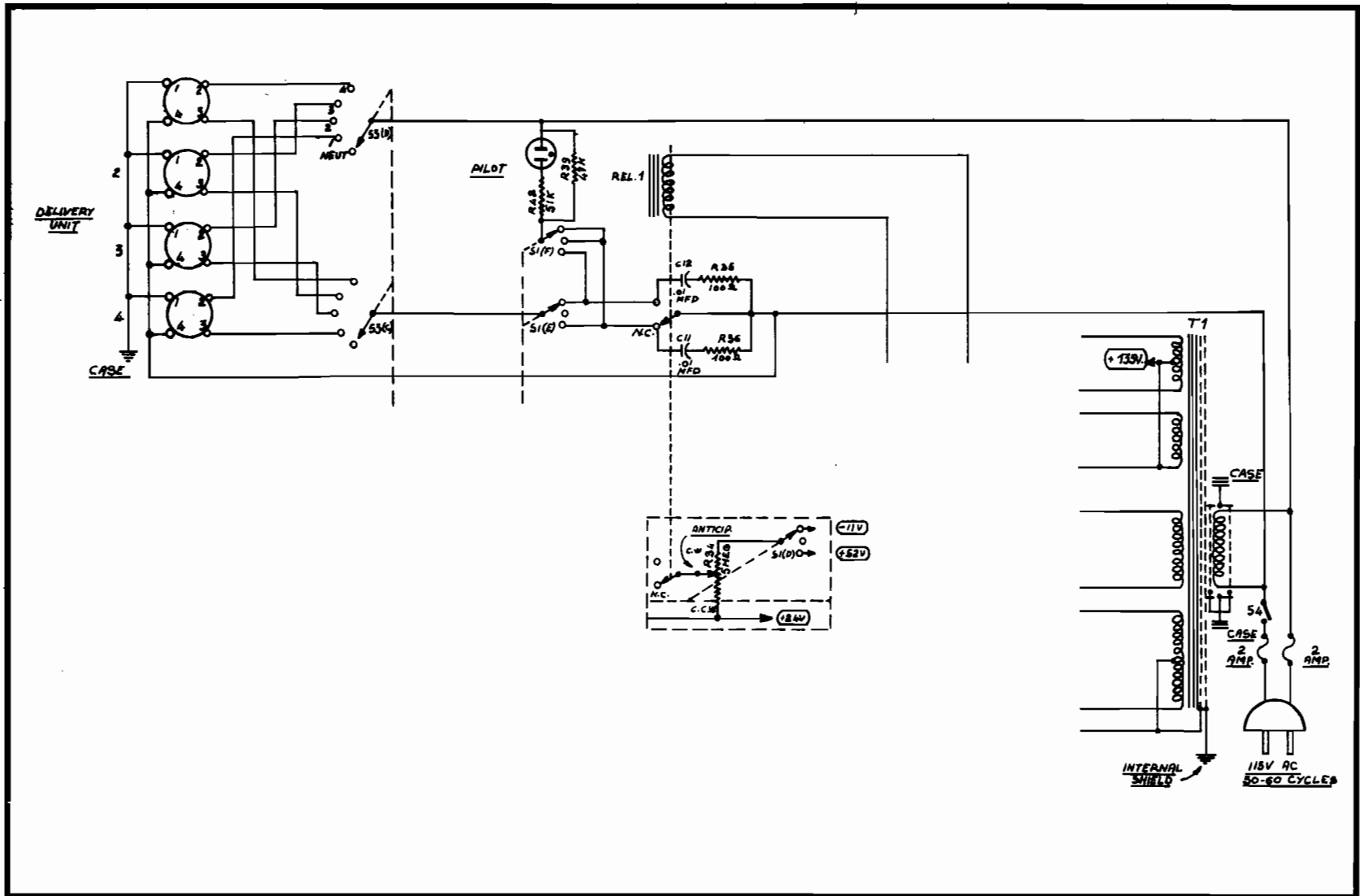


Fig. 11 — Schéma des modifications apportées à l'unité de contrôle Beckman, y compris le schéma complet de l'alimentation de secours (schéma à superposer à celui de la figure 10).

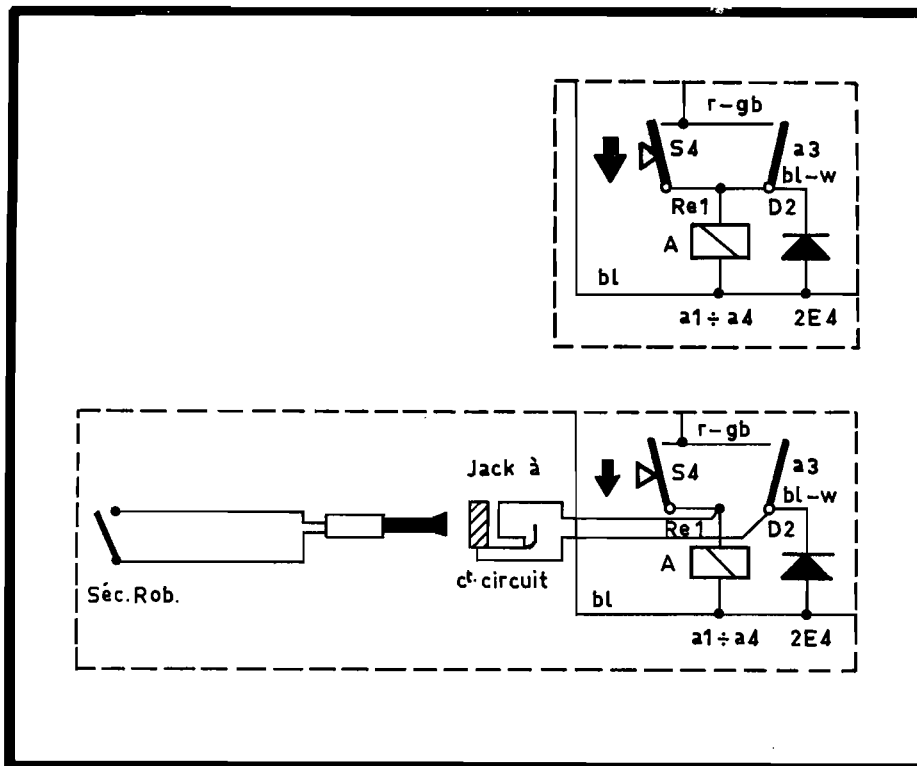


Fig. 12 — Modification de la burette à piston  
 haut : schéma initial d'une partie du circuit de remplissage ;  
 bas : schéma modifié avec sortie d'une prise à court-circuit pour  
 la sécurité de remplissage  
 (reproduction d'une partie du schéma SC4-415/5 ÷ de la notice d'emploi  
 de la burette Dosimat E 412 type 01)

\*  
\*  
\*

### Unité de mesure (fig.13)

Un petit agitateur magnétique à vitesse constante est fixé sur le porte-échantillon, l'échantillon lui-même étant maintenu sur l'agitateur par une attache en plastique souple.

Avec des erlenmeyers à col étroit, l'électrode, le fil de masse et la pointe de la burette sont groupés (fig. 14). Cette dernière est orientée de façon à éloigner le jet de thiosulfate de l'électrode de mesure.

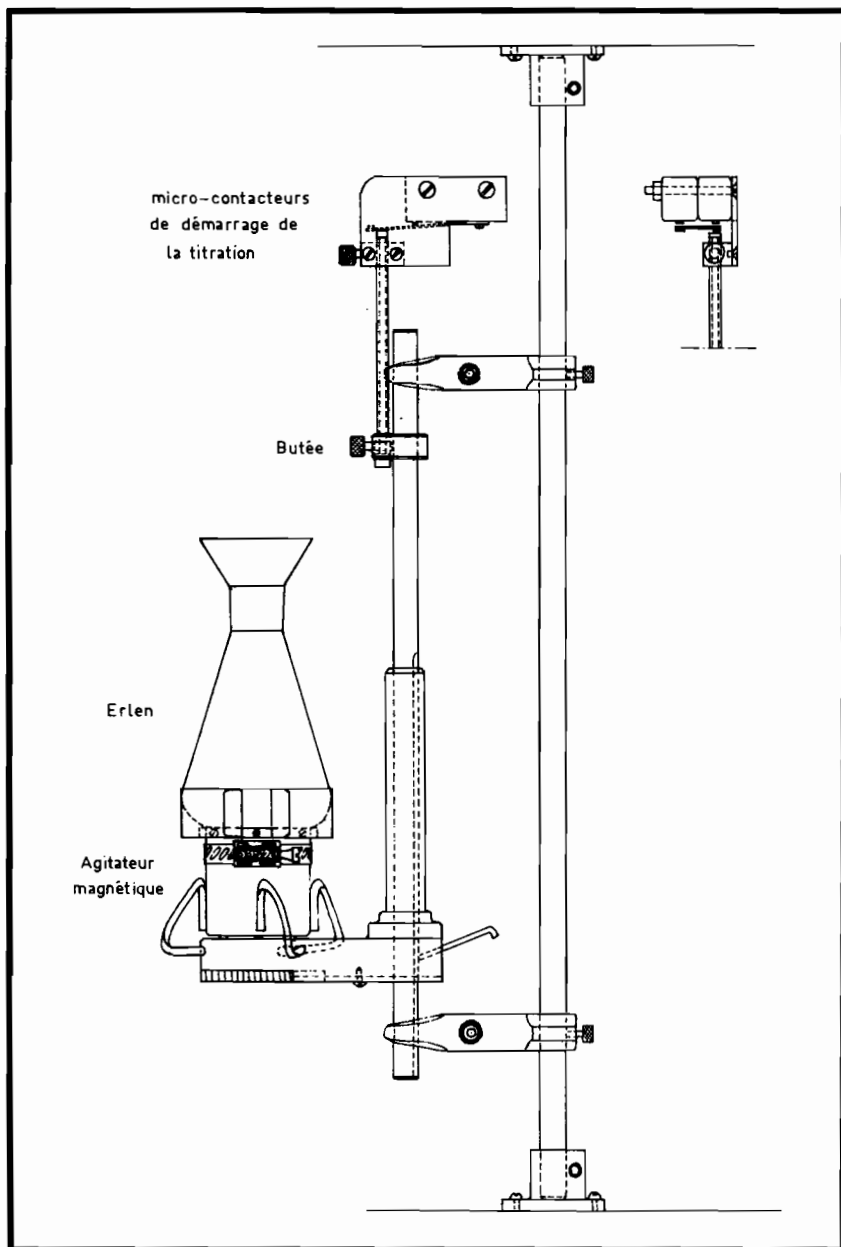


Fig. 13 — Unité de mesure : détail du porte-échantillon et du porte-contacteur

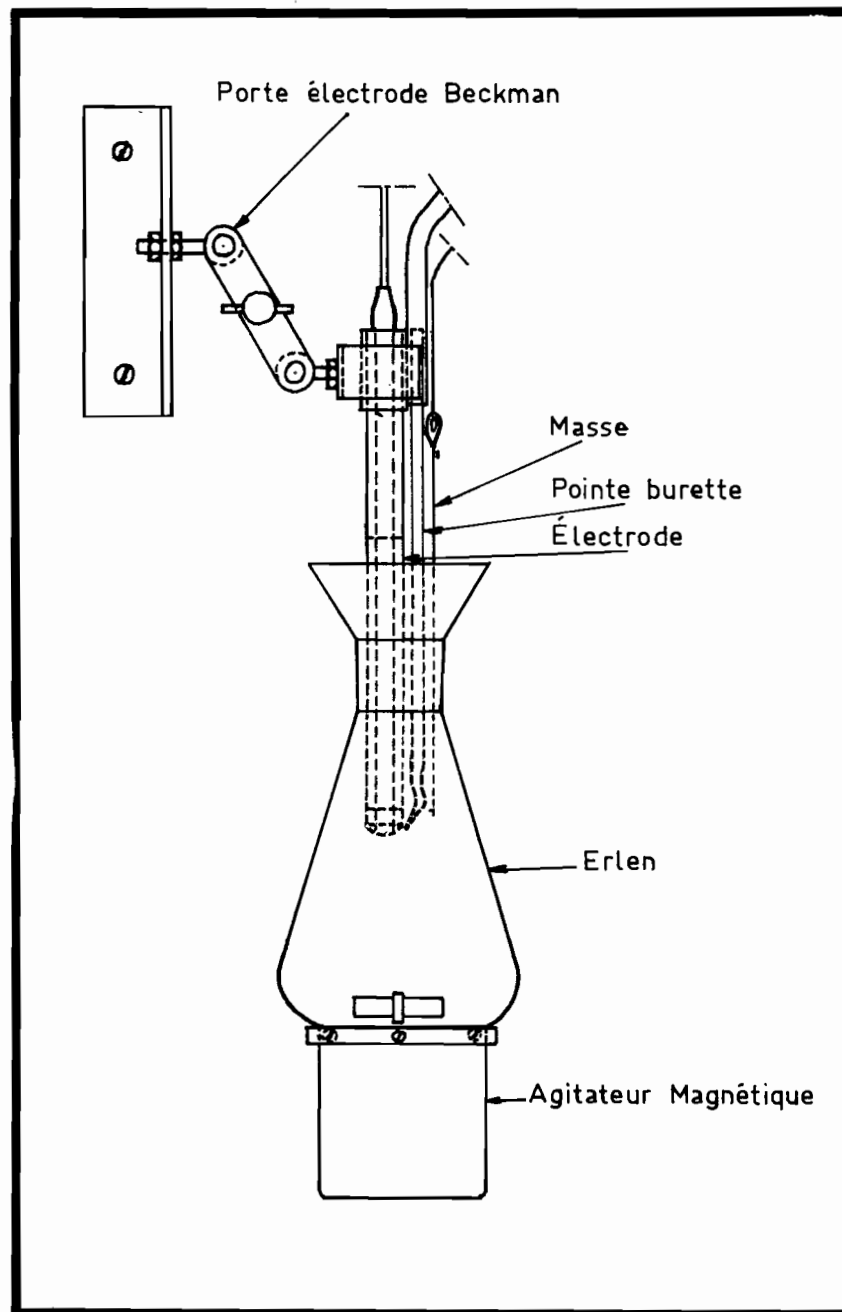


Fig. 14 — Unité de mesure : détail de l'ensemble immergé

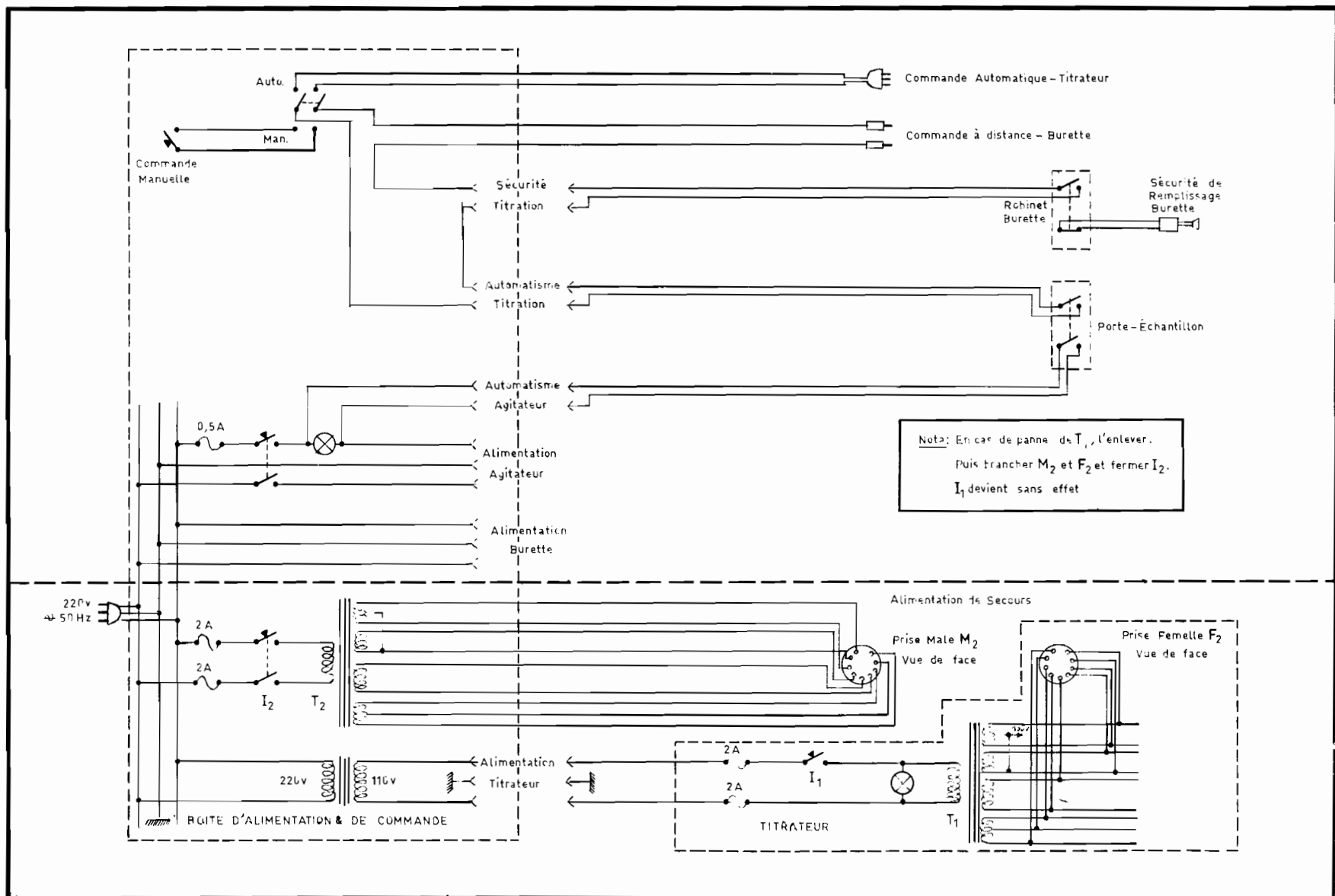


Fig. 15 -- Schéma de la boîte de commande et d'alimentation avec l'ensemble des sécurités et automatismes

### Boîte de commande et d'alimentation (fig.15)

Tous les circuits de cet ensemble ont une masse commune qui peut être reliée à la terre par l'intermédiaire d'une borne extérieure.

La lampe de signalisation du circuit de commande de l'agitateur indique que le circuit est sous tension et que l'automatisme de démarrage est prêt à fonctionner ; elle s'éteint dès que l'agitateur démarre.

Le circuit d'alimentation de secours du titrateur ne doit être branché à la prise femelle prévue à cet effet à l'arrière de l'unité de contrôle que si le transformateur normal hors-service a été entièrement déconnecté, sous peine de mettre en court-circuit les secondaires du transformateur de secours. Le circuit 110V du titrateur, son bouton arrêt, ainsi que son voyant lumineux deviendront alors inutiles. Pour rétablir dans leur fonction tous ces éléments, il faudra ultérieurement passer du schéma actuel au schéma de la figure 16.

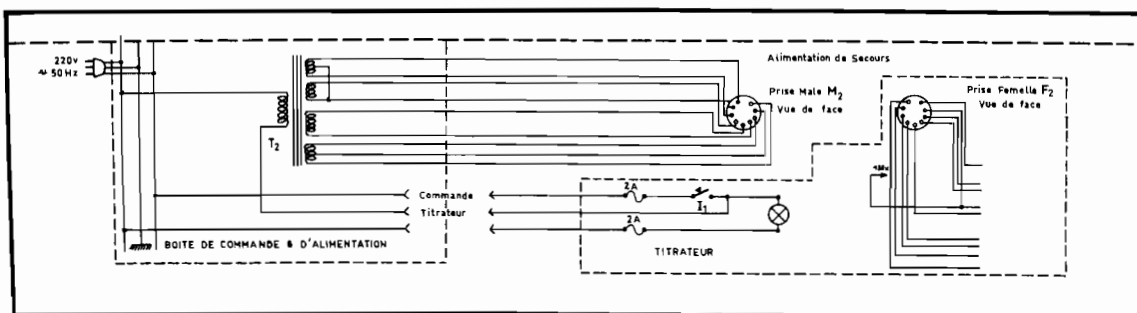


Fig. 16 — Schéma des modifications à effectuer après une mise en service de l'alimentation de secours du titrateur automatique Beckman modèle K (schéma remplaçant le bas du schéma de la figure 15, au-dessous du trait en pointillé gras).

\*  
\* . \*

### Sécurités et automatismes (fig.15)

- . **Sécurités** (fig.17 et 18) : commandés par le robinet de la burette, deux contacteurs servent aux sécurités de remplissage et de titrage. Pour ce faire, il a fallu prolonger le robinet (moulage d'Araldite), y fixer un axe et un bouton. Les oreilles de l'ancien robinet servent à mettre le contact sur les circuits de sécurité.
- . **Automatismes** (fig.13) : les deux contacteurs de démarrage de l'agitateur et du titrage sont montés ensemble en contacteur double sur le porte-contacteur de l'élément de mesure Beckman.

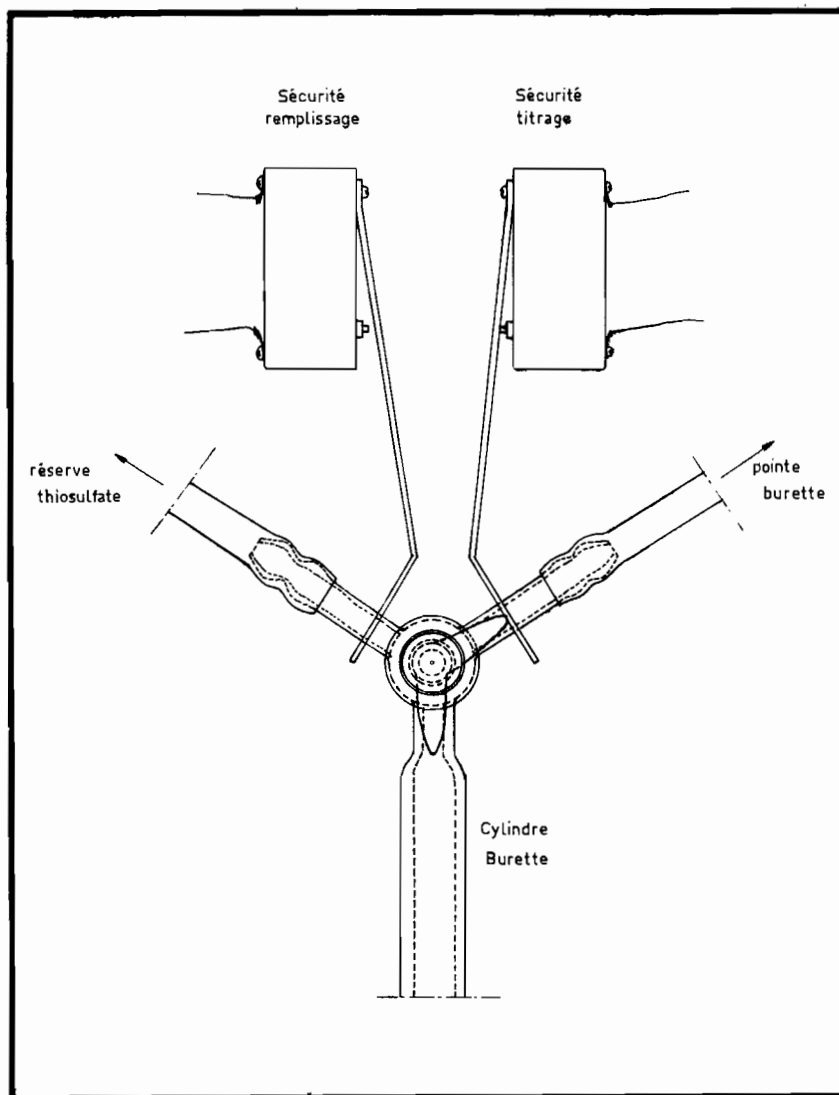


Fig. 17 - Disposition des sécurités de remplissage et de dosage : micro-contacteurs actionnés directement par les oreilles du robinet à double voie.

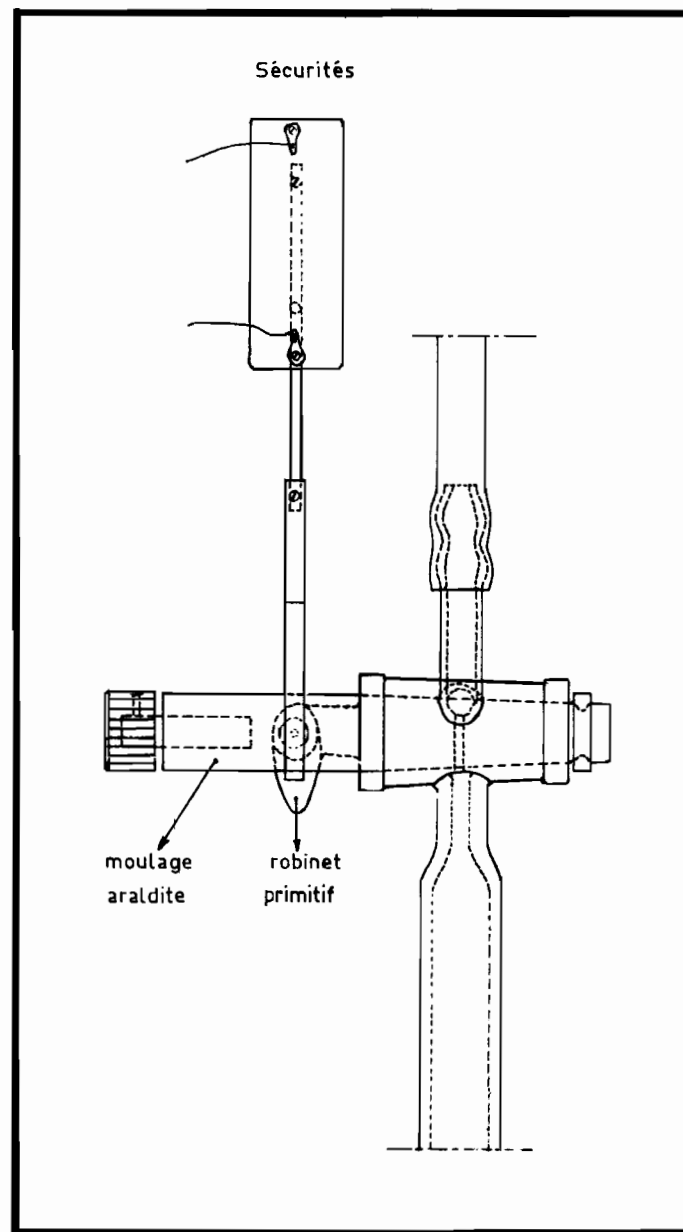


Fig. 18 - Modifications apportées au robinet de la burette à piston pour pouvoir y installer les sécurités de remplissage et de dosage.

## Bibliographie

GREEN (E.J.) - 1965 - "A redetermination of the solubility of oxygen in sea water and some thermodynamic implications of the solubility relations". *Ph. D. thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts*, pp.27-56.

CARRITT (D.E.), CARPENTER (J.H.) - 1966 - "Comparison and evaluation of currently employed modifications of the Winkler method for determining dissolved oxygen in seawater ; A NASCO Report" *J. Mar. Res.* 24 (3), pp.286-316.



5

## SPECIES STRUCTURE AND SEASONAL DISTRIBUTION OF LEPTOCEPHALI IN THE EASTERN INDIAN OCEAN (110° E.)

by P. H. J. CASTLE\*

### RÉSUMÉ

A titre de contribution à l'Expédition Internationale en Océan Indien, le C.S.I.R.O. (Cronulla, Australie) et le Centre O.R.S.T.O.M. de Nouméa (Nouvelle-Calédonie) ont effectué, d'août 1962 à août 1963, une série de croisières saisonnières le long du méridien 110° E entre les latitudes 9° S et 32° S. Au programme des prélèvements figuraient une centaine de traits de midwater trawl Isaacs-Kidd de 5 pieds dans la couche 0-200 m. Une fraction remarquable des récoltes a consisté en une collection de 761 leptocéphales, classés dans cette étude en 9 familles, 43 genres et 62 espèces; deux congridés, *Ariosoma mauritianum* (Pappenheim) et *Gnathophis habenatus* (Richardson), dominaient néanmoins et représentaient 75 % de l'ensemble des prises. La diversité spécifique est particulièrement élevée de 9° S à 12° S. On peut répartir les leptocéphales de la présente collection en deux groupes principaux: un groupe tropical composé de murénidés, d'ophichthidés, de certains congridés et de quelques autres espèces, dont les adultes viendraient pondre au nord de 14° S, à 100 m, dans des eaux de température moyenne mais relativement peu salées et un groupe subtropical-tempéré comprenant surtout des congridés provenant d'une aire de ponte située à l'ouest de Perth, dans des eaux de température moyenne mais de salinité plus élevée. Les courants saisonniers nord et sud provoquent aux latitudes moyennes un recouvrement partiel des deux groupes. Les plus grandes abondances ont été observées en hiver aux deux extrémités de la radiale; il s'agissait alors de spécimens de petite taille. C'est aux latitudes moyennes, au printemps, en été et en automne, qu'ont été récoltés les grands leptocéphales et les formes métamorphiques. Les larves mesurant moins de 25 mm ont, dans une large mesure, échappé à la capture. La composition faunistique de la zone étudiée ressemble étroitement à celle du sud-ouest Pacifique ou, cependant, l'influence tropicale est plus marquée.

### ABSTRACT

A detailed seasonal investigation of the 110° E. meridian from 9° S. to 32° S. was conducted by the C.S.I.R.O., Cronulla, Australia, and the Centre O.R.S.T.O.M., Nouméa from August 1962 to August 1963 as part of the International Indian Ocean Expedition. This survey included about 100 hauls by 5 ft. Isaacs-Kidd midwater trawl through the upper 200 m along the meridian.

\* Department of Zoology, Victoria University of Wellington, P.O. Box 196, Wellington, New Zealand.

26 JUN 1966  
~~O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire~~  
N° : 20 322  
Date : 4

A conspicuous part of the resultant catch was a diverse collection of 761 leptocephali, referred here to 9 families, 43 genera and 62 species. The two congrid: *Ariosoma mauritianum* (Pappenheim) and *Gnathophis habenatus* (Richardson), however, dominated to the extent of 75 % of the total catch. Species diversity was greatest at about 9° S. to 12° S. The collection contains essentially a tropical component of muraenid, ophichthid, certain congrid and other species, whose adults spawn north of about 14° S. at 100 m in water of moderate temperature but low salinity; and a subtropical-temperate component consisting mainly of congrid species originating from a spawning area west of Perth in water of moderate temperature but relatively high salinity. The two components overlap at intermediate latitudes as a result of the seasonal movement of these waters southwards and northwards respectively. Larvae were most abundant, but smallest, during midwinter in the far north and south, while larger larvae and metamorphic forms occurred generally at intermediate latitudes during spring, summer and autumn. There was considerable escapement of small larvae of less than 25 mm from the IKMT. The species structure of larvae in this area is closely similar to that of the southwest Pacific although in the latter area there is a stronger tropical influence.

## I. INTRODUCTION

The attention of oceanographers and marine biologists of some 20 nations in recent years has been centred on the Indian Ocean, under the sponsorship of the S.C.O.R.-U.N.E.S.C.O. International Indian Ocean Expedition, in a major co-operative effort to expand the hitherto meagre knowledge of this important region. At the commencement of the research programme in 1959-1962 preliminary studies of this area were made in order to formulate more precisely the exact future scope of the expedition. The Australian contribution to these preliminary studies was in the form of 10 general cruises in the southeastern part of the Indian Ocean (east of 95° E.) by the naval vessels HMAS *Diamantina* and HMAS *Gascoyne*. The oceanographic programme was directed by the C.S.I.R.O. During these cruises the general hydrological and biological conditions were determined. Important upwelling south of Java during the southeast monsoon (WYRTKI, 1962b: 218) and a high nett biomass (TRANter, 1962: 116) were demonstrated for this area.

These preliminary observations were later expanded by a more detailed examination of the area and during August 1962-August 1963 six cruises were made to sample more particularly the waters along the 110° E. meridian from about 9° S. to 32° S. These six cruises were as follows:—*G4/62* (August 19-September 16, 1962); *Dm4/62* (October 15-November 13, 1962); *G1/63* (January 17-February 17, 1963); *Dm1/63* (March 28-April 27, 1963); *Dm2/63* (May 6-June 3, 1963); *Dm3/63* (July 9-August 11, 1963). In addition a short cruise (*Dm3/62*) was made along the 110° E. meridian between 32° S. and 43° S. in September-October, 1962. Data for all cruises appear in the relevant C.S.I.R.O. Oceanographical Cruise Reports (1965a-d; 1966a-b; 1967). Each cruise, except the latter, occupied a series of stations from 32° S. northwards along 110° E. to about 9° S., returning southwards along the same meridian to 32° S. Although a small number of stations were not placed precisely on 110° E. the east-west variation from this meridian of longitude was in general small and for the purposes of this study all are assumed to have been on 110° E.

By this pattern of sampling the oceanic waters of the southeast Indian Ocean were examined along 2000 nautical miles of the 110th meridian ranging from close to Java to about 1200 miles southwest of Perth, over depths of not less than 1200 m to 7500 m (Sunda Trench). Sampling during the year-long period occurred in all months with the exception of December, 1962. Each of the six major cruises lasted for one month, and successive cruises were separated by intervals of about one month. This scheme resulted in the southern limit being sampled more frequently (i. e. each month) than the northern limit (i. e. every two months) and intervening latitudes

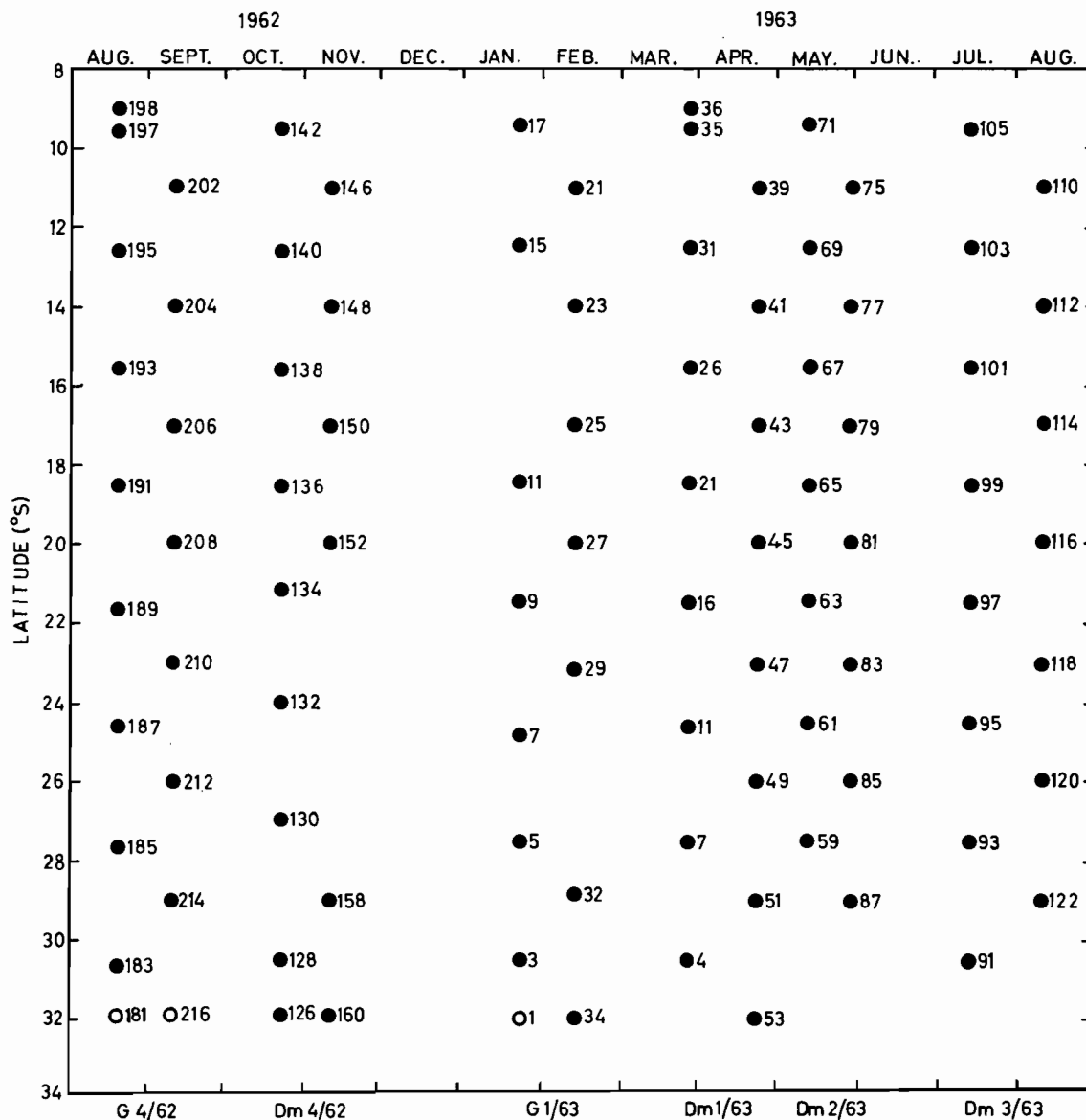


Fig. 1.— Position and times during 1962-1963 of the 1KMT hauls along 110°E. Open circles indicate day stations.

were therefore sampled at intermediate periods with the frequency of sampling increasing towards the south. Results of the programme have been evaluated here with the lack of December sampling and the more infrequent northerly sampling in mind.

On the 1962-1963 cruises listed above French biologists from the Centre O.R.S.T.O.M., Nouméa, were responsible for the micronekton programme in which a 5ft Isaacs-Kidd midwater trawl was used to make regular, oblique hauls through the upper 200m along 110° E. The average maximum depth of the hauls was 210m and ranged from 120m to 400m. Tows were made at about 10 p. m. although some day stations were also occupied. Further details of the nature of this gear, its shipboard handling and the collecting and storing of samples, are available elsewhere (e. g. C.S.I.R.O. 1965a : 10-11). The latter account also sets out details of standardisation procedures and the handling of the micronekton. The distribution in latitude and

time of the IKMT micronekton stations along 110° E. during the six cruises is shown here in Figure 1.

A large collection of micronekton resulted from these hauls. On 96 occasions eel-larvae appeared in the catch and for the whole programme comprised a total of 761 larvae, referable to at least nine families of eels and 62 species, representing about 5 % of the purely micronektonic organisms occurring in the total catch. These hauls were analysed in detail for systematic composition and the latitudinal and seasonal occurrence of eel-larvae in this part of the Indian Ocean during 1962-1963 determined from these results.

The analysis of the 96 samples involved the initial sorting of the leptocephali to species. This task was based mainly on systematic studies presented elsewhere (CASTLE, 1963a-1967) and which were made from an examination of a large collection of leptocephali taken in the southwest Pacific and from off Perth, Western Australia and assembled from the collections of various institutions. Reference may be made to these papers for the systematic details necessary for the recognition of the major taxa discussed in the present account. These previous systematic studies point out that correlative work on eel-larvae and their adults is not yet so greatly advanced that larval forms encountered in collections can always be immediately recognized and named. This situation stems from an inadequate knowledge of adult systematics as well as a lack of the relatively rare metamorphic growth stages which can be so valuable in linking larval types with adults. Despite the above difficulties, the larval characters of the most important eel families are now sufficiently firmly established to enable the sorting of collections at least to the familial level. The characters which thus define larvae of the various families may occur only in the larvae (for example, the festooned or swollen nature of the intestine of ophichthid leptocephali) or they may be also found in the adult (for example, the reduced or absent caudal fin in adult ophichthids).

Diversity in larval eels below the familial level is manifested more often than not in two major ways. Firstly, in any particular family, larvae can be grouped according to the abundance and distribution of melanophores, a character which seldom remains after metamorphosis. Other characters, such as the position of origin of the dorsal fin, the structure of the caudal, the presence of sensory pores on the head, may also be features of the adult, and often confirm the groupings recognized by consideration of the nature of the pigment. I believe that such characters in leptocephali partly define larval genera. Secondly, within each of these generic categories, so defined, there are usually subdivisions based on the numbers of myomeres (or number of vertebrae, as commonly expressed in the adults). These subdivisions based on myomere numbers are clearly at a lower taxonomic level than genus and are regarded to delimit species. It has been adequately shown elsewhere that myomere number in eels (as well as in other groups of fishes, including sharks) usually has a characteristic range in each species.

Although it is thus possible to recognize genera and species in sorting a collection of eel larvae, the definitive identification and correct nomenclature of these categories often cannot be achieved. This is mainly due to inadequate knowledge of metamorphic forms which usually show characters of larvae and adults by which larvae can be assigned to their correct genera, and also to insufficient records of vertebral counts in adult species. There is at the same time the inadequacy in adult systematics imposed by lack of broad comparative studies on Indo-Pacific eels in general. In the diverse tropical families such as the Ophichthidae and Muraenidae as well as in such poorly-known essentially deep-water families as the Nettastomatidae, many generic limits are not yet firmly established. In these also, the amount of variation of diagnostic characters in most species has not been adequately observed to place the systematics of the adults on a reliable basis. In general, diversity of larvae in certain families appears to be greater than that of adults, suggesting that there remain new forms of adults to be described. This interesting situation no doubt results in part from the relative ease by which larvae are collected compared with adults. The inadequacies outlined above, although a considerable restriction to the definitive nomenclature of many of the various forms of larvae recognized in the present

collection, does not greatly interfere with the intention of this paper. Rather, it is mainly concerned with the seasonal and geographical relationships of a series of species independent of what these species may be formally called. The solution of problems of nomenclature, where these occur, largely awaits revisionary taxonomic studies on adults.

JESPERSEN's definitive study (1942) on leptocephali of Indo-Pacific species of the genus *Anguilla* dealt in part with larvae collected off the west coast of Sumatra. My recent papers (CASTLE, 1936b *et seq.*) discuss the systematics, growth and distribution of certain larval species collected west of Perth. As far as I can determine these are the only studies which record eel-larvae from the eastern Indian Ocean. The large collection made during the 1962-1963 cruises is therefore of considerable interest, not only for the information it provides on the seasonal and spatial distribution of eel-larvae, but because it is the first major systematic collection of leptocephali from this hitherto largely unknown area. As such it might be expected to give a lead to the systematic composition of the adult eel-fauna of this region.

In my previous papers dealing with eel-larvae in Australasian waters I discussed the species structure in the southwest Pacific (including the waters around New Caledonia, the Solomon Islands, the east coast of Australia, and the New Zealand area). Some systematic comparisons may now be made between faunas of the eastern Indian Ocean and the southwest Pacific. No detailed year-long study of a specific meridian of longitude in the southwest Pacific had been made before I wrote my earlier papers so that the eel-larvae of the two areas cannot be quantitatively compared. Nevertheless, some information on the relative abundance of larvae of the various species in the southwest Pacific is available. Detailed studies now being made of certain areas of the southwest Pacific by the Centre O.R.S.T.O.M. are expected to provide much comparable information on the seasonal occurrence of leptocephali and other organisms.

## II. LATITUDINAL AND SEASONAL ABUNDANCE OF LARVAE

Leptocephalids were a very prominent part of IKMT hauls along 110° E. although the proportion they formed of the total catch in each haul varied considerably with latitude and time-of-year. It soon became clear during the programme that this part of the eastern Indian Ocean is a rich area for eel-larvae, despite the almost entire absence of previous records of leptocephali and the relatively small known adult fauna. Leptocephali appeared in 96 of the 102 IKMT hauls.

The tables set out in Section IV list these hauls together with certain station data. Their positions during the six major cruises are plotted in Figure 1 so that they may be related to other figures illustrating the distribution of larvae and hydrological conditions during August 1962-August 1963. The longitude is assumed to be 110° E. and the time of the haul 10 p. m., unless otherwise stated. Further station data, if required, are available elsewhere (C.S.I.R.O., 1965-1967). The total numbers of larvae in each of these hauls are listed in the penultimate right-hand column of the tables. As trawling time varied standardisation was achieved by correcting the observed number of larvae per haul to same time-of-hauling which in the present programme was set at 83 minutes; corrected numbers of larvae appear in italic figures in the extreme right-hand column of the tables. Other columns detail the exact systematic composition, a subject which is discussed at length in later sections of this paper. The present section considers the annual and latitudinal distribution of the eel-larvae as a whole, regardless of systematic composition.

A study of Section IV (b) shows that more southerly hauls, around 25° S. to 32° S. contained more larvae than those made in the north, with a notable meagreness of larvae from 13° S. to 20° S. To express these broad observations graphically the abundance of larvae at various latitudes during 1962-1963 is plotted in Figure 2 (as individuals per standard haul) and Figure 3 (as dry weight in mg. of larvae per standard haul). Dry weight has been calculated from the

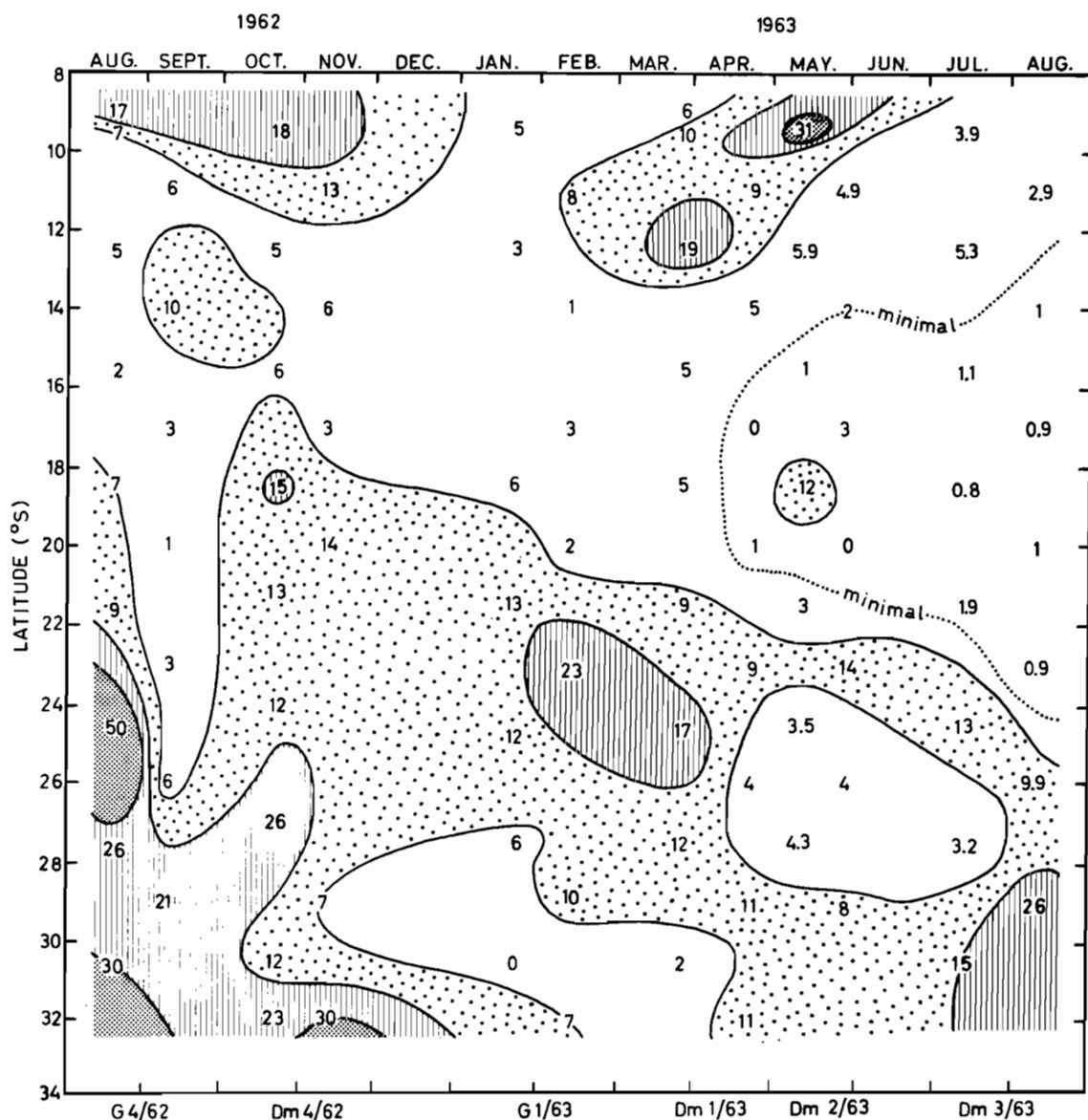


Fig. 2. — Numbers of leptocephali occurring along 110°E. during 1962-1963. Figures given are numbers per standard haul.

wet volume  $\times 60$ , where the latter is the conversion factor for leptocephali (C.S.I.R.O., 1965a: 132). Numbers of larvae per standard haul are also plotted in Figure 6 (c), taken as average number for hauls at each position of latitude throughout the year. The abundance of larvae at various latitudes may therefore be compared with numbers of species at these latitudes (Figure 6 (a) and (b)) thus giving an indication of the diversity of the catch. Biomass of the larvae bears a direct relationship to dry weight (biomass =  $\frac{\text{dry weight} \times 1000}{79}$  — figures supplied by M. LEGAND, Centre O.R.S.T.O.M.) so that biomass can be calculated for each standard haul, but its graphical expression would not differ essentially from that shown in Figure 3. The

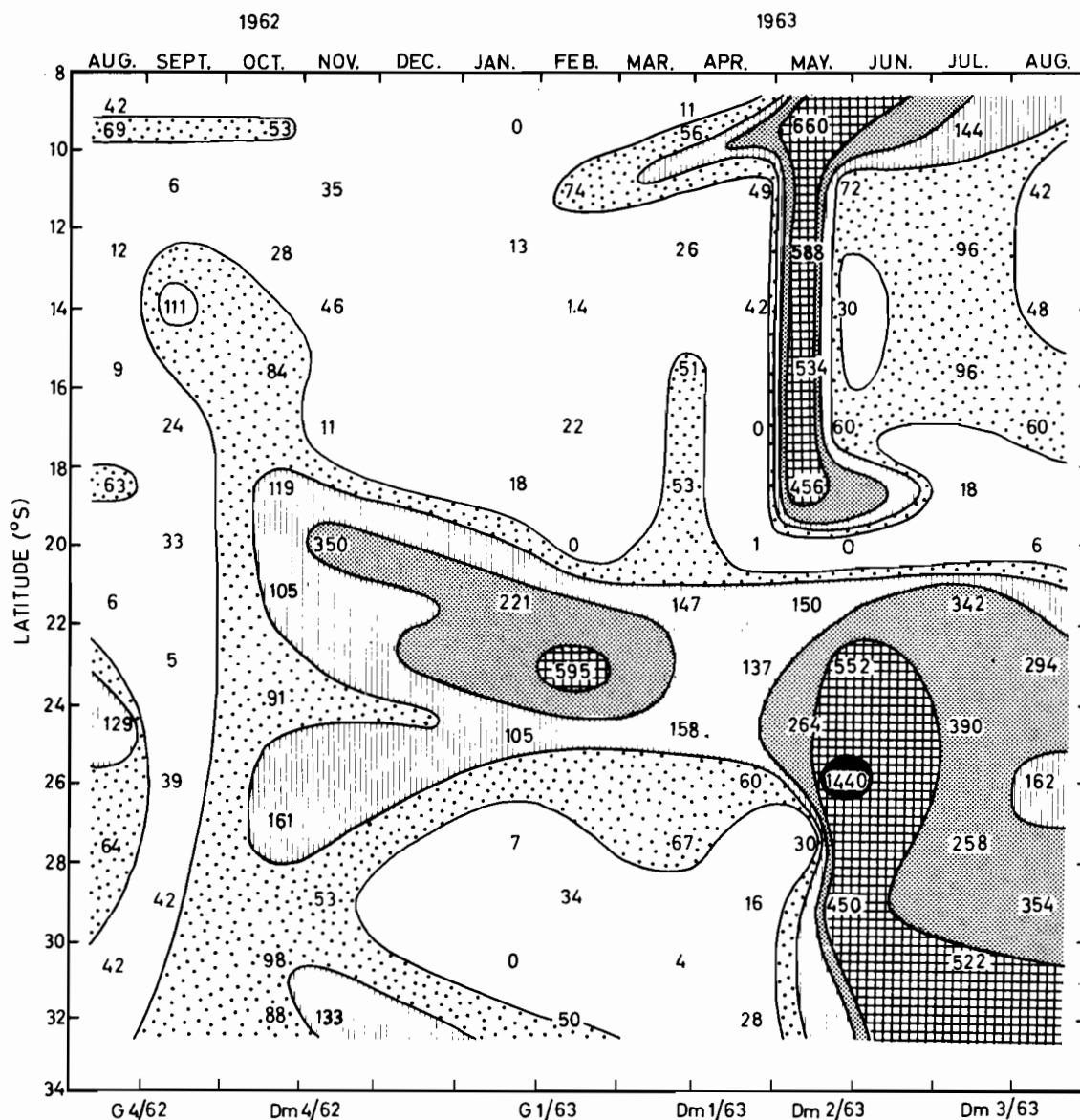


Fig. 3. — Biomass (dry weight) of leptocephali along 110°E. during 1962-1963. Figures given are mgm. per standard haul.

number of larvae per standard haul for each species is not known, but the percentage that larvae of two most important species in the collection (Family Congridae) contribute to each haul is also shown in Figure 6 (d). The latter figures have been calculated from uncorrected values of numbers of these species per haul, but the percentages should presumably (within limits) be independent of sample size. Actually, as will be shown in Section III, the IKMT is differentially selective, favouring eel-larvae of a certain size (and therefore in some cases of identity). Hauls run for a greater time would probably show increasing bias towards such larvae.

Larvae were most numerous in hauls made south of 23° S. during July to November and here reached a maximum of 50 per standard haul (Figure 2). Smaller secondary peaks occurred in the area immediately south of Java in August to December and March to June where numbers

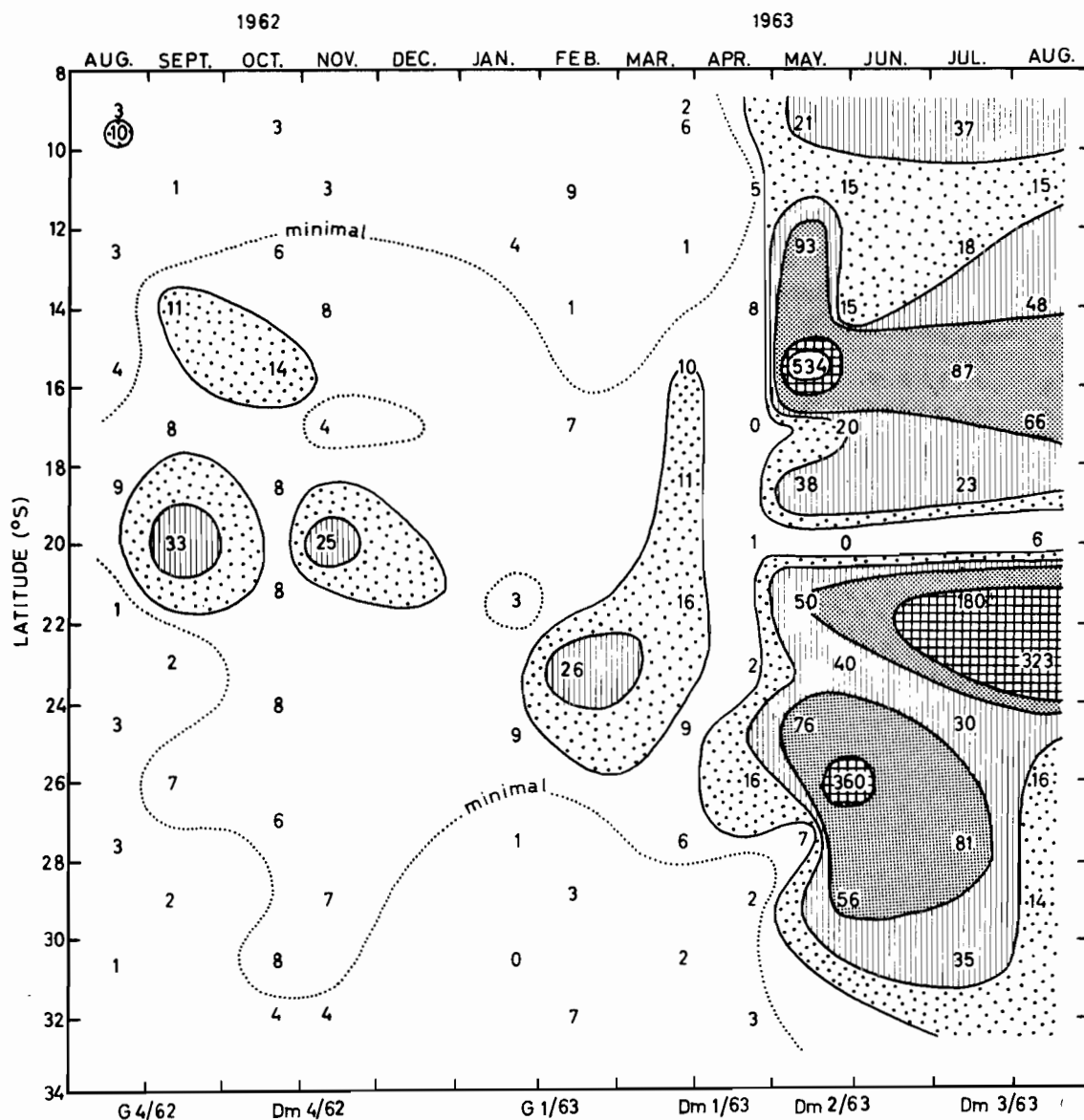


Fig. 4. — Average weight of leptocephali per standard haul along 110°E. during 1962-1963. Figures given are mgm.

reached 32 per haul. During the period October to April larvae were also moderately abundant in latitudes of 17° S. to 26° S. and here reached 23 per haul. There was a broad belt of minimal occurrence from 13° S. to about 20° S. throughout the year (Figure 2) where larvae seldom occurred in greater numbers than 10 per standard haul, usually much fewer.

Biomass (as expressed by dry weight) of larvae was greatest mainly from late May to August south of 20° S. and during May from 9° S. to 20° S., reaching peaks at 10° S. during May, at 26° S. during late May and at 23° S. in mid-February. There was a broad belt of high biomass south of 20° S. throughout the year (Figure 3).

It is clear when comparing Figures 2 (number) and 3 (weight) that positions and times of greatest larval numbers do not always coincide with those of greatest biomass. This discrepancy

immediately suggests that there was a difference in average size of larvae occurring at times and in areas of maximum numbers and maximum biomass. To provide an approximate indication of larval sizes the average size of larvae per standard haul was therefore calculated from biomass.

These average sizes are plotted in Figure 4. There is of course a possible error no. of larvae inherent in this method of expressing size of larvae since smaller larvae are likely to be relatively less bulky and therefore relatively lighter than longer larvae. However, even if this were so it would serve to accentuate the discrepancy. That is, if size were expressed in terms of length, rather than weight, the differences shown in Figure 4 between areas where average size was low and those where average size was high would be accentuated.

The figure clearly shows that the largest larvae in all latitudes (except at about 20° S.) occur in May to August, reaching maxima in May at 15° S. and 26° S. and in June-August at 23° S. Much smaller peaks of average size occur at about 20° S.-23° S. at other times of the year. It is important to stress that the major peaks represent *few, large* larvae. Small larvae, on the other hand, occur in greatest numbers from 9° S. to 14° S. from August to April, from 21° S. to 32° S. during August-September and in the south from November to April. Although these observations apply to all species taken together, they refer more especially to two species, the congrids *Ariosoma mauritianum* (Pappenheim, 1914) and *Gnathophis habenatus* (RICHARDSON, 1848) since these predominate in the catch, particularly in more southerly latitudes.

In general therefore, larvae are most abundant north of 12° S. during spring and early autumn, and south of 22° S. during spring and late summer, where they are also smallest. Largest larvae in low numbers occur in intermediate latitudes during the winter. The significance of these observations in relation to the life histories of the species in the collection is discussed in Section VII.

*Note:* Eel-larvae are markedly gelatinous organisms and suffer considerable loss of weight on preservation. Work is currently in progress on this important consideration and preliminary studies show that the action of formalin reduces the weight of eel-larvae by about 10 %. Biomass or weights of larvae as given above must therefore be appreciably less than the true values. Present figures must be regarded as minimal estimates only.

### III. SIZE SELECTIVITY OF NET AND GEAR

A conspicuous feature of the collection of leptocephali made by the 5 ft. Isaacs-Kidd midwater trawl during the present series of cruises was that very small larvae of less than 25mm were infrequent in the hauls. Figure 5 (a) shows the size-frequency of all eel-larvae in the total catch while Figure 5 (b-c) indicates in detail size-frequencies of the two most important species, *Ariosoma mauritianum* and *Gnathophis habenatus*. The relative absence of larvae of less than about 25mm total length is clearly shown in these figures.

Aside from the rather exceptional case of *Anguilla anguilla* (L.) which has a larval life of up to three years, most species of eels probably exist as larvae for a year or less. We may assume therefore, that the 1962-1963 sampling period encompassed the whole larval life of the species in the collection (either as one or more year classes), and that early stages were not missed because of trawls being made too late. There are then two implications of the scarcity of very young larvae in the collection: (a) that the IKMT inadequately sampled the very early stages of the population, and (b) that spawning and early growth of larvae occurs outside the spatial limits of the hauls (that is, either below the 210 m average maximum depth of the hauls or to the west or east of the 110° E. meridian).

Firstly, the oblique nature of the hauls ensured that the whole of the upper 200m was sampled and therefore even if the very youngest stages occurred in specific depths of the upper 200m, they would have been sampled by the IKMT. Secondly, available records of eel-larvae from other parts of the world suggest that early growth (and probably spawning) of eels takes

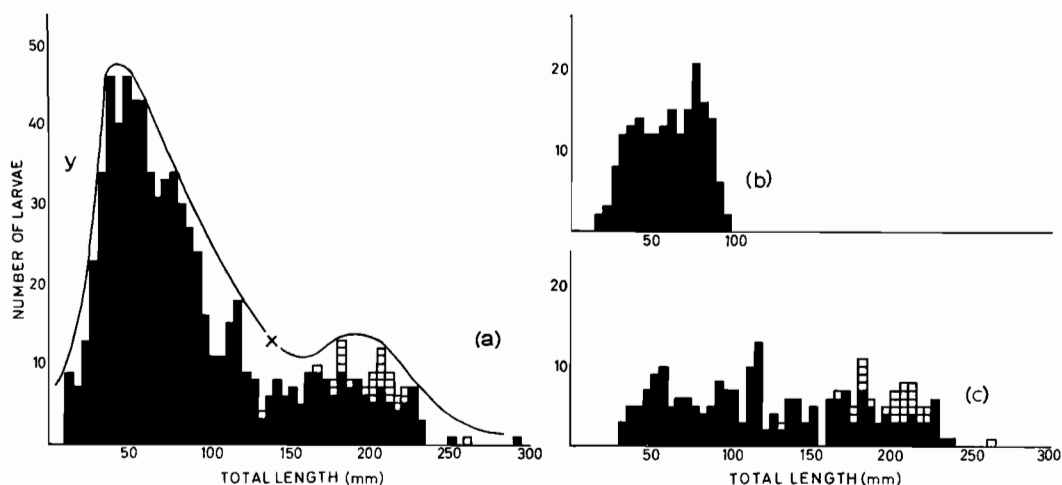


Fig. 5. — Length-frequency polygons of leptocephali:— (a) total larvae; (b) *Gnathophis habenatus*; (c) *Ariosoma mauritanium*. Open squares indicate metamorphic specimens of *A. mauritanium*. x— catching ability of the IKMT; y— probable escapement of young larvae from the net.

place in the upper 300m. Metamorphic stages may occur in very much deeper water. For example, BRUUN (1937: 16, fig. 6-7), discussing the vertical distribution of larvae of *Synphobranchus*, shows that larvae of *S. kaupi* Johnson, 1862 in the Atlantic occur most frequently at 125m-225m depth, while metamorphic larvae occur at 1200m-2500m. CASTLE (1963b: 25 & 41) shows that very small larvae (5mm-10mm) of the congrids *Gnathophis habenatus* and *G. incognitus* Castle, 1963 occur in the upper 200m of the Tasman Sea off Sydney (34° S.). Spawning and early growth of most eels is undoubtedly associated with specific hydrological conditions which often characterise the upper 200m, probably those of temperature and salinity. The precise hydrological requirements, of course, may differ from species to species. I have also recorded (1963b: 27) very small larvae (9mm-18mm) of *G. habenatus* taken by larval fish trawl in the upper 100m about 40 miles west of Rottnest Island, off Perth. This is some 300 miles east of the 110° E. meridian, but it is possible that spawning and early growth of this species takes place over a much wider area than indicated by earlier investigations and may indeed encompass 110° E. at this latitude.

In consideration of the above it therefore seems likely that it is the limitation of the IKMT which accounts for the relative absence of very small larvae in the present collection, and not because hauls failed to sample areas where these were present. This view is supported by similar results for mesopelagic fishes (LEGAND, personal communication). Individuals of these less than about 20mm in total lengths were also less frequent in the hauls. In the case of eel-larvae, the IKMT appears to select leptocephali of 25mm-60mm most effectively (Figure 5). The net becomes much less efficient for retention of smaller specimens because of their « escapement » and for larger specimens because of their « avoidance » of the net.

The curve « x » fitted to the size-frequency polygon (Figure 5) would therefore represent very approximately the catching ability of the IKMT and fairly well expresses the decrease in relative number of larvae larger than about 60mm consequent from natural mortality. Two segments of the total population in the water mass sampled by the net during all of its hauls throughout 1962-63 are therefore absent from Figure 5. These are (a) the very numerous small larvae less than about 25mm which, because of their small size, « escape » from the net (represented by the area « y » and equal to about 25 % of the total theoretical number in the water mass filtered), and (b) the unknown number of very large larvae that « avoid » the net (represented by an area above the right hand portion of curve « x »). Avoidance of the net is possibly not as great

in eel-larvae as in other micronektonic organisms of a comparable size because of their relatively weak swimming ability. Active escapement must also be offset by the greater ease by which eel-larvae may be entangled in net meshes.

The secondary maximum at about 200mm is probably formed by a mixture of nearly full-grown and metamorphic larvae. The latter reach about 240mm at full growth but contract in length during regressive metamorphosis. This means that there would tend to be more individuals at less than maximum larval size than there would be if growth were linear at this stage of life.

From these observations it is concluded that considerable modification of Figures 2-4, representing the abundance and size of the eel-larvae, are required in order to express more accurately the temporal and spatial distribution of the larvae. With the knowledge that most of the larvae escaping from the IKMT were very small ones, and that small larvae mostly occur in late August-October north of 14° S. and south of 20° S. (cf. Figure 3) the difference shown in Figure 2 between areas and times of minimal and maximal occurrence would be greatly accentuated. Furthermore, if the IKMT sampled very young larvae efficiently there would also be an effect on the systematic composition of the catch. An increase in the numbers of larvae of species which reach relatively small maximum sizes at full growth could be expected in the hauls.

#### IV. CHECKLIST OF SPECIES

Section II discussed the abundance of all larvae (from latitude to latitude and from month to month during the year) regardless of systematic composition. However, the collection was a very diverse one and there were considerable differences between the abundance of the various species occurring in the collection. Before such matters are discussed it is necessary to outline the systematic composition of the collection.

A total of 62 species, 43 genera and nine families were recognized in the collection. In Section IV (a) below, the various species collected are listed in systematic form against the stations at which each occurred. Each of the 62 species is assigned a code number (although one species is indeterminate because of the small size of the specimens, it is also coded, giving a total of 63 categories). In Section IV (b) below, selected station data are set out for the 102 IKMT stations of the seven cruises. The species occurring at each of these stations are listed in the right-hand columns by their code numbers as assigned in Section IV (a), and the composition of the catch of each station can therefore be found by checking back to the species list in Section IV (a). The seven most abundant species in the collection (a species has been regarded as « abundant » if its total number of individuals was 20 specimens or more—a purely arbitrary distinction) are listed separately from the remainder in the right hand columns and the number of individuals of each of these species occurring at each station is given. Specimen numbers of the remaining species at each station are also listed as « others ». In this way the total catch, and its systematic composition at each station, may be determined from the tables. The seven most abundant species were *Ariosoma scheelei*, *A. mauritanum*, *Leptocephalus scalaris*, *Gnathophis habenalus* and *Scalanago lateralis* (all Family Congridae); *Nemichthys scolopaceus* (Nemichthyidae); *Serrivomer samoensis* (Serrivomeridae).

##### IV (a). List of species and stations.

#### CONGRIDAE

(1) *Ariosoma scheelei* (Strömmian, 1896)—34 specimens (total lengths 28.6mm-178.9mm) : Stations G4-185-62, G4-197-62, G4-198-62, G4-202-62, Dm4-138-62, Dm4-140-62, Dm4-146-62, Dm4-148-62, Dm1-31-63, Dm1-35-63, Dm1-39-63, Dm1-41-63, Dm2-59-63, Dm2-61-63, Dm2-65-63, Dm2-71-63, Dm2-83-63, Dm3-103-63.

(2) *Ariosoma mauritianum* (Pappenheim, 1914)—245 specimens (total lengths 33.9mm-238mm): Stations G4-183-62, G4-185-62, G4-187-62, G4-189-62, G4-195-62, G4-197-62, G4-198-62, G4-202-62, G4-204-62, G4-206-62, G4-210-62, G4-212-62, G4-214-62, G4-216-62, Dm3-104-62, Dm3-106-62, Dm3-108-62, Dm4-126-62, Dm4-128-62, Dm4-130-62, Dm4-132-62, Dm4-134-62, Dm4-136-62, Dm4-138-62, Dm4-140-62, Dm4-142-62, Dm4-148-62, Dm4-152-62, Dm4-160-62, G1-7-63, G1-9-63, G1-15-63, G1-29-63, G1-32-63, G1-34-63, Dm1-7-63, Dm1-11-63, Dm1-16-63, Dm1-21-63, Dm1-26-63, Dm1-39-63, Dm1-47-63, Dm1-49-63, Dm1-53-63, Dm2-59-63, Dm2-65-63, Dm2-67-63, Dm2-69-63, Dm2-71-63, Dm2-85-63, Dm2-87-63, Dm3-91-63, Dm3-93-63, Dm3-95-63, Dm3-97-63, Dm3-101-63, Dm3-103-63, Dm3-105-63, Dm3-120-63, Dm3-122-63.

(3) *Ariosoma anago* (Temminck & Schlegel, 1842)—2 specimens (total lengths 50.1mm-212.3mm): Stations Dm1-41-63, Dm2-71-63.

(4) ? *Alloconger anagoides* (Bleeker, 1864)—6 specimens (total lengths 97.2mm-207.0mm): Stations G4-198-62, Dm4-138-62, G1-21-63, Dm1-31-63, Dm1-39-63.

Adult unknown:

(5) *Leptocephalus scalaris* Castle, 1964—25 specimens (total lengths 31.5mm-223.4mm): Stations G4-191-62, G4-198-62, Dm4-140-62, Dm4-142-62, Dm4-152-62, G1-9-63, G1-17-63, G1-21-63, Dm1-26-63, Dm1-35-63, Dm1-36-63, Dm1-47-63, Dm2-63-63, Dm2-65-63, Dm2-67-63, Dm2-85-63, Dm3-95-63, Dm3-118-63.

(6) *Gnathophis habenatus* (Richardson, 1848)—196 specimens (total lengths 15.6mm-106.6mm): Stations G4-181-62, G4-183-62, G4-185-62, G4-187-62, G4-189-62, G4-212-62, G4-214-62, G4-216-62, Dm3-102-62, Dm3-104-62, Dm3-108-62, Dm4-126-62, Dm4-128-62, Dm4-130-62, Dm4-132-62, Dm4-158-62, Dm4-160-62, G1-5-63, G1-29-63, G1-32-63, G1-34-63, Dm1-4-63, Dm1-7-63, Dm1-11-63, Dm1-49-63, Dm1-51-63, Dm1-53-63, Dm2-59-63, Dm2-87-63, Dm3-91-63, Dm3-93-63, Dm3-95-63, Dm3-120-63, Dm3-122-63.

(7) *Gnathophis incognitus* Castle, 1963—18 specimens (total lengths 13.1mm-97.5mm): Stations G4-189-62, G4-212-62, Dm4-134-62, Dm4-140-62, G1-5-63, G1-9-63, Dm1-7-63, Dm1-51-63, Dm2-87-63, Dm3-110-63.

(8) *Conger wilsoni* (Bloch & Schneider, 1801) -1 specimen (total length 86.9mm): Station G4-193-62.

(9) *Conger cinereus cinereus* Rüppell, 1828 -2 specimens (total lengths 44.0mm-45.7mm): Stations Dm2-69-63, Dm2-71-63.

(10) *Scalanago lateralis* Whitley, 1935—28 specimens (total lengths 12.0mm-83.2mm): Stations G4-183-62, G4-185-62, G4-187-62, G4-216-62, Dm3-104-62, Dm4-126-62, Dm4-130-62, Dm4-132-62, Dm3-95-63, Dm3-120-63, Dm3-122-63.

Adults unknown:

(11) *Leptocephalus slenorhynchus* Castle, 1964—2 specimens (total lengths 46.7mm-116.2mm): Stations Dm4-152-62, Dm1-31-63.

(12) *Leptocephalus geminus* Castle, 1964—6 specimens (total lengths 40.3mm-148.2mm): Stations Dm4-136-62, G1-21-63, Dm2-65-63, Dm2-71-63, Dm3-103-63.

(13) *Leptocephalus* cf. *L. geminus* Castle, 1964—2 specimens (total lengths 88.3mm-115.2mm): Stations G4-187-62, Dm3-114-63.

(14) *Uroconger ?braueri* Weber & de Beaufort, 1916—11 specimens (total lengths 12.0mm-129.9mm): Stations G4-198-62, Dm4-142-62, G1-21-63, Dm1-16-63, Dm1-31-63, Dm1-41-63, Dm2-75-63, Dm2-83-63, Dm3-105-63.

Others:

(15) ?—1 specimen (total length 70.9mm): Station Dm4-146-62.

(16) ?—2 specimens (total lengths 83.7mm-84.9mm): Stations Dm2-79-63, Dm3-105-63.

(17) ?—3 specimens (total lengths 49.9mm-54.8mm): Stations Dm1-36-63, Dm2-71-63.

(18) ?—1 specimen (total length 68.1mm): Station Dm1-47-63.

## NEMICHTHYIDAE

(19) *Nemichthys scolopaceus* Richardson, 1848—44 specimens (total lengths 30.0mm-402.5mm): Stations G4-185-62, G4-193-62, G4-206-62, G4-208-62, G4-214-62, G4-216-62, Dm4-128-62, Dm4-134-62, Dm4-136-62, Dm4-138-62, Dm4-150-62, Dm4-160-62, G1-7-63, G1-9-63, G1-11-63, G1-25-63, G1-27-63, G1-29-63, G1-34-63, Dm1-4-63, Dm1-7-63, Dm1-11-63, Dm1-21-63, Dm1-31-63, Dm1-35-63, Dm2-61-63, Dm2-67-63, Dm2-71-63, Dm2-75-63, Dm2-85-63, Dm2-87-63, Dm3-112-63.

(20) *Borodinula infans* (Günther, 1878) or *B. gilli* (Bean, 1890)—3 specimens (total lengths 47.9mm-194.2mm): Stations Dm4-128-62, Dm1-11-63.

Adult unknown:

(21) *Leptocephalus attenuatus* Castle, 1964—4 specimens (total lengths 73.1mm-163.4mm): Stations Dm4-136-62, Dm4-150-62, Dm4-152-62, Dm1-21-63.

## SERRIVOMERIDAE

(22) *Serrivomer samoensis* Bauchot, 1959—25 specimens (total lengths 12.1mm-65.0mm): Stations G4-195-62, G1-11-63, G1-15-63, G1-15-63, G1-21-63, G1-27-63, Dm1-21-63, Dm1-26-63, Dm1-39-63, Dm1-45-63, Dm1-47-63, Dm2-65-63, Dm2-67-63, Dm2-77-63, Dm2-79-63, Dm3-103-63, Dm3-120-63.

(23) *Serrivomer berlini* Bauchot, 1959—8 specimens (total lengths 24.8mm-58.9mm): Stations G4-185-62, G4-214-62, Dm4-130-62, Dm4-160-62.

(24) *Serrivomer* sp.—2 specimens: G1-25-63, Dm3-97-63.

## CYEMIDAE

(25) *Cyema atrum* Günther, 1878—5 specimens (total lengths 12.1mm-27.9mm): Stations Dm4-132-62, G1-5-63, G1-34-63, Dm1-53-63, Dm3-122-63.

## NETTASTOMATIDAE

(26) *Nellastoma ?parviceps* Günther, 1877—1 specimen (total length 87.2mm): Station G1-17-63.

Adult unknown:

(27) *Leplocephalus rostratus* Schmidt, 1909—1 specimen (total length 191.2mm): Station Dm3-114-62.

(28) *Leplocephalus* cf. *L. rostratus* Schmidt, 1909—5 specimens (total lengths 37.8mm-75.3mm): Stations G4-185-62, Dm4-132-62, Dm4-160-62.

(29) *Leplocephalus* cf. *L. dolichorhynchus* Lea, 1913—1 specimen (total length 120.5mm): Station Dm4-160-62.

(30) *Leplocephalus stylurus* Lea, 1913—4 specimens (total lengths 37.5mm-95.6mm): Stations G4-189-62, G4-202-62, Dm4-126-62, G1-32-63.

Others:

(31) ?—3 specimens (total lengths 28.8mm-54.0mm): Stations G4-189-62, G1-23-63, Dm2-61-63.

(32) ?—3 specimens (total lengths 31.4mm-92.2mm): Stations G4-206-62, Dm1-21-63, Dm1-47-63.

(33) ?—1 specimen (total length 57.2mm): Station G1-29-63.

(34) ?—5 specimens (total lengths 13.2mm-38.6mm): Stations G4-214-62, Dm3-106-62, Dm4-128-62, Dm3-116-63.

## MURAENIDAE

(35) *Gymnothorax* sp. (102-109 myomeres)—15 specimens (total lengths 26.1mm-56.5mm): Stations G4-198-62, Dm4-140-62, Dm4-142-62, Dm4-146-62, Dm4-148-62, G1-17-63, Dm1-31-63, Dm2-75-63.

(36) *Gymnothorax* sp. (125-133 myomeres)—4 specimens (total lengths 13.3mm-88.7mm): Stations G4-197-62, Dm1-31-63, Dm1-39-63.

(37) *Gymnothorax* sp. (139 myomeres)—1 specimen (total length 53.5mm): Station Dm1-35-63.

(38) ?*Rabula* sp. (198 myomeres)—1 specimen (total length 68.9mm): Station Dm1-35-63.

(39) *Anarchias* sp. (119-124 myomeres)—2 specimens (total lengths 52.2mm-56.1mm): Stations G4-204-62, Dm2-71-63.

(40) *Uropterygius* sp. (98 myomeres)—1 specimen (total length 38.9mm): Station Dm2-69-63.

(41) *Uropterygius* sp. (113 myomeres)—1 specimen (total length 44.1mm): Station G4-204-62.

(42) *Uropterygius* sp. (119-125 myomeres)—3 specimens (total lengths 20.0mm-64.9mm): Stations G4-198-62, G4-202-62, Dm4-142-62.

(43) *Uropterygius* sp. (137 myomeres)—1 specimen (total length 60.8mm): Station G4-195-62.

## OPHICHTHIDAE

(44) *Ophichthus* sp. (154-164 myomeres)—3 specimens (total lengths 71.0mm-84.7mm): Stations G4-198-62, G1-21-63, Dm1-36-63.

(45) ?*Muraenichthys* sp. (125 myomeres)—1 specimen (total length 34.7mm): Station G4-187-62.

(46) ?*Muraenichthys* sp. (145 myomeres)—1 specimen (total length 38.1mm): Station G4-183-62.

(47) ?*Myrichthys* sp. (108 myomeres)—1 specimen (total length 38.8mm): Station Dm1-31-63.

(48) ?*Myrichthys* sp. (119-123 myomeres)—7 specimens (total lengths 43.7mm-63.5mm): Station Dm1-31-63, Dm1-36-63, Dm2-71-63, Dm3-110-63.

(49) *Myrophis* sp. (129-134 myomeres)—2 specimens (total lengths 27.8mm-70.0mm): Stations Dm4-140-62, G1-21-63.

(50) *Myrophis* sp. (143-144 myomeres)—2 specimens (total lengths 59.9mm-72.5mm): Stations G1-7-63, G1-17-63.

(51) *Myrophis* sp. (151-161 myomeres)—4 specimens (total lengths 77.8mm-89.2mm): Stations G4-197-62, G4-198-62, Dm1-31-63, Dm1-41-63.

Others:

(52) ?—2 specimens (total lengths 68.4mm-72.6mm): Stations Dm4-150-62, Dm2-63-63.

(53) ?—1 specimen (total length 173.1mm): Station G1-1-63.

## XENOCONGRIDAE

(54) *Kaupichthys hyoprroides* (Strömman, 1896)—5 specimens (total lengths 32.9mm-62.9mm): Stations G4-198-62, G4-204-62, Dm4-146-62, Dm1-31-63.

Others:

(55) ?—1 specimen (total length 56.0mm): Station Dm3-99-63.

(56) ?—3 specimens (total lengths 38.2mm-61.0mm): Stations Dm4-146-62, G1-29-63, Dm1-31-63.

## MORINGUIDAE

(57) *Moringua macrochir* Bleeker, 1855—1 specimen (total length 23.2mm): Station G4-187-62.

(58) *Moringua* sp. (106 myomeres)—1 specimen (total length 40.2mm): Station Dm4-146-62.  
Others:

(59) ?—1 specimen (total length 23.9mm): Station Dm4-132-62.

## FAMILY UNKNOWN

(60) ?—1 specimen (total length 67.7mm): Station G4-204-62.

(61) ? 1 specimen (total length 75.6mm): Station G4-204-62.

(62) ? —6 specimens (total lengths 22.1mm-48.9mm): Stations Dm4-162-62, Dm1-31-63.

(63) ? —3 specimens (total lengths 44.3mm-64.5mm): Stations Dm1-39-63, Dm2-69-63, Dm2-71-63.

## IV (b). List of stations and species

Cruise	Station	Date	Lat. S.	Depth m	Species and number of specimens							Total	Standard haul	
					1	2	5	6	10	19	22			others
G 4/62	181+	19/8	31°58'	210				1					1	
	183	20/8	30°42'	290		7		13	5			46:1	26	30
	185	21/8	27°42'	245	1	13		7	3	1		23:2, 28:1	28	26
	187	22/8	24°30'	210		14		24	6			13:1, 45:1, 57:1	47	50
	189	23/8	21°45'	205		5		1				7:1, 30:1, 31:1	9	9
	191	24/8	18°30'	230			1						1	7
	193	25/8	15°33'	200						1		8:1	2	2
	195	26/8	12°34'	195		1						43:1	5	5
	197	27/8	9°30'	180	1	3					3	36:1, 51:1	6	7
	198	28/8	9°07'	170	2	1	1					4:1, 14:2, 35:3, 42:1, 44:1, 51:1, 54:1	14	17
	202	7/9	10°58'	200	2	4						30:1, 42:1	8	6
	204	9/9	14°00'	310		6						39:1, 41:1, 54:1, 60:1, 61:1	11	10
	206	10/9	17°00'	190		1				1		32:1	3	3
	208	11/9	20°00'	300						1			1	1
	210	12/9	23°00'	260		3							3	3
	212	13/9	26°00'	200		4		2				7:1	7	6
	214	14/9	29°00'	260		5		15		1		23:3, 34:1	25	21
	216+	15/9	32°00'	200		1		2	1	1			5	—
Dm 3/62	102	25/9	32°00'	400				6				6	5	
	104	26/9	33°24'	200		3		5	1			9	10	
	106	27/9	36°12'	200		1					34:2	3	3	
	108	28/9	39°00'	200		1		2				3	3	
	110											0		
	112											0		
	114	1/10	44°36'	200								27:1	1	1
	115		43°12'										0	

+Day station

Cruise	Station	Date	Lat. S.	Depth m	Species and number of specimens								Total	Standard haul	
					1	2	5	6	10	19	22	others			
Dm 4/62	126	16/10	31°57'	200		7		16	1				30:1	25	23
	128	17/10	30°30'	200		1		7		1			20:1, 34:1	11	12
	130	18/10	27°00'	200		15		5	1				23:2	23	26
	132	19/10	24°00'	200		6		4	1				25:1, 28:1, 59:1	14	12
	134	20/10	21°20'	200		3				2			7:7	12	13
	136	21/10	18°30'	200		6				3			12:1, 21:1	11	15
	138	22/10	15°30'	200	1	2					2		4:1	6	6
	140	24/10	12°38'	200	1	1	1						7:1, 35:1, 49:1	6	5
	142	25/10	9°30'	200	6	1	4						14:1, 35:1, 42:1, 62:1	15	18
	146	4/11	11°00'	200	1								15:1, 35:5, 54:1, 56:1, 58:1	10	13
	148	5/11	14°00'	200	1	1							35:2	4	6
	150	6/11	17°00'	200						1			21:1, 52:1	3	3
	152	7/11	20°00'	200		12	1						11:1, 21:1	15	14
	158	10/11	29°00'	200		6		2						8	7
	160	11/11	32°02'	200		5		16		1			23:1, 28:3, 29:1	27	30
	G 1/63	1+	18/1	32°00'	220									53:1	1
3		19/1	30°31'	190										0	
5		20/1	27°30'	270		4							7:1, 25:1	6	6
7		21/1	24°50'	270		6				4			50:1	11	12
9		22/1	21°30'	150		5	1			1			7:3	10	13
11		23/1	18°30'	260						2	2			4	6
15		25/1	12°30'	180		1					2			3	3
17		28/1	9°20'	200			1						26:1, 35:1, 50:1	4	5
21		8/2	11°00'	200			1				1		4:1, 12:1, 14:2, 44:1, 49:1	8	8
23		9/2	14°00'	250									31:1	1	1
25		10/2	17°00'	195						2			24:1	3	3
27		11/2	20°00'	195						1	1			2	2
29		12/2	23°10'	250		18		1		1			33:1, 56:1	22	23
32		14/2	28°55'	250		1		7					30:1	9	10
34		15/2	32°00'	180		1		3		3			25:1	8	7
Dm 1/63		4	30/3	30°30'	150				1		1				2
	7	31/3	27°30'	220		2		4		1			7:1	8	12
	11	1/4	24°36'	170		9		1		1			20:2	13	17
	16	2/4	21°30'	225		8							14:1	9	9
	21	3/4	18°30'	210		1				1	1		21:1, 32:1	5	5
	26	4/4	15°30'	200		1	1				3			5	5
	31	5/4	12°30'	210	1						1		11:1, 14:1, 35:1, 36:1, 47:1, 48:1, 51:1, 54:2, 56:1, 62:5	17	19
	35	6/4	9°30'	196	2		1			1			4:1, 37:1, 38:1	7	10
	36	7/4	9°00'	196			2						17:1, 44:1, 48:1	5	6
	39	19/4	11°00'	196	1	2					1		4:2, 36:2, 63:1	9	9

+ Day station

Cruise	Station	Date	Lat. S.	Depth m	Species and number of specimens								Total	Standard haul	
					1	2	5	6	10	19	22	others			
Dm 2/63	41	20/4	14°00'	230	1								3:1, 14:1, 51:1	4	5
	43	21/4	17°00'											0	
	45	22/4	20°00'	240							1			1	1
	47	23/4	23°00'	240		6	1					1	18:1, 32:1	10	9
	49	24/4	26°00'	190		3		1						4	4
	51	25/4	29°00'	196				9					7:1	10	11
	53	26/4	32°00'	196			1	5					25:1	7	11
	59	9/5	27°30'	196	1	1		3						5	4.3
	61	10/5	24°30'	160	1					1			31:1	3	3.5
	63	11/5	21°30'	195			1						52:1	2	3
	65	12/5	18°30'	200	2	4	3					1	12:1	11	12
	67	13/5	15°30'	200		1	1			1	2			5	1
	69	14/5	12°30'	200		1							9:1, 40:1, 63:1	4	5.9
	71	15/5	9°27'	175	4	1				1			3:1, 9:1, 12:2, 17:2, 39:1, 48:4, 63:1	18	31
	75	26/5	11°00'	195						2			14:1, 35:1	4	4.9
	77	27/5	14°00'	195							1			1	2
	79	28/5	17°00'	196							2		16:1	3	3
81	29/5	20°00'	190										0		
83	30/5	23°00'	200	3								14:1	4	14	
85	31/5	26°00'	210		1	2			1				4	4	
87	1/6	29°00'	215		3		3		1			7:1	8	8	
91	11/7	30°30'	200		1		12						13	15	
93	12/7	27°30'	196		2		1						3	3.2	
95	13/7	24°50'	200		3	1	3	2					9	13	
97	14/7	21°30'	190		1							24:1	2	1.9	
99	15/7	18°30'	220									55:1	1	0.8	
101	16/7	15°30'	220		1								1	1.1	
103	17/7	12°30'	220	2	1					2		12:1	6	5.3	
105	18/7	9°30'	160		1							14:1, 16:1	3	3.9	
110	3/8	11°00'	200									7:1, 48:1	2	2.9	
112	4/8	14°00'	195						1				1	1	
114	5/8	17°00'	120									13:1	1	0.9	
116	6/8	20°00'	200									34:1	1	1	
118	7/8	23°00'	240			1							1	0.9	
120	8/8	26°00'	196		2		4	6		1			13	9.9	
122	9/8	29°00'	190		13		10	1				25:1	25	26	

#### V. THE SYSTEMATIC COMPOSITION OF THE COLLECTION

One of the conspicuous features of the collection set out above is the large number of forms (45, or 70 % of the total) which cannot be referred to their adult species. Of these, 18 can be identified to genus (at least tentatively), seven to already described species of *Leptocephalus* (the adults of which are unknown) and 20 are as yet undescribed forms. This situation clearly reflects the relatively poor state of knowledge of the growth stages of eels in general, particularly those of the Indo-Pacific area.

In view of the present inability to identify a high proportion of forms occurring in diverse collections of the type examined in this study, the value of proceeding further with detailed

analysis may perhaps be questioned. It would seem more logical firstly to make as full a survey as possible of the eel-fauna of the eastern Indian Ocean and neighbouring areas so that a more complete picture of the adult taxa present would be available to which to refer any larvae collected in the area. Coupled with this would be a collection of metamorphic specimens to determine the generic characters of larvae and a review of vertebral counts upon which to base specific identifications.

Unfortunately there has been no opportunity to undertake such a wide ranging project and it is unlikely that such correlative information will become available for some time. As a result, an important part of the micronekton taken in the area could be left with little hope of elucidation as far as its definitive systematic composition is concerned.

The present author was thus faced with an extensive quantitative collection although definitive names could not be applied to many of the taxa present. Being aware of the possibility of recognizing familial, generic and specific categories, it was proposed to deal with this collection as a series of taxa whose relationships and distribution could be evaluated without final nomenclature. Fortunately, in this study, the important numerical components (i. e. 87 % of the total number of larvae) were able to be identified to species. The collection may therefore be usefully compared with those taken in other areas where these species occur.

The systematic studies on which this work is based have been mentioned above (CASTLE, 1963a *et seq.*). These reported on a total of about 70 species and more than 30 genera of eel-larvae from the southwest Pacific Ocean and a small area west of Perth. A number of larvae (belonging to at least 15 further species) whose familial identity could not be established at the time, were not treated in these reports. In the present account, on the other hand, all species occurring are considered. Many species from both collections have yet to be formally described but the present paper is not considered to be a suitable medium for such a lengthy systematic task. Description of these species will appear elsewhere.

The tables set out in Section IV (a) and IV (b) indicate a variety and abundance of leptocephali which must clearly originate from a systematically rich eel-fauna in this part of the Indian Ocean, an area which has not been closely examined for this group of fishes. At least nine of the dozen or more major families of eels whose larval characters are known are represented in the collection. Most notably absent are larvae of the Synphobranchidae, Heterocongridae, Muraenesocidae and Anguillidae, all of which have previously been recorded from the eastern Indian Ocean as adults. The absence of the three former families is not especially surprising, since as well as being relatively small families compared with the Congridae, Muraenidae and others, their larvae are normally rare in collections. Anguillid larvae, on the other hand, have been shown to be abundant in the area of the Mentawai Deep, off the south coast of Sumatra during September-November (the Danish *Dana* Expedition collected more than 1200 anguillid larvae at all growth stages in this area during these months in 1929). However, as JESPERSEN (1942: fig. 60) has shown, no anguillid leptocephali were recorded by the *Dana* further eastwards than about 105° E., so that present collections were probably made beyond the normal area of occurrence of anguillid larvae in this part of the Indian Ocean.

On the systematic basis elaborated in Section I above, there appears considerable generic diversity, expressed in the recognition of 43 genera in the collection. This generic composition of the catch is set out in Figure 7 (a) and Table I. The figure shows the predominance of congrid genera, amounting to about 28 % (12) of the total number of 43; nettastomatids and ophichthids are also relatively important in the total (approx. 15 %). Further analysis of the catch (as expressed in Figure 7 (b)) indicates that, of the 62 species present in the collection, congrids are again the most important (29 %), with ophichthids (16 %) and nettastomatids (14.5 %) also relatively prominent parts of the total. When numbers of individual leptocephali for each species are considered (as shown in Figure 7 (c)) the Congridae assumes an even more conspicuous place in the composition of the collection—75 % (575) of the total of 761 larvae are congrids, more than half of which consists of the two species *Ariosoma mauritianum* and *Gnathophis*

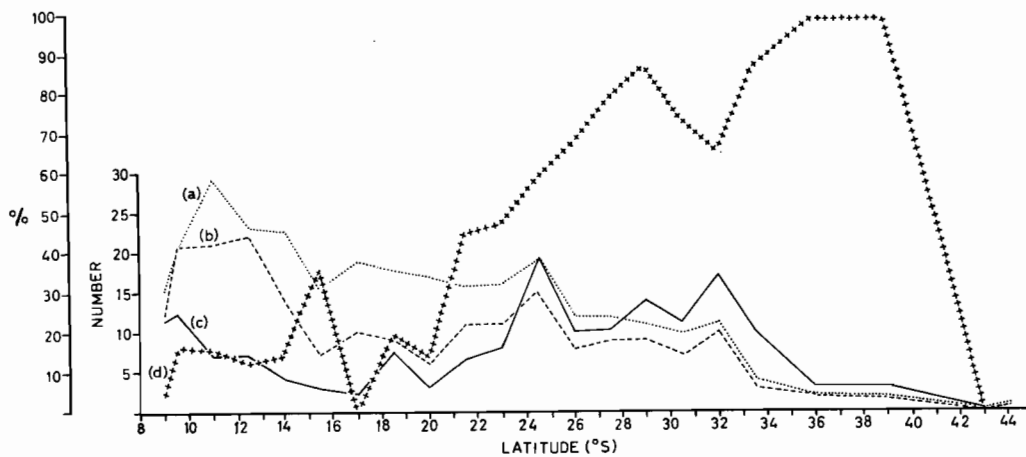


Fig. 6. — Latitudinal abundance of the various taxa along 110°E. throughout the year:— (a) theoretical number of species occurring at each latitude; (b) observed number of species occurring at each latitude; (c) number of larvae per standard haul (averaged for each point of latitude); (d) percentage of total catch contributed by *Ariosoma mauritianum* and *Gnathophis habenatus*. Left-hand scale (%) refers only to curve (d).

*habenatus*. These two species predominate more particularly in hauls made south of 23° S. where they make up an average of 50 % or more of the larvae in each standard haul. Figure 6 (a) shows their contribution to the catch at each position of latitude.

The relative abundance of the various taxa in the collection as expressed in Figure 7 cannot readily be explained in terms of the abundance of adults since insufficient is known about the eel-fauna of the eastern Indian Ocean. Records of eels from this area are scattered in the literature and no full species list is available although WHITLEY (1948: 12-13) records 13 genera and 19 species from the whole coast of Western Australia. Only two of these species were congrid. In previous studies of leptocephali collected during 1961-1962 by the Western Australian Museum, Perth, in a relatively small area off the coast of Western Australia near Perth, and presented elsewhere (CASTLE, 1963b *et seq.*), 13 genera and 16 species were recognized. WHITLEY (1948: 12-13) records 10 genera and 12 species from the same restricted area off southwest Australia.

It seems clear from these figures that considerable additions can be expected to the number of adult species known from the eastern Indian Ocean, particularly when more collections are made from the deeper waters and from tropical reef areas in the north.

The reasons for the overwhelming abundance of congrid leptocephali in the collection, particularly of *Ariosoma mauritianum* and *Gnathophis habenatus*, are not clear. Such abundance may well arise from the fact that congrid eels characteristically have a relatively long larval life of a year or more (as shown for *Ariosoma mauritianum* in the area—see CASTLE, 1964a: 12) and may therefore be more often encountered in plankton than would be larvae of families which typically have a more transient larval stage. Many congrid eels are known to spawn in the open ocean rather than in the more coastal shallower waters normally inhabited during their non-spawning life, and this characteristic may also account for the abundance of their larvae in the present hauls (which were made some distance from the coast). Furthermore, the greater frequency of trawling towards 32° S., that is, towards an area where the two species under discussion are known to be common (CASTLE, 1963a: 27; 1964a: 10-11), may also have contributed to the abundance of these two species in the collection. As a final comment on this matter, although no figures are available for the normal number of eggs carried by gravid females, there may possibly be a significantly greater fecundity in congrid eels than in eels of other

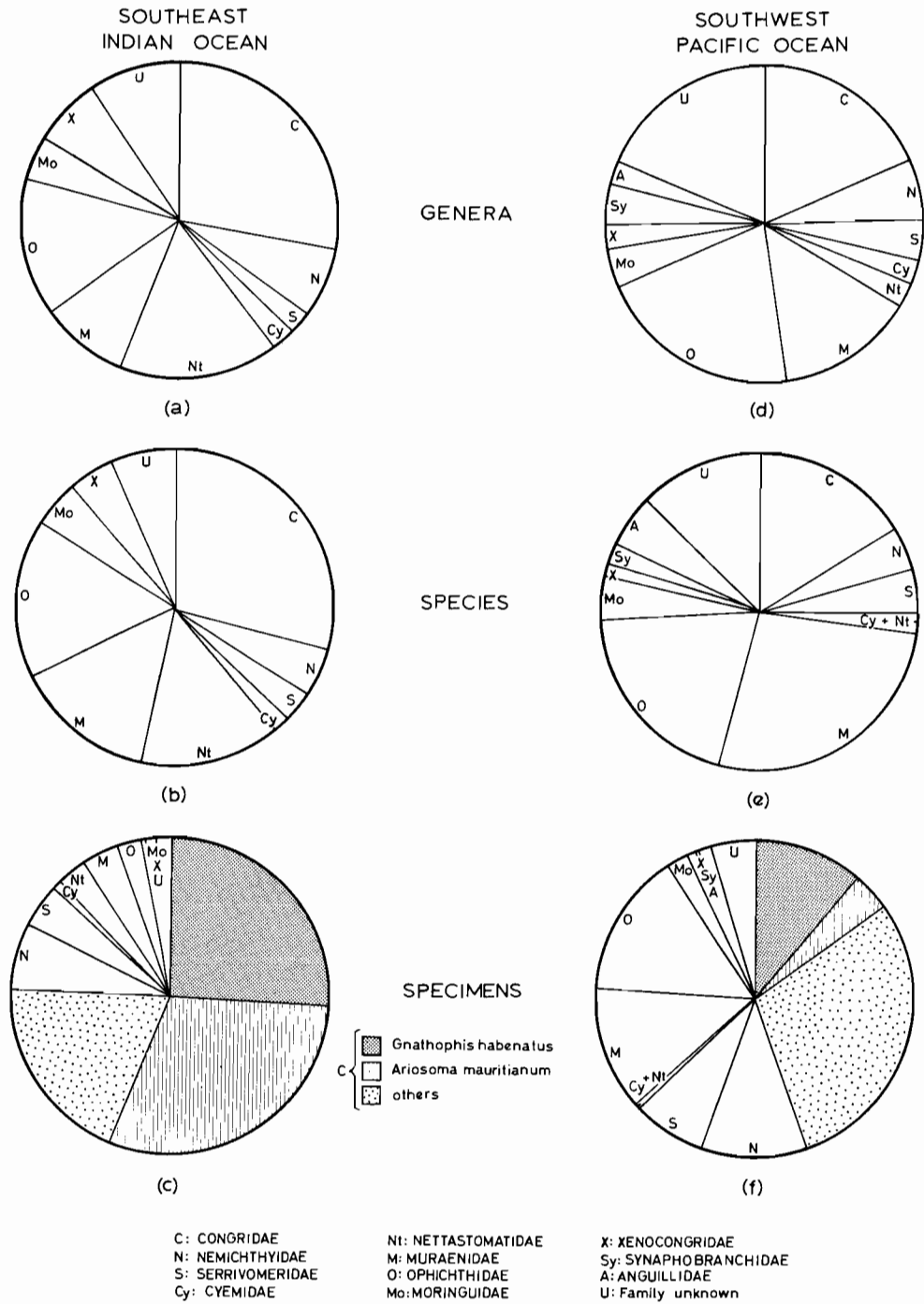


Fig. 7. — The systematic composition of the catch:— left: southeast Indian Ocean; right: southwest Pacific Ocean.

families. This might result in a greater abundance of congrid leptocephali in oceanic areas, and a consequent predominance in plankton hauls.

## VI. THE RELATIONSHIP OF SYSTEMATIC COMPOSITION AND LATITUDE

An analysis of Section IV (b) shows that the number of species in hauls made along 110° E. from 9° S. to 32° S. varied considerably from haul to haul. The diversity of species was greatest at the northernmost limit of trawling, i. e. between 9° S. and 12°30' S. Figure 6 (b) shows the species diversity along 110° E. Points on the curve (b) represent the actual number of species occurring at corresponding points of latitude as taken from the five or six hauls made at these latitudes (refer Figure 1) and listed in Section IV (b). For example, the greatest number of species (22) occurred at 12°30' S., that is, at the position of Stations G4-195-62, Dm1-140-62, G1-15-63, Dm1-31-63, Dm2-69-63 and Dm3-103-63. At none of these individual stations, however, did the complete complement of species occur. The greatest number of species occurring at any one station was 12, at Dm1-31-63 (refer Section IV (b)).

In this northern region the average number of species per haul throughout the year was 5.5. Further southwards, between 15° S. and 20° S. there was a marked decrease in the average number of species per haul (2.5) although 10 species occurred in one haul at 17° S. Between 21° S. and 32° S. the average number per haul was 3.3, the maximum number of species occurring at any one series of stations was 15, and the maximum number in any haul was seven.

A closer study of Section IV (b) for the exact systematic composition of the catch at each station shows that there was considerable difference in the identity of the various species at each station along the meridian. For example, hauls made in the far north were richer in muraenids, ophichthids and certain congrids while congrids dominated southerly hauls. The species composition along 110° E. is plotted graphically in Figure 8 to illustrate these differences. Each horizontal line represents the extreme range of latitudinal occurrence of each of the 62 species present in the collection. The change in dominance of essentially tropical species (e. g. muraenids, ophichthids) in the north to congrids in the south can more readily be seen in the figure than from the tables in Section IV (b).

The plots of latitudinal distribution of many of the species have been constructed from only a few points, so that there may actually be gaps in the distribution of these species. The horizontal lines in the figure would not then be continuous. More information is clearly needed before such distributions can be finally determined.

If vertical lines are drawn on Figure 8 through each point of latitude it is possible to arrive at the theoretical species composition of larvae at each latitude. The theoretical or predicted number at each point of latitude is in all cases greater than the number of species observed to occur at these latitudes in the hauls. The predicted number of species along 110° E. is plotted in Figure 6 (a) and this may be directly compared with the actual number at each latitude (b). Greatest discrepancy between the two occurs at intermediate latitudes meaning simply that if distributions are continuous as indicated in Figure 8, more species could be expected to occur at these intermediate latitudes. This anomaly might be explained by larvae occurring at greater depths here and beyond the limits of the IKMT hauls. In the far south and north actual species numbers more closely approach the theoretical.

Muraenid larvae and the majority of the ophichthids appear to be restricted to the waters north of 13° S. while congrids such as *Ariosoma anago*, *?Alloconger anagoides*, *Conger cinereus* and *Uroconger ?braueri* and others also have a northerly distribution, many of them not occurring south of 25° S. The presence of these diverse species (whose adults are all essentially tropical eels) accounts for the high average number of species in hauls taken between 9° S. and 13° S. However, added to these are species which occur almost throughout the whole range of trawling: *Ariosoma scheelei*, *A. mauritianum*, *Gnathophis incognitus*, and *Nemichthys scolopaceus*. These

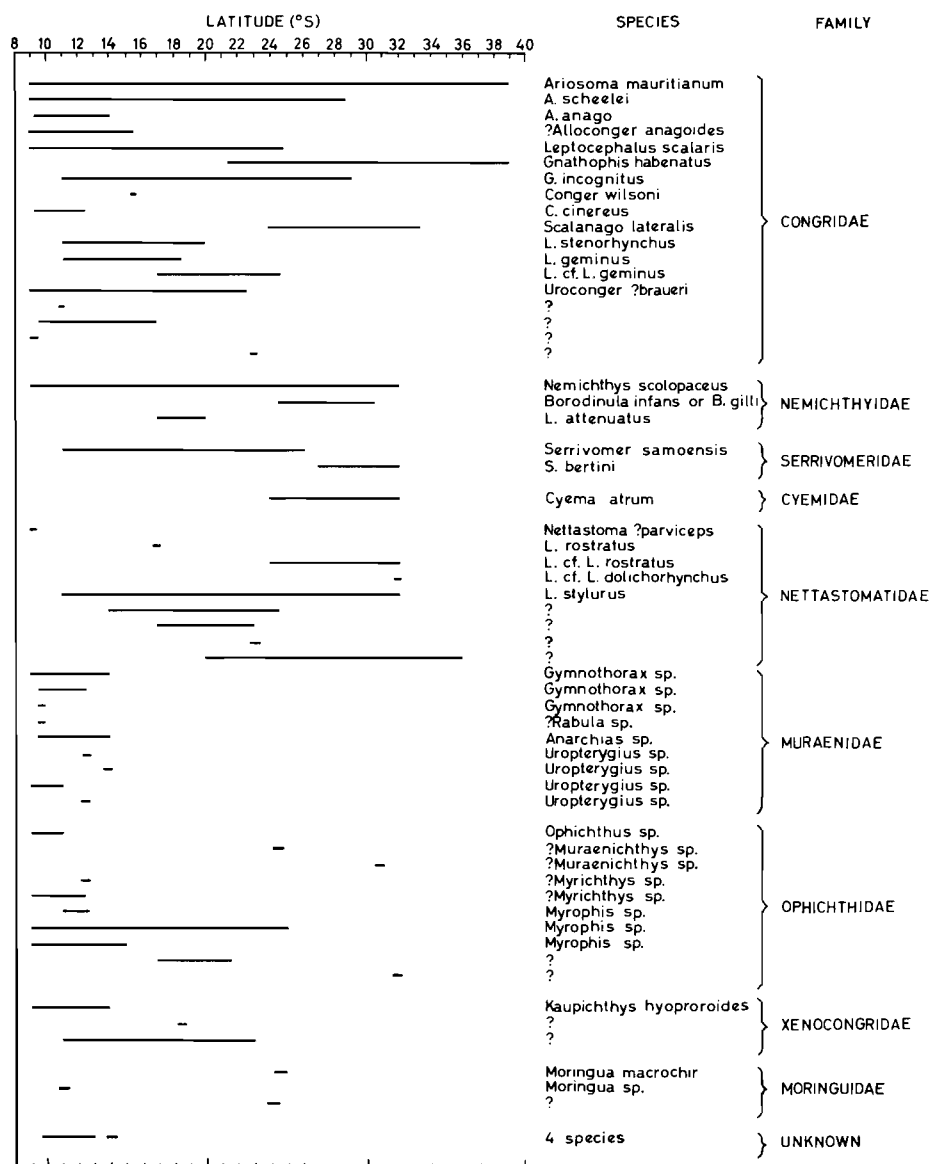


Fig. 8. — Latitudinal distribution along 110°E. of the 62 species occurring in the catch.

four species predominate in hauls made in the intermediate latitudes along 110° E. and appear to be widespread larval species, an observation noted in previous records (CASTLE, 1964, 1965) and suggesting the widespread occurrence of the adults.

South of about 24° S. the hauls are characterized by the species *Gnathophis habenalus*, *Scalanago lateralis*, *Borodinula gilli* or *B. infans* and *Serrivomer berlini*, but again superimposed on these are *A. scheelei*, *A. mauritianum*, *Gnathophis incognitus* and *Nemichthys scolopaceus*. The latitudinal range of seven of the most abundant species is plotted in Figures 9-14. (The latter also indicate the length-time relationship of individual specimens, a subject which will be discussed elsewhere in this paper).

Two species occur in hauls taken south of 21° S. in sufficient numbers and with sufficient regularity for them to be considered typically southern species. These are *Gnathophis habenalus* which occurred in 33 of the 44 hauls made at these southerly stations and *Scalanago lateralis* which occurred in 11 of these hauls. As I have noted previously (1963a: 36; 1964a: 29) both of these species probably spawn off Perth, Western Australia, and it appears from the present record, at least in their larval form, that these species are restricted to southern latitudes. Larvae of the two species of *Serrivomer* (*S. berlini* and *S. samoensis*) appear to be well separated latitudinally, the former occurring south of 26° S. (eight specimens), the latter (with a single exception), north of 21° S. (23 specimens).

#### VII. SEASONAL DISTRIBUTION OF THE SPECIES

A few species occurred in the collection in sufficient numbers for some comments to be made on their seasonal occurrence, latitudinal distribution at various times of the year, spawning of the adults, growth of the larvae and metamorphosis.

The most important of these is *Ariosoma mauritianum* of which there were 245 specimens ranging in total lengths from 33.9mm to 238mm and including partly-grown to metamorphic individuals. Previous studies on this species (CASTLE, 1964a: 12) suggested that adults spawn off Perth, Western Australia (as well as off Eastern Australia at about the latitude of Sydney). These previous collections from Western Australia contained very young specimens (11.1mm-19.1mm) collected in May and July, 1962 (that is, immediately before Cruise G4/62 of the present series), half-grown larvae collected in September-November, 1962 (at about the same time as Cruise Dm4/62) and full-grown larvae collected in February-April, 1962. The latter specimens are clearly members of the 1961 year-class. These observations show that spawning of *Ariosoma mauritianum* takes place here during March-April and that full-grown larvae are about a year old at the onset of metamorphosis.

The present collection confirms these observations. Figure 9 is a plot of total length against latitude of occurrence of 234 specimens of *Ariosoma mauritianum* with time (from August 1962-August 1963) indicated by various symbols to represent the six cruises. The figure shows that, in general, hauls made in latitudes of 25° S.-32° S. along 110° E. during August 1962 and July 1963 (i. e. cruises G4/62 and Dm3/63) were rich in relatively small (young) individuals. Such individuals were absent in the north at this time. At the same latitude in later months of the year larger specimens of up to 170mm total length occurred in the hauls. Concurrently, specimens of various sizes were found as far north as 9° S. Still later (January-April) from 22° S. to about 30° S. metamorphic individuals are common.

These observations are interpreted here as follows: spawning takes place around 25° S.-32° S. in April-May, there is rapid growth to 40mm-50mm during midwinter with a movement outwards from the spawning area so that half-grown specimens may be trawled mainly during July-November at any latitude. Full growth is reached during the late summer and metamorphosis takes place in March-April in a broad area from 21° S.-27° S. The latter process may be initiated by the effect of increasing temperature and decrease in salinity that occurs by southward

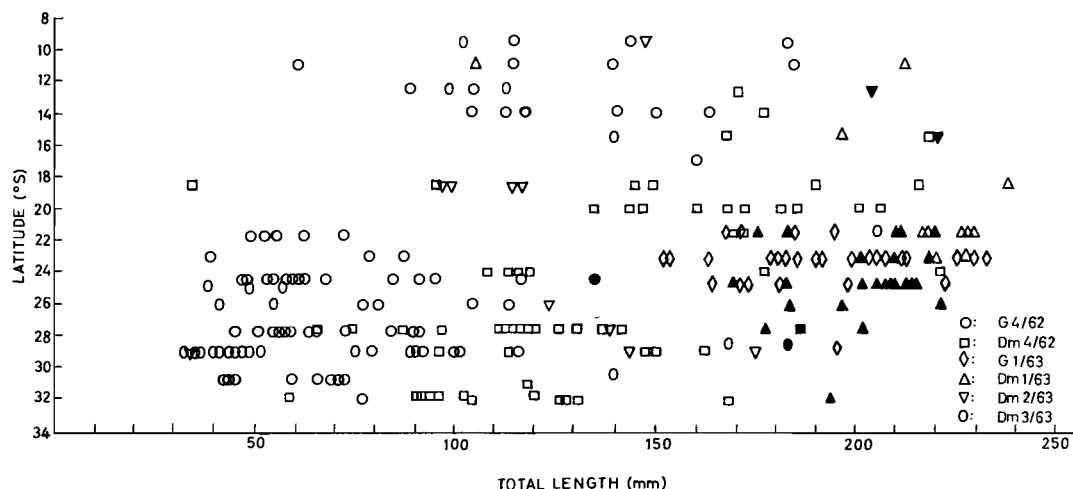


Fig. 9. — *Ariosoma mauritianum*: sizes of larvae along 110°E. The various symbols indicate the six cruises and hence time during 1962-1963. Black symbols indicate metamorphic larvae.

intrusion of tropical waters. Specimens collected at the same time of the year at more northerly stations are longer than those collected in the south. There would thus appear to be an early drift to the north where growth appears to be more rapid. The absence of full-grown or metamorphic specimens in the north suggests that full-grown specimens return to intermediate latitudes for metamorphosis, or that full-grown larvae move or are moved to some area or depth outside the limits of the investigation.

Contrasted with *Ariosoma mauritianum* is *Gnathophis habenalus*, whose length-latitude-time relationship is plotted in Figure 10. As indicated by the plot, spawning of adults takes place during mid-winter and full growth is reached by about March-May of the following year. The species is typically a southern one, the most northerly specimen recorded here is from 22° S. and the species may reach 39° S. However, the abrupt limit of northerly distribution at 24° S. of this species may only be a reflection of IKMT hauls being made too shallow. It is possible that larvae of *G. habenalus* may occur as far north as 15° S. but deeper than 200m., the larvae being associated with the deeper high salinity water mass moving northwards. The 24° S. limit appears to correspond almost exactly with the latitude at which this water mass moves below 200m. I have previously recorded (CASTLE, 1963a: 25-28) specimens from the southwest Pacific as far north as off Nouméa (22° S.) and from 43° S. (off Tasmania). Adults of the species are known to be gravid in early winter in New Zealand waters (CASTLE, 1963a: 24).

*Scalanago lateralis* (Figure 10) appears to be restricted to south of 24° S. and sizes of larvae suggest a spawning of the adults in June between 25° S. and 30° S., the larvae reaching full growth October-November. I have already discussed this species in a previous report (1964a: 28-29, fig. 9 E-H). Again, the apparent restriction of larvae of this species to south of 24° S. may only be the result of trawls being limited to the upper 200m. Larvae of *Scalanago lateralis* may be like those of *Gnathophis habenalus* in being associated with south Indian Central water, which moves deeper than 200m north of 24° S.

*Ariosoma scheelei* (Figure 11) is found as relatively small specimens in the north during winter, suggesting a northerly spawning area for this species. Some larvae move southwards to be found as 90mm-150mm specimens during early winter of the following year. Such observations accord well with those made on the distribution of the species in the southwest Pacific (CASTLE, 1964a: 5). It is interesting to note that only a single specimen of the species (85.8mm total length) was recorded in the latter study from close to Perth during August, 1961, while

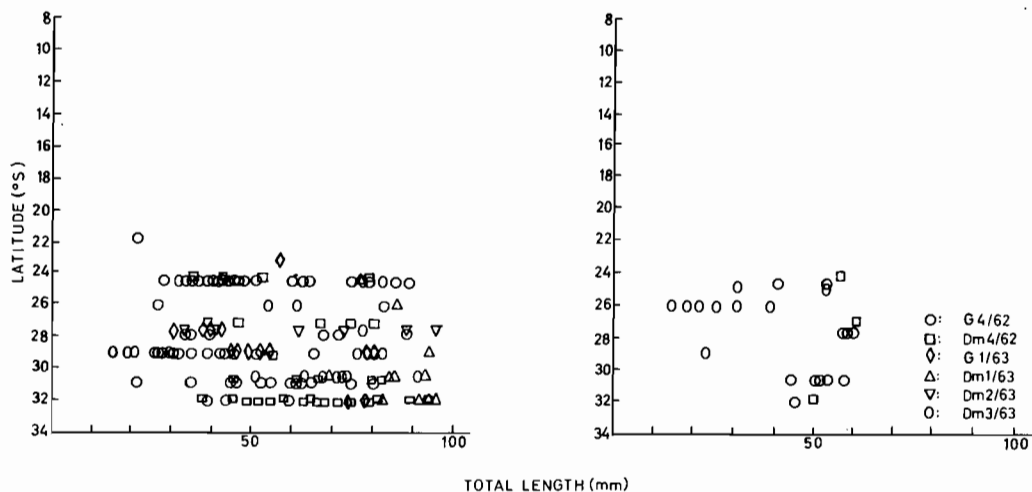


Fig. 10. — *Gnathophis habenatus* (left) and *Scalnago lateralis* (right): sizes of larvae along 110°E. The various symbols indicate the six cruises and hence time during 1962-1963.

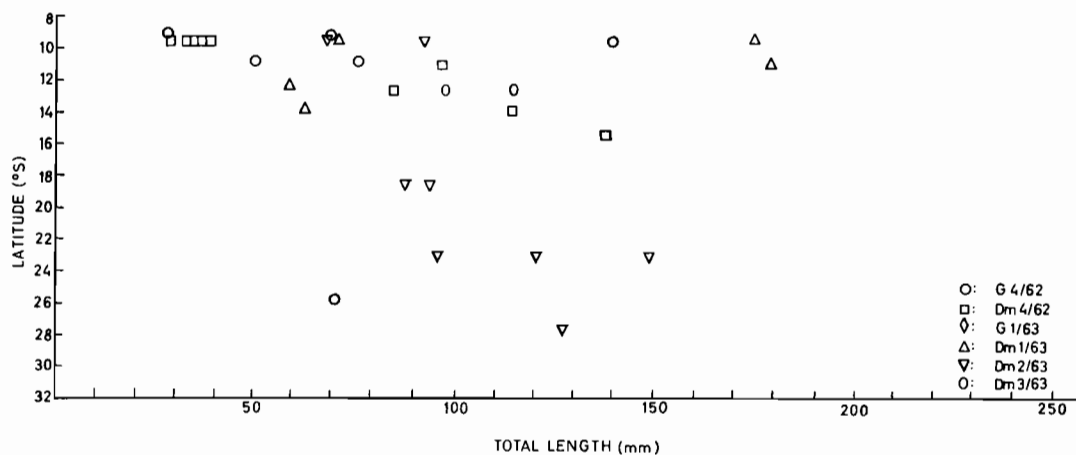


Fig. 11. — *Ariosoma scheelei*: sizes of larvae along 110°E. The various symbols indicate the six cruises and hence time during 1962-1963.

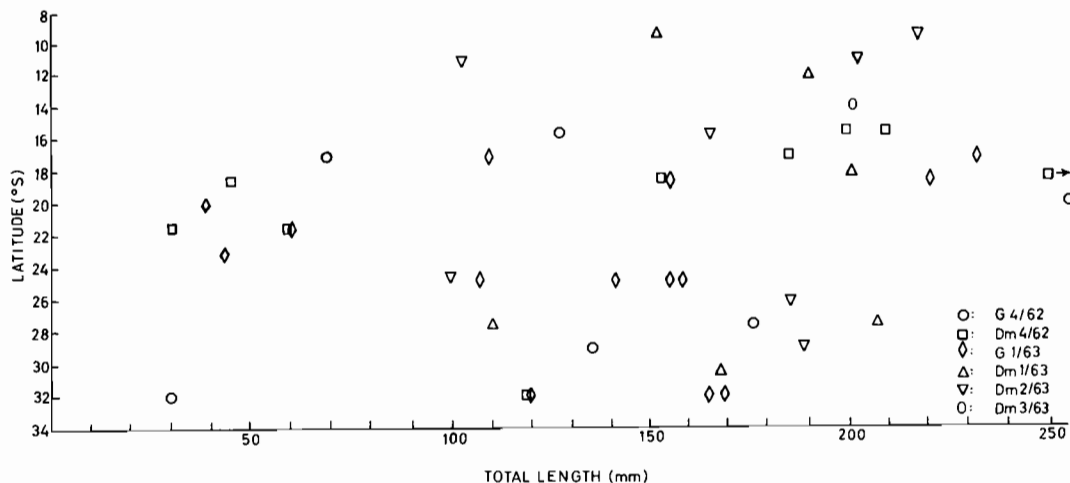


Fig. 12. — *Nemichthys scolopaceus*: sizes of larvae along 110°E. The various symbols indicate the six cruises and hence time during 1962-1963.

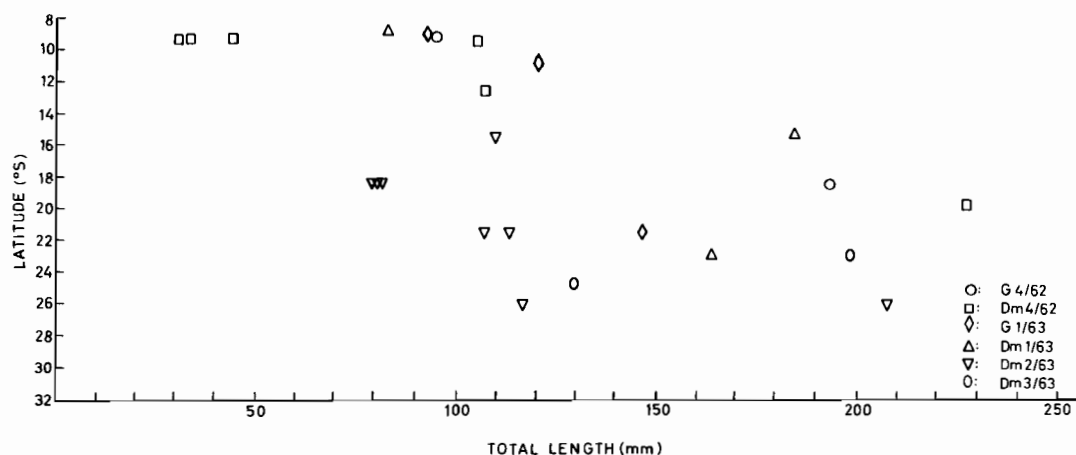


Fig. 13. — *Leptocephalus scalaris*: sizes of larvae along 110°E. The various symbols indicate the six cruises and hence time during 1962-1963.

47 specimens of *A. maurilianum* were trawled in the area also, suggesting the essential northerly distribution of *A. scheelei*.

There appears to be no observable pattern of seasonal movement in *Nemichthys scolopaceus* (Figure 12), whose larvae are widely scattered in the area. The smallest larvae seem to be located at intermediate latitudes along 110° E. but there are insufficient of these for the suggestion to be made that spawning of the adults takes place in this intermediate area. *Nemichthys scolopaceus* has a wide distribution in all oceans, both as adults and larvae, and it is likely that spawning is not restricted to widely disjunct localities.

*Leptocephalus scalaris* (Figure 13) is an essentially northern species, the adults of which probably spawn immediately to the south of Java during winter. At full growth the larva reaches at least 230mm and is one of the largest larvae in the present collection, being very bulky and not attenuate like the long larvae of *Nemichthys scolopaceus*. Larvae of *L. scalaris* appear to move southward during growth.

The two species of *Serrivomer* which occur in the collection, *Serrivomer samoensis* and *S. bertini* appear from Figure 14 to be clearly separated geographically. Larvae of the former, with one exception are possibly restricted to waters north of 21° S. while those of the latter appear only south of 27° S. However, this is not substantiated by BAUCHOT (1959: fig. 104-105) who shows that *S. bertini* is widely distributed as adults and larvae in the Central and Southwest Pacific while *S. samoensis* occurs as larvae in about 10° S. in the Pacific. However, this pattern of distribution may be related to the fact that similar hydrological conditions occur in different latitudes in the eastern Indian Ocean and the Southwest Pacific.

#### VIII. THE RELATIONSHIP OF HYDROLOGICAL FEATURES TO THE DISTRIBUTION OF THE VARIOUS SPECIES

With the exception of a few scattered observations on surface features the hydrological conditions of the eastern Indian Ocean were largely unknown in 1959 when the IIMAS *Diamantina* began a series of cruises to investigate the area. Over the period 1959-1961 this vessel collected information on salinity, temperature, inorganic phosphate, extinction coefficient, water movements, plankton and other characteristics from a broad area extending from the Australian coast westwards to 85° E. and from the equator and Torres Straits southwards to beyond 40° S.

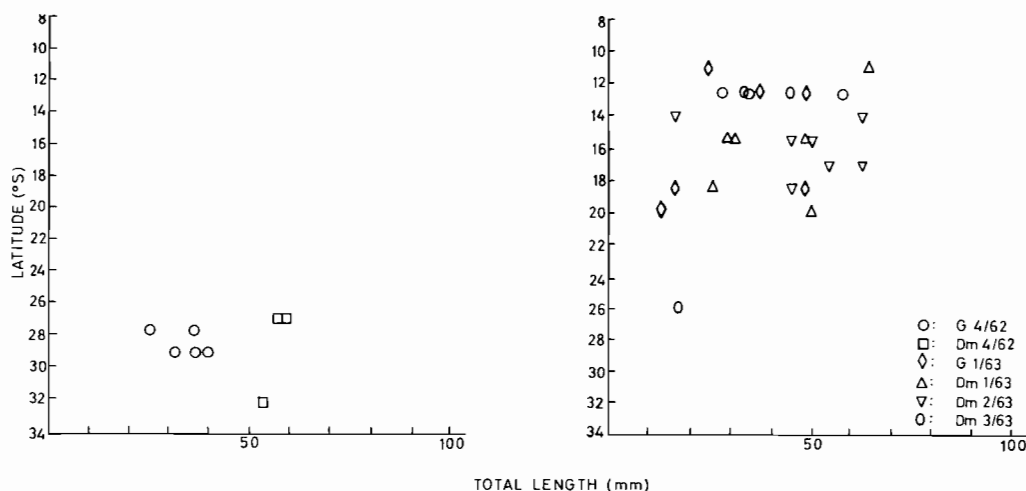


Fig. 14. — *Serrivomer bertini* (left) and *Serrivomer samoensis* (right): sizes of larvae along 110°E. The various symbols indicate the six cruises and hence time during 1962-1963.

These preliminary investigations determined the major hydrological features of this interesting area for the period of the southeast monsoon, that is, May-September, but some data were also collected for December-March. Some results of these investigations have been reported by WYRTKI (1962a, 1962b), ROCHFORD (1962, 1965) and TRANTER (1962), as well as in various cruise reports of the C.S.I.R.O. Australia.

The 1962-1963 programme along 110° E. provided more precise data on hydrological conditions in the area. These have been published in the various cruise reports of the programme (C.S.I.R.O., 1965-1967). HAMON (1965) has reported on water movements of the upper 1750m in the area and the currents across 110° E. from August, 1962 to August, 1963. Recently, ROCHFORD (1967) has studied in detail the hydrological structure of the upper 500m along 110° E. during 1962-1963. His account, which I was fortunately able to see in manuscript, has been of the greatest relevance to the present paper.

The above studies clearly demonstrate that the southeast Indian Ocean is hydrologically complex, and water conditions variable from season to season and from north to south. The hydrological characteristics of the area are considerably affected by the southeast monsoon blowing from this direction during May-September and by the northwest monsoon blowing in the opposite direction during December-March, particularly in the north. They are also greatly modified by the intrusion of various shallow and deep water masses of diverse origin from the north, west and south. Nevertheless, in broad view there are a number of distinctive features of the area which may be summarized here as relevant to the seasonal distribution of leptocephali.

On the surface the northern end of the 110° E. meridian (at about 9° S., immediately south of Java) is characterized throughout the summer by the high temperature (greater than 27.5 °C.) and low salinity (less than 34.00 ‰) water of the east-flowing Sumatra-Java Current. Although the surface temperature is high here it decreases rapidly with increasing depth due to the uplift of cooler waters arising in the south (ROCHFORD, 1967: fig. 1).

Immediately to the south of this current (10° S.-14° S.) surface temperatures are high throughout the year (greater than 26 °C.) and salinities low (less than 34.50 ‰) but the water moves to the west as the 90-mile wide South Equatorial Current. This current is supplied by water from the south, by marked upwelling (during spring) and from Timor and Java Sea water. It flows with high velocities of 30 cm/sec.-100 cm/sec. (16 miles/day-54 miles/day), although velocities in 200m are considerably less (27 miles/day maximum), and leaves the area near the Cocos-Keeling Islands to turn into the central Indian Ocean.

The high temperature, low salinity tropical waters spread southwards during late autumn and winter to as far south as 20° S. on the surface and during late summer and autumn to 26° S. in 100m-150m. Cooler (20°C.-22°C.), high salinity (greater than 35.90 ‰) subtropical waters forming the West Australian Current between 110° E. and the Australian coast, flow northwards on the surface to 25° S. during the summer while subtropical high salinity water also flows northwards in 200m-300m to 12° S. in summer and 16° S. in winter. Waters deeper than 300m are variously influenced and need not concern us here since they are well outside the limit of the IKMT hauls. There appears to be little enrichment of the surface layers by nutrients, even during the spring period of maximum upwelling of deeper waters in the far north.

West of Perth across 110° E. eddy conditions may occur to some considerable depth (WYRTKI, 1962a: 4; HAMON, 1965: 270-271) although there is no apparent regularity in the time of appearance or direction of the eddy.

In general along 110° E. the effect of warm, low salinity tropical waters extends on the surface (and perhaps in deeper layers) to about 20° S., mainly during late autumn while cooler, high salinity subtropical waters reach 12° S.-16° S. during the summer and tend to flow deeper than the tropical waters intruding from the north. However, there is no distinct thermic barrier which can be drawn at a particular latitude between these two types of water.

The summary given above outlines very briefly the hydrological conditions obtaining along the meridian from August 1962-August 1963, and the main water masses responsible for the change in characters in various latitudes, depths and times of the year. It no doubt oversimplifies the complex pattern and reference should be made to the relevant papers for more accurate details. In relation to these features, some comments may be made on the factors limiting the distribution and movement of the eel-larvae. It should be noted again that the IKMT hauls were oblique so that the larvae present in each haul could have come from anywhere within the upper 210m which was the average maximum depth of sampling. The oblique nature of the hauls would not appear to be so critical in the south where the hydrological conditions changed only moderately with increasing depth although seasonal changes in the same area were more marked. In the north, however, particularly around 10° S.-14° S., temperature varied markedly with depth (from 25.5 °C. on the surface to 17.5 °C. in 100m during September 1962 and from 28.9° C. on the surface to 18 °C. in 100m during April 1963). Oblique hauls in 200m in this area would therefore mask any differences in vertical level taken up by larvae in this area. There is some suggestion from the present study that certain larvae may enter different water masses during their later larval life. It would therefore be of considerable interest to examine the vertical distribution of eel-larvae in selected areas to substantiate this suggestion.

There appear to be two major areas in which relatively small leptocephali appear at certain times of the year. These small leptocephali indicate the proximity of spawning areas of adults. Little is known of the growth rates of eel-larvae in differing physical conditions but larvae of less than 20mm-30mm probably would not be much older than a few weeks and therefore could not have moved far from the spawning area of their adults. These two areas are in the north, over the Sunda Trench and in the south, west of Perth. The northern area is apparently suitable in hydrological conditions, as well as in its proximity to areas of adult distribution, for the spawning of tropical species, especially those belonging to the Muraenidae, Ophichthidae and Congridae. Figures 2-4 indicate that small larvae in moderate numbers occur here during the spring period of maximum uplift of deeper waters. Temperatures here at this time are about 18 °C. in 100m but are very much higher on the surface (ROCHFORD, 1967: fig. 18 & 23), while salinities are low (about 34.00 ‰). Spawning of these tropical species probably takes place in 100m and thus occurs at relatively low temperatures and salinities. Much larger but fewer larvae occur here again in March during the autumn uplift and extend to the south to 20° S. with the tropical low salinity water mass (ROCHFORD, 1967: fig. 18-19). The distribution of larvae closely follows that of the surface water and it is possible that older larvae may

enter these waters from below. The young larvae must immediately be subjected to the strong westward-trending water movement of the South Equatorial Current which arises in this area of possibly 20 miles per day. The minimal occurrence of larvae in this area later in the year (January-March) suggests that larvae are moved from the spawning area by this current, although by entering the uppermost surface layers the larvae could effectively be moved eastwards during the reversal of surface movement of the northwest monsoon. Whether or not larvae could survive the markedly higher temperature in surface waters is unknown. There is again always the possibility that larvae may move to deeper waters and so have not appeared in the collection.

Small larvae of various species also occur west of Perth, mainly during late winter and early spring, indicating the location of a second major area in which essentially southern species spawn. The presence of eddy conditions across 110° E. in this latitude throughout most of the year undoubtedly influences the later distribution of larvae arising in this area. Water of relatively low temperature (18 °C.) and high salinity (35.50 ‰) occurs here during the winter spawning period of adults. Larvae commonly remain in this area during growth but apparently may also escape from it and appear in more northerly areas after May, undoubtedly under the influence of the northward-flowing South Indian Central water mass. At least one species which is common in the south however, occurs as relatively large larvae as far north as the Sunda Trench, its movement northwards possibly assisted by upwelling water (*Ariosoma mauritianum*).

Between these important northerly and southerly limits lies a broad belt of warm, moderately saline water throughout the year. This seems to be an effective barrier to the further distribution northwards of essentially southern species and the movement southwards of tropical species, with the exception of a few species which occur along the whole length of 110° E., and which can obviously cross the belt of intrusive central Indian Ocean water. The presence of favourable northerly trending currents undoubtedly aids this movement.

The major limiting factors for eel-larvae along 110° E. therefore seem to be temperature and salinity, although the action of water movements may also determine the presence of larvae in any particular area and whether larvae may remain in this area throughout larval life. The northern limit of southern species and the southern limit of northern species seem to be determined by the limits of influence of cooler, high salinity subtropical waters and warm, low salinity tropical waters respectively. This is around 20° S. and agrees remarkably well with the division found in stomatopod larvae from material collected in the present series of cruises (MICHEL, 1968).

#### IX. COMPARISON WITH LEPTOCEPHALI COLLECTED IN THE SOUTHWEST PACIFIC

Studies on collections of eel-larvae have in the past been concerned essentially with the description and identification of the great variety of forms that are now known. The difficulties encountered in arriving at definitive identifications or even in distinguishing between genera and species have been a barrier to ecological studies despite the fact that eel-larvae have always been considered important in plankton collections. The situation has changed a little over recent years and at least a number of the more common species in the Atlantic and Indo-Pacific are systematically well-known so that there is a more reliable basis for ecological studies. The International Indian Ocean Expedition, for which collecting techniques and programmes were largely standardized and carefully designed, has enabled quantitative data on hydrological and biological conditions to be gathered from the Indian Ocean, so that the environmental conditions of eel-larvae, amongst other organisms, can be more reliably elucidated. The present study has by no means solved the earlier difficulties of identification posed by systematic studies. Rather it accentuates the fact that in some oceanic areas more forms of larvae are now known than adults.

There have been a number of systematic studies on eel-larvae which have dealt with features of the general biology of this group. LEA (1913) described a collection of eel-larvae from the Central Atlantic, while the many researches of SCHMIDT on the life-history of Atlantic *Anguilla* have become the basis for similar work on other genera. ROULE & BERTIN (1929) have examined the larvae of the Nemichthyidae in their intensive study of this group while BRUNN (1937) dealt with the Synphobranchidae. The most exhaustive studies of specialized larval groups were by JESPERSEN (1942) on Indo-Pacific *Anguilla* and BAUCHOT (1959) on larval serrivomerids. There has thus been no study comparable to the present one, in its treatment of a general collection of eel-larvae in relation to seasonal hydrological conditions.

During 1956-1962 the Centre O.R.S.T.O.M., Nouméa conducted exploratory work to gather information on the hydrology, plankton and micronekton of a wide area of the southwest Pacific. A detailed seasonal investigation of a particular meridian, similar to that reported on here, was not included in these studies. I have previously reported on the bulk of the 550 leptocephali collected in this programme (CASTLE, 1963a-1967) but these studies are essentially descriptive. It is hoped that in the future more specific investigations in this area may be carried out to parallel the work of the six Indian Ocean cruises.

Even so, there are a number of comparisons which can be made here, particularly in relation to similarities of larvae from the two areas, spawning conditions and relative abundance of the various taxa. Many of the species recorded in the present paper also occur in the southwest Pacific. At least 25 species occur in both areas. The presence of small specimens of many of these indicates that spawning of the adults takes place in the Pacific, as well as in the Indian Ocean. There is a strong possibility of interchange of individuals between the two areas either by way of pelagic larvae and/or by the movement of adults, but whether this interchange is one-way or mutual, remains to be determined. Detailed studies of series of adults from the two areas would possibly provide the necessary information on this matter.

The leptocephali described from the southwest Pacific in my earlier accounts were collected in various ways (viz. by trawls, as beachcast specimens and from the stomachs of other fishes). Quantitative figures on the abundance of larvae at various latitudes in the Pacific from season to season similar to those determined from the present collection are therefore not available.

TABLE I.—Systematic composition of the catch of leptocephali in the Southeast Indian Ocean and Southwest Pacific Ocean.

FAMILY	GENERA (% total)		SPECIES (% total)		SPECIMENS (% total)	
	I.O.	P.O.	I.O.	P.O.	I.O.	P.O.
Congridae.....	27.9	18.4	29.0	16.1	75.5	41.6
Nemichthyidae.....	7.0	6.1	4.8	4.3	6.7	13.6
Serrivomeridae.....	2.3	4.1	3.2	4.3	4.6	7.3
Cyemidae.....	2.3	2.4	1.6	1.1	0.7	0.1
Nettastomalidae.....	16.3	2.3	14.5	1.1	3.1	0.2
Muraenidae.....	9.3	14.3	14.5	26.8	3.8	13.1
Ophichthidae.....	14.0	20.4	16.1	20.4	2.5	14.7
Moringuidae.....	4.6	4.1	4.8	4.3	0.4	1.9
Xenocongridae.....	7.0	2.4	4.8	1.1	1.2	1.2
Synphobranchidae.....	0	4.1	0	2.4	0	0.1
Anguillidae.....	0	2.4	0	5.4	0	1.4
Unknown.....	9.3	18.9	7.0	12.7	1.3	5.2

Note: Indian Ocean figures calculated from data in Sections IV (a) and IV (b); Pacific Ocean figures from data presented in Castle (1963a *et seq.*). Refer to Figure 7.

More collections were made in tropical waters (around the north of New Caledonia i. e. 10° S. to 22° S.) than in more southerly latitudes thus introducing a bias towards larvae of tropical species. As my previous studies were spread over several papers I was not able to consider the systematic constitution of the collection as a whole in the same manner as possible here with the Indian Ocean collection. I have therefore included in Figure 7 (d-f) diagrams representing the percentage composition of the southwest Pacific collection in terms of genera, species and individual larvae. These figures may be directly compared with the similar figures constructed from the analysis of the Indian Ocean collection. Details are given in Table 1.

The figures show that congrid larvae were very much less dominant in the southwest Pacific collection (41.6 %) compared with that from the Indian Ocean (76.6 %). *Gnathophis habenatus* (10.9 %) was again the most prominent species but was by no means as common as in the Indian Ocean (25.8 %) collection. Larvae of *Ariosoma mauritianum* (3.8 %) were much less frequent (32.2 %), while those of *A. scheelei* (7.9 %) were slightly more prominent than in the Indian Ocean (3.9 %). *A. anago* appears to be a much more common larval species in the southwest Pacific. Muraenid and ophichthid larvae are much more typical of this latter area also. The presence of larvae of the Anguillidae in the southwest Pacific is notable, compared with its entire absence from the Indian Ocean collection, although, as already pointed out, the trawling programme here was probably placed outside the limits of distribution of anguillid larvae in the eastern Indian Ocean.

The differences in composition of collections made in the two oceanic areas, as indicated in Figure 7, are considerable but almost certainly do not reflect any fundamental difference in the structure of the eel faunas of these regions. Rather, these differences can probably be explained in part by two factors, both of which are related to the nature of the sampling.

The Pacific Ocean hauls were made largely by open plankton nets where the effect of « avoidance » of the net by large larvae is probably much higher than when an IKMT is used (Indian Ocean). Congrid larvae are generally of greater average size than those of many other eel families and the « avoidance » of congrids of the open plankton net, and hence their lesser importance in the whole collection, is likely to be greater. On the other hand « escapement » from the open plankton net for species average size is small (typically muraenids and ophichthids) is also likely to be less than from the IKMT.

Furthermore, the Pacific hauls introduce bias towards tropical species (e. g. muraenids, ophichthids) because they were generally made more frequently in tropical waters. As a result there is a greater importance of these species in diagrams 7 d-f (Pacific Ocean) compared with 7 a-c (Indian Ocean). More trawls made in subtropical waters along the east Australian coast would undoubtedly have greatly increased the proportion of congrids in the collection, particularly of *Gnathophis habenatus*, *G. incognitus* and *Ariosoma mauritianum*.

As previous systematic studies suggest, congrids typically spawn well out in the open ocean while muraenids and ophichthids probably do so in the shallow waters of adult distribution. The 110° E. meridian is located some considerable distance from the shallower waters off the west Australian coast and hauls made along it would therefore favour the collection of congrid larvae rather than those of more typically tropical families. It would seem that only the northernmost extremity of the 110° E. meridian, that is, immediately south of Java, would be a favourably placed area for spawning and early growth of muraenids and ophichthids but their larvae might be expected to occur over a much wider area, depending on the action of ocean currents.

#### X. GENERAL DISCUSSION

The historic studies made by Johannes SCHMIDT on larvae of the North Atlantic species of *Anguilla* and later by JESPERSEN (1942) on Indo-Pacific *Anguilla* larvae are the most informative works available on the early life-histories of eels. Other groups of eel-larvae have

also been examined, but in much less detail than these definitive biological studies. Apart from these studies very little is known about quantitative aspects of leptocephalid distribution or the environmental characters associated with eel-larvae.

The Indian Ocean collection is therefore a valuable one in many ways. It is the first major systematic collection from the area and therefore provides a lead to the nature of the adult eel-fauna, which is largely unknown. It is also the first collection of eel-larvae to be taken in a quantitative manner along a strictly defined meridian of longitude. The section of the meridian examined passes along 2000 miles, through waters ranging from tropical to temperate, thus providing information on a wide variety of oceanic habitats. The year-long study provided also a unique opportunity for seasonal aspects of distribution to be examined. This is of particular interest since most eels probably have a larval life of a year or less and the study would therefore theoretically encompass the major part of the larval life of the species occurring along the meridian. Of perhaps greater interest in determining the nature of the environment of eel-larvae is that detailed hydrological information is also available from the examination of the 110° E. meridian, to be matched against the micronekton hauls.

Although the coverage of the Indian Ocean collection is unique in its extent and detail it would have been useful to have had information on the vertical distribution of larvae in the upper 200m-300m. It seems quite clear from the hydrological studies of ROCHFORD (1967) that these upper waters may be significantly stratified into distinctive water masses. It is certainly likely that many species may be restricted to particular layers, corresponding with such specific water masses.

It would also have been interesting to have had larval collections taken by other gear to fill the gap resultant from the relatively low efficiency of the IKMT for sampling larvae of small size. Such larvae are of particular value in locating spawning areas of adults.

In fact, the programme undertaken during the six cruises did include zooplankton sampling by other gear. Vertical hauls through the upper 200m were made with the Indian Ocean Standard Net and horizontal tows made simultaneously in 200m, 50m and 0m with Clarke-Bumpus Samplers. However, leptocephali in these samples, if any, have not yet been reported on.

Although not a serious shortcoming of the present investigation, complete definitive identifications of the minor species in the collection might also provide additional worthwhile zoogeographic information. Unfortunately, systematic studies on eel-larvae are not yet sufficiently advanced to complete this aspect of the present work. Finally, while it would have been useful to have had samples along the meridian during December 1962, this month does not appear to be a critical one in relation to the abundance and distribution of eel-larvae.

The species structure and abundance of eel-larvae along 110° E. shows wide variability according to latitude and time-of-year. This is associated with the variability of environmental factors, particularly those of temperature and salinity. Tropical through to temperate facies are exhibited from north to south and this is reflected in tropical dominance in the north, subtropical-temperate dominance in the south. Intermediate latitudes show a transitional fauna, but only when the whole of the upper surface waters is considered. Throughout the year the latitudinal extent of influence of these components depends upon the southward or northward movement of relevant water masses.

The proximity of the neighbouring Indonesian Archipelago to the northern limit of 110° E. appears to influence greatly the species structure of this area. Larvae occurring here are probably derived from adults of tropical eels which live along the Java coast or in offshore waters and spawn there or over the much deeper Sunda Trench. The contribution of adult eels from the coast of northwest Australia is probably weak since it lies rather far to the east. Most of the smaller specimens in northern hauls, however, are congrid and it is possible that only these spawn over the Sunda Trench while the muraenids and ophichthids do so in shallower waters.

Developing larvae of the latter may move out into the open ocean and appear in hauls made in the far north. The more southerly influence of the tropical component is mostly contributed to by tropical spawning congridids which typically inhabit the open ocean during larval life.

The strong westward movement of the South Equatorial Current, arising in the north of 110° E., must clearly determine the westward movement and dispersal of larvae of the tropical component in particular. This current, consisting of tropical low salinity water cuts across 110° E. at about 10° S. to 14° S., that is, in the exact position where species diversity along 110° E. is greatest. A westward dispersal of larvae from this area into the central Indian Ocean could thus be expected. It is certain that most species subjected to this current would reach Christmas Island and the Cocos-Keeling Islands. It is, however, a matter of speculation whether they would then be capable of further westward movement to enter the western Indian Ocean where metamorphosis might take place and the young become established. The distance from 110° E. to Mauritius, 3700 miles, is such a considerable one that it could only be crossed by larvae capable of a long pelagic life. Although the South Equatorial Current can have a very high velocity (over 50 miles per day) this is only at the point and time of its maximum development across 110° E. Its velocity further to the west is very much less and it seems unlikely that larvae could be transported westwards at greater than about 15-20 miles per day.

A recent newspaper report (« Eastern Province Herald », Port Elizabeth, South Africa, 25.1.69), which I have confirmed, has some bearing on this matter. This report concerns a bottle thrown from a ship into the sea « off the west coast of Australia » on 21.8.67. This object was retrieved in late January 1969 at Lawrie's Bay, 12 miles west of Port Elizabeth, a straight line distance from the 110° E. meridian of about 5000 miles. This represents a drift of approximately 10 miles per day for the 17-month period during which the bottle was in the ocean. However, taking into account the probable course of drift through the central Indian Ocean and southwards through the western Indian Ocean, the distance travelled is likely to have been appreciably more. The rate of drift was thus possibly somewhat higher than the 10 miles per day estimated. Whatever the precise figures are in this case, the report lends very definite factual support to the proposal that a movement westwards across the Indian Ocean is quite possible within the year-long larval life of certain eels, particularly congridids.

There is considerable similarity between the tropical eel-fauna of the Indonesian Archipelago and that of the western Indian Ocean. The South Equatorial Current may well have provided, and may well be providing, the pathway by which this similarity has developed, although movement of individual larvae or the gradual movement of species in the opposite direction, from west to east, could also occur. Amongst the many eel species which are known from both sides of the Indian Ocean are those of the genus *Ariosoma*. Although *A. anago* has been considered to be widely distributed in the western Indian Ocean, current studies indicate that it is *A. scheelei* and *A. mauritianum* which occur here. *A. anago* appears to be a Central and North Pacific species but has been confused with other species of the genus.

The southernmost part of the 110° E. meridian, west of Perth, delimits the centre of dispersal of the southern component in the collection. More typically southern species (mainly congridids), which probably inhabit as adults the shallow and offshore waters of the west Australian coast, spawn here and growth of their larvae takes place here also. The influence of this southern component to the north is that of the subtropical high salinity waters of this region, that is, the shallow West Australian Current and the deeper South Indian Central water mass. Spawning therefore probably takes place upcurrent of the area of adult distribution, although little is known of the distribution of eels along this part of the Australian coast. It is possible that larvae originating in this area, moving northwards, are turned to the west in intermediate latitudes into the central Indian Ocean. It would seem unlikely that they would be capable in one generation of crossing the considerable distance into the Western Indian Ocean and becoming established there as adult eels.

The collection also contains certain species which occur both in the north and in the south. These are almost exclusively larvae of deepwater species (e. g. *Nemichthys scolopaceus*, *Cyema alrum*, many of the nettastomatids) with one notable exception (*Ariosoma maurilianum*). The latter is more characteristic of the south but occurs in moderate numbers in the far north suggesting that in its larval form at least, the species can tolerate water of varying temperature and salinity. The species is known to be widely distributed in the southwest Pacific as well as throughout the western Indian Ocean.

Knowledge of the distribution of eel-larvae in the southwest Pacific is now considerable. Many species occurring in the present collection are known also from the southwest Pacific although it seems clear that there are distinct spawning areas of the adults in each region. There may be some interchange of individuals between the two areas, either as larvae or as adults. However, adults of species common to the two areas are so poorly known in the eastern Indian Ocean that it is a matter of speculation just how similar they are to those of the southwest Pacific. Close comparison of adults might possibly give a lead to whether there is much interchange between these two oceanic areas. Tropical influence appears to extend less to the south in the eastern Indian Ocean than in the southwest Pacific, possibly due to the inhibiting effect of northward moving subtropical waters.

#### XI. SUMMARY

1. Eel-larvae (leptocephali) are abundant in subsurface waters of the eastern Indian Ocean, a hitherto poorly-known oceanic area for this group of fishes. The abundance of larvae is not reflected by a large adult eel-fauna, but this is undoubtedly because of insufficient knowledge and collections of adult forms in this area. The present collection of larvae is very much more diverse than the known adult fauna and suggests that considerable additions to this fauna can be expected.

2. The area showing the greatest diversity of species is that immediately south of Java, from which the tropical component of the collection originates and moves southwards along 110° E. during early winter, in company with moderate to high temperature, low salinity, tropical waters to about 26° S.

3. This tropical component is rich in larval muraenids, ophichthids, certain congrid, and others. These arise from a spawning of essentially tropical species at about 100m in water of moderate temperature (18 °C.) but low salinity (34.50 ‰) immediately south of Java during midwinter. The muraenids and ophichthids tend to remain in the far north where growth to metamorphosis is rapid, but other species, particularly congrid, are capable of longer larval life and move southwards. They appear later in the year in intermediate latitudes as sometimes very large larvae.

4. Larval diversity is very much less in southern latitudes of 24° S. to 32° S. where there is an almost complete dominance of two congrid species: *Ariosoma mauritianum* (Pappenheim) and *Gnathopis habenatus* (Richardson). These two species make up the major portion of the subtropical-temperate component of the collection which arises in a southerly spawning area west of Perth, again in waters of moderate temperature (18 °C.) but of relatively high salinity (35.50 ‰). Spawning of these southern species also takes place in midwinter and the developing larvae may move northwards to about 12° S. to 16° S. under the influence of the northward movement of the South Indian Central moderate temperature high salinity water mass.

5. There is thus a latitudinal overlap of northern and southern components in intermediate latitudes around 20° S. to 26° S. but the two are probably always distinct, though at different depths in the upper 200m-300m.

6. Also present in the collection are larvae of mainly deepwater species which may occur anywhere along 110° E. and thus seem independent of the influence of tropical or subtropical waters.

7. There is considerable escapement of very small larvae from the Isaacs-Kidd midwater trawl so that figures for biomass and larval numbers from hauls taken in the area by this gear must be viewed as minimal estimates.

8. Larvae are clearly smaller and more abundant in the far north and south of 110° E. during midwinter, indicating the proximity of these larvae to the spawning areas of the adults. Larger larvae of many species occur in intermediate latitudes during spring, summer and autumn. It is here that metamorphosis of *Ariosoma mauritianum* occurs, possibly initiated by changes in temperature and salinity of its environment, due to the intrusion of different water masses.

9. Biomass of eel-larvae is greatest during early winter at 26° S. but other maxima occur in early winter from 9° S. to 17° S. and at 23° S. during midsummer.

10. The seasonal and latitudinal distribution of eel-larvae along 110° E. and the location of spawning areas is largely governed by the location and movements of associated water masses, the main physical determinants being temperature and salinity. Eddy conditions may also determine whether the larvae of particular species remain in the spawning area throughout larval life.

11. There is an apparent strong dominance of the Congridae in the eastern Indian Ocean but this may only be a reflection of the location of hauls, congrid larvae being more characteristic of southern latitudes here. The Nettastomatidae, Muraenidae and Ophichthidae are also features of the area.

12. Comparison with samples made in the southwest Pacific shows that the tropical component extends further to the south in the latter area. This is no doubt related to a more southerly influence of tropical water masses in the Pacific as compared with the inhibiting effect of northward moving subtropical water in the eastern Indian Ocean.

#### ACKNOWLEDGEMENTS.

I wish to thank the authorities of the Centre O.R.S.T.O.M., Nouméa, for allowing me to study the collection. M. Michel LEGAND, marine biologist of this institution, initially discussed the project with me and has made many helpful suggestions throughout. Technical aid was provided by a grant from the Internal Research Fund of Victoria University of Wellington, New Zealand. The study was completed at the J.L.B. Smith Institute of Ichthyology, Rhodes University, Grahamstown, South Africa, during the tenure of an Anglo American Corporation of South Africa Advanced Research Fellowship.

#### LITERATURE CITED

- BAUCHOT (M.L.), 1959. — Étude des larves leptocephales du groupe *Leptocephalus lanceolatus* Strömman et identification à la famille des Serrivomeridae. *Dana Rep.*, 48, 1-148, 105 fig., 2 pl.
- BRUUN (A. F.), 1937. — Contributions to the life histories of the deep sea eels: Synaphobranchidae. *Dana Rep.*, 9, 1-31, 17 fig., 1 pl.
- CASTLE (P. H. J.), 1963a. — Anguillid leptocephali in the Southwest Pacific. *Zool. Publ. Vict. Univ. New Zeal.*, 33, 1-14, 3 fig.
- CASTLE (P. H. J.), 1963b. — The systematics, development and distribution of two eels of the genus *Gnathophis* (Congridae) in Australasian waters. *Zool. Publ. Vict. Univ. New Zeal.*, 34, 15-47, 10 fig.
- CASTLE (P. H. J.), 1964a. — Congrid leptocephali in Australasian waters with descriptions of *Conger wilsoni* (Bl. & Schn.) and *C. verreauxi* Kaup. *Zool. Publ. Vict. Univ. New Zeal.*, 37, 1-45, 11 fig.
- CASTLE (P. H. J.), 1964b. — Eels and eel-larvae of the *Tai* Oceanographic Cruise 1962, to the South Fiji Basin. *Trans. r. Soc. New Zeal., Zool.*, 5 (7), 71-84, 1 fig., 1 tab.
- CASTLE (P. H. J.), 1965a. — Leptocephali of the Nemichthyidae, Serrivomeridae, Synaphobranchidae and Nettastomidae in Australasian waters. *Trans. r. Soc. New Zeal., Zool.*, 5 (11), 131-146, 2 fig.
- CASTLE (P. H. J.), 1965b. — Muraenid leptocephali in Australasian waters. *Trans. r. Soc. New Zeal., Zool.*, 7 (3), 57-84, 3 fig.

- CASTLE (P. H. J.), 1965c. — Ophichthid leptocephali in Australasian waters. *Trans. r. Soc. New Zeal., Zool.*, 7 (6), 97-123, 3 fig.
- CASTLE (P. H. J.), 1965d. — Moringuid leptocephali in Australasian waters. *Trans. r. Soc. New Zeal., Zool.*, 7 (7), 125-133, 1 fig.
- CASTLE (P. H. J.), 1966. — Les leptocephales dans le Pacifique sud-ouest. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*, 4 (4), 51-71, 5 fig.
- C.S.I.R.O. AUST, 1965a. — Oceanographical observations in the Indian Ocean in 1963. H.M.A.S. *Gascoyne* Cruise G1/63. (Seasonal biological cruise No. 3). *C.S.I.R.O. Austral. Oceanogr. Cruise Rep.*, 21, 1-135.
- C.S.I.R.O. AUST, 1965b. — Oceanographical observations in the Indian Ocean in 1963. H.M.A.S. *Diamantina* Cruise Dm1/63. (Seasonal biological cruise No. 4). *C.S.I.R.O. Austral. Oceanogr. Cruise Rep.*, 23, 1-175.
- C.S.I.R.O. AUST, 1965c. — Oceanographical observations in the Indian Ocean in 1963. H.M.A.S. *Diamantina* Cruise Dm2/63. (Seasonal biological cruise No. 5). *C.S.I.R.O. Austral. Oceanogr. Cruise Rep.*, 24, 1-153.
- C.S.I.R.O. AUST, 1965d. — Oceanographical observations in the Indian Ocean in 1963. H.M.A.S. *Diamantina* Cruise Dm3/63. (Seasonal biological cruise No. 6). *C.S.I.R.O. Austral. Oceanogr. Cruise Rep.*, 25, 1-147.
- C.S.I.R.O. AUST, 1966a. — Oceanographical observations in the Indian Ocean in 1962. H.M.A.S. *Gascoyne* Cruise G4/62. (Seasonal biological cruise No. 1). *C.S.I.R.O. Austral. Oceanogr. Cruise Rep.*, 17, 1-151.
- C.S.I.R.O. AUST, 1966b. — Oceanographical observations in the Indian Ocean in 1962. H.M.A.S. *Diamantina* Cruise Dm3/62. *C.S.I.R.O. Austral. Oceanogr. Cruise Rep.*, 18, 1-89.
- C.S.I.R.O. AUST, 1967. — Oceanographical observations in the Indian Ocean in 1962. H.M.A.S. *Diamantina* Cruise Dm4/62. (Seasonal biological cruise No. 2). *C.S.I.R.O. Austral. Oceanogr. Cruise Rep.*, 20, 1-138.
- HAMON (B. V.), 1965. — Geostrophic currents in the southeastern Indian Ocean. *Austral. J. Mar. Freshw. Res.*, 16 (3), 255-271, 18 fig., 2 tab.
- JESPERSEN (P.), 1942. — Indo-Pacific leptocephalids of the genus *Anguilla*. Systematic and biological studies. *Dana Rep.*, 22, 1-127, 83 fig., 4 pl.
- LEA (E.), 1913. — Muraenoid larvae from the « Michael Sars » North Atlantic Deep-sea Expedition, 1910. *Rep. Sci. Res. Sars. Exped.*, 3 (1), 1-48, 38 fig., 6 pl.
- MICHEL (A.), 1968. — Dérive des larves de Stomatopodes de l'est de l'Océan Indien. *Cah. O.R.S.T.O.M., Sér. Océanogr.*, 6 (1), 13-41.
- ROCHFORD (D. J.), 1962. — Hydrology of the Indian Ocean. 11. The surface waters of the south-east Indian Ocean and Ocean and Arafura Sea in the spring and summer. *Austral. J. Mar. Freshw. Res.*, 13 (3), 226-251, 18 fig., 2 tab.
- ROCHFORD (D. J.), 1965. — Rapid changes in the characteristics of the deep salinity maximum of the south east Indian Ocean. *Austral. J. Mar. Freshw. Res.*, 16 (2), 129-149, 15 fig., 5 tab.
- ROCHFORD (D. J.) (in press). — Oceanographic study along 110°E. August 1962-August 1963. Part 2. Hydrological structure of the upper 500 m. *Austral. J. Mar. Freshw. Res.*
- ROULE (L.), BERTIN (L.), 1929. — Les poissons apodes appartenant au sous-ordre des Nemichthyidiformes. *Dana Rep.*, 1 (4), 1-113, 57 fig., 9 pl.
- TRANter (D. J.), 1962. — Zooplankton abundance in australasian waters. *Austral. J. Mar. Freshw. Res.*, 13 (2), 106-142, 9 fig., 14 tab.
- WHITLEY (G. P.), 1948. — List of the fishes of Western Australia. *Fish. Bull. Fish. Dept. West. Aust.*, 2, 5-35, 1 chart.
- WYRTKI (K.), 1962a. — Geopotential topographies and associated circulation in the south-eastern Indian Ocean. *Austral. J. Mar. Freshw. Res.*, 13, 1-17, 16 fig.
- WYRTKI (K.), 1962b. — The upwelling in the region between Java and Australia during the south-east monsoon. *Austral. J. Mar. Freshw. Res.*, 13 (3), 217-225, 9 fig.

○

○

↑

## SUR L'ÉVOLUTION DE LA RELATION TEMPÉRATURE-SALINITÉ EN UN POINT FIXE, A L'ÉQUATEUR, DANS LE PACIFIQUE OCCIDENTAL, PENDANT UNE PÉRIODE DE 6 JOURS

par J. MERLE et J. NOEL

### RÉSUMÉ

*Un diagramme T-S représentant les observations faites au cours d'une station de 6 jours en un point fixe sur l'équateur et 170° E, présente une évolution dans le temps. Les évolutions à longue période caractéristiques de la partie supérieure de la courbe T-S seraient dues aux courants importants existant dans cette couche.*

*Les évolutions à courte période et de faible amplitude, caractérisant la partie inférieure du diagramme T-S seraient dues à une composante horizontale du mouvement des masses d'eau sous l'effet d'ondes de marée.*

### SUMMARY

*A T-S diagram giving the observations made at a fixed station, during 6 days, at the equator and 170° E, shows a time variation. The long period variations which are characteristic of the upper part of the T-S curve, could be related to the important zonal currents which are found in this layer. The short period evolutions of smaller amplitude which characterize the deeper part of the curve, could be due to a horizontal component of the movements of the water masses under the influence of the tidal waves.*

Une croisière effectuée par le N. O. CORIOLIS du Centre O.R.S.T.O.M. de Nouméa a permis d'occuper une station prolongée d'une durée de 6 jours en un point fixe à l'équateur (0°36 S et 170° E). Une palanquée hydrologique était effectuée toutes les 4 heures, comportant 20 niveaux de prélèvements de la surface à la profondeur de 1 000 mètres. Un total de 38 palanquées a donné 750 couples de mesures de la température et de la salinité. La précision des mesures a été de  $\pm 0,02^\circ$  C pour la température et  $\pm 0,002$  ‰ pour la salinité. L'ensemble de ces mesures a été reporté sur un même diagramme T-S (fig. 1). L'analyse détaillée de ce diagramme T-S d'ensemble nous a permis de déceler des évolutions de la relation T-S au cours des 6 jours de station fixe. Nous distinguons deux types d'évolutions différentes qui correspondent à deux parties bien distinctes du diagramme T-S global.

26 JUIN 1966

~~O. R. S. T. O. M. Fonds Documentaire~~

~~N° : 20 213~~

~~Cote : A~~

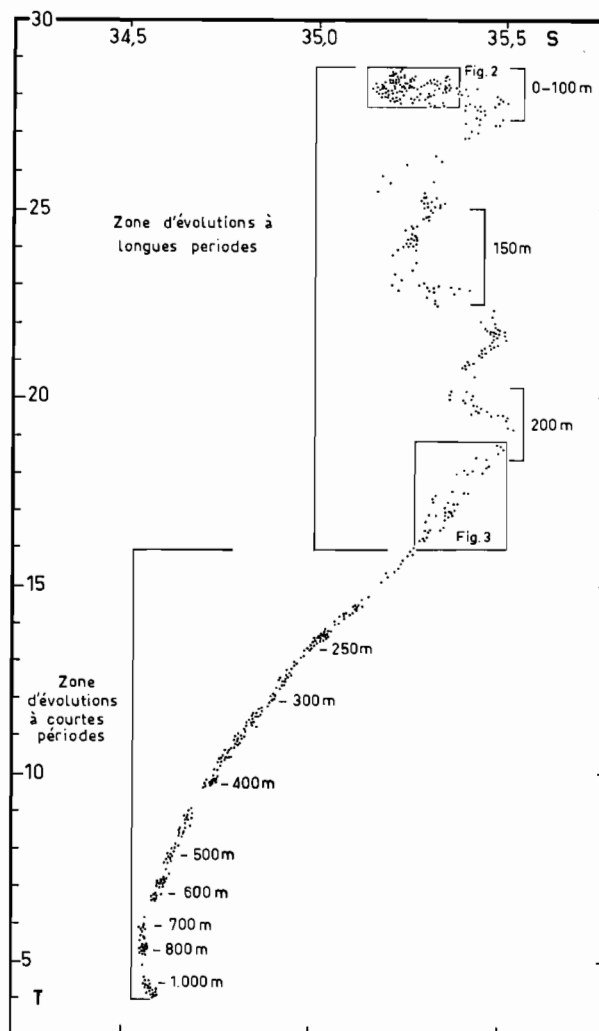


Fig. 1. — Diagramme T-S global.

La partie supérieure du diagramme T-S comprise entre les températures 29 °C et 16 °C et relative à des profondeurs de 0 à 230 mètres environ montre des évolutions d'amplitude importante et à longue période (période supérieure à 6 jours).

La partie inférieure du diagramme T-S comprise entre les températures de 16 °C et 4 °C, et correspondant à des profondeurs de 230 à 1 000 mètres, montre des évolutions d'amplitude plus faibles et à période plus courte (voisines de 12 heures).

Dans la tranche d'eau de 0 à 230 mètres de profondeur correspondant à la partie supérieure du diagramme T-S où les évolutions sont les plus importantes et à longue période, le diagramme T-S présente une succession de maxima et de minima de la salinité. Cette structure complexe associée à un étalement important en température donne une densité de point T-S insuffisante pour suivre dans l'ensemble de cette zone une évolution continue de la relation T-S. Cependant dans deux couches particulières cette évolution continue peut être suivie.

La première est la couche de surface de 0 à 100 mètres (fig. 2). Dans cette couche une évolution continue apparaît nettement au niveau 50 mètres. Cette évolution s'accompagne d'une

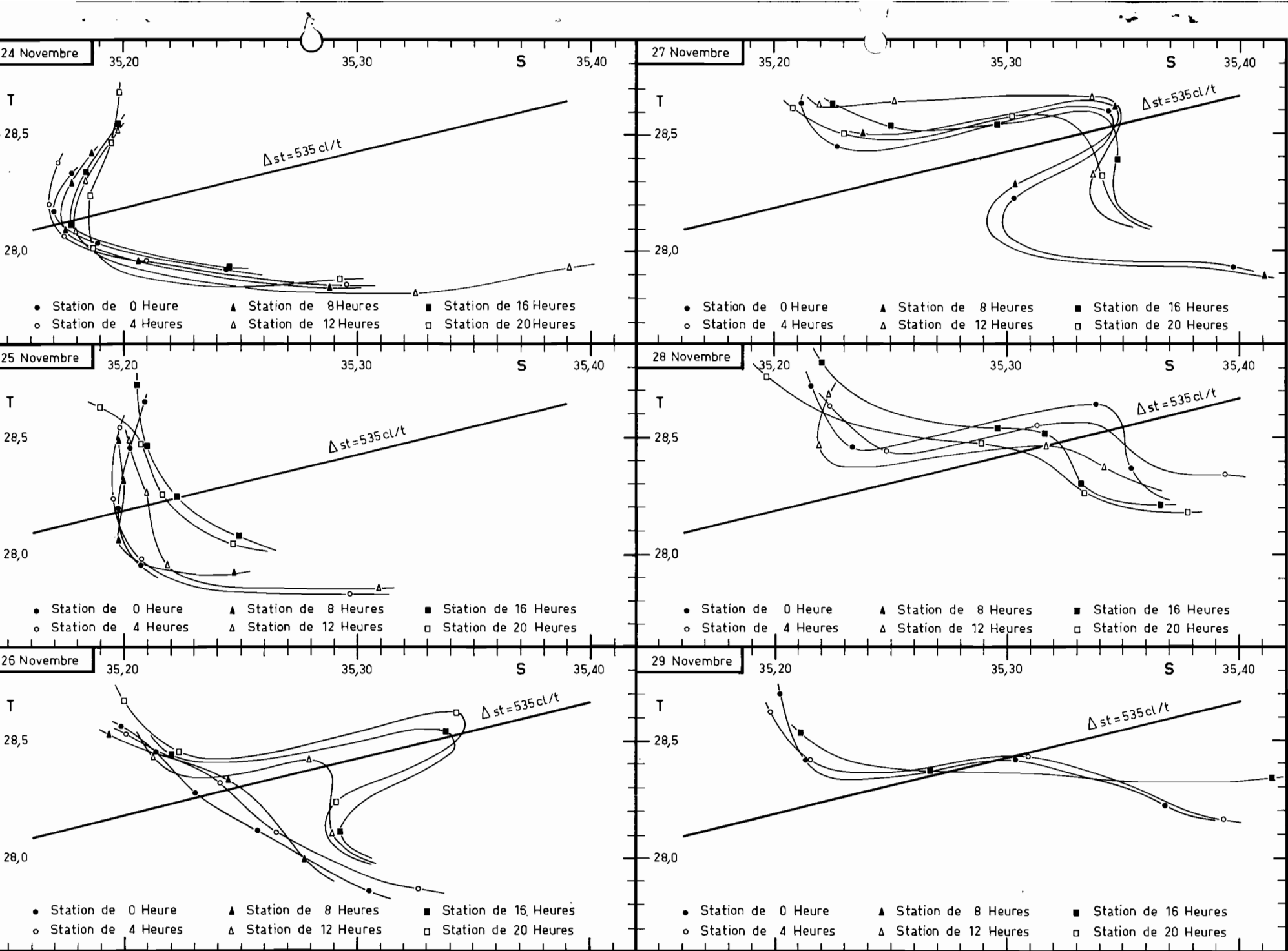


Fig. 2. — Évolution à longue période de la zone de surface (0-100 mètres).

inversion de température que l'on peut suivre pendant deux jours et demi. Elle s'amorce le 26 novembre à 12 heures, atteint son maximum d'amplitude (0,2 °C) le 27 novembre à 0 heure et se maintient jusqu'au 29 novembre à 4 heures. Il est intéressant de noter que l'axe de cette déformation est parallèle au réseau des isopycnes; on est donc en présence d'une évolution isentropique des caractères hydrologiques. Remarquons encore que les points T-S correspondant aux prélèvements voisins de la surface sont très peu dispersés; les caractères hydrologiques de la surface sont donc demeurés sensiblement permanents pendant les 6 jours de mesure. L'évolution importante constatée au niveau 50 mètres n'est donc pas due à des perturbations d'origine météorologique ayant transité à travers la surface.

La deuxième couche où l'on a pu suivre une évolution importante et à longue période de la relation T-S est située entre les profondeurs moyennes de 200 et 230 mètres et correspond à la portion de la courbe T-S comprise entre 19° et 16° (fig. 3). Pour une température donnée, la salinité décroît régulièrement du 24 au 29 novembre.

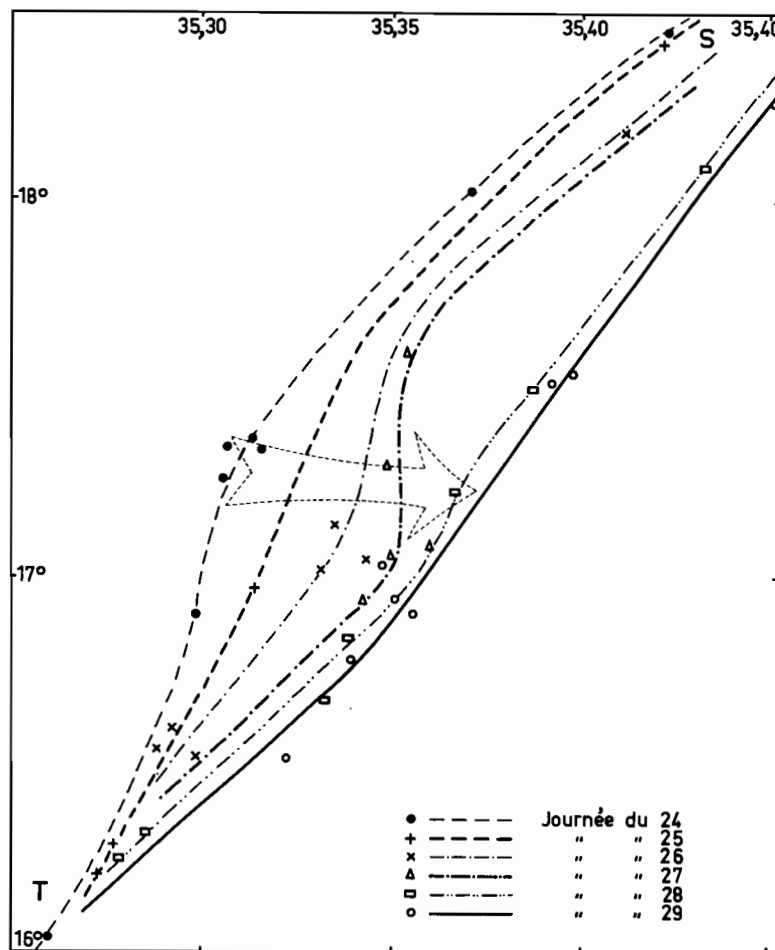


Fig. 3. — Évolution à longue période de la zone 19° C-16° C.

Entre ces deux couches particulières, où la continuité de l'évolution peut être clairement suivie, une évolution à longue période est également probable mais moins apparente du fait de l'étalement en température des points de mesure T-S.

La partie inférieure du diagramme T-S entre 16 °C et 4 °C et correspondant aux profondeurs comprises entre 250 et 1 000 mètres montre aussi des évolutions dans le temps mais d'amplitude

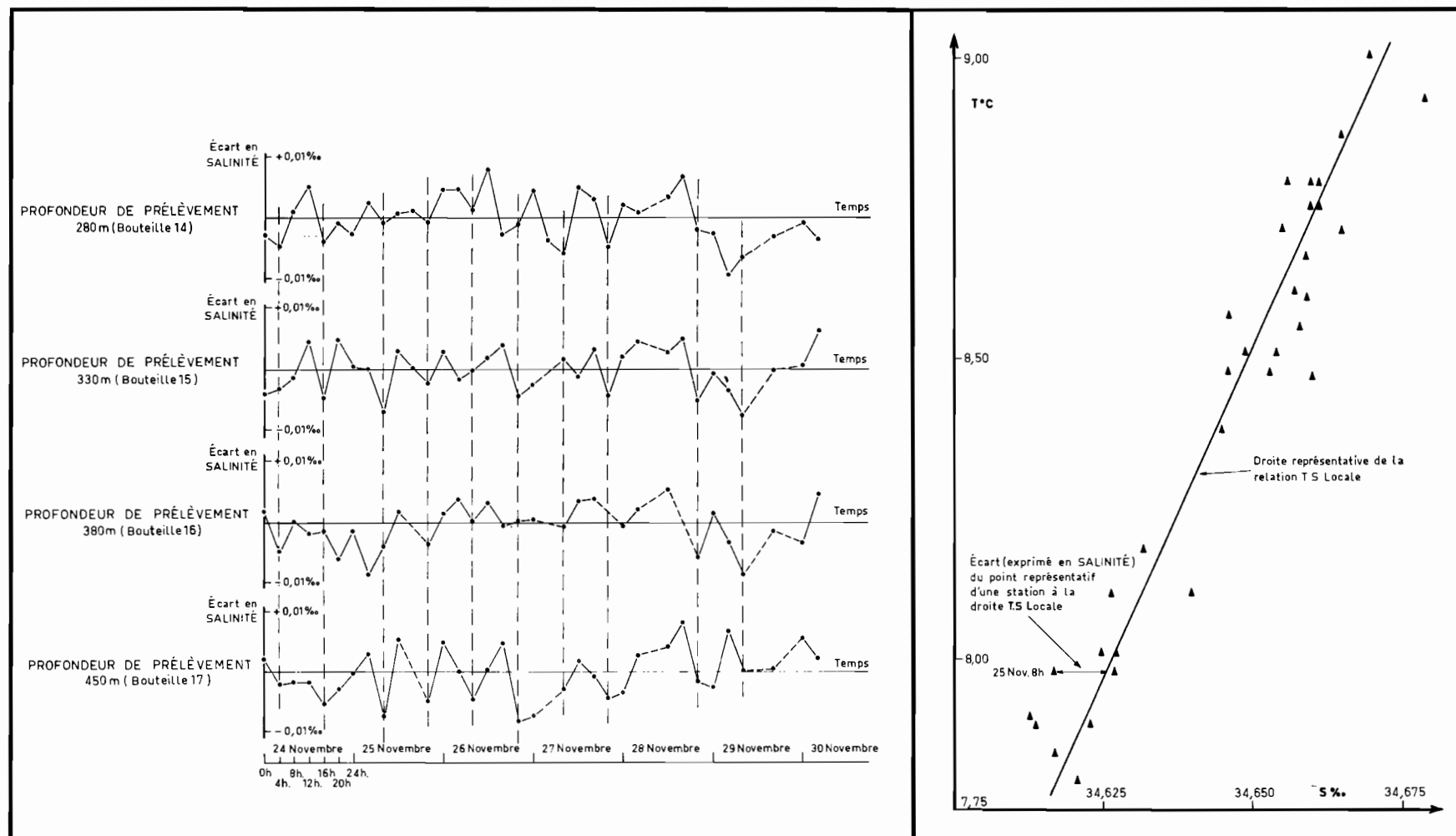


Fig. 4a. — Ensemble des points correspondant à une profondeur de prélèvement (450 mètres). Droite représentative de la relation T-S pour cet ensemble de points.

Fig. 4b. — Courbes d'évolution locale de la relation T-S à quatre profondeurs de prélèvement (280, 330, 380 et 450 mètres).

plus faible et de période beaucoup moins longue. Pour mettre en évidence ces évolutions, nous avons considéré, sur le diagramme T-S global, quatre ensembles de points T-S correspondant à quatre profondeurs de prélèvement (les profondeurs 280, 330, 380 et 450 mètres). Ces ensembles de points T-S définissent chacun une relation T-S locale représentée par un segment de droite que l'on peut construire par la méthode des moindres carrés (fig. 4a). En individualisant ensuite par station donc par rapport au temps chaque point T-S au segment de droite, et en mesurant les écarts (exprimés en salinité) de ces points T-S au segment de droite, on peut étudier la variation de ces écarts en fonction du temps ; on obtient ainsi des courbes d'évolution locale de la relation T-S dans le temps (fig. 4b). Les quatre courbes obtenues, pour les quatre profondeurs de prélèvement, sont semblables, ce qui confirme que la dispersion observée des points T-S n'est pas aléatoire ; ces quatre courbes montrent une périodicité voisine de 12 heures.

Les évolutions à longue période et à amplitude importante caractéristiques de la partie supérieure du diagramme T-S ont sans doute leur origine dans les mouvements advectifs des masses d'eau ; en effet des courants importants et variables en direction et intensité ont été mesurés aux mêmes profondeurs, au cours de la même croisière ; cependant il n'a pas été possible de dégager de relations nettes entre l'évolution de la vitesse et de la direction de ces courants et l'évolution des caractères hydrologiques des masses d'eau aux mêmes profondeurs.

Les évolutions à courte période et à faible amplitude caractéristiques de la partie inférieure du diagramme T-S sont à rapprocher des ondes internes de même période (12 heures), observées en même temps. La composante verticale du mouvement des masses d'eau sous l'effet d'ondes internes ne peut pas affecter la relation T-S le long de cette même verticale ; seules les composantes horizontales de ce mouvement dans une zone où les gradients horizontaux sont importants peuvent amener des eaux de caractéristiques T-S différentes au point d'observation et ainsi provoquer une modification de la courbe T-S ; les gradients horizontaux ont pu être estimés, dans la direction Nord-Sud, à partir des données d'une croisière ultérieure (CYCLONE 2) ; dans la zone équatoriale nous avons trouvé à ces profondeurs des gradients de salinité de 0,20 ‰ par degré de latitude. L'amplitude moyenne des oscillations de la relation T-S que nous avons observées est de 0,01 ‰ (fig. 4b) ; pour obtenir un tel écart il faut donc un déplacement des eaux de 3 milles ce qui conduit à une vitesse moyenne de déplacement de 0,5 nœud. Cette vitesse bien qu'importante, reste d'un ordre de grandeur vraisemblable. On peut donc avancer que les oscillations périodiques observées de la relation T-S avec la période de la marée sont la trace des composantes horizontales du mouvement des masses d'eau sous l'effet d'onde de marée. Ces évolutions à courte période dues aux ondes de marée doivent être également présentes dans la partie supérieure de la courbe T-S mais elles sont masquées par les évolutions à forte amplitude et à longue période dues aux courants.

11

10

10

## REMARQUES SUR LE COURANT DE CROMWELL\*

par H. ROTHSCHI\*\* et B. WAUTHY\*\*\*

### RÉSUMÉ

Tout le long de l'équateur, dans l'Océan Pacifique, on trouve une couche dans laquelle la teneur en oxygène est pratiquement constante et qui est associée au noyau du courant de Cromwell. A la limite supérieure de cette couche, correspondant à une anomalie thermostérique proche de 230 cl/t dans la partie orientale et de 400 cl/t dans la partie occidentale, on a un minimum de la teneur en oxygène ; à la limite inférieure, proche de 160 cl/t, on a un maximum de cette teneur. Mais dans cette couche, les teneurs en phosphate, nitrate et gaz carbonique total augmentent avec la profondeur croissante et les rapports de reminéralisation apparente sont très bas, impliquant une consommation apparente d'oxygène par atomes de phosphore, d'azole, de carbone reminéralisés à peu près deux fois plus faible que sa valeur théorique ; ces rapports bas ne se retrouvent ni au-dessus ni au-dessous de cette couche et sont très proches de ceux qui existent en mer du Corail et dans le Pacifique Central Sud dans la couche de mélange entre l'eau subtropicale du Pacifique Sud et l'eau Antarctique intermédiaire.

La partie supérieure du noyau du courant de Cromwell peut être formée d'eau subtropicale du Pacifique Sud et d'eau du contre-courant équatorial ; la partie inférieure semble alimentée par de l'eau en provenance de la mer du Corail.

### ABSTRACT

All along the equator, in the Pacific Ocean, there is a layer in which the oxygen concentration is practically constant and which is associated to the core of the Cromwell current. At the top of this layer, where the thermosteric anomaly is close to 230 cl/t in the eastern Pacific and to 400 cl/t in the

---

\* Les auteurs de langue anglaise tendent de plus en plus à utiliser l'expression « equatorial undercurrent » en remplacement de « Cromwell current » qu'ils contestent pour des raisons de chronologie. Comme équivalents en français de « equatorial undercurrent », nous pourrions proposer :

a « sous-courant équatorial » ; difficilement utilisable car dans l'acception normale du mot « sous », ce terme ne désigne pas automatiquement un courant ; il faudrait préciser « courant sous-courant équatorial »,

b « contre-courant équatorial subsuperficiel » ; expression nouvelle désignant un courant déjà connu et risquant par conséquent d'introduire une confusion.

Dans ces conditions les auteurs préfèrent s'en tenir provisoirement à « courant de Cromwell », traduction littérale de l'ancienne dénomination anglo-saxonne qui ne souffre d'aucune ambiguïté.

\*\* Océanographe, Centre O.R.S.T.O.M. de Nouméa.

\*\*\* Océanographe, Centre O.R.S.T.O.M. de Nouméa.

26 JUIN 1986

O. R. S. T. O. M. Fonds Documentaire

N° : 20 314

Cote : A

*western Pacific, there is a minimum of the oxygen concentration; at the bottom, close to 160 cl/l there is a maximum. But, in that layer, the concentration of phosphate, nitrate and total carbon dioxide increases with depth and the apparent remineralization ratios are extremely low, implying an apparent oxygen consumption per atom of remineralized phosphorus, nitrogen or carbon about half its theoretical value; such low ratios are not found in the overlying and underlying waters and are very close to those which exist in the Coral Sea and in the central south Pacific in the mixed layer between the south Pacific subtropical water and the Antarctic intermediate water.*

*The upper part of the core of the Cromwell current can be formed with south Pacific subtropical water and water of the north-equatorial countercurrent; the lower part seems to be made up with water from the Coral Sea.*

## INTRODUCTION

Du 24 novembre 1964 au 8 mars 1965, le N. O. CORIOLIS du Centre O.R.S.T.O.M. de Nouméa a exécuté une croisière transpacifique, la croisière « ALIZÉ », le long de l'équateur, entre les îles Galapagos et le nord de la Nouvelle-Guinée.

67 stations hydrologiques furent occupées, dont 35 entre le 24 novembre et le 12 décembre, à l'est de 140° W et 32, du 18 février au 8 mars, à l'ouest de 140° W. Ces stations, réparties entre 86° W et 160° E, furent distantes de 75 à 90 milles : avec un prélèvement à 24 niveaux, elles atteignirent 3.500 m à l'est de 165° W et 1.200 m à l'ouest. A chaque station la température, la salinité, le pH, l'alcalinité, la concentration de l'oxygène, du phosphore réactif (STRICKLAND et PARSONS, 1965) et du nitrate furent déterminés.

L'ensemble des observations recueillies (ROTSCHI et al., 1967) permet une description de la zone équatoriale du Pacifique beaucoup plus détaillée que celle d'AUSTIN (1958) basée seulement sur 24 stations pour la période allant de juillet à décembre et sur 15 stations pour celle allant de janvier à juin ; de plus, elles représentent une séquence beaucoup plus resserrée dans le temps puisque chacune des deux parties de la croisière fut exécutée en 20 jours, alors que les données utilisées par AUSTIN couvrent une période de plusieurs années.

Dans l'hypothèse où les conditions océanographiques ne varient pas trop rapidement, les coupes de répartitions verticales qu'il est possible de construire donnent une assez bonne représentation instantanée. De plus, si AUSTIN a pu mettre en évidence certaines caractéristiques essentielles de la distribution, comme l'existence tant en été (juillet-décembre) qu'en hiver (janvier-juin) d'un minimum d'oxygène vers 450 m de profondeur où la concentration de ce gaz croît d'est en ouest et qui disparaît vers 165° E, il n'a pas dégagé les traits de distribution qui peuvent être dus à la circulation zonale et aux origines variées des différentes masses d'eau entrant dans la composition de la masse dite équatoriale.

La répartition verticale de l'oxygène observée au cours de la croisière « ALIZÉ » (fig. 1) indique bien l'extension d'est en ouest, jusque vers 160° E, d'un minimum d'oxygène ; la profondeur de son noyau, de l'ordre de 400 m, varie peu avec la longitude sauf entre 120° W et 160° W où elle est maximale et proche de 500 m ; mais à l'ouest de 170° W, l'épaisseur de la couche à teneur minimale est très faible.

Une autre caractéristique importante de cette distribution est l'existence, entre les isolignes 4 ml/l et 2 ml/l, d'une couche homogène de plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur. La profondeur moyenne de cette couche augmente d'est en ouest et vers 160° E elle est de l'ordre de 250 m ; de même, la concentration de l'oxygène y croît d'est (moins de 3 ml/l à l'est de 130° W) en ouest (plus de 3,20 ml/l à l'ouest de 170° W).

Bien qu'aucune mesure de courants n'ait été faite pendant la croisière « ALIZÉ », cette couche où le gradient vertical de la concentration de l'oxygène est très faible est évidemment plus ou moins étroitement associée au noyau du courant de Cromwell (KNAUSS, 1960) ; les varia-

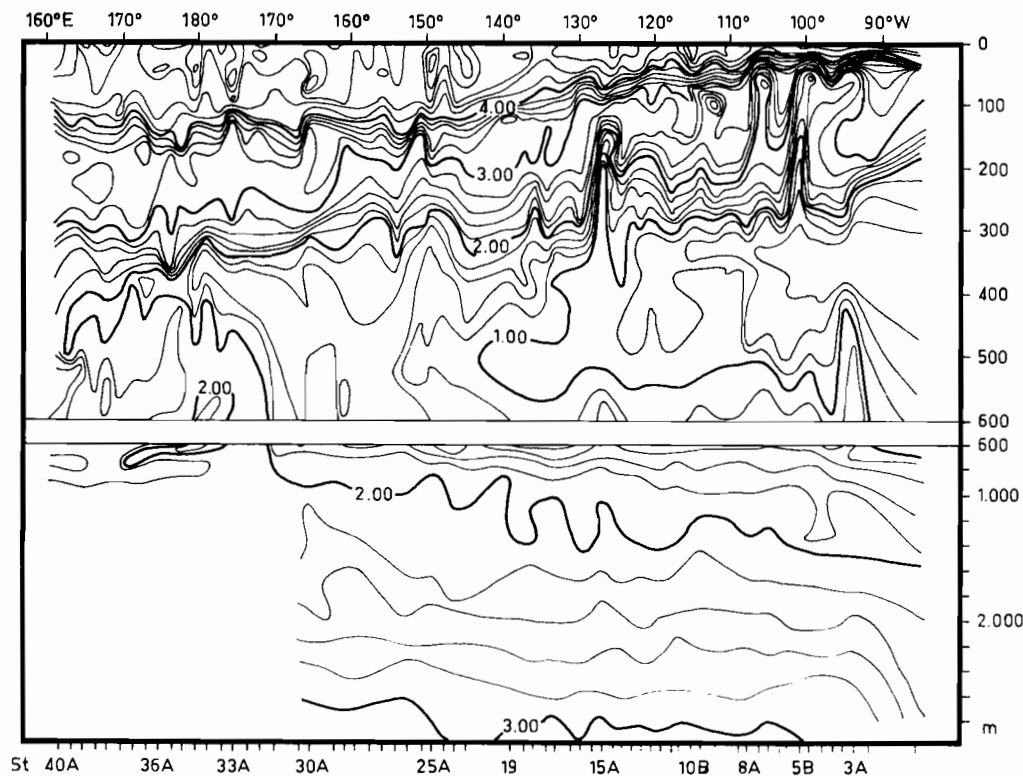


Fig. 1. — Répartition verticale de l'oxygène le long de l'équateur d'après la croisière « Alizé » du N. O. Coriolis, novembre 1964-mars 1965.

tions en longitude de sa profondeur et de son épaisseur sont conformes à ce que l'on sait des variations de profondeur et d'épaisseur du courant de Cromwell (ISTOSHIN et KALASHNIKOV, 1965).

Cependant, la distribution verticale de l'oxygène et des sels nutritifs, particulièrement dans la couche homogène en oxygène, a d'autres caractères et leur étude conduit à d'intéressantes conclusions relatives à la formation du courant de Cromwell.

### CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES DES EAUX ÉQUATORIALES

#### Distribution verticale de l'oxygène :

Les eaux trouvées à moins de  $1^{\circ}$  de latitude de part et d'autre de l'équateur présentent une stratification très nette de la distribution de l'oxygène dissous en fonction de la profondeur. Plusieurs couches caractéristiques peuvent être mises en évidence (fig. 2) :

1<sup>o</sup> une couche superficielle, où la teneur en oxygène est maximale et varie peu avec la profondeur, a une épaisseur qui croît de quelques mètres à l'est à une centaine de mètres à l'ouest (tableau 1) ; elle est pratiquement isotherme, isohaline et, à l'ouest de  $140^{\circ}$  W, sursaturée en oxygène ;

2<sup>o</sup> dans une deuxième couche, dont la profondeur moyenne croît d'est en ouest, le gradient vertical de l'oxygène est élevé, et de l'ordre de 0,015-0,035 ml/l/m ; cette couche de transition est associée au sommet de la thermocline ;

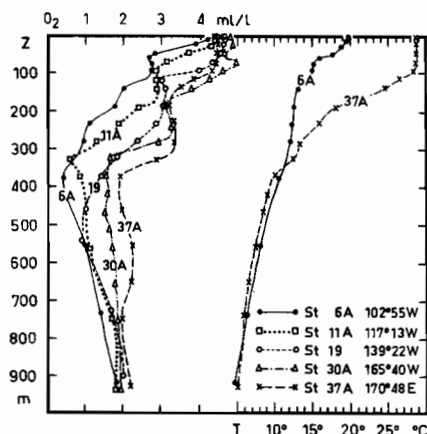


Fig. 2. — Variations avec la profondeur de la concentration de l'oxygène dissous et de la température en quelques points de l'équateur.

3° cette couche de transition limite vers le haut une troisième couche à peu près homogène dont l'épaisseur, la profondeur et la teneur moyenne en oxygène croissent d'est en ouest ; à 103° W (st. 6 A) la profondeur moyenne est de 75 m, l'épaisseur 60 m et la concentration moyenne 2,75 ml/l ; à 171° W (st. 37A) ces valeurs sont respectivement 230 m, 150 m, et 3,30 ml/l (tableau 1) ;

TABLEAU 1. — Principales caractéristiques de la stratification de la distribution verticale de l'oxygène à l'équateur.

		St 6A 102°55W	St 11A 117°13W	St 19 139°22W	St 30A 165°40W	St 37A 170°48E
Couche 1	Épaisseur m	10	25	70	100	100
	% Sat en O <sub>2</sub>	85	89	100	105	105
Couche 2	gradient vertical* ml/l/m	— 0,034	— 0,024	— 0,030	— 0,017	— 0,017
Couche 3	teneur moyenne ml/l	2,75	2,90	3,05	3,25	3,30
	profondeur moyenne m	75	125	170	210	230
	épaisseur m	60	80	100	100	150
Couche 4	gradient vertical* ml/l/m	— 0,012	— 0,012	— 0,012	— 0,026	— 0,021

\* Z positif vers le bas.

4° une quatrième couche forme la transition entre cette eau homogène et le premier minimum de la concentration en oxygène situé vers 400 m de profondeur. La profondeur moyenne de cette deuxième couche de transition croît également d'est en ouest tandis que son épaisseur décroît du fait que la profondeur du minimum variant peu, celle de la base de la couche homogène augmente vers l'ouest ; le gradient vertical de l'oxygène y est de l'ordre de 0,010-0,020 ml/l/m.

En résumé, entre la surface et le minimum de la teneur en oxygène, du point de vue de la distribution verticale de l'oxygène, il est possible d'identifier deux couches homogènes, l'une en surface, l'autre intermédiaire, limitées par deux couches de transition ; l'ensemble du système a tendance à s'épaissir et la profondeur moyenne de ces différentes couches augmente d'est en ouest.

Les hasards de l'échantillonnage et l'itinéraire quelque peu sinueux de la croisière de part et d'autre de l'équateur ne permettent malheureusement pas une étude station par station des variations avec la longitude des propriétés de ces différentes couches à l'équateur.

### Relation oxygène-phosphate le long de l'équateur.

L'étude des variations avec la longitude des diagrammes T-S et des répartitions horizontales que l'itinéraire du CORIOLIS a permis de mettre en évidence, indique que certaines stations n'appartiennent pas à proprement parler au régime équatorial. Par exemple, les distributions anormales de l'oxygène observées de 50 m à 200 m de profondeur entre 100° W et 110° W, et vers 200 m au voisinage de 125° W (fig. 1) sont dues apparemment à ce que les stations correspondantes ont été exécutées à la limite du courant de Cromwell, ce dernier étant lui-même sinueux (ROTSCHI et NOËL, 1966).

Les stations groupées selon des critères de continuité qui tiennent compte des diagrammes T-S et de la variation avec la longitude de la teneur en phosphate et en nitrate de la couche homogène superficielle ont mis en évidence quatre régions ayant chacune une relation oxygène-phosphate spécifique. Ces quatre régions s'étendent respectivement de 117° W à 126° W (st. 11A à 14A), de 130° W à 140° W (st. 16A à 19), de 156° W à 177° W (st. 27A à 33A) et de 178° W à 161° E (st. 34A à 40).

Les diagrammes  $O_2$ - $PO_4$  des valeurs observées de la teneur en oxygène et en phosphate de ces régions ont des formes similaires. Dans la couche homogène superficielle et dans la première couche de transition, la corrélation O-P est relativement proche de la relation quantitative théorique O/P par atomes égale à 276/1. Il en est de même de la deuxième couche de transition qui contient une quantité différente de phosphate préformé (fig. 3).

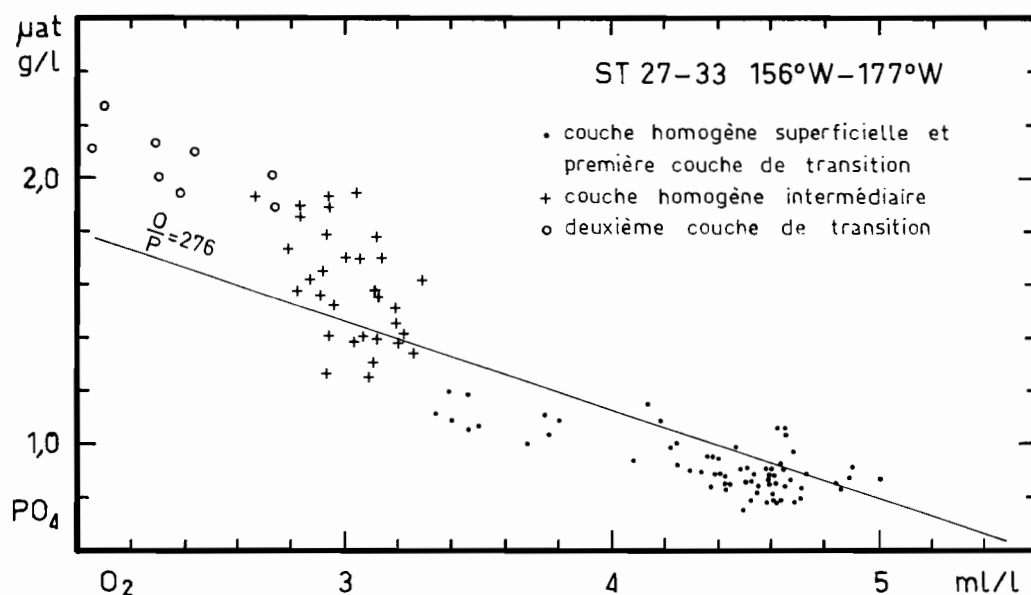


Fig. 3. — Diagramme  $O_2$ - $PO_4$  entre 156°W et 177°W.

Par contre, la couche homogène intermédiaire est nettement différenciée puisque, par exemple, entre 156° W et 177° W, la teneur en phosphate y croît avec la profondeur de près de 0,80 mat-g/m<sup>3</sup> alors que la concentration de l'oxygène est presque invariable. De plus, à la base de cette couche homogène, la densité reste quasi constante d'est en ouest et voisine de 26,4-26,3 g/l (160-170 cl/t) ; à son sommet, au contraire, la densité croît de 24,9 g/l (300 cl/t) à 160° E à 25,8 g/l (220 cl/t) à 130° W (fig. 4) ; son extension en densité décroît donc d'ouest en est de sorte qu'à l'est de 100° W, la couche à teneur constante en oxygène est également isopycne (26,3-26,4 g/l, 170-160 cl/t) ; à 100° W elle a une épaisseur observée de 170 m (73-240 m) et la teneur en oxygène de 1,66 ml/l représente un maximum relatif entre un minimum superficiel de 1,20 ml/l à 48 m et un minimum profond de 0,28 ml/l à 385 m.

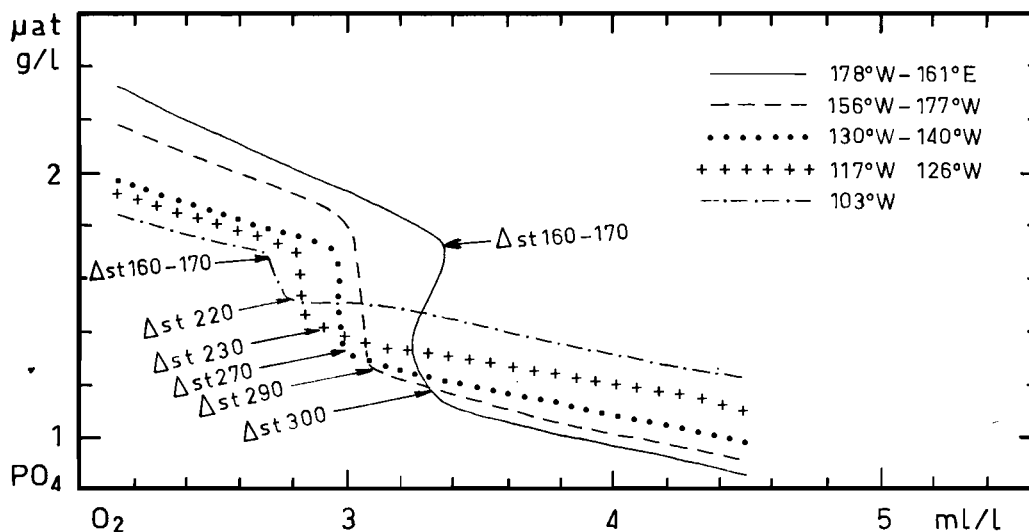


Fig. 4. — Variations schématiques d'ouest en est du diagramme O<sub>2</sub>-PO<sub>4</sub>.

Dans la partie inférieure de cette couche homogène intermédiaire, qui représente grossièrement la base du courant de Cromwell, les déplacements sont isentropiques ; mais bien que la teneur en oxygène décroisse dans le sens du courant, ce qui correspond à un vieillissement normal des eaux, la teneur en phosphate ne croît pratiquement pas ; elle aurait même tendance à décroître (fig. 4) et cette situation paradoxale mérite d'être soulignée. Au contraire, dans sa partie supérieure, la teneur en phosphate croît tandis que celle en oxygène décroît et la variation de la densité avec la longitude est directement liée au réchauffement vers l'ouest de la couche superficielle.

L'évolution d'est en ouest de la droite de régression P-O de la couche superficielle homogène et de la première couche de transition est due à l'épuisement progressif en phosphate vers l'ouest des eaux superficielles. En effet, comme l'a montré PYTKOWICZ (1964), dans une masse d'eau isolée les concentrations de l'oxygène et du phosphate sont reliées linéairement par une équation du type  $O_2 = a PO_4 + b$  où la constante  $b$  est fonction de la concentration initiale du phosphate ; cette constante  $a$  a une valeur différente dans chacune des quatre régions équatoriales mises en évidence.

Dans la deuxième couche de transition, la droite de régression P-O évolue en sens inverse, l'ordonnée à l'origine décroissant d'ouest en est ; cela est dû à l'augmentation vers l'ouest, par diffusion latérale, de la concentration de l'oxygène dans le premier minimum, vers 400 m.

L'augmentation de la concentration du phosphate, du nitrate et du gaz carbonique total dans la couche homogène en oxygène pose le problème de la formation de la masse d'eau qui la

compose et de la minéralisation de la matière organique qu'elle contient. Les diagrammes UAO- $\text{PO}_4$ , UAO- $\text{NO}_3$ , UAO- $\text{CO}_2$  (UAO représentant l'utilisation apparente de l'oxygène), indiquent que la couche homogène est clairement identifiable par des rapports apparents de minéralisation très différents de ceux des couches adjacentes (fig. 5). Dans le Pacifique oriental par contre, où la couche homogène est également isopycne, il n'y a pratiquement pas de différence notable entre cette dernière et les eaux adjacentes ; la masse équatoriale orientale comprise entre la surface et le minimum d'oxygène est donc représentée par des diagrammes UAO- $\text{PO}_4$ , UAO- $\text{NO}_3$ , UAO- $\text{CO}_2$  quasi rectilignes (fig. 6).

Une évaluation des rapports par atomes O/C/N/P à partir de ces diagrammes précise quantitativement la différence de nature des eaux formant la couche homogène et les deux couches de transition, mais elle indique également une évolution en fonction de la longitude (Tableau 2).

TABLEAU 2. — Valeurs dans différentes couches de la masse équatoriale et à différentes longitudes des rapports par atomes O/C/N/P, O/C, O/N et C/N

		117°W-126°W	130°W-140°W	156°W-177°W	178°W-161°E
1° couche de transition	O/C/N/P	797/330/29/1	697/312/26/1	620/277/25/1	557/236/23/1
	O/C	2,4	2,2	2,2	2,3
	O/N	27	26	25	24
	C/N	11,2	11,7	11,1	10,3
couche homogène en oxygène	O/C/N/P	199/146/19/1	175/141/18/1	169/132/18/1	155/129/17/1
	O/C	1,4	1,2	1,3	1,2
	O/N	11	10	9	9
	C/N	7,8	7,7	7,3	7,4
2° couche de transition	O/C/N/P	429/135/22/1	399/134/22/1	349/112/20/1	310/107/18/1
	O/C	3,2	3,0	3,0	2,9
	O/N	19	18	17	17
	C/N	6,1	6,0	5,5	5,7

Comparées aux rapports théoriques de reminéralisation O/C/N/P 276/106/16/1 par atome, les corrélations trouvées par la couche homogène indiquent un taux très faible de consommation apparente de l'oxygène par atome de phosphore, d'azote ou de carbone reminéralisé. Théoriquement les rapports O/P, O/N et O/C sont respectivement 276, 17 et 2,6 ; dans la couche homogène, les valeurs correspondantes sont de l'ordre de 150-200, 10 et 1,3. Par atome de carbone minéralisé la consommation apparente de l'oxygène est donc moitié de la consommation théorique ; elle est légèrement supérieure si on la compare à la minéralisation du phosphore ou de l'azote. En d'autres termes, la consommation de 1 ml d'oxygène qui devrait minéraliser 0,33  $\mu\text{at-g PO}_4$ , 5,2  $\mu\text{at-g NO}_3$  et 0,034 mmole  $\text{CO}_2$ , minéralise 0,45  $\mu\text{at-g PO}_4$ , 8,45  $\mu\text{at-g PO}_4$ , 9,8  $\mu\text{at-g NO}_3$ , 0,074 mmole  $\text{CO}_2$  dans le Pacifique occidental. Encore convient-il de rappeler que dans cette eau homogène, l'augmentation de la consommation apparente de l'oxygène avec la profondeur peut très bien n'être qu'un artifice de calcul ; en effet, la diminution de la température vers le bas y entraîne une augmentation de près de 1 ml/l de la solubilité de l'oxygène et rien ne permet actuellement de déterminer si la consommation biologique de l'oxygène à la base du courant est

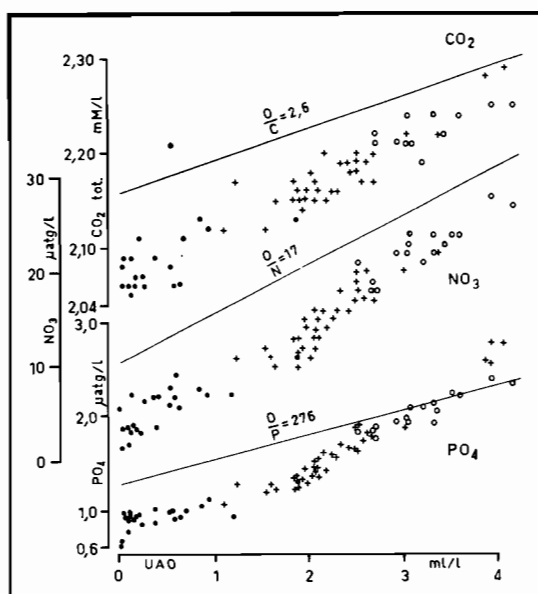


Fig. 5. — Diagrammes UAO-PO<sub>4</sub>, UAO-NO<sub>3</sub>, UAO-CO<sub>2</sub> total entre 178°W et 161°E (mêmes symboles que pour la figure 3).

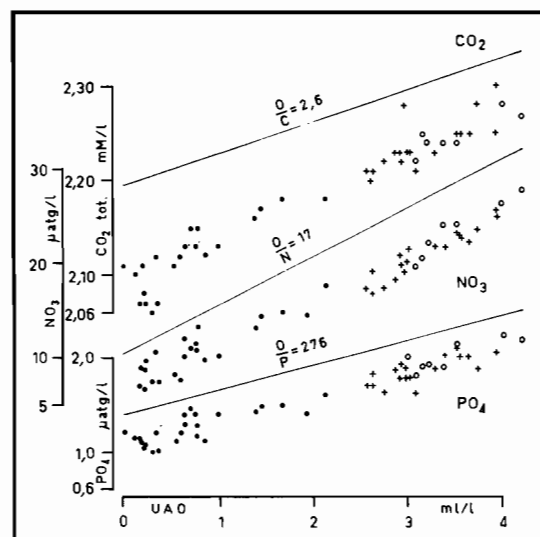


Fig. 6. — Diagrammes UAO-PO<sub>4</sub>, UAO-NO<sub>3</sub>, UAO-CO<sub>2</sub> total dans le Pacifique oriental (mêmes symboles que pour la figure 3).

effectivement plus grande que celle dans les couches supérieures. Quoiqu'il en soit, dans cette masse assez bien isolée, les rapports N/P et C/N sont très voisins des valeurs théoriques, respectivement 16 et 6,5.

Cependant, les rapports O/P, O/N, O/C augmentent d'ouest en est. Outre la variation avec la longitude de la composition de la matière organique reminéralisée dans le courant de Cromwell, une autre cause de variations est possible.

En effet, la distribution particulière de la température et des sels nutritifs dans le courant de Cromwell (KNAUSS, 1960), avec, par rapport aux eaux adjacentes, un minimum de la température et de la concentration de l'oxygène et un maximum du phosphate, du nitrate et du gaz carbonique total dans la partie supérieure du courant et une distribution inverse dans sa partie inférieure, favorise une diffusion latérale qui, par l'influence de la température sur la consommation apparente de l'oxygène aurait tendance à augmenter les rapports de minéralisation O/P, O/N et O/C ; si les effets de la diffusion augmentent d'ouest en est, ils pourraient entraîner une augmentation des rapports apparents de minéralisation. De plus, les rapports N/P, C/N variant également avec la longitude et augmentant d'ouest en est, les taux d'augmentation des rapports O/P, O/N et O/C ne sont pas les mêmes et, s'il y a diffusion dans le courant de Cromwell, ses effets pourraient être sélectifs : ils modifieraient inégalement les concentrations, la teneur en oxygène étant modifiée le plus et celle en phosphate le moins.

Dans le cas contraire, la composition de la matière organique reminéralisée devrait varier avec la longitude.

En ce qui concerne la première couche de transition, il apparaît par contre que la consommation apparente de l'oxygène est très élevée. Il en est de même, mais à un moindre degré, de la deuxième couche de transition, où l'on trouve, dans sa partie occidentale, les taux de minéralisation les plus proches des taux théoriques puisque le rapport O/C/N/P y est égal à 310/107/18/1 au lieu de 276/106/16/1. Dans ces deux couches, les rapports élémentaires O/P, O/N et O/C croissent également d'ouest en est. Dans la première couche de transition, la forte consommation

apparente de l'oxygène est due essentiellement à des rapports N/P et C/N très supérieurs aux rapports normaux tandis que dans la deuxième couche de transition c'est le rapport O/C qui en est responsable.

#### CONCLUSION.

AUSTIN (1960) a montré l'existence, entre 100° W et 140° W, d'une eau riche en oxygène, étroitement limitée à l'équateur et située entre la base de la thermocline et l'isanostré 160 cl/t ; la distribution observée de l'oxygène indique sans équivoque une origine occidentale de cette eau et son transport advectif par le courant de Cromwell.

Les résultats de la croisière « ALIZÉ » précisent que cette eau riche en oxygène est aisément identifiable à 160° E avec une concentration de l'oxygène supérieure à celle à 140° W ; de plus, elle est caractérisée par une utilisation apparente de l'oxygène donnant un rapport de minéralisation O/C voisin de 1,3, c'est-à-dire moitié de sa valeur théorique ; les rapports O/P et O/N y sont également inférieurs à leurs valeurs théoriques.

TSUCHIYA (1967) attribue à cette eau une origine en mer du Corail.

#### Extension méridienne de la couche riche en oxygène :

Les observations du N. O. CORIOLIS à 170° E au cours de la croisière « BORA 4 » d'octobre 1966 et à 160° E au cours de la croisière « BORA 3 » de juillet 1966, ainsi que celles du VITYAZ en mai 1958, vers 145° E, pendant sa croisière 27, permettent de préciser l'extension, de part et d'autre de l'équateur, de l'eau riche en oxygène.

A 160° E, les diagrammes T-O<sub>2</sub> observés (figure 7) en juillet 1966 indiquaient un maximum relatif d'oxygène d'environ 3,30 ml/l à une température de l'ordre de 14-15 °C ; ce maximum situé sur l'isanostré 160-190 cl/t (26,4-26,1 g/l) est limité à une bande équatoriale très étroite, comprise entre 1° S et 0,50° N. Un minimum, de l'ordre de 3,10 ml/l, à une température de 23-25 °C est situé au voisinage de l'isanostré 400 cl/t (23,9 g/l) ; il s'étend de 4,02° S à 1°55 N.

A 170° E la répartition verticale de l'oxygène était du même genre, avec une couche quasi homogène entre un minimum de 3,20 ml/l à une température de 22-23 °C et un maximum de 3,30 ml/l à 14 °C. Le minimum s'étendait de 3°26 S à 2°35 N, alors que le maximum était limité à une bande équatoriale très étroite ne dépassant pas 100 km de part et d'autre de l'équateur.

L'isolement évident du maximum équatorial à 160° E et 170° E indique donc clairement qu'il est dû à un transport advectif d'eau riche en oxygène formée plus loin à l'ouest.

Les observations du VITYAZ faites au cours de sa croisière 27 en mai 1958 permettent de suivre, au nord de la Nouvelle-Guinée, l'évolution des eaux du nord de la mer du Corail à l'équateur. Au sud de 2° S, le diagramme T-S est peu différent de celui de la mer du Corail (fig. 8) ; à 6° N on rencontre un diagramme T-S caractéristique du contre-courant nord-équatorial ; entre ces deux latitudes le diagramme T-S évolue d'une forme à l'autre.

Le diagramme T-O<sub>2</sub> indique que dans cette région, à 145° W, le maximum d'oxygène qui limite vers le bas la couche équatoriale homogène en oxygène est aussi isolé en latitude. Ce maximum, de l'ordre de 3,30 ml/l à une température de 13-15 °C est voisin de l'isanostré 160-190 cl/t ; il existe à 2°30 S mais pas à 2° N (fig. 9). La limite supérieure de la couche homogène est un minimum de 3,20 ml/l à 23-24 °C, voisin de l'isanostré 400 cl/t et s'étendant de 5° S à 3° N.

Sur l'isanostré 170 cl/t, la concentration de l'oxygène décroît régulièrement vers le nord, de la sortie de la mer du Corail entre la Nouvelle-Guinée et la Nouvelle-Bretagne, jusqu'à l'équateur. Cette variation suggère fortement que la mer du Corail est la source du maximum relatif d'oxygène des stations équatoriales, ce dernier étant formé par dilution de l'eau oxygénée

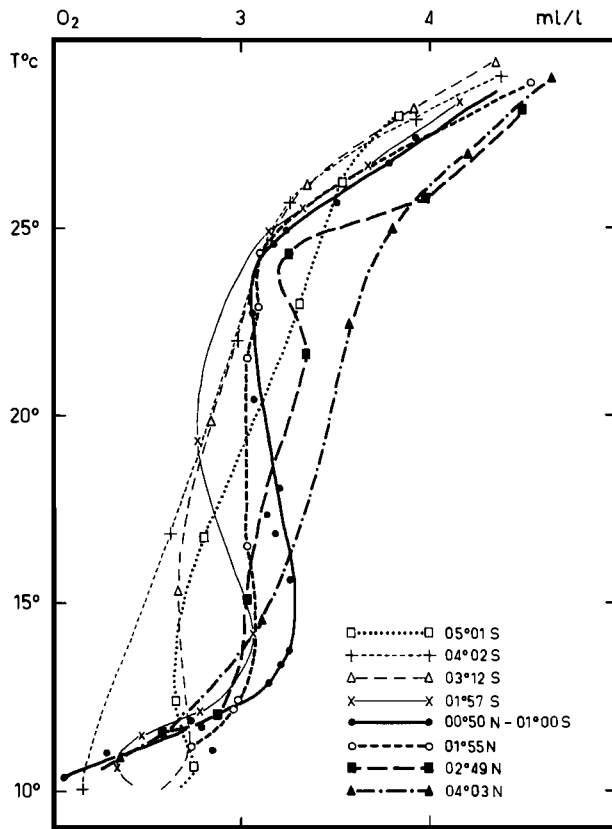


Fig. 7. — Diagramme T-O<sub>2</sub> à 160°E, croisière « Bora 3 » du N. O. Coriolis, juillet 1966.

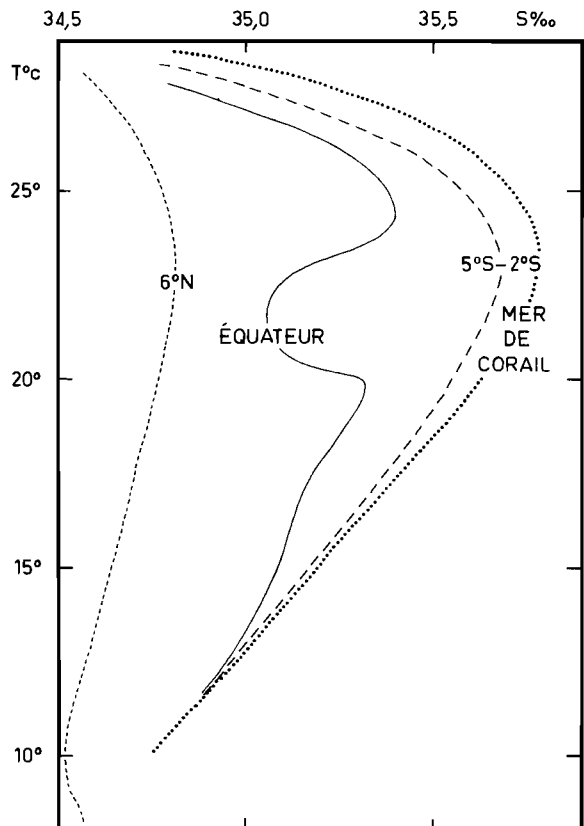


Fig. 8. — Diagrammes T-S schématiques au nord de la Nouvelle-Guinée, entre 6° S et 6° N, d'après la croisière 27 du Vityaz.

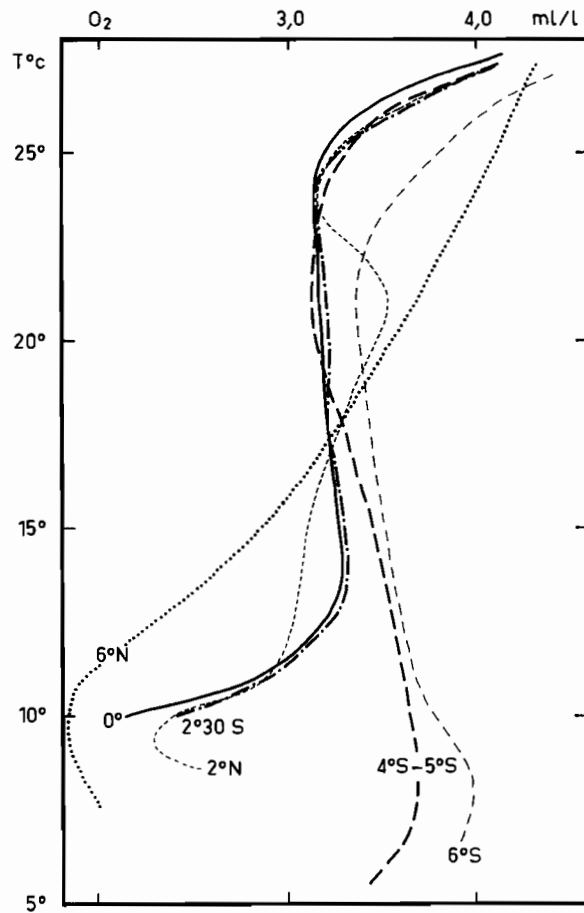


Fig. 9. — Diagrammes T-O<sub>2</sub> schématiques au nord de la Nouvelle-Guinée, entre 6°S et 6°N, d'après la croisière 27 du Vityaz.

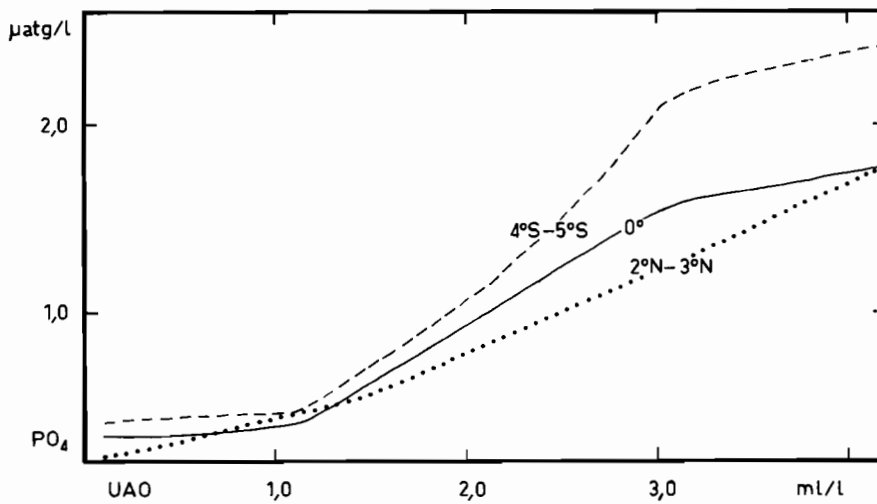


Fig. 10. — Diagramme UAO-PO<sub>4</sub> à 145°E, d'après la croisière 27 du Vityaz.

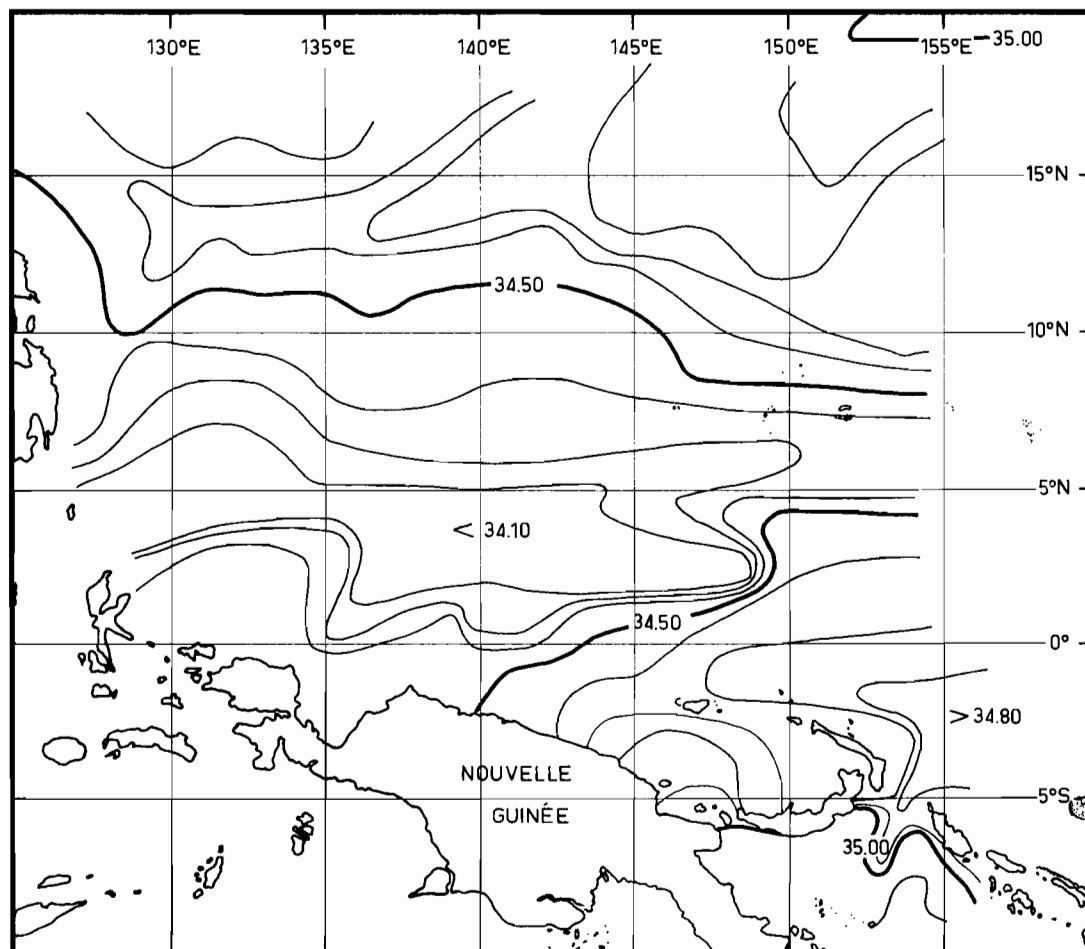


Fig. 11. — Distribution superficielle de la salinité au nord de la Nouvelle-Guinée en juillet-août 1957 d'après la croisière 25 du Vityaz.

de la mer du Corail par les eaux pauvres du minimum sud-équatorial qui s'étendent vers l'ouest à partir des côtes du Pérou, entre les isanostères 125 cl/t et 160 cl/t (REID, 1965 ; TSUCHIYA, 1967).

La continuité entre les eaux de la mer du Corail et les eaux équatoriales apparaît également dans les diagrammes UAO- $PO_4$  (fig. 10). A la sortie de la mer du Corail, entre les isanostères 100 cl/t et 400 cl/t, le rapport apparent de minéralisation O/P par atomes est de 125 ; il est de 150 à l'équateur et de 220 au nord de l'équateur. La mer du Corail peut donc être à l'origine des rapports O/P et O/C très faibles de la couche équatoriale homogène.

En conclusion, il apparaît que le maximum d'oxygène situé à la base de la couche homogène équatoriale et associé à une salinité de l'ordre de 35,0-35,2 ‰, est distribué tout au long de l'équateur, jusqu'à 145° E au moins. A 160° E ce maximum est limité à une zone équatoriale très étroite d'à peine 200 km de large ; à 145° E au contraire, ce maximum semble prolonger vers le nord les teneurs élevées rencontrées en mer du Corail. Cette origine possible de l'eau de la base du courant de Cromwell est confirmée par les rapports de minéralisation O/P et O/C très faibles qu'on trouve aussi bien en mer du Corail (ROTSCHI, 1962) que dans la couche homogène équatoriale. Ces conclusions confirment celles de TSUCHIYA (1967).

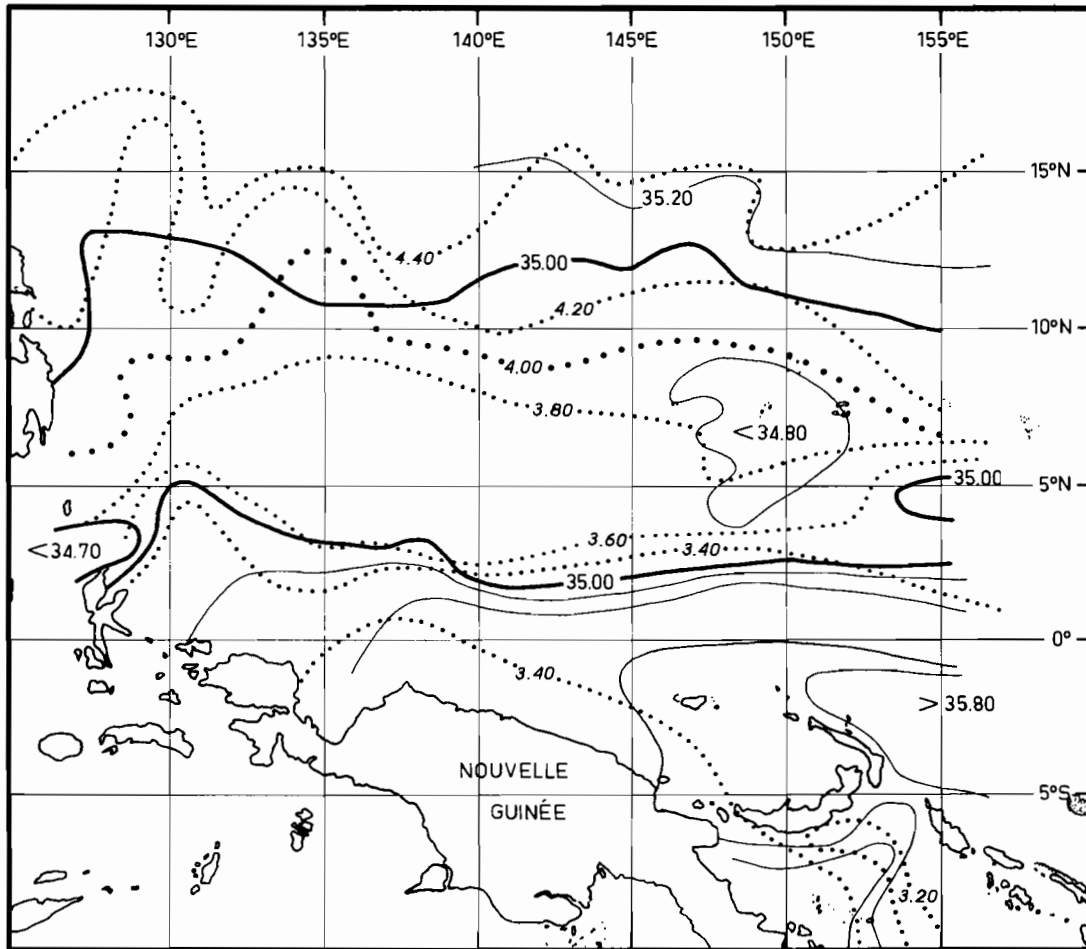


Fig. 12. — Distribution de la salinité et de l'oxygène dissous sur l'isanoêtre 400 cl/t en juillet-août 1957, d'après la croisière 25 du Vityaz.

#### Distribution horizontale au nord de la Nouvelle-Guinée :

Les distributions horizontales au nord de la Nouvelle-Guinée sont étroitement dépendantes de la circulation superficielle qui, comme l'a montré WYRTKI (1961), a un caractère saisonnier marqué, particulièrement en ce qui concerne les courants le long de la côte. Lorsque, de mai à octobre, les vents dominants soufflent du sud-est une branche du courant équatorial s'écoule vers l'ouest, le long de la côte nord de la Nouvelle-Guinée jusqu'à Halmahera. Là, elle rejoint les eaux sortant de la mer des Célèbes et celles du courant de Mindanao et cet ensemble constitue le contre-courant nord-équatorial qui atteint son maximum d'intensité entre juin et août ; il est alors composé d'une assez forte proportion d'eau originaire de l'hémisphère sud.

Lorsque les vents tournent à l'ouest et au nord, de novembre à avril, cette branche néo-guinéenne du courant équatorial ne peut plus se maintenir ; elle est remplacée par le courant côtier de Nouvelle-Guinée qui s'écoule vers l'est. Ce courant est une branche du contre-courant nord-équatorial qui dérive alors essentiellement du courant de Mindanao ; ses caractéristiques hydrologiques sont celles de l'hémisphère nord.

L'influence de la circulation superficielle sur la répartition de la salinité au nord de la Nouvelle-Guinée apparaît de manière évidente dans les résultats de la croisière 25 du VITYAZ effectuée

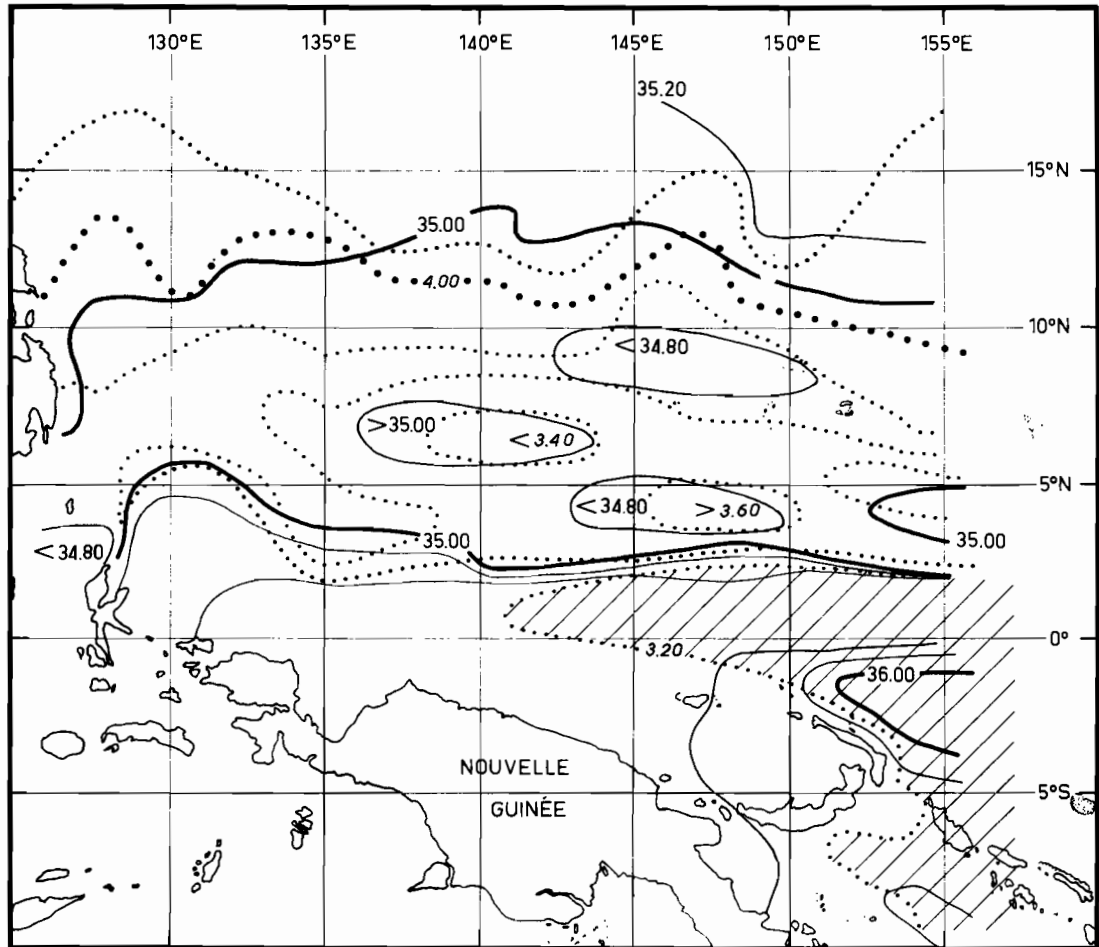


Fig. 13. — Distribution de la salinité et de l'oxygène dissous sur l'isanostère 350 cl/t en juillet-août 1957, d'après la croisière 25 du Vityaz. Zone hachurée extension de l'eau subtropicale du Pacifique sud où  $O_2$  ml/l < 3,20.

en juillet-août 1957 (fig. 11). Le courant nord-équatorial et le courant équatorial sont caractérisés tous deux par l'extension vers l'ouest d'un maximum de salinité de 35,00 ‰ pour le premier et 34,80 ‰ pour le second ; le courant nord-sud de Mindanao et le courant le long de la Nouvelle-Guinée apparaissent également. Entre ces deux masses, un eau faiblement salée paraissant prendre sa source à la sortie de la mer des Célèbes caractérise le contre-courant nord-équatorial. La topographie dynamique de la surface relative à 1 000 db confirme en tous points ce schéma de circulation.

Sur l'isanostère 400 cl/t, c'est-à-dire à la limite supérieure de la couche homogène en oxygène, on note (fig. 12) l'opposition entre l'eau peu salée et fortement oxygénée originaire du nord et celle du sud qui dérive d'un noyau où la salinité est supérieure à 35,80 ‰ et la teneur en oxygène inférieure à 3,40 ml/l ; cette dernière représente l'extension vers l'ouest de l'eau subtropicale du Pacifique sud. A ce niveau, la salinité du contre-courant nord-équatorial est de l'ordre de 34,90-35,00 ‰ et sa teneur en oxygène est comprise entre 3,60 ml/l et 4,00 ml/l ; il est clair que l'eau de l'hémisphère sud progressant le long de la côte nord de la Nouvelle-Guinée participe à la formation de ce courant. Par contre, l'eau du courant de Cromwell où la teneur en oxygène est minimale et inférieure à 3,30 ml/l, est nettement individualisée ; elle dérive directement de l'eau subtropicale du Pacifique sud. Le fort gradient méridien d'oxygène qui marque, vers 2° N

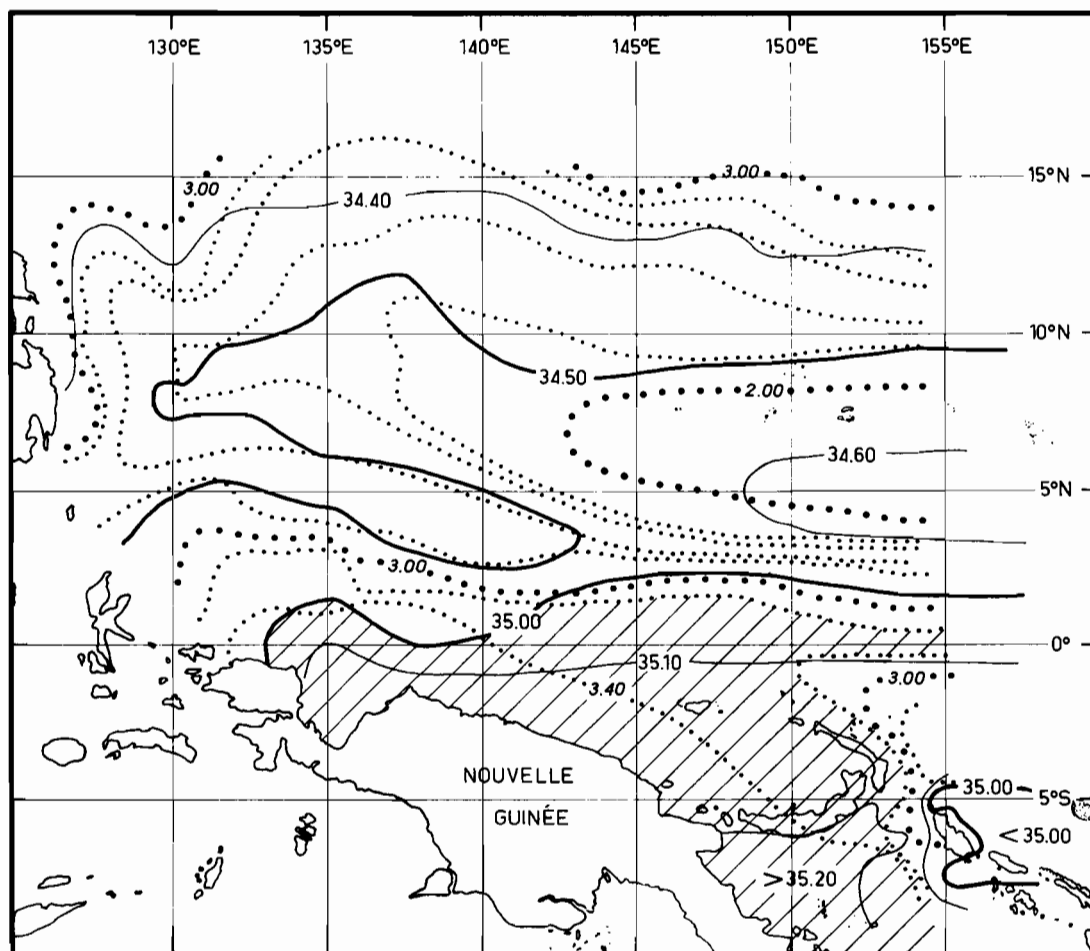


Fig. 14. — Distribution de la salinité et de l'oxygène dissous sur l'isanostère 170 cl/t en juillet-août 1957, d'après la croisière 25 du Vityaz. Zone hachurée extension de l'eau de la mer du Corail où  $O_2$  ml/l > 3,20 et  $S\text{‰}$  > 35,00.

et entre 140° E et 150° E, la limite entre l'eau équatoriale et l'eau du contre-courant nord-équatorial suggère qu'il n'existe entre ces deux masses que des échanges latéraux réduits.

Sur l'isanostère 350 cl/t (fig. 13), au niveau du minimum équatorial intermédiaire d'oxygène, la distribution de la salinité et de l'oxygène confirme la répartition des différentes masses identifiées à 400 cl/t. Le fort gradient méridien d'oxygène est associé à un front de salinité et tous deux corroborent qu'entre 140° E et 155° E les échanges latéraux à ce niveau sont limités. L'eau subtropicale du Pacifique sud, avec son maximum de salinité qui dépasse 36,00 ‰ à 155° E et son minimum d'oxygène inférieur à 3,20 ml/l est donc isolée de l'eau du contre-courant nord-équatorial, sauf à l'ouest de 140° E où les échanges sont non seulement possibles, mais probables. A 155° E, l'eau du contre-courant nord-équatorial a, à sa bordure méridionale, une salinité légèrement inférieure à 35,00 ‰ et une teneur en oxygène voisine de 3,40 ml/l ; elle ne peut être formée qu'à partir d'une eau originaire du nord.

L'origine nord-équatoriale de l'eau riche en oxygène du contre-courant nord-équatorial est également confirmée par la distribution de l'oxygène sur l'isanostère 250 cl/t.

Au contraire, les distributions sur l'isanostère 170 cl/t qui est à la limite inférieure de la couche équatoriale homogène en oxygène et au niveau de laquelle il y a un maximum intermé-

diaire de l'oxygène voisin de 3,40 ml/l, indiquent une origine tout à fait différente de l'eau de ce maximum (fig. 14). En premier lieu, on trouve au sud de l'équateur et vers 155° E une eau salée et relativement pauvre en oxygène (S ‰ 35,15 et O<sub>2</sub> ml/l 2,70) qui est l'extension vers l'ouest du minimum d'oxygène sud-équatorial formé au large du Pérou ; elle diffère beaucoup de l'eau du nord de la mer du Corail qui est à la fois plus salée et plus oxygénée. Dans la zone du contre-courant nord-équatorial et à sa limite sud, la salinité est voisine de 34,50 ‰ et la concentration de l'oxygène très nettement inférieure à 3,00 ml/l. L'eau du maximum intermédiaire d'oxygène avec une concentration supérieure à 3,20 ml/l et où la salinité est supérieure à 35,00 ‰ et qui, à 155° E, apparaît comme une bande étroite à cheval sur l'équateur ne peut donc provenir que de la mer du Corail. TSUCHIYA (1967) a déjà signalé la continuité, sur l'isanostrère 160 cl/t, de l'eau de la mer du Corail et du maximum équatorial d'oxygène qu'AUSTIN (1958) attribue à un transport advectif d'eau formée dans la partie occidentale du Pacifique.

En conclusion, l'étude des distributions de la salinité et de l'oxygène dissous sur des isanostrères sélectionnées confirme que l'eau participant à la formation du noyau homogène en oxygène caractéristique du courant de Cromwell (KNAUSS, 1960) n'a pas une origine unique. Dans la partie supérieure du courant, au nord de la Nouvelle-Guinée, l'eau du minimum intermédiaire d'oxygène est de l'eau subtropicale du Pacifique sud ; dans sa partie inférieure, l'eau du maximum est de l'eau de la mer du Corail. A tous les niveaux, l'eau du contre-courant nord-équatorial est de l'eau de l'hémisphère nord modifiée par apport de la mer des Célèbes ; l'eau du courant équatorial qui se déplace en direction de l'ouest le long de la côte nord de la Nouvelle-Guinée contribue également à sa formation.

Cependant, il faut remarquer (HISARD et al., 1968) que dans le Pacifique occidental le courant de Cromwell est plus étendu de part et d'autre de l'équateur que le noyau homogène en oxygène qui lui est associé ; l'eau entraînée vers l'est, au nord de la Nouvelle-Guinée, avec le flux du contre-courant nord-équatorial est donc susceptible de se trouver intégrée dans le flux du courant de Cromwell. Ce dernier, dans sa partie supérieure, peut donc être composé au sud d'eau originaire du Pacifique central sud et au nord d'eau de l'hémisphère nord ; dans sa partie inférieure il semble n'être formé que d'eau originaire de la mer du Corail.

### RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

Il existe, tout le long de l'équateur, entre les îles Galapagos et le nord de la Nouvelle-Guinée, une couche où la teneur en oxygène est homogène et dont les limites supérieure et inférieure sont un très fort gradient vertical. Dans cette couche, la teneur moyenne en oxygène décroît d'ouest en est, tandis que la concentration du phosphate, du nitrate et du gaz carbonique total croît vers le bas.

La base de cette couche est voisine de l'isanostrère 160 cl/t sur laquelle il y a un maximum équatorial d'oxygène très net qui a été associé par de nombreux auteurs (MONTGOMERY, 1954 ; WOOSTER et CROMWELL, 1958 ; KNAUSS, 1960 ; AUSTIN, 1960) au courant de Cromwell.

Le maximum équatorial d'oxygène sur l'isanostrère 160 cl/t est encore identifiable à 150° E et il est dû à un transport advectif le long de l'équateur d'une eau formée dans la partie occidentale du Pacifique équatorial. Les croisières 25 et 27 du VITYAZ indiquent clairement que cette eau riche en oxygène est originaire de la mer du Corail, ce qui confirme les conclusions de TSUCHIYA (1967).

Puisque l'eau du noyau du courant de Cromwell est homogène en oxygène et ne l'est pas en sels nutritifs, cette homogénéité n'est pas due à un mélange vertical turbulent, mais à la superposition de masses d'origines différentes ayant une même teneur initiale en oxygène.

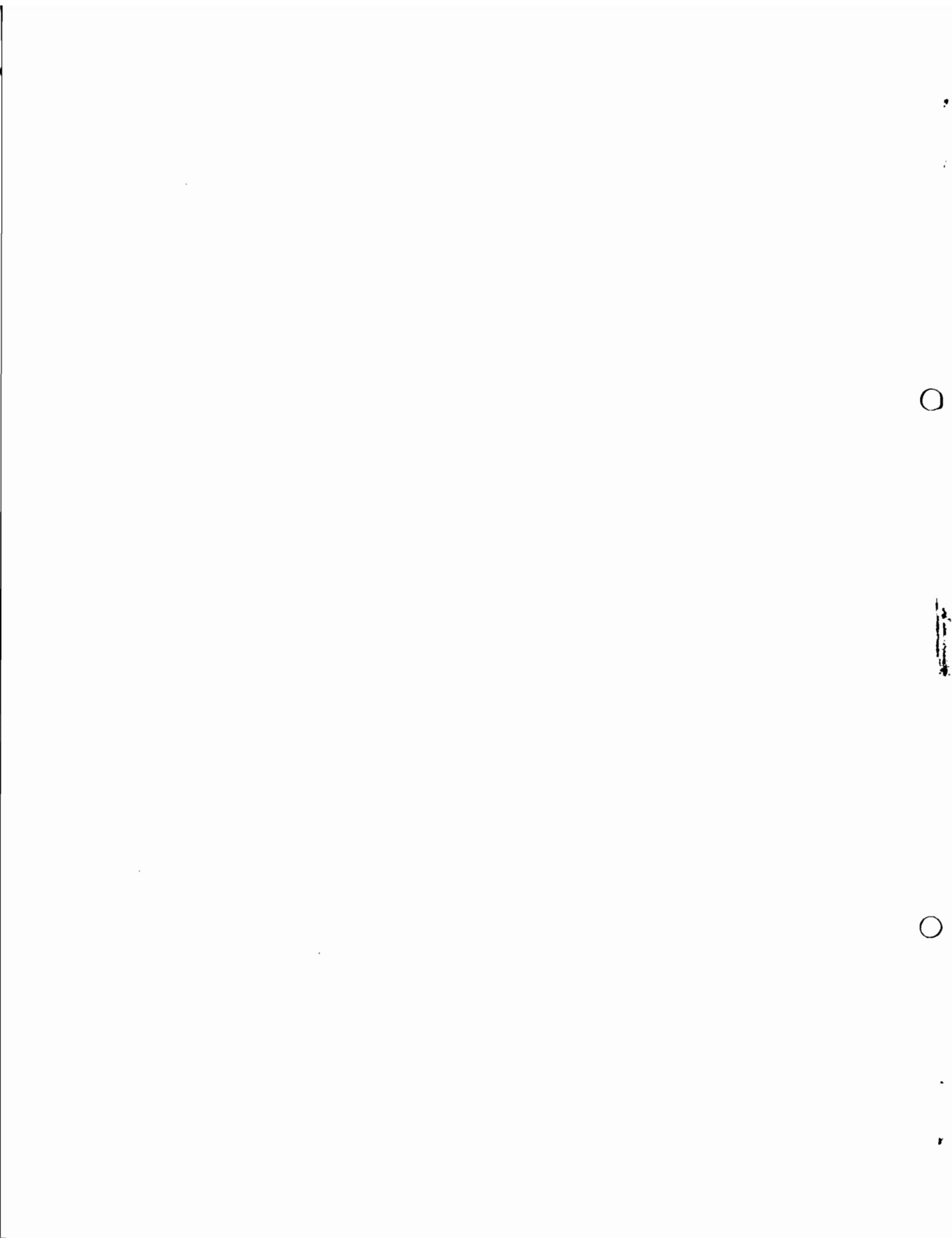
Dans ce noyau les relations UAO-PO<sub>4</sub>, UAO-NO<sub>3</sub> et UAO-CO<sub>2</sub> impliquent des rapports de minéralisation entraînant une faible consommation de l'oxygène. Des rapports de minéralisation

similaires ont été mis en évidence en mer du Corail (ROTSCHI, 1962), ce qui confirme l'hypothèse d'une origine en mer du Corail de l'eau du maximum équatorial d'oxygène participant à la formation du courant de Cromwell.

Le courant de Cromwell peut être formé, dans sa partie supérieure, d'eau subtropicale du Pacifique sud traversant l'équateur au nord de la Nouvelle-Guinée et d'eau du contre-courant nord-équatorial ; dans sa partie inférieure il pourrait n'être formé que d'eau de la mer du Corail.

### BIBLIOGRAPHIE

- AUSTIN (T. S.), 1958. — Variations with depth of oceanographic properties along the equator in the Pacific. *Trans. amer. geophys. Un.*, 39, 1055-1063.
- AUSTIN (T. S.), 1960. — Oceanography of the east central equatorial Pacific as observed during expedition Eastropic. *Fish. Bull.*, 168, 257-282.
- HISARD (Ph.), MAGNIER (Y.), WAUTHY (B.), 1968. — Comparison between the hydrographic structures of the equatorial undercurrent at 140° and 170° E. *J. Mar. Res.*, 27 (2), 191-205.
- ISTOSHIN (Y.), KALASHNIKOV (A.A.), 1965. — The Cromwell current in the western part of the Pacific. *Oceanology* (english translation) 5, 14-17.
- KNAUSS (J. A.), 1960. — Measurements of the Cromwell current. *Deep Sea Res.*, 6, 265-286.
- PYTKOWICZ (R. M.), 1964. — Oxygen exchange rates off the Oregon coast. *Deep Sea Res.*, 11, 381-389.
- REID (J. L.), 1965. — Intermediate waters of the Pacific Ocean. The John Hopkins Oceanographic studies, 2. *The John Hopkins Press*, 85 p.
- ROTSCHI (H.), 1962. — Oxygène, phosphate et gaz carbonique total en mer du Corail. *Deep Sea Res.*, 8, 181-195.
- ROTSCHI (H.), NOEL (J.), 1966. — Influence of the Cromwell current and of the south equatorial current on the horizontal distribution of some physico-chemical properties. *11th Pacific Science Congress Tokyo*.
- ROTSCHI (H.), HISARD (Ph.), LEMASSON (L.), MAGNIER (Y.), NOEL (J.) et PITON (B.), 1967. — Résultats des observations physico-chimiques de la croisière « Alizé » du N. O. Coriolis. *O.R.S.T.O.M., Centre de Nouméa, Section Océanogr., Rap. Sci.*, 2, mimeogr. 55 p.
- STRICKLAND (J. D. H.), PARSONS (T. R.), 1965. — A manual of sea-water analysis. *Fish. Res. Board Canada*, 125, 203 p.
- TSUCHIYA (M.), 1967. — Distribution of salinity, oxygen content and thickness at 160 cl/t of thermocline anomaly in the inter-tropical Pacific Ocean. *Stud. trop. Oceanogr. Miami*, 5, 37-41.
- WYRTKI (K.), 1961. — Physical oceanography of the south-east asian waters. *Naga Rep.*, 2. *University of California*, 195 p.



0

1

0

## APERÇU SUR LA DISTRIBUTION VERTICALE DU MICRONECTON DANS LE PACIFIQUE OUEST ÉQUATORIAL (170° 00 E)

par A. MICHEL\* et R. GRANDPERRIN\*\*

### RÉSUMÉ

*Pour fixer les profondeurs d'ouverture et de fermeture des engins de capture en zone équatoriale, on a tenté d'esquisser les grandes lignes de la distribution verticale du micronecton d'après les traits réalisés à différentes profondeurs et à différentes époques avec un chalut Isaacs-Kidd 10 pieds simple. Les résultats montrent que les groupes micronectoniques ont une distribution verticale nettement stratifiée avec trois couches (0-150, 300-600, 900-1.200 m) à densité d'organismes maximum séparées par deux couches (150-300, 600-900 m) à densité minimum. Ces couches voient leur importance relative varier avec le cycle diurne en particulier entre les limites 0 et 600 mètres. Les points communs avec les couches diffusantes (D.S.L.) et le système vertical des courants équatoriaux paraissent suffisants pour servir de point de départ à des études ultérieures plus précises.*

### ABSTRACT

*This work concerns the preliminary investigations of the micronectonic vertical distribution in the equatorial area (170°00 E) of the Pacific Ocean. Three layers (0-150, 300-600, 900-1.200 m) show a density maximum of organisms while two other layers (150-300, 600-900 m) present a minimum; the relative importance of these layers is variable with the diurnal cycle. Relations with the Deep Scattering layer and with the pattern of equatorial current seem consistent and are intended to be use as a basis of future research.*

### INTRODUCTION

Toute étude de distribution verticale du micronecton suppose, avec la méthodologie actuelle (filets ouvrants-fermants), un choix des profondeurs d'ouverture et de fermeture des engins de capture. En l'absence de toute donnée dans la zone équatoriale considérée, il a paru utile de dégrossir ce problème en utilisant les résultats obtenus lors de croisières préliminaires. Pendant ces croisières le long du 170°00 E, de 00° à 05° S, des traits obliques à diverses profondeurs (Tableau I) avaient été effectués avec un chalut pélagique Isaacs Kidd à cul simple (f.c.o 50 maille 000). Cette étude, malgré le caractère circonstanciel de ses objectifs a fourni des indications qui nous ont paru d'un intérêt plus général que nous le pensions a priori.

\* Océanographe biologiste, Centre O.R.S.T.O.M. de Nouméa.

\*\* Océanographe biologiste, Centre O.R.S.T.O.M. de Nouméa.

26 JUIN 1986

~~O. R. S. T. O. M. Fonds Documentaire~~

~~N° : 20 815~~

~~Cote : A~~

TABLEAU 1. — Répartition des traits :

Trait oblique (mètres)	Jour		Nuit	
	Nb. traits	Dates*	Nb. traits	Dates*
0-160 { 0-80..... { 0-160.....	4 } 1 }	5 déc. 1966	1 } 6 }	7 déc. 1966
0-300.....	4	déc. 1965	14	déc. 1965 mars 1966
0-600.....	8	juil. 1966	9	juil. 1966
0-900.....	9	déc. 1965 mars 1966	5	déc. 1965
0-1200.....	8	oct. 1966 déc. 1966	9	oct. 1966 déc. 1966

\* Croisières BORA I, déc. 1965 — BORA II, mars 1966 — BORA III, juil. 1966 — BORA IV, oct. 1966 — CYCLONE I, déc. 1966.

Le tableau 1 montre que l'échantillonnage est limité pour certaines couches à une seule époque de l'année et ne permet donc pas de s'affranchir des variations saisonnières. Cette objection est en partie atténuée par l'importance présumée faible de ces variations en zone équatoriale et par le fait que les traits superficiels à l'intérieur de la couche 0-300 m ont été presque tous effectués à la même saison (décembre 1965 et décembre 1966) ; néanmoins les études ultérieures devront lever cette hypothèse.

### MÉTHODES

Le filet du chalut Isaacs-Kidd étant constitué de mailles de différentes dimensions, il n'est pas possible de rapporter les résultats à un volume d'eau filtré ; ils ont donc été exprimés en fonction d'un trait standard théorique de 5.000 m de parcours dans les couches considérées. Le montage du chalut étant resté constant, les nombres ainsi obtenus sont un indice de la densité réelle des organismes.

Si a, b, c, d, etc... sont les nombres d'organismes récoltés par le trait réel dans les couches 0-160, 0-300, 0-600 etc... les nombres correspondants pour le trait théorique de 5.000 m seront  $k_1a$ ,  $k_2b$ ,  $k_3c$ , etc... ( $k_n$  : coefficient de correction provenant des indications du débit-mètre).

Le calcul du nombre d'organismes que ramènerait le trait de 5.000 m de parcours dans les couches intermédiaires 160-300, 300-600 etc... peut être conduit de deux façons.

#### Première méthode (fig. 1 a).

— Couche 160-300 : le filet lors du trait de 5.000 m dans la couche 0-300 a parcouru  $x_1$  mètres dans la couche 0-160 pendant lesquels il a capturé  $\frac{x_1 k_1 a}{5.000}$  organismes et  $x_2$  mètres dans la couche 160-300 pendant lesquels il a capturé par différence  $k_2 b - \frac{x_1 k_1 a}{5.000}$  organismes.

Pour 5.000 m de parcours entre 160 et 300 m le filet capturerait donc  $\frac{5.000}{x_2} \left( k_2 b - \frac{x_1 k_1 a}{5.000} \right)$  organismes.

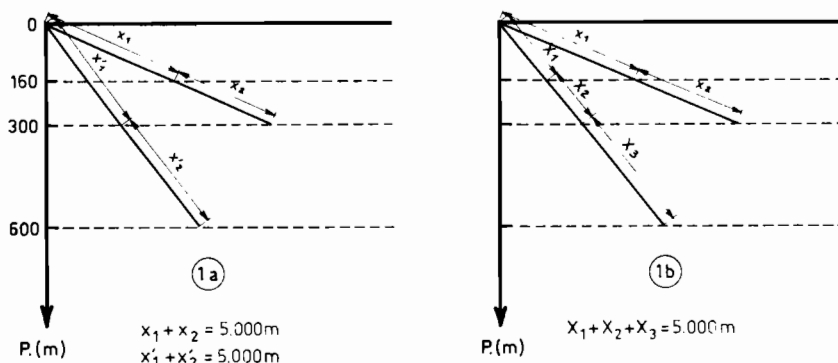


Fig. 1. — Schéma de principe des deux modes de calcul.

— Couche 300-600 : le calcul est identique et si on appelle  $x'_1$  et  $x'_2$  les distances parcourues par le filet dans les couches 0-300 et 300-600 lors du trait théorique 0-600, on aurait donc capturé  $\frac{5.000}{x'_2} \left( k_3 c - \frac{x'_1 k_2 b}{5.000} \right)$  organismes pour un trait de 5.000 m.

Ce premier mode de calcul ne fait intervenir que les deux valeurs réelles des traits dont les profondeurs maximales marquent les limites de la couche considérée.

### Deuxième méthode (fig. 1b).

Le calcul est identique à celui de la première méthode pour la couche 160-300 ; il ne diffère qu'à partir du calcul de la couche 300-600. En effet, on décompose le trajet du filet dans les différentes couches, ce dernier a parcouru  $X_1$  mètres des 0-160 où il a capturé  $\frac{X_1 k_1 a}{5.000}$  organismes  $X_2$  mètres des 160-300 où il a capturé  $\frac{X_2}{5.000} \left( \frac{5.000}{x_2} (k_2 b - \frac{x_1 k_1 a}{5.000}) \right)$  et  $X_3$  mètres des 300-600 ou par différence il a capturé  $k_3 c - \left( \frac{X_2}{x_2} (k_2 b - \frac{x_1 k_1 a}{5.000}) + \frac{X_1 k_1 a}{5.000} \right) = P$  organismes.

Pour 5.000 m de parcours dans la couche 300-600 le filet capturerait donc  $\frac{5.000}{X_3} \cdot P$  organismes.

Ce deuxième mode de calcul fait intervenir toutes les valeurs réelles des traits effectués dans les couches supérieures à la couche considérée.

Dans la première méthode, le nombre d'éléments calculés est minimum, ce qui semble préférable, mais compte-tenu des données à notre disposition, la seconde estompe les variations saisonnières possibles en faisant intervenir des valeurs plus étalées dans le temps. Finalement, nous avons choisi d'utiliser la moyenne des deux résultats. Des chiffres négatifs ont été obtenus, ils proviennent des fluctuations de l'échantillonnage et expriment qu'une pauvreté marquée a été observée dans les couches correspondantes : ils ont été ramenés à zéro. Ceci illustre qu'en général nos calculs ne sauraient conduire à des estimations quantitatives précises, leur but est simplement de tenter de localiser la position des maximums et des minimums de densité de chaque groupe. La représentation qualitative des résultats obtenus par cette méthode d'approche (fig. 2) montre une stratification qui mérite d'être discutée et peut en tous cas servir de point de départ à des études ultérieures.

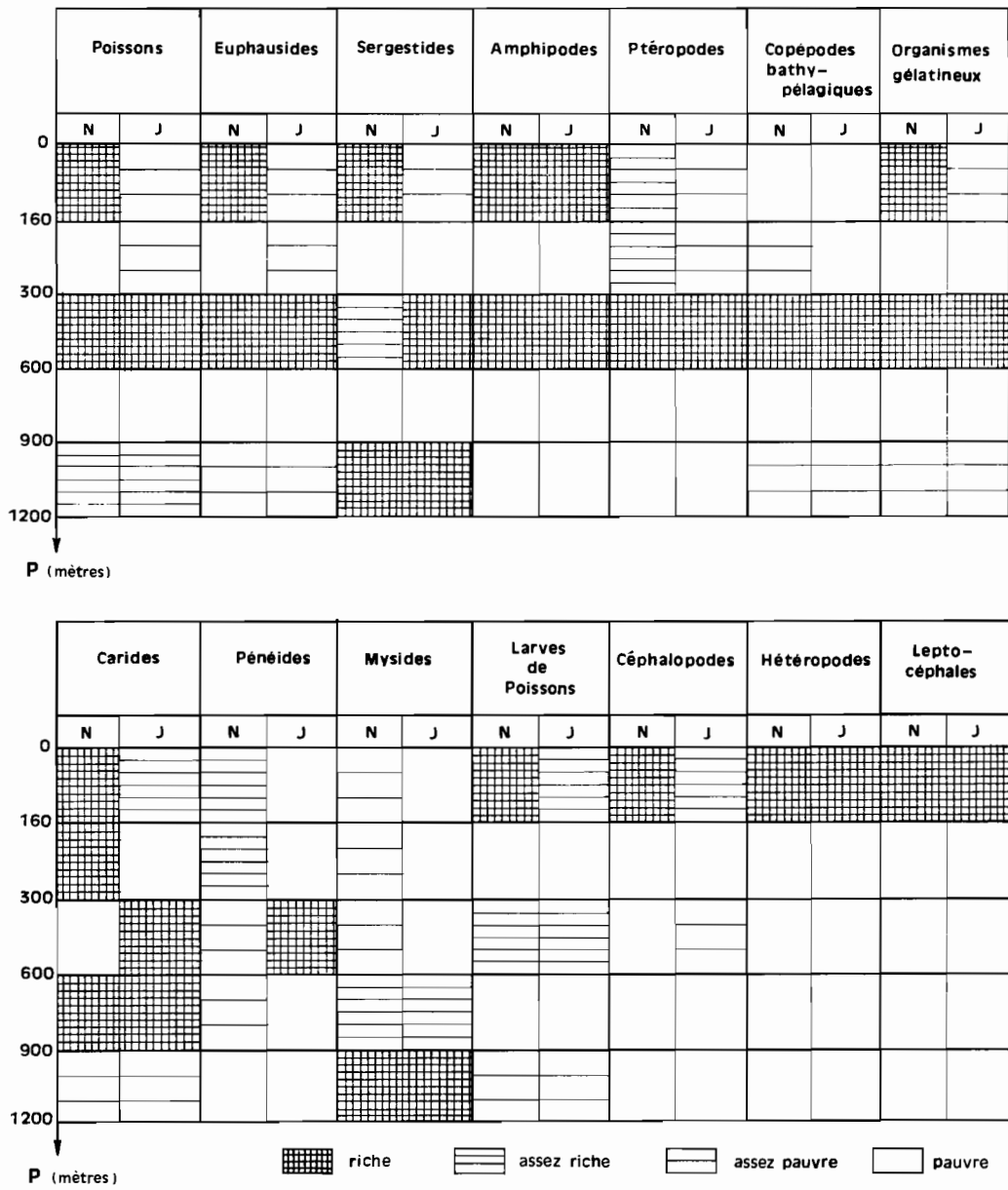


Fig. 2. — Maximums et minimums relatifs des différents groupes.

Note : N = Nuit

J = Jour

1<sup>er</sup> tableau, lire Euphausiacés et non Euphausiides.

## DISCUSSION

Les groupes (1) micronectoniques récoltés montrent dans leur répartition une stratification nette qui varie au cours du cycle diurne. 3 couches présentent des maximums (0-160, 300-600, 900-1.200 m), 2 présentent des minimums (160-300 et 600-900 m).

Les variations de densité entre le jour et la nuit pour les différentes couches traduisent une migration verticale des espèces prédominantes ou une différence de comportement vis-à-vis du filet. Pour préciser cette distribution on a calculé le nombre d'organismes qui seraient récoltés dans chaque couche par le passage du filet au cours d'un trait théorique de 5.000 m de longueur effectué de la surface jusqu'à 1.200 m (tableau 2). Seules les stations entre 00° et 02° S ont été considérées ici pour diminuer l'influence possible des variations géographiques.

TABLEAU 2. — Nombre d'organismes qui seraient récoltés dans chaque couche par un trait théorique de 5.000 m de longueur entre la surface et 1.200 m de profondeur, de nuit et de jour.

Profondeur en mètres	Poissons		Carides		Peneides		Mysides		Org. gel.		Ptéropodes		Amphi-podes	
	N	J	N	J	N	J	N	J	N	J	N	J	N	J
0-160.....	46	4	6	2	5	0,3	0,1	0	36	9	18	5	19	3
160-300.....	0	9	4	0	6	0	0,2	0	0	0	18	4	0	0
300-600.....	77	97	0	6	4	19	0,1	0	59	62	228	249	31	43
600-900.....	0	0	6	4	5	0	1	3	0	0	0	0	0	0
900-1.200.....	28	33	1	1	8	5	8	4	14	8	0	0	1	0
Tot. 0-600.....	123	110	10	8	15	19,3	0,4	0	95	71	264	258	50	46
Tot. 600-1.200.....	28	33	7	5	13	5	9	7	14	8	0	0	1	0

Profondeur en mètres	Euphausiacés		Sergestides		Larves Poissons		Copépodes		Céphalopodes		Hétéropodes		Leptocéphales	
	N	J	N	J	N	J	N	J	N	J	N	J	N	J
0-160.....	216	3	32	0,3	24	20	0	0	7	4	9	16	1	1
160-300.....	0	11	0	0	0	2	6	0	0	0	0	0	0	0
300-600.....	342	225	13	30	24	17	91	66	0	2	0	0	0	0
600-900.....	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
900-1.200.....	39	4	28	19	6	5	11	12	0	0	0	0	0	0
Tot. 0-600.....	558	239	45	30,3	48	29	97	66	7	6	9	16	1	1
Tot. 600-1.200.....	39	4	28	19	6	5	11	12	0	0	0	0	0	0

Pour plusieurs groupes (Poissons, Amphipodes, Carides, Pénéides, Mysides, Ptéropodes et organismes gélatineux) les valeurs globales pour la couche 0-600 m diffèrent peu de jour et de nuit alors que la répartition au sein de cette couche se modifie profondément ; dans la couche 300-600 m,

(1) Le terme groupe est utilisé ici dans son sens le plus général et n'a pas une signification purement taxonomique.

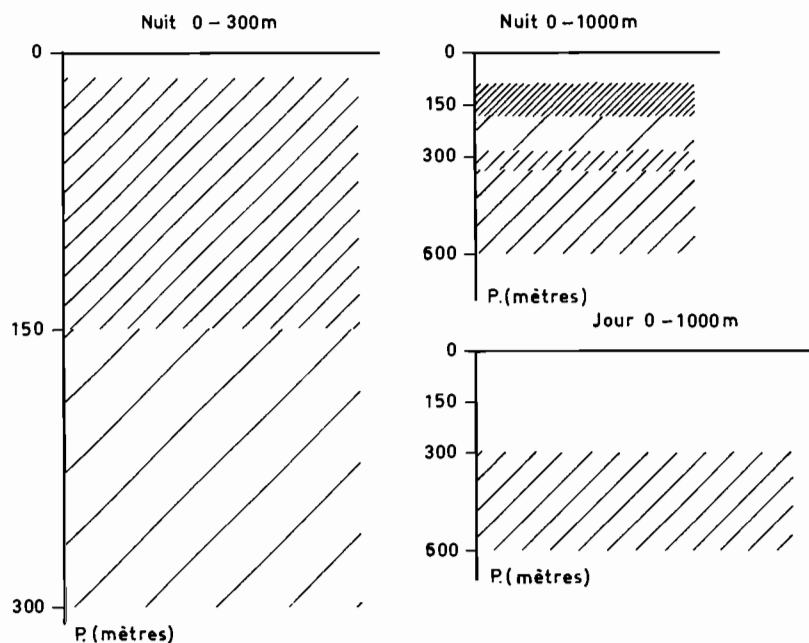


Fig. 3. — Schémas d'enregistrement du système diffusant D.S.L. (d'après GRANDPERRIN 1968). — (L'écartement des hachures est proportionnel à l'intensité de noircissement de l'échogramme).

les densités sont plus importantes de jour que de nuit, leur augmentation diurne fournissant, d'après PEARCY (1967), la meilleure estimation de la migration verticale. Pour d'autres groupes (Euphausiacés, Sergestides, larves de Poissons) les densités moyennes observées de jour et de nuit dans la couche 0-600 m sont plus nettement différentes, ce qui reflèterait, un évitement important vis-à-vis du filet ou une amplitude verticale plus marquée dans la migration diurne. Pour les groupes qui présentent un troisième maximum relatif dans la couche 900-1.200 m, les variations jour-nuit dans la couche 600-1.200 m sont assez faibles, à l'exception toujours des Euphausiacés.

Il découle de cette stratification que la signification biologique des deux couches à densités minimales peut être différente ; les résultats précédents permettent en effet de penser que la couche 160-300 constitue une zone de transit obligatoire d'espèces localisées surtout entre 0 et 600, alors qu'on ne peut pas repousser l'idée que la couche 600-900 soit principalement une zone de discontinuité entre deux systèmes presque indépendants au niveau des variations diurnes. Les études (WAUTHY, LE BOURHIS, 1967) portant sur le phytoplancton montrent pour cette région qu'il se trouve réparti entre 0 et 150 mètres avec un maximum de concentration vers 100 mètres. Tous les herbivores vont donc se trouver dans cette couche et si la migration verticale est une migration trophique déclenchée par les variations de luminosité jour-nuit, les prédateurs primaires vont migrer de nuit, de la couche profonde vers cette couche 0-160 riche en potentiel nutritif et ceci explique qu'ils ne fassent que transiter dans la couche 160-300 où les ressources sont minimales.

Par ailleurs, la répartition verticale des groupes semble les individualiser les uns par rapport aux autres. Certains sont superficiels (Hétéropodes, Céphalopodes, Leptocéphales) d'autres profonds (Mysides). Les Ptéropodes thécosomes semblent caractériser globalement la couche 300-600 m. Les autres groupes ont une répartition verticale bimodale.

Il est intéressant de rappeler que dans la région considérée (GRANDPERRIN 1968), la limite supérieure du système diffusant (D. S. L.) enregistré avec un échosondeur de fréquence 10,4 Kc/sec

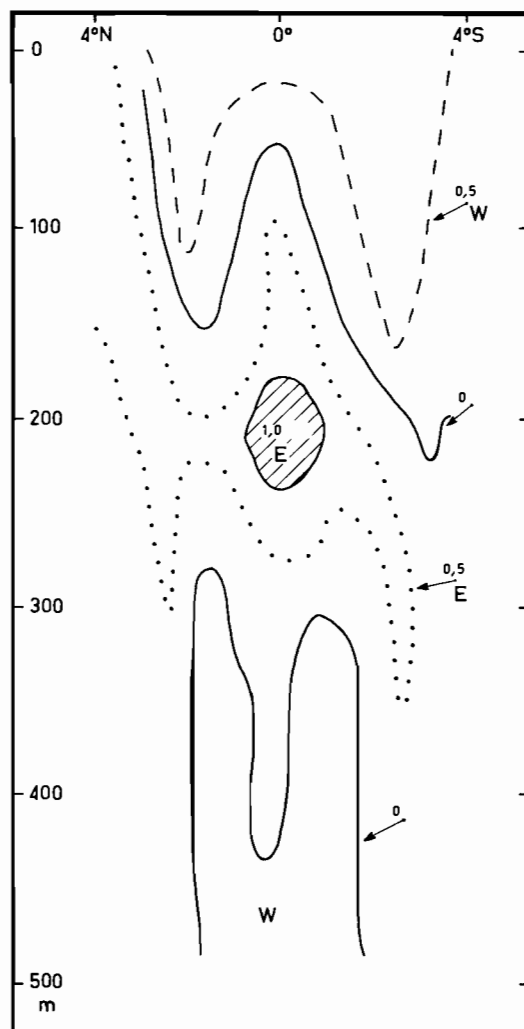


Fig. 4. — Schéma de répartition verticale des courants en zone équatoriale (d'après HISARD Ph., MAGNIER Y. et WAUTHY B., 1969).

varie de jour entre 200 et 300 m. Sa limite inférieure se situe de jour comme de nuit aux environs de 600 m. La nuit, après la remontée du système, on note une très nette discontinuité dans la trace aux environs de 200 m. La position des couches diffusantes (fig. 3) et leur densité de noircissement paraissent donc en accord avec la répartition des maximums de densité d'organismes telle qu'elle vient d'être définie. Il convient de noter que Poissons, Euphausiacés et organismes gélatineux représentent à eux seuls la presque totalité des récoltes.

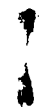
D'autre part, la figure 4 représente les composantes est et ouest des courants en zone équatoriale entre 4° N et 4° S le long du 170° E. Les limites supérieure et inférieure du contre-courant de Cromwell correspondent sensiblement aux limites 160-300 m de la couche de densité minimale d'organismes.

### CONCLUSION

Cette étude, qui n'était qu'un travail préliminaire, semble mettre en évidence dès maintenant des principes généraux de stratification dans la distribution verticale des organismes micro-nectoniques en zone équatoriale. On note au niveau des groupes la présence de 3 maximums et de 2 minimums dont les valeurs relatives varient au cours du cycle diurne. Les points communs entre la situation verticale, celle de la D.S.L. et celle du système des courants équatoriaux paraissent suffisants pour servir au moins de base à des études ultérieures plus précises sur les distributions au niveau des espèces.

### BIBLIOGRAPHIE

- BARHAM (E. G.), 1963. — The deep scattering layer as observed from the Bathyscaph Trieste. *Proc. XVI internation. congress Zool.*, 4.
- BARHAM (E. G.), 1963. — Siphonophores and the deep scattering layer *Sci.*, 140, 3568, 826-828.
- BARHAM (E. G.), 1966. — Deep scattering layer migration and composition. Observations from a diving saucer *Sci.*, 151, 3716, 1399-1402.
- GRANDPERRIN (R.), 1968. — Couches diffusantes dans le Pacifique équatorial et sud tropical (sous presse).
- HISARD (Ph.), MAGNIER (Y.) et WAUTHY (B.), 1969. — The Cromwell current in the Western Pacific Ocean : an attempt to investigate the North Equatorial Countercurrent influences. *J. Mar. Res.*, 27, 2, 191-205.
- MOORE (H. B.), 1950. — The relation between the scattering layer and the Euphausiacea. *Biol. Bull.*, 99, 2, 181-212.
- PEARCY (W. G.), 1966. — Vertical migration and distribution of mesopelagic fishes off Oregon. *Deep Sea Res.*, 13, 153-165.
- SUZUKI (T.) et ITO (J.), 1967. — On the relationship between vertical migration of D.S.L., submarine illumination and plankton biomass. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 33, 4.
- WAUTHY (B.) et LE BOURHIS (J.), 1968. — Données non publiées.



## CYCLES BIOLOGIQUES DES POISSONS MÉSOPELAGIQUES DE L'EST DE L'OcéAN INDIEN

### Troisième note : ACTION PRÉDATRICE DES POISSONS MICRONECTONIQUES\*

par M. LEGAND et J. RIVATON\*\*

#### RÉSUMÉ

Les contenus stomacaux de 898 poissons capturés au chalut Isaacs-Kidd 5 pieds, chaque soir vers 22 heures 30, entre 32° S et 9° S, le long du 110° E lors des croisières saisonnières biologiques du C.S.I.R.O. ont été étudiés.

Ont été notamment mesurés le contenu stomacal global, la fraction de celui-ci constituée d'organismes déterminables ; ont été calculés le contenu stomacal relatif, exprimé en % du poids du corps, le % d'estomacs vides, le poids moyen des organismes déterminables présents dans l'estomac ; la composition des contenus stomacaux a été décrite.

Ces mesures ont concerné 8 Myctophidés, 1 Bregmacerotidé, 1 Gonostomidé : *Vinciguerria nimbaria* (JORD. WILL.), 1 Chauliodontidé : *Chauliodus sloanei* (SCHNEIDER).

Les résultats montrent que les 10 premières espèces appartiennent au même niveau trophique, appelé ici niveau A, consommant divers organismes planctoniques, essentiellement des Copépodes ; *V. nimbaria* se distingue des 9 autres espèces par une activité trophique bien supérieure. Son contenu stomacal moyen est environ 5 % du poids du corps contre environ 1 % de celui-ci pour les autres espèces. Le pourcentage d'estomacs vides est de 25 % en moyenne pour les 9 premières espèces, de 10 % seulement chez *V. nimbaria*. Pour *Chauliodus sloanei*, qui constitue le niveau trophique immédiatement supérieur, appelé ici niveau B, ce pourcentage s'élève par contre à 69 %.

Le poids du C. S. s'accroît régulièrement en fonction du poids du corps. La valeur du C. S. relatif paraît au contraire presque constante dans le premier niveau trophique alors qu'elle décroît fortement en fonction de la taille chez *Ch. sloanei*. Le poids moyen des proies croît généralement avec la taille des prédateurs. A taille égale, il est vingt fois plus élevé pour le niveau B que pour le niveau A.

Bien qu'on puisse présumer que les résultats donnés ici correspondent à une forte sous-évaluation de l'action prédatrice quotidienne réelle des poissons micronectoniques, la comparaison des poids d'aliments mesurés dans les estomacs des prédateurs des deux niveaux trophiques avec les biomasses en place observées incite à penser que la prédation exercée par les poissons micronectoniques est un facteur important d'équilibre de ces biomasses.

\* Voir 1<sup>re</sup> et 2<sup>e</sup> notes dans les cahiers O.R.S.T.O.M., série Océanogr., Vol. V, n° 4, 1967.

\*\* Centre O.R.S.T.O.M de Nouméa (Nouvelle-Calédonie) B. P. 4.

26 JUN 1986

O. R. S. T. O. M. Fonds Documentaire

N°: 20 316

Cote: A

## SUMMARY

The stomach contents of 898 fishes caught with a 5 foot Isaacs-Kidd midwater trawl, along the 110° E meridian between 32° S and 9° S, at approximately 10.30 p.m., during the C.S.I.R.O. seasonal cruises, have been studied.

The whole contents have been weighed as well as the recognizable part of them; the ratio weight of the contents/weight of the body, the percentage of empty stomachs and the mean weight of the recognizable organisms have been calculated; the composition of the contents is described.

Data were collected on 8 Myctophidae, 1 Bregmacerotidae, 1 Gonostomidae: *Vinciguerria nimbaria* (Jord. Will.), 1 Chauliodontidae: *Chauliodius sloanei* (Schneider).

The results show that the first 10 species belong to the same trophic level A, feeding mainly on Copepods; among those species *V. nimbaria* has a higher trophic activity, its stomach content weight being about 5 % of the body weight, whereas this ratio is about 1 % for the other 9 species. 25 % of the Myctophidae and Bregmacerotidae have an empty stomach; that percentage is only 10 % for *V. nimbaria*, but it is 69 % for *Chauliodus sloanei* which belongs to the immediately higher trophic level B.

For individuals of the first trophic level, stomach content weights and body weights remain proportional whatever the fish size; that is not the case for *Ch. sloanei*.

Bigger is the fish, bigger is the individual prey weight; but at level B that weight is twenty times bigger than at level A, the fishes chosen for comparison being of the same size.

Although it can be assumed that the presents results underestimate the daily actual predatory action, comparison of the weights of the ingested food with the biomass of the plankton let think that predation by micronektonic fishes play an important part in the biomass balance.

## CORRIGENDUM

« Dans la deuxième note de la présente série « Cycles biologiques des poissons mésopélagiques dans l'est de l'Océan Indien — Distribution moyenne des principales espèces de l'ichtyofaune » (M. LEGAND, J. RIVATON) Cahier O.R.S.T.O.M. sér. Océanogr. Vol V, n° 4, 1967, pp. 73-98, nous avons cité plusieurs fois *Benthosema pterota* (Alcock 1891). Une révision ultérieure des spécimens de cette espèce montre qu'il s'agit de *Benthosema simile* (TÂNING 1928) espèce primitivement confondue par BRAUER avec *B. pterota* dans la description qu'il donne de cette espèce avant que *B. simile* ait été lui-même décrit — *B. simile* se distingue de *B. pterota* en particulier par une taille maximale beaucoup plus petite. *B. pterota* doit donc être remplacé dans tout ce texte par *B. simile*. »

## 1. MÉTHODES EMPLOYÉES

## 1.1. Conditions de récolte.

Rappelons que le matériel étudié ici a été collecté au cours de six croisières biologiques organisées par le C.S.I.R.O. à bord des navires *HMAS Gascoyne* et *HMAS Diamantina*, le long du 110° E de 32° à 9° S. La radiale était parcourue deux fois au cours de chaque croisière et le fut donc douze fois d'août 1962 à août 1963. Le Centre O.R.S.T.O.M. avait la responsabilité du

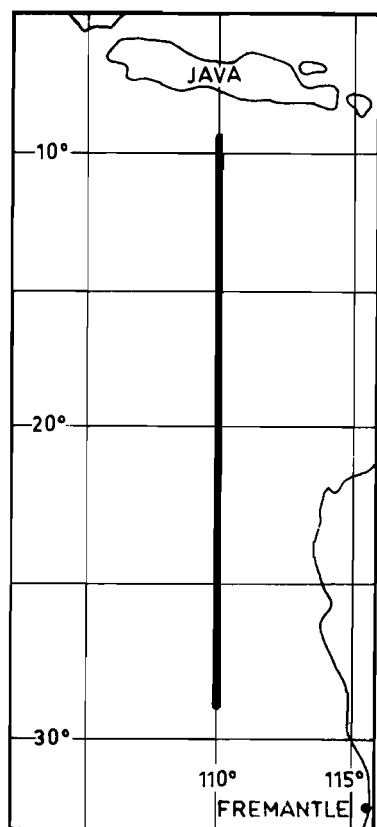


Fig. 1. — Itinéraire exploré par les croisières CSIRO HMAS Gascogne et Diamantina en 1962-1963.

micronecton dans ce programme et exécuta 91 stations avec un chalut Isaacs-Kidd de 5 pieds par des traits obliques effectués entre la surface et 200 m vers 22 h. 30. Une description des prélèvements plus complète a été fournie dans les notes antérieures de la première série (LEGAND, 1967).

### 1.2. Méthode d'étude des contenus stomacaux des poissons.

Chaque fois que possible, 5 spécimens d'une même espèce, à peu près de même taille, étaient prélevés, pour chaque parcours de la radiale, à la station correspondant au maximum de fréquence de l'espèce. En outre, on faisait en sorte que ces 12 prélèvements représentent également aussi bien que possible les variations de taille de l'espèce.

Dans chaque cas, le nombre d'estomacs vides était noté ; la nourriture présente dans les 5 estomacs était pesée globalement ainsi que les corps des 5 poissons. Puis cette nourriture était divisée en deux fractions posées séparément : les débris trop digérés pour être identifiables composaient la fraction dite digérée ; la fraction « non digérée » était composée de débris suffisamment identifiables pour que d'une part leur appartenance taxonomique, au niveau de la classe ou de l'ordre, plus rarement de la famille, du genre ou de l'espèce, put être établie, et que d'autre part le nombre d'organismes dont il provenaient pût être connu avec certitude. Les poids moyens du corps et du contenu stomacal étaient simplement obtenus en divisant les poids totaux obtenus par le nombre de poissons. Pour simplifier, l'expression « contenu stomacal » sera fréquemment désignée ici par ses initiales : C. S.

Pour comparer plus facilement les espèces entre elles, le poids du C. S. a été aussi exprimé en pourcentage du poids du corps : le plus souvent, il variera moins en fonction de la taille du poisson considéré que le C. S. directement mesuré. On parlera alors de « C. S. relatif » : il peut être exprimé de deux façons différentes, suivant que l'on prend en compte tous les estomacs examinés ou seulement ceux qui contenaient de la nourriture. Le poids individuel moyen des proies a été simplement obtenu en divisant le poids de la fraction non digérée par le nombre d'organismes la constituant.

Furent ainsi étudiés les contenus stomacaux de : *Notolychnus valdiviae* (BRAUER 1904) — *Vinciguerria nimbaria* (JORDAN et WILLIAMS 1896) — *Lampanyctus alatus* (GOODE and BEEN 1905) — *Ceratoscopelus tousei* (EIGENMANN 1880) — *Benthosema simile* (TANING 1928) — *Diaphus lulkeni* (BRAUER 1904) — *Lampanyctus macropterus* (BRAUER 1904) — *Diaphus rafinesquei* (COCCO 1820) — *Scopelopsis multipunctatus* (BRAUER 1906) — *Bregmaceros maclellandi* (THOMPSON 1840).

Ces espèces ont été citées par ordre d'abondance.

Diverses modifications furent introduites au fur et à mesure de l'avancement du travail. C'est ainsi que pour *N. valdiviae*, l'espèce la plus abondante, 90 estomacs au lieu de 60 furent examinés. Un échantillonnage complémentaire de 100 à 120 poissons, étudiés cette fois individuellement, fut réalisé pour *V. nimbaria*, en raison de l'action prédatrice particulière de cette espèce et pour *B. simile* afin d'obtenir de meilleures données sur ce Myctophide, jugé représen-

tatif. Par contre dans d'assez nombreux cas, il ne fut pas possible de sélectionner 5 individus répondant aux normes recherchées pour chaque radiale : c'est ainsi que *S. multipunctatus*, *D. rafinesquei* et *B. maclellandi* ont été particulièrement mal sous-échantillonnés.

Enfin, *Chauliodus sloanei* (SCHNEIDER 1801) fut sélectionné comme le prédateur de grande taille le plus abondant et tous les individus disponibles de cette espèce furent étudiés individuellement.

L'étude présente concerne au total 896 poissons méso ou bathypélagiques.

### 1.3. Limites de validité.

Le matériel étudié étant formolé, la perte en poids due à l'action de la préservation a pu être différente pour les proies ingérées et pour les poissons (AHLSTROM-THRAILKILL, 1963 ; GRAND-PERRIN-CABOCHE, 1968). Indépendamment de ce fait, les poids d'aliments trouvés dans les estomacs représentent une large sous-estimation du poids réel des organismes les constituant en raison de l'action de la digestion et ceci même pour la fraction dite non digérée. Il en est ainsi notamment du poids moyen calculé des proies. Enfin, on ne peut présumer quelle fraction du C. S. a pu être rejetée ou au contraire ingérée, lors du séjour dans le filet.

D'autre part, l'échantillonnage réalisé à la mer représente une sélection dans le temps correspondant à une courte période du cycle diurne ainsi qu'une sélection en profondeur des populations traversées. Comme nous ignorons aussi bien la vitesse de digestion de ces espèces que leur répartition verticale précise ou leur action prédatrice aux différents niveaux qu'elles habitent au cours de leur éventuelle migration verticale quotidienne, nous ne pourrions pas approcher réellement une description même qualitative de leur nutrition et de son influence sur les biomasses susceptibles d'être consommées.

Enfin, la possibilité d'un rejet d'aliments après la capture, laisse subsister un doute sur la signification biologique du nombre d'estomacs vides observés. C'est en raison de ce doute que le poids relatif du C. S. a été exprimé sous les deux formes définies précédemment, pour pouvoir tenir compte de cet éventuel facteur artificiel dans les comparaisons interspécifiques.

Néanmoins, on remarquera que tous les facteurs que nous venons d'énumérer — sauf une problématique ingestion de proie dans le filet, possible seulement pour les organismes les moins fragiles — vont dans le sens de la sous-estimation. Étant donnée la pauvreté des connaissances sur le sujet qui nous occupe, il a paru que les résultats de cette étude peuvent fournir une estimation minimale de l'action prédatrice des espèces considérées et ainsi, peuvent être utiles. C'est donc sous ces réserves que les conclusions qui suivent doivent être comprises.

## 2. CONTENUS STOMACaux DES ESPÈCES ÉTUDIÉES

### 2.1. Résultats généraux.

Le tableau I expose l'essentiel des résultats obtenus. L'alimentation de *Ch. sloanei* comportant presque uniquement des poissons, le place à un niveau trophique immédiatement supérieur à celui des espèces précédentes, que nous ne pouvons pas vraiment caractériser dans l'absolu, faute de connaître la proportion d'herbivores parmi leurs proies. *V. nimbaria* a été également mis à part en raison de sa nette différenciation par rapport aux espèces du même niveau trophique A. Nous avons parlé ici simplement de niveaux A et B. Si les Copépodes trouvés dans les C. S. du niveau A sont essentiellement herbivores, il s'agirait en fait des niveaux III et IV.

TABLEAU I

Poids des aliments contenus dans les estomacs de onze poissons mesopélagiques collectés le long du 110° Est

Espèces étudiées	Nbre d'estomacs examinés	Poids moy. du corps (mg) des poissons éch.	% d'estomacs vides	Poids moy. du C.S. (mg)*	Poids relatif moyen du C.S.* (estomacs vides exclus) en % du poids du corps	Poids relatif moyen du C.S.* (estomacs vides inclus) en % du poids du corps	% d'aliments identifiables* en % du poids total d'aliments
<i>Niveau trophique A</i>							
Ia. Myctophides							
<i>N. valdiviae</i> . . . . .	90	64	41	0,9	2,43	1,44	45
<i>B. simile</i> . . . . .	175	279	23	2,7	1,27	0,98	51
<i>S. multipunctatus</i> . . . . .	38	1.215	21	4,7	0,51	0,39	35
<i>L. alatus</i> . . . . .	59	835	24	6,7	0,82	0,79	53
<i>L. macropterus</i> . . . . .	60	467	27	7,3	2,06	1,57	16
<i>C. towsendi</i> . . . . .	60	581	32	9,9	2,01	1,70	73
<i>D. lutkeni</i> . . . . .	50	779	6	6,2	0,83	0,82	24
<i>D. rafinesquei</i> . . . . .	35	551	3	11,3	2,12	2,06	29
Ib. Bregmacerotidés							
<i>B. maclellandi</i> . . . . .	30	81	26	0,7	1,19	0,88	19
Moyenne du groupe I. (Tot. 597)		460	25	4,9**	1,19**	1,06**	45
<i>Niveau trophique A</i>							
II. Gonostomidés							
<i>V. nimbaria</i> . . . . .	167	294	10	13,0	5,21	4,42	46
<i>Niveau trophique B</i>							
III. Chauliodontidés							
<i>Ch. sloanei</i> . . . . .	132	1.194	69	9,7	3,97	0,82	78

\* Voir définition de ces désignations § I.3.

\*\* Si pour le calcul de ces moyennes on utilise non plus les fréquences d'estomacs étudiés, mais les fréquences réelles des espèces dans l'échantillonnage, on obtient des résultats pratiquement identiques à ceux qui sont notés ici.

### 2.1.1. Estomacs vides.

On notera la très haute proportion d'estomacs vides pour *Ch. sloanei*, opposée au faible pourcentage observé notamment pour *V. nimbaria*.

Il est intéressant de noter que le pourcentage d'estomacs vides se révèle remarquablement stable d'un sous-échantillon à l'autre, comme le montrera le découpage suivant des résultats pour *Ch. sloanei* et *V. nimbaria*.

#### *Ch. sloanei*

Long. en mm	20	40	60	80	100	Total
Effectif	63	12	15	12	30	132
% estomacs vides	64 %	75 %	73 %	67 %	73 %	69 %

*V. nimbaria*

Échantillons	Total	1 <sup>er</sup> échantillonnage	2 <sup>e</sup> échantillonnage		
			Crois. G <sub>1</sub> 63	Crois. DM <sub>1</sub> 63	Autres crois.
Effectif.....	167	58	39	47	23
% estomacs vides.....	10%	10%	10%	13%	4%

2.1.2. *C.S. relatif moyen.*

Les C.S. relatifs des 9 premières espèces sont tous voisins et tous inférieurs à 2,5 % du poids du corps avec une moyenne variant de 1,1 à 1,2 suivant que l'on intègre ou non les estomacs vides dans les résultats. Cette moyenne passe à 4,4 et 5,2 % pour *V. nimbaria*, qui est donc un prédateur particulièrement actif à l'heure considérée. Si l'on considère les seuls estomacs contenant de la nourriture, soit seulement 31 % de l'effectif, *Ch. sloanei* fournit un C.S. relatif moyen de 4,0 %, très voisin de celui de *V. nimbaria*. Mais l'intérêt de l'utilisation du C.S. relatif s'arrête à cette différenciation générale des espèces. Pouvant varier lui aussi avec la taille, il n'est pas possible d'utiliser sa valeur moyenne pour comparer statistiquement par exemple *Ch. sloanei* aux autres espèces. Par contre, nous pouvons comparer *B. simile*, représentatif des 9 premières espèces citées et *V. nimbaria*, tous deux étant de tailles voisines et tous deux ayant été étudiés individu par individu sur des effectifs élevés ; on obtient :

	Effectif (estomacs vides exclus)	Moyennes arithmétiques des C.S. relatifs calculés pour chaque poisson	Coefficients de variation et variances
<i>B. simile</i> .....	99	0,93 % du poids total	± 100 % (V = 0,8649)
<i>V. nimbaria</i> ....	98	4,31	± 78 % (V = 11,2896)

L'erreur standard estimée, calculée à partir des deux variances est 0,35, valeur 9 fois inférieure à l'écart entre les deux moyennes qui est de 3,38 ; cet écart est donc hautement significatif et le reste même si on intègre les estomacs vides dans les calculs.

2.2. **Relation entre le poids du C.S. et le poids du corps.**

En regroupant les sous-échantillons de chaque espèce correspondant à des tailles voisines, on a pu obtenir 2 à 6 groupes de tailles par espèce, suivant la variation en taille de celle-ci. Pour chacun d'eux, la moyenne arithmétique des poids observés a été calculée et permet de construire la figure 2.

Elle montre une nette corrélation positive entre le poids moyen du C.S. et le poids moyen du corps calculés pour chaque groupe de taille, d'une part, et d'autre part, permet de séparer nettement les 9 premières espèces du niveau A, de *V. nimbaria*, et de *Ch. sloanei*. Les équations des droites de régression desservant le mieux ces points ont été calculées (une valeur concernant *L. alatus* a été éliminée dans le calcul de la première équation, parce que située hors des limites de dispersion des autres points). Ces équations sont, en passant des valeurs à leur logarithme :

$$1 \text{ 9 espèces niveau trophique A : } \log \text{ C.S.} = \bar{2},11090 + 0,985 \log P \quad N = 469$$

$$2 \text{ } V. \text{ nimbaria niveau A : } \log \text{ C.S.} = \bar{2},47830 + 1,050 \log P \quad N = 107$$

$$3 \text{ } Ch. \text{ sloanei (1) niveau B : } \log \text{ C.S.} = 0,14768 + 0,305 \log P \quad N = 132$$

(p = poids du corps, C.S. moyen incluant les estomacs vides, C.S. et P en mg)

(1) Pour estimer le poids moyen du C.S. de *Ch. sloanei* en fonction de sa taille, calculé non plus pour l'ensemble des poissons mais pour la seule fraction de ceux-ci qui avaient absorbé de la nourriture, on peut simplement multiplier le résultat obtenu par le rapport des moyennes des deux C.S. relatifs fournies par le tableau I, c'est-à-dire ajouter à l'équation 3 : +0,69020.

On remarquera dans la figure 2 l'excellent alignement des moyennes des données d'observation ; même pour les 9 espèces diverses du niveau A, les 2/3 des points obtenus sont très proches de la droite calculée.

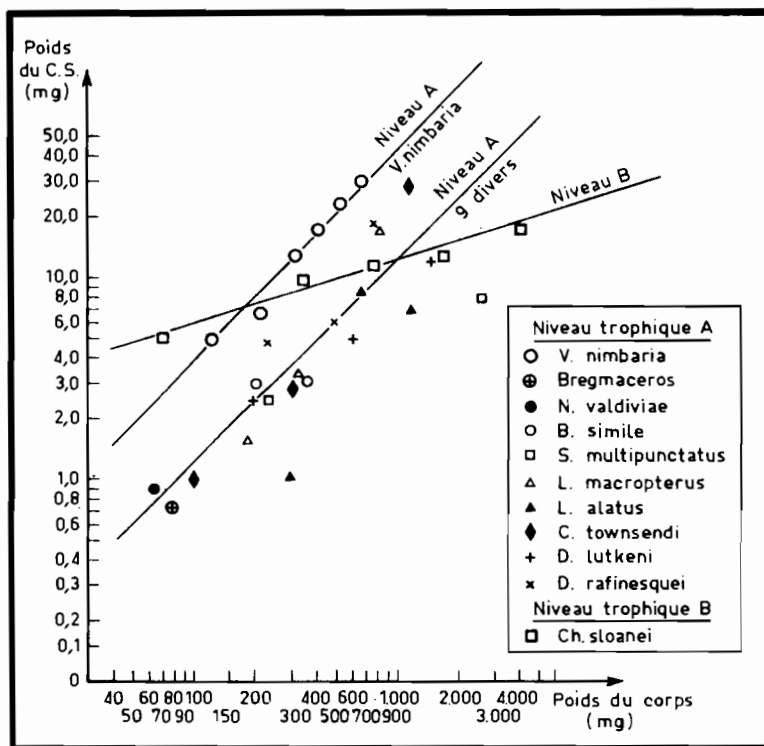


Fig. 2. — Relation entre le poids du C.S. et le poids du corps pour les diverses espèces étudiées (moyennes arithmétiques calculées pour les groupes de taille et transcrites en coordonnées logarithmiques).

On notera à la fois la similitude des pentes des 2 droites représentant le niveau A et leur nette différenciation avec la pente de la droite du niveau B. Nous n'avons cependant pas suffisamment d'éléments pour pouvoir affirmer que les équations particulières de chacune des espèces représentées par l'équation moyenne 1 ne diffèrent pas réellement entre elles ; au contraire, par exemple, pour presque tous les échantillons de *Diaphus rafinesquei*, le C.S. relatif observé était plutôt supérieur à 2 % que voisin de la valeur moyenne de 1 % trouvée pour les autres formes.

Quoiqu'il en soit, la signification de cette différenciation entre les équations est plus aisée à percevoir si l'on raisonne à nouveau en terme de C.S. relatif. En effet, le C.S. relatif est par définition :

$$\text{C.S. r.} = \frac{\text{C.S.} \times 100}{P} \text{ ou } \log \text{ C.S. r.} = \log \text{ C.S.} + 2 - \log P ; \text{ on obtiendrait C.S. r. à partir}$$

des équations 1, 2, 3 en leur ajoutant  $(2 - \log P)$ . Dans le cas des équations 1 et 2,  $b$  étant très voisin de 1,  $\log \text{ C.S. r.}$  sera finalement très peu variable en fonction du poids des poissons et restera toujours proche des constantes suivantes, calculées en admettant  $b$  égal à l'unité :

$$\begin{aligned} 1 : \text{espèces diverses} : \log \text{ C.S. r.} &\neq 0,11090 & \text{C.S. r.} &= 1,29 \% \\ 2 : V. \text{nimbaria} : \log \text{ C.S. r.} &\neq 0,47830 & \text{C.S. r.} &= 3,01 \% \end{aligned}$$

Par contre, pour *Ch. sloanei* on obtient :

$$3 : \log \text{ C.S. r.} = 2,14768 - 0,695 \log P$$

Le tableau II illustre bien cette nette régression négative puisque les aliments trouvés dans les estomacs représentent près du cinquième du poids du corps pour les plus petits individus, — et seulement le cinquantième de ce poids pour les plus grands —, ceci en ne considérant pas les estomacs vides. La figure 3 regroupe tous les éléments concernant *Ch. sloanei* et montre les très bonnes corrélations existant entre eux et le poids du corps, malgré la faiblesse des effectifs des 5 classes de taille. On notera dans le tableau II que les valeurs limites observées varient dans le même sens que les moyennes.

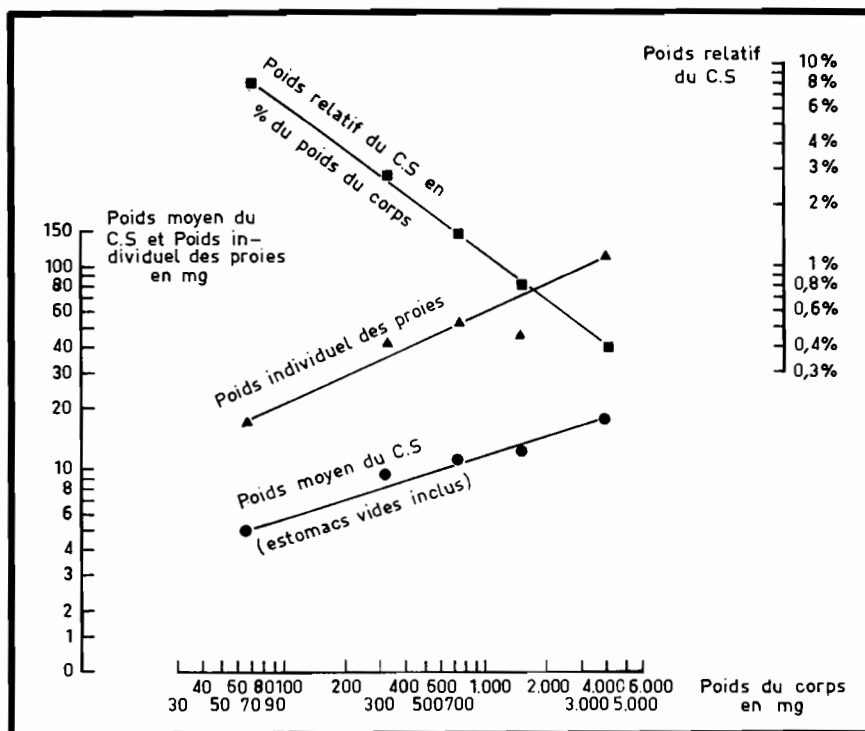


Fig. 3. — Poids du C.S. (en report de la figure 2), poids relatifs du C.S. et poids individuel moyen des proies pour différents groupes de taille de *Chauliodus sloanei*.

TABLEAU II  
Variations du C.S. de *Ch. sloanei* en fonction de la taille

Classe de taille.....	20 mm	40	60	80	100
Effectif.....	63	12	15	12	30
Moyenne arithmétique du poids du corps (mg).....	68	318	724	1572	3997
Poids moyen du C.S. en mg (estomacs vides inclus).....	5,0	9,5	10,7	12,1	17,6
C.S. relatif					
— estomacs vides exclus, moy. arithmétique.....	17,1 %	10,0 %	5,0 %	2,1 %	2,7 %
— valeurs limites observées.....	1 à 44 %	6 à 11 %	0,3 à 7 %	1,8 à 4,3 %	0,1 à 4,1 %
— estomacs vides inclus, moy. arithmétique.....	7,9 %	3,0 %	1,5 %	0,8 %	0,4 %
Poids moyen des proies* (mg).....	17,7	42,0	53,0	47,3	118,7
— valeurs limites observées*.....	2 à 51	19 à 65	23 à 81	21 à 87	40 à 276

\* Les Copépodes et autres crustacés d'ailleurs très rares, pouvant provenir de l'estomac des poissons ingérés ont été exclus du calcul de cette moyenne.

La situation décrite étant celle d'un moment donné du cycle diurne et non l'intégration de l'action prédatrice quotidienne, les différences notées précédemment peuvent traduire simplement des différences entre les rythmes diurnes d'alimentation des diverses espèces, voire entre ceux des diverses classes de taille, ou des différences entre les processus digestifs.

Si par la suite il était démontré que les conclusions précédentes sont vraies pour l'ensemble de la prédation quotidienne et que l'équation 1 est réellement représentative de chacune des situations dont elle est la moyenne, on pourrait alors affirmer que si dans tous les cas le poids des aliments ingérés croît avec le poids du corps, il représente un pourcentage de ce poids constant seulement pour les espèces du niveau A, mais au contraire fortement dégressif pour les espèces du niveau B.

### 3. COMPOSITION DES CONTENUS STOMACAUX

#### 3.1. Poids moyen des proies.

Le poids moyen des proies identifiables est indiqué dans le tableau III. Rappelons qu'il comporte une large sous-estimation, certaines proies, bien qu'identifiables, étant partiellement digérées. Pour *Ch. sloanei*, se reporter au tableau II et à la figure 3.

TABLEAU III

Taille moyenne des proies observées dans les estomacs de 10 espèces du niveau trophique A en fonction de la taille des prédateurs

Espèces étudiées	Effectif étudié par groupe de taille	Poids moyen des poissons (mg)	Poids moyen des proies (mg)
<i>N. valdiviae</i> .....	90	64	1,1
<i>B. simile</i> .....	32	203	3,2
.....	24	343	1,8
<i>S. multipunctatus</i> .....	22	190	1,2
.....	16	2.372	3,9
<i>L. alatus</i> .....	34	568	9,2
.....	25	1.209	3,2
<i>L. macropterus</i> .....	35	256	0,8
.....	25	763	6,0
<i>C. towsendi</i> .....	40	253	1,7
.....	20	1.236	3,1
<i>D. lutkeni</i> .....	25	324	0,8
.....	25	1.224	3,1
<i>D. rafinesquei</i> .....	16	304	1,8
.....	19	759	7,4
<i>B. maclellandi</i> .....	30	81	1,0
<i>V. nimbaria</i> .....	58	261	1,9

Nous avons vu que la régression positive de la taille des proies en fonction de la taille des prédateurs est très nette pour *Ch. sloanei* (tableau II, figure 3). Mais dans le tableau III, cette régression n'est perceptible qu'en résumant les données : poids des prédateurs inférieur à 500 mg — poids moyen des proies 1,72 mg ; poids des prédateurs supérieur à 500 mg — poids moyen des proies 3,57 mg.

La moyenne générale du poids des proies pour le niveau trophique A est de 2,54 mg : à poids égal des prédateurs, les proies avalées par *Ch. sloanei* sont 20 fois plus lourdes.

### 3.2. Composition des contenus stomacaux des espèces du niveau trophique A.

La composition des contenus stomacaux est résumée dans le tableau IV. A l'heure choisie pour les prélèvements, les Copépodes prédominaient donc largement dans les estomacs de poissons du niveau trophique A, suivis des Amphipodes, des Crustacés divers, adultes ou larves, et des Euphausiacés, bien plus rares. Les poissons et leurs larves sans être très fréquents, ne sont pas exceptionnels. Sauf peut-être les Chetognathes et pour *B. simile*, les Ostracodes, les autres groupes sont rares. *V. nimbaria*, le plus actif prédateur est aussi l'espèce qui a la nourriture la plus homogène avec la prédominance la plus élevée de Copépodes.

Pour compléter ce tableau, on peut indiquer que sur 116 groupes d'un effectif théorique de 5 poissons où la composition de la nourriture fut étudiée, pour 33 d'entre eux, on n'observait que des débris trop digérés pour être identifiés. Pour les 83 restant, des Copépodes étaient présents dans 83 % des cas, des Crustacés divers dans 25 % des cas, des Euphausiacés dans 14 % des cas ; en comptant les cas où ils étaient représentés seulement par des écailles on observait des Poissons dans 12 % de ces groupes, mais dans beaucoup d'autres estomacs des débris digérés pouvaient leur être attribués. Les autres taxons n'étaient présents que dans 1 à 7 % des groupes.

TABLEAU IV

Composition des organismes identifiés dans les estomacs des espèces du niveau trophique A du tableau I (en pourcentage du nombre d'organismes observé par espèce)

Organismes	<i>N. valdiviae</i>	<i>L. alatus</i>	<i>C. towsendi</i>	<i>B. simile</i>	<i>D. lutkeni</i>	<i>L. macropus</i>	<i>D. raftnesquei</i>	<i>S. multipunctatus</i>	<i>B. maclelandi</i>	<i>V. nimbaria</i>	Composition moyenne
Copépodes.....	77	73	66	66	78	55	56	42	75	84	70,7
Amphipodes.....	14	3	7	14	7	24	18	8	25	8	10,6
Euphausiacés.....	—	13	14	7	3	14	—	—	—	—	6,2
Ostracodes.....	—	—	1	8	—	—	—	—	—	—	2,2
Stomatopodes.....	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	0,1
Crustacés divers et larves de crustacés.....	6	11	1	1	10	7	18	38	—	2	5,0
Écailles de poissons.....	—	—	—	—	oui	oui	oui	—	—	—	—
Poissons.....	—	—	—	—	—	—	4	4	—	5	1,3
Larves de poissons.....	—	—	1	1	—	—	—	—	—	1	0,7
Annelides.....	—	—	2	—	—	—	—	4	—	—	0,5
Chetognathes.....	3	—	4	2	2	—	—	—	—	—	1,6
Pteropodes.....	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	0,1
Org. gélatineux (Salpes, Méduses, Pyrosomes, Siphonophores).....	—	—	3	—	—	—	4	4	—	—	0,8
Nombre total des organismes identifiés.....	35	38	147	198	61	42	27	26	4	176	754

### 3.3. Copépodes consommés par *Benthosema pterota*.

Une détermination rapide des Copépodes trouvés dans les estomacs de 99 *B. simile* fut faite par J. A. GUEREDRAT. Sur 94 Copépodes, 24 % étaient des *Pleuromamma* (pour moitié *P. abdominalis*), 22 % des Calanidés divers, 14 % des *Oncea*, 8 % des *Euchaeta*, 8 % des *Pseudocalanus*,

5 % des *Candacia* (dont *C. aethiopica* et *C. pachydactyla*). On notait aussi 3 *Scolecithrix danae*, 4 *Corycaeus*, 2 *Eucalanus allenuatus*, 2 *Calanus*, 2 *Scottocalanus*, 1 *Neocalanus gracilis*, 1 *N. robustior*, 1 *Chirundina indica*, 1 *Undeuchaeta plumosa*.

### 3.4. Proies de *Chauliodus sloanei*.

Sur 41 estomacs de *Ch. sloanei* contenant des proies, 21 contenaient 23 poissons peu ou partiellement digérés, 13 des débris digérés pouvant être attribués à des poissons. Les Crustacés n'étaient présents que dans 6 estomacs dont une fois sous forme de débris digérés. Leur poids n'atteignait pas 2 % du poids total d'aliments (1 Euphausiacé, 7 Copépodes) : il est même fort possible qu'une partie d'entre eux provienne des poissons avalés par les *Chauliodus*. La taille de ces proies est indiquée dans le tableau II, mais notons ici la présence d'un *Lampanyctus steinbecki* (BOLIN 1939) de 18 mm, pesant 51 mg dans l'estomac d'un *Chauliodus* de 26 mm.

La plupart des autres poissons n'étaient pas identifiables. Cependant 6 étaient des Myctophides, 4 probablement des *Paralepis*, 2 des *Bregmaceros*.

Les *Ch. sloanei* capturés se nourrissaient donc sur l'ichtyoplancton et au moins en partie sur la fraction de l'ichtyoplancton étudiée dans la présente note.

## 4. DISCUSSION DES RÉSULTATS: ACTION PRÉDATRICE DES POISSONS MICRONECTONIQUES

### 4.1. Connaissances actuelles sur l'alimentation des poissons micronectoniques. Rythme de l'alimentation pour le niveau trophique B.

La littérature existante à ce jour est pauvre en données sur l'alimentation des espèces que nous venons de considérer, particulièrement en données quantitatives. Bien que nous n'ayons pas eu la possibilité de consulter toutes les références existantes (notamment l'article de TCHERNAVIN sur *Chauliodus* et celui de J. A. BIRSTEIN et M. E. VINOGRADOV de 1955), il n'est probablement pas faux de dire que l'essentiel des connaissances actuelles provient de citations éparées dans la littérature traitant de la distribution ou de la systématique de ces poissons, citations plus explicites cependant dans les divers travaux auxquels BEEBE fut associé. Ces données furent résumées par MARSHALL (1958). Elles confirment que la nourriture des Myctophides comporte principalement des Copépodes, mais également des Amphipodes, des Euphausiacés, des Ptéropodes, des Céphalopodes, des Chetognathes et même des Siphonophores. Tel serait aussi le cas pour les Sternoptychidés et les plus petits Gonostomidés. Le niveau trophique supérieur est décrit plus en détail. Les *Astronesthes* consommeraient principalement des Myctophidés, mais aussi des Euphausiacés et des crevettes diverses ; les *Eurypharynx* des poissons, vers, crevettes et même occasionnellement des proies benthiques. Les *Saccopharynx* limiteraient leur régime aux poissons. Les *Serrivomerides*, *Nessoramphides* et *Derichthyides* consommeraient plutôt des crevettes, notamment des Euphausiacés, mais et aussi des Amphipodes et des poissons (*Cyclothone*, Myctophides). *Idiacanthus* et *Chauliodus sloanei* seraient, d'après les auteurs, consommateurs de poissons de grande taille, ce qui est confirmé ici pour *Chauliodus* ; il en est de même pour les *Gigantura*, *Evermannella*, *Ceratiidés* et *Chiasmodon niger*. Notons pour compléter que 27 estomacs de grands *Gonostoma rhodadenia* du Pacifique et de l'Océan Indien ont été examinés dans ce laboratoire : 19 étaient vides. Les 8 autres estomacs contenaient des débris de crustacés qui étaient 6 fois identifiables comme provenant d'Euphausiacés.

Tout en admettant la possibilité de rejet de nourriture après la capture ou d'une surdispersion effective des aliments recherchés, MARSHALL semble penser d'autre part, comme BEEBE

et CRANE (1936), que la haute fréquence des estomacs vides dans ces gros prédateurs serait due à une digestion extrêmement rapide, plutôt qu'à l'existence de périodes de chasses, suivie de longues périodes de repos et de digestion, comparables à celles observées pour les serpents terrestres, comme le pensait ROULE.

En analysant en détail les données fournies par BEEBE et CRANE, on s'aperçoit en effet qu'ils ont observé 73 % d'estomacs vides pour les Melanostomiatides et 84 % pour les *Serrivomer*. Ces chiffres sont remarquablement proches des 69 % que nous avons observés ici pour *Ch. sloanei* et des 70 % observés pour les quelques *Gonostoma* que nous venons de citer plus haut. En outre, sur 11 *Idiacanthus* examinés à Nouméa, 8, soit 72 % avaient leurs estomacs vides. L'opinion de BEEBE par contre : « finally, plankton feeders..., which as ROULE says have a continuous supply of nourishment, are taken with empty stomachs almost as often as are the large predators forms » est contredite par les chiffres que nous avons cités précédemment (10 % d'estomacs vides pour *V. nimbaria*, 25 % pour les autres espèces du niveau trophique A). Il semblerait au contraire que quelqu'en soit la raison, le pourcentage d'estomacs vides différencie en réalité ce que nous avons appelé ici le niveau trophique B (et aussi les prédateurs du macroplancton comme les *Serrivomer*) et le niveau trophique A ; en réalité peut-être cette remarque ne s'applique-t-elle qu'à une partie seulement du niveau B puisque d'après BEEBE et CRANE, *Omosudis* et *Chiasmodon* sont rarement pris sans que les estomacs contiennent une abondante nourriture et nous pouvons y ajouter que sur 181 *Alepisaurus ferox* examinés ici, il y avait seulement 23 % d'estomacs vides : mais ces exceptions pourraient correspondre à un niveau trophique différent, et concernent en tous cas des poissons nettement plus gros ou pris à ligne.

Il est certes difficile de conclure, mais il ne nous semble pas aussi évident qu'à BEEBE, CRANE et MARSHALL qu'il faille pencher en faveur de l'hypothèse de la rapidité de digestion, à moins que cette rapidité soit exceptionnelle ; en effet, on devrait observer des différences dans les pourcentages d'estomacs vides suivant la durée des traits ; or, celle-ci étant fonction de la profondeur, la similitude de nos chiffres avec ceux de Beebe s'accorde mal à cet égard avec le fait que les traits de Beebe étaient pour beaucoup des traits profonds et les nôtres limités à 210 m. De plus, le pourcentage d'organismes identifiables trouvé ici est plus élevé pour les *Chauliodus* que pour les autres formes : une digestion rapide entraînerait un résultat inverse. Nous pouvons aussi citer d'autres exemples qui font penser à l'existence de périodes de chasse et de digestion : nous avons observé une grande fréquence d'estomacs de thons à nageoires jaunes, vides ou ne contenant que des proies intactes à l'aube, alors que dans les heures suivantes la proportion d'aliments digérés croissait régulièrement dans l'estomac pour diminuer de nouveau à certaines heures avec de nouveaux apports d'aliments frais. D'autre part, sur 139 estomacs d'*Alepisaurus ferox* contenant de la nourriture, nous n'en avons vu aucun où cette nourriture ait subi même un début de digestion. HAEDRICH fait la même remarque et suggère que l'estomac d'*Alepisaurus* pourrait fonctionner comme un gésier où aucune digestion ne se fait : l'espèce pourrait ainsi avoir des périodes de chasse et des périodes de repos. Dans une information récente, BACKUS signalait être passé avec le sous-marin de recherches ALVIN près d'un *Chauliodus* dérivant parfaitement immobile ; or, BEEBE affirmait n'avoir jamais vu ces espèces en position de repos. Les trois exemples qui précèdent rappellent que la continuité dans l'activité trophique n'est nullement la règle chez les poissons pélagiques. Dès lors, l'opinion de MARSHALL, BEEBE et CRANE en faveur de l'hypothèse d'une digestion rapide faisant disparaître les aliments de l'estomac pendant que les poissons sont dans le filet paraît au moins aussi discutable que celle de ROULE en faveur d'une alternance de longues périodes de digestion et de courtes périodes de chasse. D'autre part, le rejet massif d'aliments après la capture paraît *a priori* plus difficile pour les *Chauliodus* et autres prédateurs armés de dents très hautes, souvent récurvées, que pour les formes planctonivores.

Une autre formulation des différences de régime alimentaire entre les espèces pourrait être que les grands prédateurs font face à une surdispersion relative de leur matière alimentaire, à l'inverse de ce qui se passe pour les consommateurs de petit plancton, en particulier pour *V. nimbaria* qui, plus superficiel que d'autres espèces au moins la nuit serait en corrélation bien plus étroite avec la distribution verticale des maximum de concentration du petit plancton.

Mais, la position la plus sage paraît bien être de ne rechercher pour le moment aucune explication et de constater qu'il n'y a encore aucun argument indiscutable en faveur de l'une ou l'autre des hypothèses possibles.

#### 4.2. Action prédatrice de l'ichtyofaune étudiée.

##### 4.2.1. — *Effet des facteurs limitants de l'échantillonnage.*

Les résultats exposés ci-dessus nous conduisent naturellement à essayer d'estimer l'action prédatrice des espèces étudiées. Il faut cependant d'abord rappeler et commenter les réserves qui ont été faites au début de ce texte : nous n'avons aucune chance de parvenir à une telle évaluation avec les données disponibles ici, mais la plupart des facteurs vont dans le sens de la sous-estimation. L'engin lui-même opère une sélection des poissons en fonction de la taille : de nombreuses petites formes ou petites classes de taille des grandes formes passent à travers les mailles du chalut et les poissons très allongés sont évidemment largement plus sous-estimés que les autres.

GRANDPERRIN (1967) comparant l'action de ce même chalut à celle d'un filet à plancton identique à son cul indique que les poissons du chalut étaient 6,6 fois plus nombreux que ceux du filet conique. Or, le rapport des surfaces d'ouverture de l'un et de l'autre est à peu près de 10. On peut admettre globalement que la différence entre 6,6 et 10 représente essentiellement la perte par échappement du chalut par rapport à un filet de maille très fine qui aurait la même surface. Il faudrait donc théoriquement ajouter au nombre des poissons (non à leur biomasse, s'agissant des plus petites tailles) environ 50 % pour compenser cette sous-estimation. Mais la perte par évitement du filet conique 0,50 est certainement supérieure à celle du chalut. De ce fait, le facteur 6,6 se trouve donc surestimé ; d'autre part, même si l'on pouvait appliquer une correction sûre pour l'échappement, il resterait dans tous les cas une sous-estimation des poissons de la colonne filtrée à cause de l'évitement de ceux-ci par rapport au chalut lui-même. C'est donc un facteur correctif supérieur à 1,5 qui devrait être employé pour compenser la sous-estimation due à l'échappement et à l'évitement.

La profondeur choisie provoquera une autre sélection : beaucoup de gros prédateurs du niveau B et de formes comme les *Cyclothone* pour le niveau A ne seront pas capturés ; or les *Cyclothone* passent pour représenter très généralement une part essentielle de l'ichtyoplancton profond et sont des prédateurs du plancton sans doute au moment de sa migration diurne où il est en profondeur. Or dans le Pacifique ouest comme dans le Pacifique Central, nous avons trouvé que les *Cyclothone* représentaient 60 à 80 % en nombre de l'ichtyofaune capturée au chalut Isaacs-Kidd, dans les 1000 premiers mètres. BEEBE (1937) cite une proportion très comparable de *Cyclothone* pour les Bermudes. Il n'est pas impossible qu'il s'agisse donc là d'une remarque valable pour tout l'océan tropical. Si tel était le cas dans la région étudiée ici, notre évaluation du niveau A et de son action prédatrice serait à multiplier par un facteur 2 à 5.

Les rejets d'aliments après la capture, la perte de poids des organismes ingérés en raison de l'action de la digestion avant la mort et du formol après la préservation seront, nous l'avons déjà dit, des facteurs importants de sous-estimation.

Enfin les contenus stomacaux examinés donnent une image de l'action prédatrice des poissons pendant un délai impossible à déterminer, puisque dépendant de la vitesse inconnue de la digestion et se terminant à l'heure de capture ; mais on peut supposer que ce délai est inférieur à 24 heures.

A l'inverse, on notera cependant un facteur de surestimation possible : la moyenne de poids des poissons du niveau A dont les estomacs ont été prélevés ici est de 423 mg, *Vinciguerria* inclus. Or, la moyenne générale observée sur l'ensemble des poissons est de 203 mg. Les petites classes ont donc été insuffisamment représentées dans l'échantillonnage fait lors de l'examen des contenus stomacaux ce qui amène une surestimation possible du contenu stomacal moyen : celle-ci ne compenserait qu'une fraction minime des éléments de sous-estimation citée plus haut.

Au total cependant, en utilisant les données des tableaux I et II de LEGAND et RIVATON (1968), 2<sup>e</sup> note et les données du tableau I de la présente note, il est possible de structurer certaines hypothèses quantitatives.

#### 4.2.2. Action prédatrice des espèces du niveau A.

Les 10 espèces du premier niveau trophique se nourrissant essentiellement de Copépodes représentaient approximativement 58 poissons par station en moyenne générale annuelle. Leur contenu stomacal pèse 353 mg dont 122 mg dus aux seuls *V. nimbaria*. Si l'on retient le chiffre total de 98 poissons par station, il resterait environ 35 poissons non étudiés par station après avoir éliminé les *Ch. sloanei*, *Stomialidés* divers, *Idiacanthus*, *Nemichthys*, *Serrivomer*, *G. rhodadenia* qui sont consommateurs soit de poissons micronectoniques, soit de crustacés macroplanctoniques et représentent un peu plus de 5 poissons par station : ces 35 poissons sont principalement des Myctophidés, que l'on peut attribuer globalement au niveau trophique A. En admettant pour eux la même action prédatrice que pour les Myctophidés qui ont été analysés ici — soit 4,9 mg par poisson — on obtient un contenu stomacal additionnel de 171 mg à ajouter au total précédent. De ces chiffres, on peut extrapoler que le poids global des contenus stomacaux de toutes les espèces du niveau A, calculé pour toute l'année des croisières biologiques saisonnières, aurait été de  $0,524 \times 365 = 191$  g par station, valeur moyenne annuelle caractérisant l'ensemble de la zone étudiée à l'heure de prélèvement.

Ces poissons ont été capturés, rappelons-le, par un chalut Isaacs-Kidd à maille uniforme de 6 mm mais comportant un cul de chalut formé d'un filet à plancton conique de 0,50 m, maille 2. Le volume d'eau filtré par le cul du chalut, dont on pouvait considérer qu'il retenait seul le petit plancton, était de 1970 m<sup>3</sup> pour un parcours moyen de 10 000 m ; le volume filtré par la gueule du chalut, dont on pouvait considérer qu'il n'était totalement efficace que pour certaines des plus grandes formes, était de 19 290 m<sup>3</sup> (LEGAND 1969). Comme nous l'avons dit plus haut, en fonction de leur taille et de leur forme, un pourcentage plus ou moins grand des poissons passait à travers les mailles du filet ou l'évitait : de ce fait, dans la colonne de 19 290 m<sup>3</sup> supposée filtrée, il faudrait doubler ou presque doubler le chiffre de 191 g que nous venons de citer pour approcher le contenu stomacal de la population réellement traversée à l'heure de station (voir § 4.2.1.).

Pour comparer ce contenu stomacal aux ressources disponibles, il faut noter que le poids moyen des proies, d'ailleurs sous-estimé en raison de la digestion partielle de certaines d'entre elles, est de 2,5 mg, soit sensiblement supérieur au poids moyen des Copépodes admis généralement : 0,7 mg. Cependant, dans les récoltes faites au cours de ces croisières, c'est plutôt à la biomasse échantillonnée par TRANTER et KERR (1969) avec le filet « Clarke Bumpus » immédiatement après la station micronecton qu'à la biomasse collectée par le cul du chalut qu'il faudrait comparer le contenu stomacal obtenu : la seconde comprend beaucoup de jeunes Euphausiacés alors que les Copépodes dominent dans la première comme dans les contenus stomacaux étudiés ici. Quoiqu'il en soit, les chiffres moyens annuels pour la radiale sont de 68 mg par m<sup>3</sup> par station pour le Clarke Bumpus de nuit et de 22 g par station pour la fraction plancton du chalut, qu'on peut considérer comme filtrée dans 1 970 m<sup>3</sup> d'eau (voir ci-dessus). En ramenant ces chiffres au volume de 19 290 m<sup>3</sup>, on trouve des biomasses de plancton de 1 312 g par station pour le Clarke Bumpus et de 215 g pour le chalut, en face desquelles on peut reporter les 191 g de contenus stomacaux trouvés plus haut, sans pouvoir indiquer auquel des deux premiers chiffres ou à quelle valeur intermédiaire il faut référer le troisième. La biomasse des prédateurs correspondants peut être estimée à 16,5 g.

Au total, le contenu stomacal\*annuel du niveau trophique A tel qu'il a été défini ici est au moins le 1/7 de la population en place des proies et nous savons que cette estimation n'est qu'une faible fraction de l'action prédatrice réelle de l'ensemble des poissons du niveau A dans leur cycle annuel : on doit rappeler notamment que, si à l'heure du prélèvement, la majeure partie de la biomasse planctonique concernée se trouvait au-dessus de 200 m, une part peut-être majeure

de l'ichtyoplancton restait par contre au-dessous de ce niveau et pouvait, à d'autres heures du jour, entamer plus largement que nous ne l'avons mesuré ici la biomasse planctonique. Nous ignorons le taux de renouvellement du plancton durant l'année considérée ; mais, quoiqu'il en soit la prédation des poissons micronectoniques sera un facteur essentiel de l'utilisation du plancton.

#### 4.2.3. — Action prédatrice des espèces du niveau B.

En utilisant les poids moyens obtenus par estomac de *Chauliodus* et en l'estimant valable pour les autres grands prédateurs de poissons du niveau A, représentant au total 2,8 poissons par station, on obtient un contenu stomacal global estimé de 27,2 mg, soit un contenu stomacal annuel pour l'heure considérée de 9,9 g. Or la biomasse moyenne du niveau A est, nous l'avons vu, de 16,5 g. L'action prédatrice du niveau B représenterait donc plus de la moitié de la biomasse du niveau A, mais il est difficile de définir le taux de recouvrement réel de ces deux chiffres : la biomasse des poissons du niveau B est largement sous-estimée elle aussi, d'une part par échappement des plus petites formes, échappement qui est très important en raison de la forme allongée de ces poissons, d'autre part par évitement des plus grandes formes, souvent d'ailleurs plus profondes. D'ailleurs l'amplitude plus grande de la répartition verticale des formes du niveau B implique que probablement elles s'attaquent à une biomasse de proies répartie plus profondément que 200 m. Nous ne parlerons pas ici évidemment de la prédation des formes du niveau A par le necton proprement dit, c'est-à-dire par les Thons pour les *Vinciguerria* et par les Céphalopodes pour l'ensemble des espèces et aussi par les grands Crustacés mésopélagiques, Carides notamment. Nous n'avons pas non plus d'éléments sur l'action prédatrice des consommateurs de macroplancton (*Apodes* et *Gonostoma*) qui constituent d'ailleurs un niveau trophique différent. Cependant, nous noterons comme précédemment qu'il y a une très forte présomption pour que les espèces du niveau B soient, par leur active prédation, un agent d'utilisation important de celles du niveau A ; d'autre part, le renouvellement de la biomasse de celui-ci paraît être souvent annuel (voir notes précédentes).

## 5. CONCLUSION

Bien que l'action prédatrice des espèces étudiées ici n'ait pu être réellement évaluée et que nombre de réserves doivent être faites sur les chiffres obtenus ici, l'importance de cette action prédatrice dans la zone considérée, comme facteur d'utilisation des biomasses planctoniques et ichtyoplanctoniques, est évidente. Il est remarquable de noter en particulier l'action prédatrice de *Vinciguerria nimbaria*, une des espèces les plus abondantes et les moins profondes. A se fier au seul chiffre obtenu pour l'heure de station, cette espèce consommerait son propre poids de plancton en environ 20 jours. Or elle peut former des accumulations considérables. Des traits de chalut Isaacs Kidd dans le Pacifique ont mis en évidence dans les courants équatoriaux des nombres de *Vinciguerria* près de cinq fois plus forts que dans l'Océan Indien en moyenne ; les cycles de croisières *Bora* et *Caride* ont prouvé, d'autre part, l'existence de pics de fréquences observables en un point donné du courant équatorial pendant une durée probable de quelques semaines durant laquelle les nombres de poissons capturés peuvent devenir trois fois supérieurs à cette valeur moyenne. Durant la campagne *Alizé*, une concentration de post-larves de cette espèce fut aussi rencontrée sur l'équateur par 155°W. Elle était sensible sur 100 à 200 milles et représentait au plus fort de son développement une biomasse plusieurs fois supérieure au reste du plancton.

Si nous admettons comme base de l'action prédatrice de *Vinciguerria nimbaria* dans le cas des courants équatoriaux du Pacifique, la fréquence moyenne observée lors des croisières *Bora* et *Cyclone*

et le contenu stomacal moyen trouvé dans l'Océan Indien, nous relevons une consommation quotidienne de 0,56 g de plancton. La prédation annuelle des *V. nimbaria* sur cette seule base de leur fréquence moyenne et de leur contenu stomacal à 22 heures serait donc de 204 g de plancton par an pour les 19 290 m<sup>3</sup> d'eau considérés comme représentant le volume filtré par le chalut. Si l'on se réfère non plus à la fréquence moyenne de *Vinciguerria* mais aux fréquences maximales observées, le contenu stomacal quotidien y atteindrait 1,56 g, ce qui voudrait dire que, si cette concentration se maintenait au même niveau pendant un mois, elle aurait eu pendant ce temps un effet prédateur supérieur à 47 g de plancton.

Compte tenu de ce qu'ils ne représentent qu'une partie de l'action prédatrice de l'ichtyo-plancton, de tels chiffres font pressentir à quel point la connaissance exacte de l'action des poissons micronectoniques dans l'équilibre biologique des eaux du large est un facteur essentiel de la description de cet équilibre.

### BIBLIOGRAPHIE

- AHLSTROHM (E. H.), THRAILKILL (J. R.), 1963. — Plankton volume loss with time of preservation. *Rep. Calif. Coop. Oceanic. Fish Invest.*, pp. 57-73.
- ARON (W.), 1959. — Midwater trawling studies in the North Pacific. *Limnol. and Oceanogr.*, Vol. 4, No 4, pp. 409-418.
- BACKUS (R. H.), 1968. — Solving the mystery of « Alexander's Acres ». *Oceanus*, Vol. 14, No 3, pp. 14-20. Woods Hole.
- BEEBE (W.), 1935. — Deep sea fishes of the Bermuda Oceanographic Expedition, No 1 family Derichthyidae No 2 family Nessorhamphidae. *Zoologica*, Vol. 20, Nos 1 et 2, pp. 1-51.
- BEEBE (W.), 1937. — Preliminary list of Bermuda Deep sea fish. *Zoologica*, Vol. 22, part 3, No 14, pp. 197-208.
- BEEBE (W.), CRANE (H.), 1934. — Deep sea fishes of the Bermuda Oceanographic Expedition, family Idiacanthidae. *Zoologica*, Vol. 16, No 4, pp. 149-239, New-York.
- BEEBE (W.), CRANE (J.), 1936. — Deep sea fishes of the Bermuda Oceanographic Expedition, Family Serri-vomeridae. *Zoologica*, Vol. 20, No 3, pp. 53-101, New-York.
- BEEBE (W.), CRANE (J.), 1939. — Deep sea fishes of the Bermuda Oceanographic Expedition, family Melanostomiidae. *Zoologica*, Vol. 24, part 2 (6-9), pp. 65-238, New-York.
- BEEBE (W.), VANDER PYL (M.), 1944. — Easter Pacific Expeditions of the New-York Zoological Society (33) Pacific Myctophidae (fishes). *Zoologica*, Vol. 29, part 2, pp. 59-79.
- BERTIN (L.), 1942. — Le milieu abyssal et la distribution géographique des poissons abyssaux. *Rev. gén. Sci.*, n° 12, 1940-1941, Paris, G. Doin & C<sup>ie</sup>. pp. 3-11.
- BLACKBURN (M.), 1966. — Relationship between standing crops at successive trophic levels in the eastern Pacific. *Pacif. Sci.*, Vol. 10, No 1, pp. 36-59.
- BLACKBURN (M.), 1968. — Micronekton of the eastern tropical Pacific Ocean : family composition, distribution, abundance and relations to tuna. *U.S. Fish Wild. Serv., Fish. Bull.*, Vol. 67, No 4, pp. 71-115.
- BRAUER (A.), 1906. — Die Tiefsee Fish I. Systematischen Teil. *Wiss. Erg. Deut. Tiefsee Exped. Valvidia 1898-1899*. Bd. 15.
- BROCK (V.), DOTY (M.), HIATT (R. W.), LAEVASTU (T.), 1963. — Evaluation of the sea. Rep. No 42, Hawaii Institute Geophys. Univ. Hawaii, Honolulu.
- FRASER BRUNNER (A.), 1948. — A classification of the fishes of the family Myctophidae. *Proc. zool. Soc. London*, 118 (part 4), pp. 1019-1106.
- GRANDPERRIN (R.), 1967. — Étude comparative d'échantillons de macroplancton et de micronekton récoltés par 3 filets différents. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*, vol. V, n° 4, pp. 13-29.
- GRANDPERRIN (R.) et CABOCHE (C.), 1968. — Aperçu sur l'action des procédés de conservation sur la biomasse d'organismes micronectoniques et macroplanctoniques. *J. Cons. perm. internation. Explor. Mer*, 32, n° 2, pp. 209-215.
- HAEDRICH (R. L.), 1964. — Food habits and young stages of North Atlantic *Alepisaurus* (Pixes Iniomi). *Breviora*, No 201-1-15.

- HAEDRICH (R. L.), NIELSEN (J. G.), 1966. — Fishes eaten by *Alepisaurus* (Pixes Iniomi) in the South Pacific Ocean. *Deep-Sea Res.*, vol. 13, No 5, pp. 909-920.
- IVERSEN (B. T. B.), 1962. — Food of Albacore tuna *Thunnus germon* (Lacépède) in the central and northeastern Pacific. — *U.S. Fish Wildl. Serv. Fish. Bull.*, 214, Vol. 62, pp. 455-482.
- JOHNSTON (R.), 1962. — An equation for the depth distribution of deep sea zooplankton and fishes. *Cons. perm. internation. Explor. Mer. Rapp. P.V.*, Vol. 153, pp. 217-219.
- KING (J. E.), IKEHARA (I. I.), 1956. — Comparative study of food of Bigeye and Yellowfin tuna in the central Pacific. *U.S. Fish Wildl. Serv. Fish. Bull.*, 108, vol. 57, pp. 59-85.
- KING (J. E.), INVERSEN (R. T. B.), 1962. — Midwater trawling for forage organisms in the central Pacific 1951-1956. *U.S. Fish Wildl. Serv. Fish. Bull.*, 210, vol. 62, pp. 267-321.
- LEGAND (M.), 1967. — Cycles biologiques des poissons mésopélagiques dans l'est de l'Océan Indien. Première note : *Scopelopsis multipunctatus* Brauer, *Gonostoma* sp., *Notolychnus valdiviae* Brauer, *Cah. O.R.S.T.O.M. sér. Océanogr.*, vol. IV, pp. 47-71.
- LEGAND (M.) et RIVATON (J.), 1967. — Cycles biologiques des poissons mésopélagiques dans l'est de l'Océan Indien. Deuxième note : Distribution moyenne des principales espèces de l'ichtyofaune. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Oceanogr.*, vol. V, n° 4, pp. 74-98.
- LEGAND (M.), 1969. — Seasonal variations in the Indian Ocean along 110° E. VI : Macroplankton and Micronekton biomass. *Austral. J. Mar. Freshwat. Res.*, 20, pp. 85-103.
- LEGAND (M.), BOURRET (Ph.), GRANDPERRIN (R.), RIVATON (J.), 1969. — A preliminary study of some micronektonic fishes in the equatorial and tropical western Pacific. UNESCO-SCOR Symposium on South Pacific. Sous presse.
- MARSHALL (N. B.), 1958. — Aspects of the deep sea biology. Hutchinson and Co Ltd, 380 p., London WI (pp. 138-147).
- OKUTANI (T.), 1962. — Diet of the common squid *Ommatostrephes Sloani Pacificus* landed around Ito port, Shizuoka Prefecture. *Bull. Tokai regional fish Res. Lab.*, No 32, pp. 41-47.
- OSTERBERG (G.), PEARCY (W. G.), CURL (H. Jr.), 1964. — Radioactivity and its relationship to the oceanic foodchains. *J. mar. Res.*, 22 (1), pp. 2-12.
- PEARCY (W. G.), LAURS (R. M.), 1966. — Vertical migration and distribution of mesopelagic fishes of Oregon. *Deep. Sea Res.*, Vol. 13, No 2, pp. 153-166.
- REGAN (G. T.), TRAWAVAS (E.), 1929. — The fishes of the family Asthronesthidae and Chauliodontidae. Rep. Danish Dana Exped. (1920-1922), No 5, 39 p.
- REINTJES (J. W.), KING (J. E.), 1953. — Food of Yellowfin tuna in the Central Pacific. *U.S. Fish Wildl. Serv. Fish. Bull.*, 81, vol. 54, pp. 87-110.
- RYLAND (J. S.), 1964. — The feeding of plaice and sandeel larvae in the southern Northsea. *J. Mar. Biol. ass. U.K.*, vol. 44, No 2, pp. 343-364.
- TÅNING. (A.V.) — Synopsis of the Scopelids in the North Atlantic 1928, Vidensk. Medd. fra Dansk. naturh. Foren. Bd. 86, pp. 49-69, A. V. TÅNING, 1932. Note on the Scopelids from the Dana Expeditions I. Vidensk. Medd. fra Dansk. naturh. Foren. Bd. 94, pp. 125-146.
- TRANTER (D. J.), KERR (J. D.), 1969. — Seasonal variations in the Indian Ocean along 110° E V Zooplankton biomass. *Austral. J. Mar. Freshwat. Res.*, 20, pp. 77-84.
- VINOGRADOV (M. E.), 1962. — Feeding of the deep sea zooplankton. *Cons. perm. internation. Explor. Mer. Rapp. P.V.*, vol. 153, pp. 114-120.
- VINOGRADOV (M. E.), 1968. — Vertical distribution of the Oceanic Zooplankton, 320 p. « Nauka » Moscow.
- VINOGRADOV (M. E.), VORONINA (N.), 1962. — The distribution of different groups of plankton in accordance with their trophic level in the Indian equatorial current area. *Cons. perm. internation. Explor. Mer. Rapp. P.V.*, Vol. 153, pp. 200-203.
- YABLOUSKAYA (E. A.), 1962. — Study of the seasonal population dynamics of the plankton copepods as a method of determination of their production. *Cons. perm. internation. Explor. Mer. Rapp. P.V.*, Vol. 153, pp. 224-226.

11

○

○

## SUR UN NOYAU A FORTE TENEUR EN OXYGÈNE DANS LA PARTIE INFÉRIEURE DU COURANT DE CROMWELL

par F. ROUGERIE\*

### RÉSUMÉ

On rappelle qu'une des caractéristiques majeures du courant de Cromwell se trouve être l'homogénéité de sa teneur en oxygène dissous ; toutefois les résultats de 4 coupes sur les 8 effectuées à l'Équateur et à 170° E lors des croisières « Cyclone » indiquent une anomalie positive de la teneur en oxygène dans la partie inférieure du courant, sur l'isanostrè 180 cl/t. TSUCHIYA (1965) ayant montré que cette couche est alimentée par des eaux sortant de la mer du Corail, il convenait de préciser l'influence possible de la circulation superficielle néo-guinéenne sur l'écoulement des eaux sous-jacentes. Au nord de la Nouvelle-Guinée la mousson d'hiver engendre le courant côtier de la Nouvelle-Guinée qui coule vers le sud-est et en affectant les 300 premiers mètres, autorise une extension plus méridienne des eaux issues de la mer du Corail ; celles-ci effectuent un trajet plus direct pour alimenter le courant de Cromwell et conservent mieux leurs caractéristiques d'origine, notamment leur concentration en oxygène dissous.

Des considérations sur la distribution zonale de l'oxygène le long de l'équateur, et des mesures de courant viennent confirmer ce schéma de circulation sur 180 cl/t.

### ABSTRACT

One of the main features of the Equatorial Undercurrent is the homogeneity of its dissolved oxygen content ; results of four vertical equatorial sections out of eight along 170° E during « Cyclone » cruises however give a positive anomaly of the oxygen content in the lower part of the current on the 180 cl/t surface (fig. 1 and 2). TSUCHIYA (1965) having shown that this part of the undercurrent could be fed by water of Coral Sea origin, it seemed worth stating the possible influence of the superficial circulation on the underrunning layer (fig. 5). North of New Guinea the winter moonsoon induces the New Guinea Coastal Current which runs south-east and affects the superficial layer down to 300 m, thus allowing the Coral Sea waters to extend only northward. These follow a more direct route than in summer to feed the Equatorial Undercurrent and keep better their original properties, especially their high oxygen content (fig. 6).

Dissolved oxygen content zonal distribution near the equator and current measurements seem to confirm this circulation diagram on the 180 cl/t surface.

\* Centre O.R.S.T.O.M. de Nouméa (Nouvelle-Calédonie), B.P. 4.

26 JUN 1966

O. R. S. T. O. M. Fonds Documentaire

no : 20 317

Date : A

## INTRODUCTION

L'hypothèse de KNAUSS (1960), selon laquelle les eaux du courant de Cromwell étaient homogénéisées par suite d'une forte turbulence verticale ne fut pas confirmée par les premières observations du N. O. *Coriolis*.

En effet, les premières coupes Sud-Nord tracées au cours des croisières *BORA* en 1965-1966 montrent que la distribution des sels nutritifs, phosphates et nitrates, accuse de forts gradients verticaux ; par contre la teneur en oxygène présente une remarquable constance entre les surfaces isanostériques 350 cl/t et 160 cl/t et caractérise une zone homogène qui subsiste dans tout le

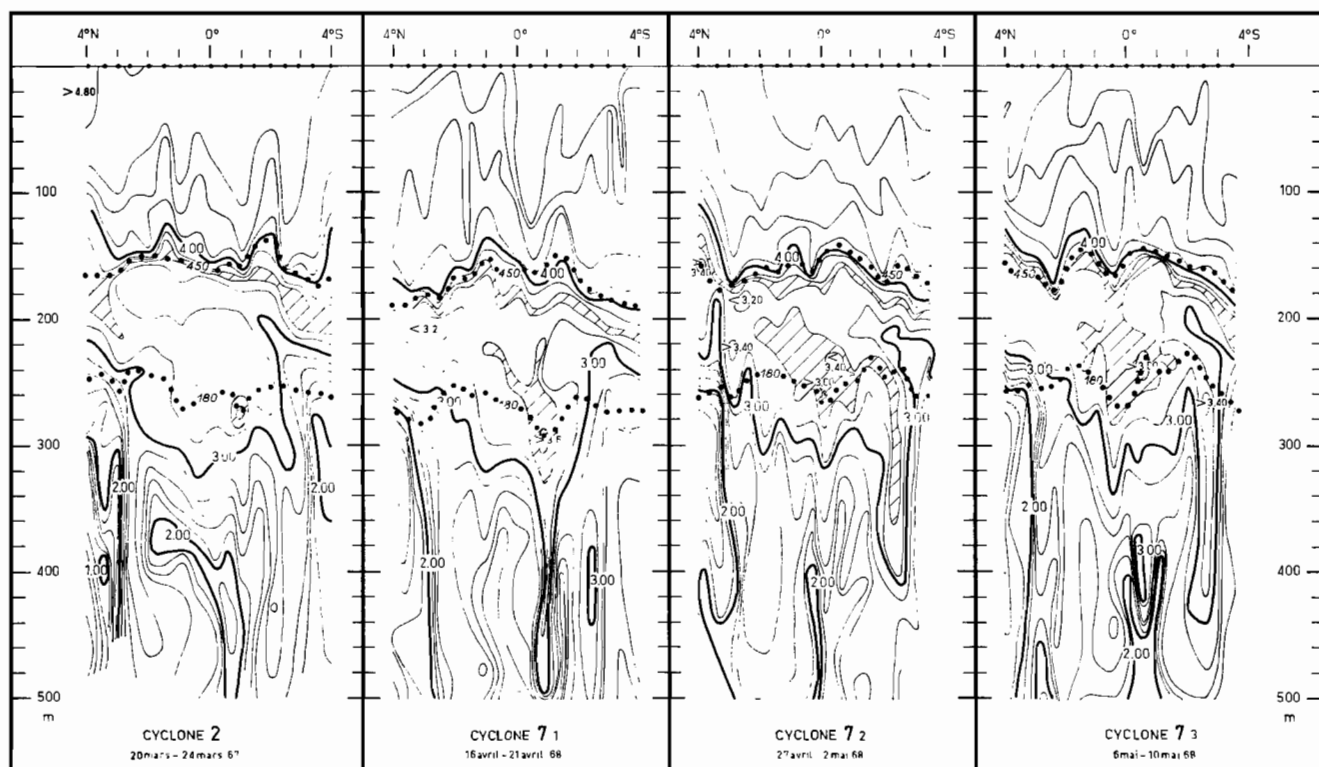


Fig. 1. — Distribution verticale de l'oxygène à 4° N-4° S et 170° E. Traits pleins : isoplètes d'oxygène tous les 0,2 ml/l ; traits pointillés ; isanostères 180 cl/t et 450 cl/t.

trajet vers l'est du courant de Cromwell (PICKARD, ROTSCHI, 1968 et PICKARD, ROTSCHI, RUAL, 1969).

En outre les trois coupes Sud-Nord successives à 170° E réalisées pendant la croisière « *Cyclone 7* » du N. O. *Coriolis* en avril-mai 1968, révèlent dans la partie inférieure du noyau du courant de Cromwell, située sous la base de la thermocline, une petite zone où la concentration en oxygène dissout atteint 3,6 ml/l sur 180 cl/t (fig. 1). Cette anomalie de la couche homogène avait déjà été notée dans les résultats de la croisière « *Cyclone 2* » (mars 1967). La distribution verticale de l'oxygène dissout est particulièrement caractéristique des eaux équatoriales occidentales et ROTSCHI et WAUTHY (1969) ont montré que l'on pouvait distinguer quatre couches successives :

- une couche superficielle homogène en oxygène et isotherme où, jusqu'à la surface isostérique 450 cl/t, la teneur en oxygène est supérieure à 4 ml/l,
- une première couche de transition entre 25 °C et 22 °C,
- une deuxième couche homogène en oxygène où la concentration moyenne est 3,3 ml/l jusque vers 13 °C et que l'on peut associer au courant de Cromwell,
- une deuxième couche de transition où le gradient vertical en oxygène est toutefois plus faible que dans la première.

L'homogénéité en oxygène dissous du flux sub-superficiel vers l'Est qui constitue le courant de Cromwell ayant été bien établie (KNAUSS, 1960), il est apparu que seule une étude détaillée de la circulation méridienne dans la zone originelle du courant de Cromwell permettrait d'expliquer l'anomalie positive de la couche homogène rencontrée pendant les croisières « *Cyclone 2 et 7* ».

### RÉSULTATS

La méthode de mesure de l'oxygène dissous utilisée à bord du N. O. *Coriolis* est la méthode de Winkler améliorée en tenant compte des suggestions de CARRITT et CARPENTER (1966), le

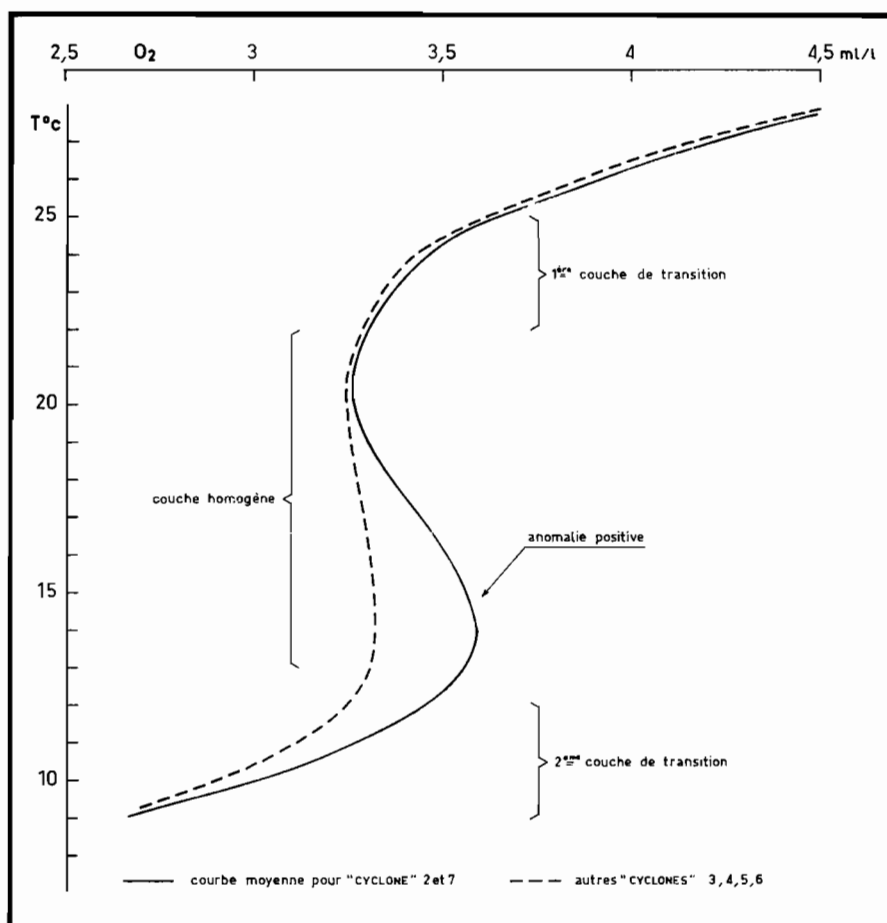


Fig. 2. — Courbes T-O<sub>2</sub> à 170° E et 0°30' S montrant la couche homogène en oxygène du courant de Cromwell, et l'anomalie positive observée aux croisières *Cyclone 2 et 7*.

dosage lui-même est fait avec un titrateur automatique Beckman modifié et adapté à un usage en mer (RUAL et VOITURIEZ, 1969).

Les principales modifications portent sur le flaconnage, l'utilisation d'iodure de potassium très concentré pour lutter contre la volatilisation de l'iode et un pH stabilisé entre 2,0 et 2,5 pour empêcher l'oxydation de l'iodure en iode. Dans ces conditions opératoires et au niveau de probabilité 95 %, la précision sur les mesures est de 0,06 ml/l.

Si toutes les données des croisières *Alizé* (1964-1965), *Bora* (1965-1966), *Cyclone* (1967-1968) du N. O. *Coriolis* confirment la distribution en deux couches homogènes de l'oxygène à l'équateur, les croisières *Cyclone 2* (1 coupe) et *Cyclone 7* (3 coupes) révèlent dans la partie inférieure de la 2<sup>e</sup> zone homogène une masse d'eau où la concentration en oxygène atteint 3,6 ml/l (fig. 2).

Dans les quatre coupes citées effectuées à 170° E, cette petite zone est située entre 1° S et l'équateur et semble être stabilisée sur une surface isanostérique proche de 180 cl/t (35,00 ‰ en salinité et 14 °C en température). Cet accident de distribution de l'oxygène dans une zone où la teneur moyenne est de 3,3 ml/l pose le problème de l'origine de l'eau qui constitue la partie inférieure du courant de Cromwell.

## DISCUSSION

### Origine de la couche homogène en oxygène.

La zone homogène en oxygène située sous une oxycline bien marquée ne peut résulter de processus de mélanges verticaux turbulents qui auraient alors nécessairement égalisé la distribution des sels nutritifs tels que phosphate et nitrate, ce qui n'est pas le cas ; il faut donc associer cette absence de gradient vertical au problème de l'origine des eaux du courant de Cromwell.

TSUCHIYA (1965) a montré que des eaux de la mer du Corail s'étendant vers le nord-ouest le long des côtes de la Nouvelle-Guinée s'intégraient dans la circulation équatoriale vers 135° E et constituaient la partie inférieure du courant de Cromwell. ROTSCHI et WAUTHY (1969) confirment cet apport d'eau de la mer du Corail au courant de Cromwell et montrent que la zone homogène en oxygène est le résultat de la superposition de deux masses d'eau d'origines différentes qui possèdent approximativement la même teneur en oxygène. La partie supérieure de cette couche homogène est constituée par des eaux du contre-courant équatorial nord qui ont plongé sous celles du courant équatorial dans le nord de la Nouvelle-Guinée ; des eaux issues de la Mer du Corail en occupent la partie inférieure.

La figure (3) montre l'évolution des diagrammes T-O<sub>2</sub> à 148° E et entre les latitudes 7° S et 6° N ; l'appauvrissement en oxygène des eaux sortant de la Mer du Corail et s'étendant vers le nord est particulièrement net ; sur l'isotherme 14 °C on note ainsi 3,70 ml/l d'oxygène dissous à 7° S, 3,30 ml/l à l'équateur et moins de 3 ml/l au nord. Une diminution parallèle de la salinité a été mise en évidence par HISARD et al. (1969), d'après les résultats des croisières 25 et 27 du *Vityaz*. Mais sur l'isanostère 180 cl/t, le gradient de salinité entre le détroit de *Vityaz* (35,2 ‰) et l'équateur (35,1 ‰), est faible et semble rester constant tout au long de l'année (fig. 4). Par contre, la diminution de la teneur en oxygène des eaux coralliennes au cours de leur circulation méridienne ne semble pas être toujours du même ordre de grandeur ; en effet, les valeurs obtenues par diverses expéditions (DANA, 1928-1930 ; SATUMA MARU, 1956) à 1° S et 145° E sont très proches de celles rencontrées en Mer du Corail ; cela semble indiquer que la circulation isentropique des eaux subsuperficielles, en particulier sur l'isanostère 180 cl/t, subit des fluctuations qui en accroîtraient passagèrement l'importance.

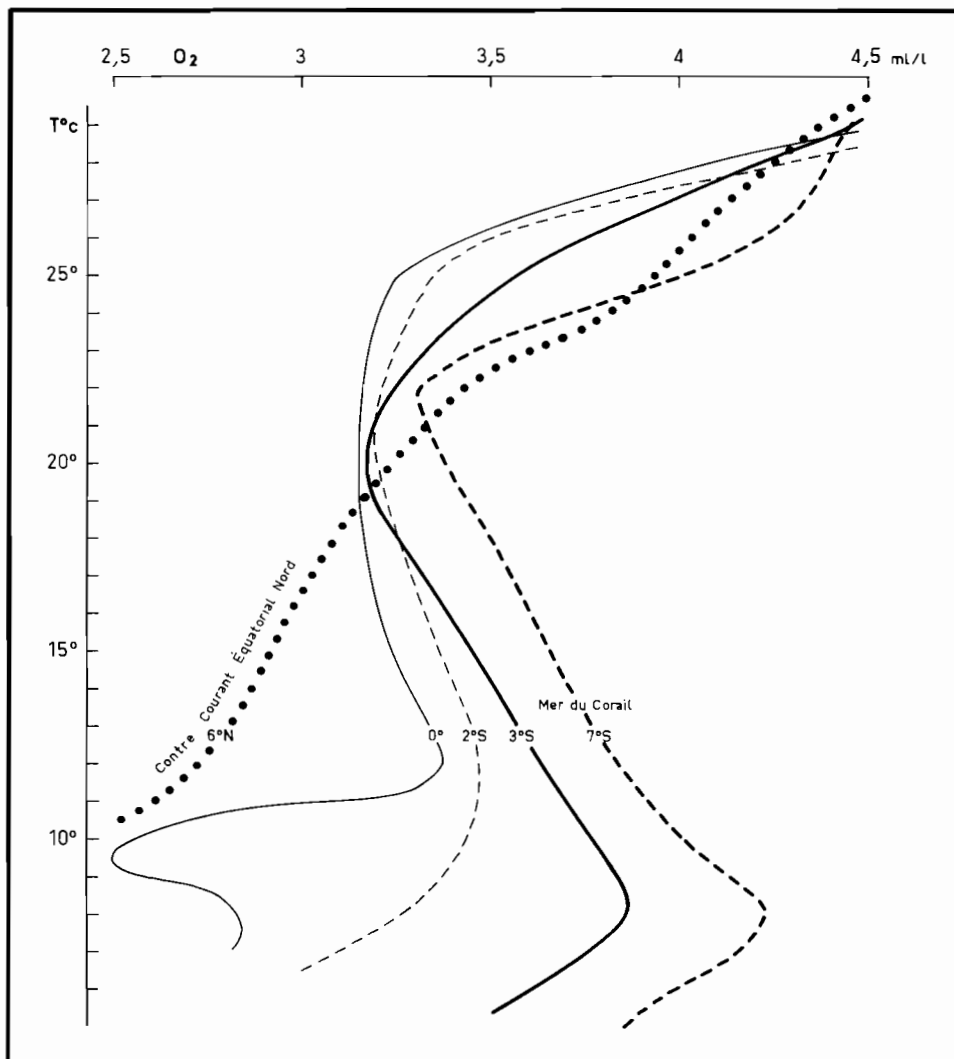


Fig. 3. — Évolution des courbes T-O<sub>2</sub> à 148° E entre 7° S et 6° N. Données du *Vityaz*, croisière n° 25.

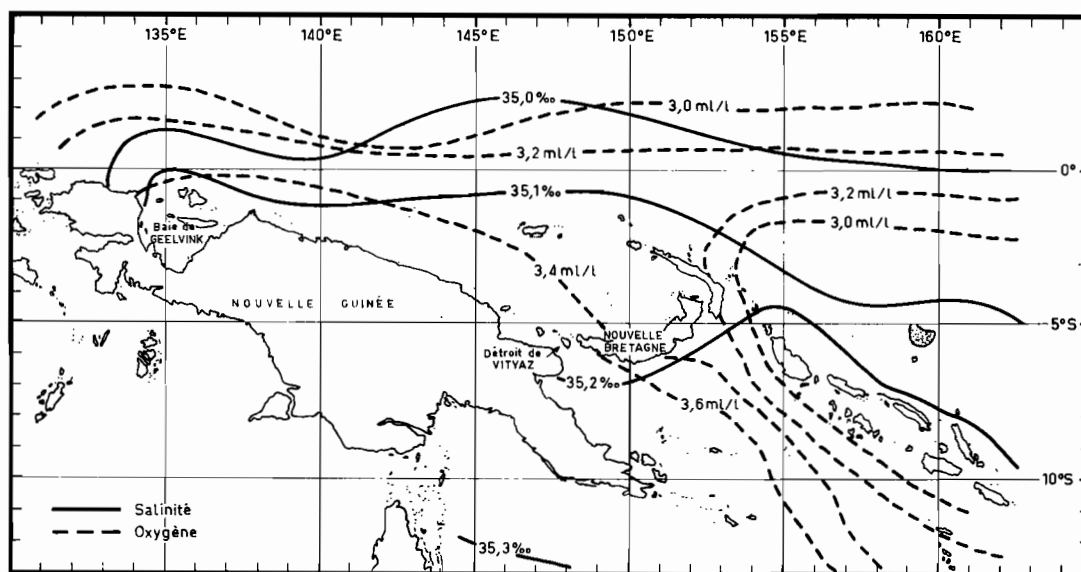


Fig. 4. — Distribution moyenne annuelle sur l'isanostère 180 cl/t de la salinité et de l'oxygène dissous.  
 — salinité, tous les 0,1 ‰.  
 - - - oxygène, tous les 0,2 ml/l.

Une des raisons de ces variations pourrait être un cheminement plus direct vers l'équateur des eaux sortant de la Mer du Corail. Si l'on fait l'hypothèse que les fluctuations de la circulation superficielle font sentir leurs effets jusque vers l'isanostrère 180 cl/t, soit 250 m en moyenne, il devient important de préciser le schéma de la circulation dans la région nord de la Nouvelle Guinée (fig. 5).

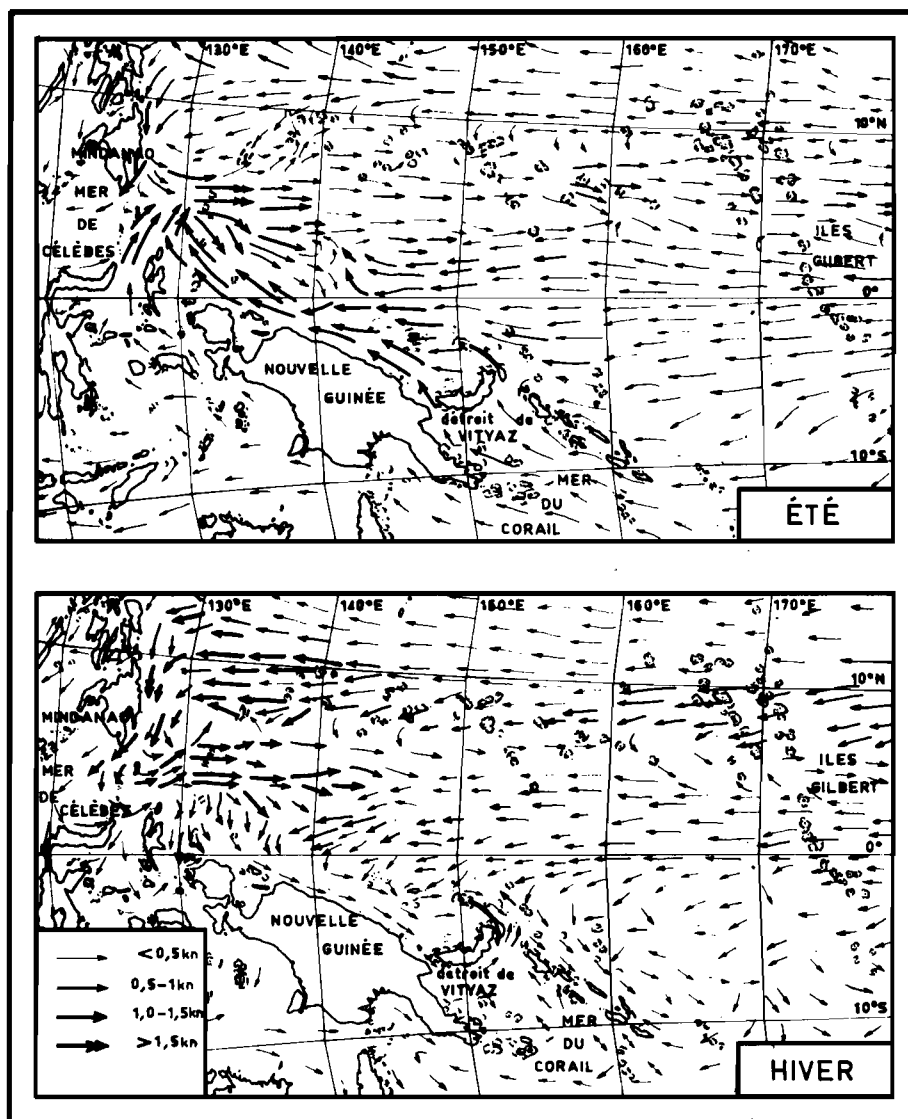


Fig. 5. — Circulation superficielle dans le nord de la Nouvelle-Guinée à deux époques de l'année. Tiré du « Morskoï Atlas ».

A partir d'avril, la mousson du sud-est renforce le courant équatorial sud qui dépasse alors l'équateur et atteint la bordure est des îles de la Sonde ; on peut penser que cette circulation superficielle et subsuperficielle engendre en profondeur un flux d'eau dans la même direction ; les eaux sortant de la Mer du Corail entre la Nouvelle-Guinée et la Nouvelle-Bretagne, par le détroit de *Vityaz* peuvent s'écouler jusqu'au niveau de la baie de Geelvink où l'on trouve encore 3,4 ml/l sur l'isanostrère 180 cl/t.

A partir de novembre, la mousson du nord-ouest déclenche une renverse des courants de surface qui se traduit par un écoulement vers le sud-est du courant côtier de la Nouvelle-Guinée (WYRTKI, 1961). Ce flux néo-guinéen peut atteindre 2 nœuds en surface et il suffit qu'il affecte les 300 premiers mètres pour empêcher l'extension vers l'ouest des eaux issues de la mer du Corail. Celles-ci auront alors une circulation uniquement méridienne et ne pourront alimenter le courant de Cromwell qu'à l'est de 145° E (fig. 6).

Il est donc possible qu'entre novembre et mars, date à laquelle le flux néo-guinéen méridional disparaît, arrivent à l'équateur des eaux encore fortement marquées par leur origine corallienne et possédant des teneurs en oxygène proches de 3,7 ml/l sur 180 cl/t ; ces eaux que leur déplacement isentropique le long de l'isanostère 180 cl/t situe à la partie inférieure du courant de Cromwell, s'appauvrissent en oxygène au cours de leur cheminement vers l'est, mais peuvent encore posséder 3,6 ml/l à 170° E, ce qui fut observé lors des croisières « *Cyclone 2* et 7 ».

Entre avril et octobre ce trajet « court » pourrait être abandonné sous l'effet de la mousson du sud-est, produisant un entraînement des eaux superficielles et sub-superficielles vers l'ouest. Dans ce cas les eaux sortant de la mer du Corail pourraient n'atteindre l'équateur qu'à l'ouest de 140° E.

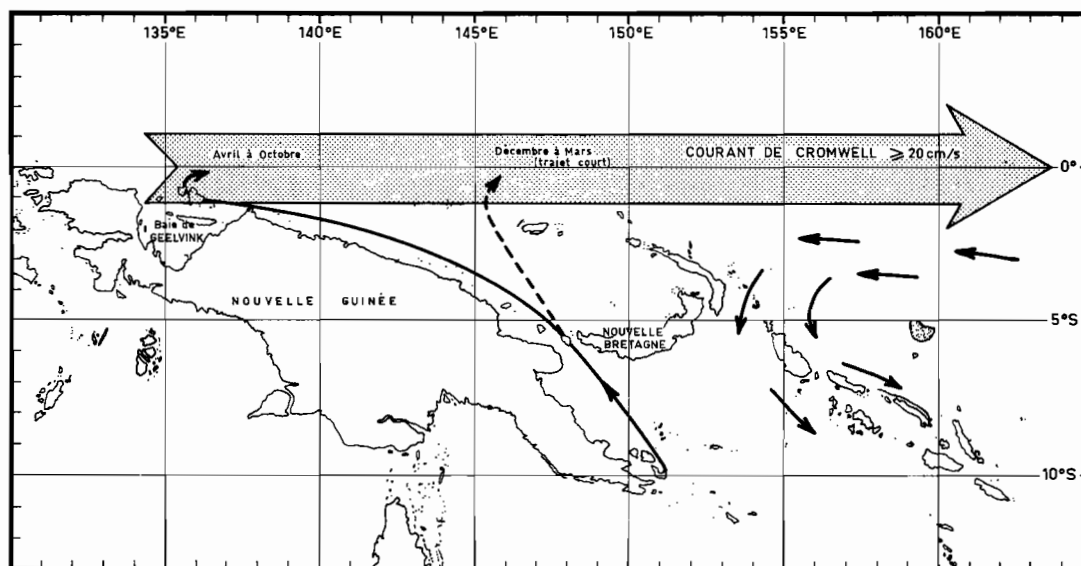


Fig. 6. — Circulation supposée le long de l'isanostère 180 cl/t à deux époques de l'année.

#### Distribution de l'oxygène le long de l'équateur et mesures de courant.

Les résultats de la croisière « *Alizé* » effectuée le long de l'équateur donnent une idée du taux d'affaiblissement de la teneur en oxygène des eaux de la couche homogène du courant de Cromwell. A 160° E, 3,3 ml/l furent mesurés sur 180 cl/t alors qu'à 140° W, la teneur était de 3 ml/l, soit une perte de 0,3 ml/l pour 60° de longitude ; l'affaiblissement supposé de 0,1 ml/l pour 25° de longitude (entre 145° E et 170° E) reste donc dans le même ordre de grandeur.

De plus, il peut être significatif de remarquer que les 4 coupes qui possèdent une anomalie positive en oxygène dans la zone homogène eurent lieu en mars (« *Cyclone 2* ») et avril-mai (« *Cyclone 7* ») i.e., dans le trimestre suivant la disparition du courant côtier de Nouvelle-Guinée.

D'après les coupes de courantométrie de « *Cyclone 7* » (réalisées avec 3 courantographes à enregistrement « in situ » Hydro Product) la veine d'eau de 3,6 ml/l en oxygène se déplace à la vitesse moyenne de 30 cm/s ; le temps nécessaire pour parcourir 25 degrés de longitude est donc en accord avec le décalage observé.

### CONCLUSION

Il paraît donc possible que l'extension vers le nord-ouest des eaux sub-superficielles de la mer du Corail soit périodiquement contrariée pendant la mousson d'hiver, entraînant un trajet plus direct des eaux vers l'équateur et leur permettant de mieux conserver les caractéristiques de leur origine corallienne.

L'anomalie positive observée occasionnellement, de la teneur en oxygène de la couche homogène du Courant de Cromwell à 170° E ainsi que les eaux fortement oxygénées situées au nord des côtes de Nouvelle-Guinée jusqu'à 140° E seraient ainsi la conséquence des fluctuations de la circulation superficielle sur l'entraînement subsuperficiel, en direction du nord-ouest des eaux de la mer du Corail.

### BIBLIOGRAPHIE

- CARRITT (D. E.) et CARPENTER (J. A.), 1966. — Comparison and evaluation of currently employed modification of the Winkler method for determining dissolved oxygen in sea-water. *J. mar. Res.*, Vol. 24, n° 3, pp. 286-318.
- HISARD (Ph.), MAGNIER (Y.) et WAUTHY (B.), 1969. — Comparison of the Hydrographic Structure of Equatorial Waters North of New Guinea and at 170° E. *J. mar. Res.*, Vol. 27, n° 2, pp. 191-205.
- KNAUSS (J. A.), 1960. — Measurements of the Cromwell current. *Deep-Sea Res.*, Vol. 6, n° 4, pp. 265-286.
- MORSKOI ATLAS-USSR, 1950. — Vol. II, Physical geography. Voennomorskoe Ministerio, 76 feuilles.
- PICKARD (G. L.) et ROTSCHI (H.), 1968. — Structure hydrologique associée au courant de Cromwell dans le Pacifique Occidental. *C.R. Ac. Sci. Paris*, t. 267, pp. 1557-1560 (13 novembre 1968).
- PICKARD (G. L.), ROTSCHI (H.) et RUAL (P.), 1969. — Variations hydrologiques et dynamiques à court terme à l'équateur, par 170° E. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.* Vol. VII, n° 1, pp. 83-98.
- ROTSCHI (H.), WAUTHY (B.), 1969. — Remarques sur le courant de Cromwell. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.* Vol. VII, n° 2, pp. 27-43.
- RUAL (P.), VOITURIEZ (B.), 1969. — Modification et automatisation de la méthode de Winkler pour le dosage en mer de l'oxygène dissous. *Init. Doc. Tech. O.R.S.T.O.M.*, n° 10.
- TSUCHIYA (M.), 1965. — Distribution of salinity, oxygen content, and thickness at 160 cl/t of thermoclinic anomaly in the inter-tropical Pacific Ocean. *Stud. trop. Oceanogr.*, Miami, Vol. 5, pp. 37-41.
- TSUCHIYA (M.), 1968. — Equatorial circulation of the South Pacific Ocean. Proceedings ninth general meeting of the SCOR. *South Pacific Symposium*. 21 p.
- WYRTKI (M. K.), 1961. — Scientific results of marine investigations of the South China sea and the gulf of Thailand. 1959-1961. *Naga Report*, Vol. 2, 195 p.

### RAPPORTS SCIENTIFIQUES

- ALIZÉ, Croisière *Alizé*, 1964-1965. Rap. Scient. n° 2. O.R.S.T.O.M. Centre de Nouméa.
- CYCLONE 2, Croisière *Cyclone 2*, 1967. Rap. Scient. n° 20. O.R.S.T.O.M. Centre de Nouméa.
- CYCLONE 7, Croisière *Cyclone 7*, 1968. Rap. Scient. n° 31. O.R.S.T.O.M. Centre de Nouméa.
- DANA, DANA Report n° 12, 1937.
- SATUMA-MARU, 1956, *Equapac Expedition*.
- VITYAZ 25, Rap. N.O.D.C.

2

1

3

Pour éviter le dépassement par inertie du point d'équivalence, l'appareil s'arrête temporairement à un potentiel supérieur au potentiel de ce point, et il s'en approche par à-coups en délivrant des quantités de thiosulfate de sodium de plus en plus faibles. Le contrôle du nombre de coups (contrôle d'anticipation) n'était pas assez précis et les vibrations du navire le modifiaient constamment ; utilisant l'appareil pour la seule réaction iode-thiosulfate de sodium et donc n'ayant besoin que d'une gamme très restreinte du contrôle d'anticipation, nous en avons étalé l'échelle dans sa portion utile.

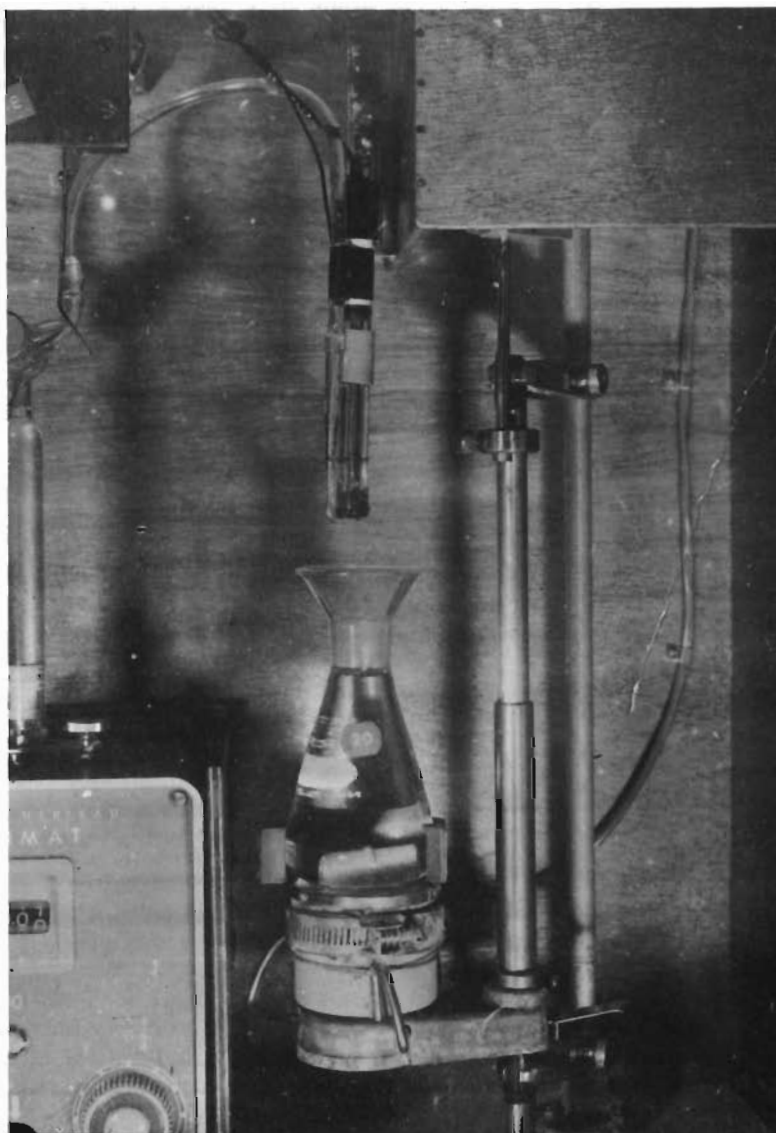
### Burette électrique à piston

Cette burette est munie d'une commande à distance par bouton poussoir. Elle a été asservie au titrateur en utilisant l'ancien relais de commande de l'électro-vanne de la burette à gravité. Elle est à zéro automatique et possède un affichage numérique du volume débité (4 chiffres). Elle délivre le thiosulfate de sodium, dont la concentration (N/75) a été calculée de façon à ce que, dans les cas les plus défavorables, le volume à débiter soit inférieur à sa capacité (10 ml).

### Unité de mesure (fig.4)

Fig.4 — Unité de mesure de l'ensemble de titrage automatique

- à droite : élément porte-échantillon Beckman avec sa butée supérieure réglable ;
- au centre : sur le plateau porte-échantillon, l'agitateur magnétique et l'erlenmeyer retenu par une attache plastique ;  
en haut : l'ensemble immergé comprenant l'électrode combinée, la pointe capillaire de la burette et le fil de masse (ce dernier invisible sur la photo) ;
- à gauche : la burette à piston.



titrages divers dans un laboratoire stable, est d'une manipulation délicate en mer. A partir de cet appareil, et afin de réduire l'importance du facteur humain sur les analyses, un ensemble de dosage automatique de l'iode par le thiosulfate de sodium a été réalisé.

De plus, nous inspirant des suggestions de CARRITT et CARPENTER (1966) d'une part, de GREEN (1965) d'autre part, nous avons modifié les concentrations des réactifs et le mode d'échantillonnage pour limiter les possibilités d'erreurs. Enfin, l'exécution pratique de la méthode a été conçue de manière à réduire l'effort d'attention demandé à l'opérateur.

## I - Ensemble de titrage automatique de l'iode par le thiosulfate de sodium (fig. 1)

Bâti autour d'un titrateur automatique Beckman, cet ensemble, destiné au travail en mer, rend le titrage simple et sûr.

Il se compose des éléments suivants (fig.2) :

- . unité de contrôle modifiée du titrateur automatique Beckman (modèle K) ;
- . burette électrique Metrohm à piston (Dosimat E 412) modifiée ;
- . unité de mesure ;
- . boîte de commande et d'alimentation ;
- . sécurités et automatismes.

### Titrateur automatique Beckman (unité de contrôle) (fig.3)

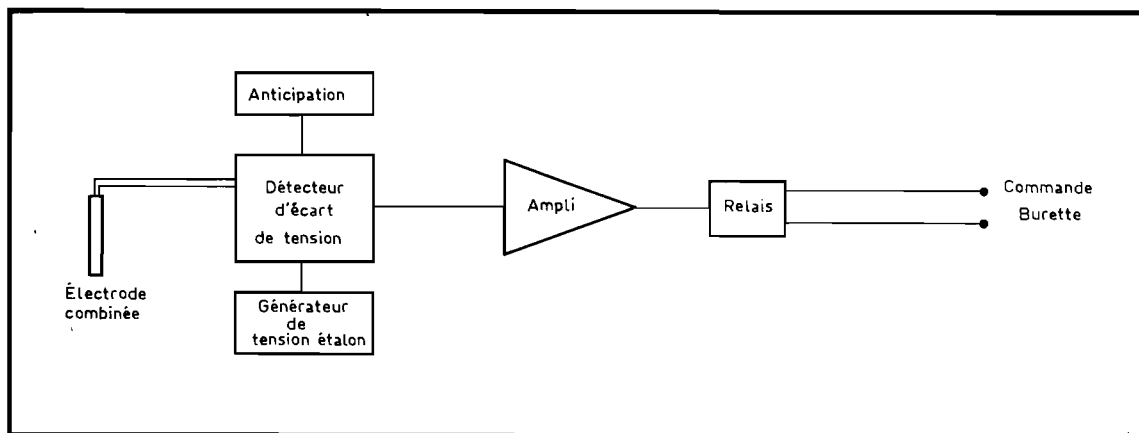


Fig.3 - Schéma de principe de l'unité de contrôle du titrateur automatique Beckman (modèle K).

Le titrateur mesure le potentiel d'oxydo-réduction de la solution à titrer et s'arrête automatiquement quand le potentiel mesuré atteint un potentiel affiché. Ce dernier, prédéterminé par un étalonnage, est le potentiel du point d'équivalence de la réduction de l'iode par le thiosulfate de sodium.

Dans l'appareil standard, la différence entre les potentiels mesurés et affichés commande l'électro-vanne d'une burette à gravité. En mer, le réglage de cette électro-vanne étant extrêmement délicat, la burette à gravité a été remplacée par une burette électrique à piston dont le moteur est commandé par cette différence de potentiel.

## Zonal Circulation in the Tropical Western South Pacific at 170°E\*

Jacques MERLE,\*\* Henri ROTSCHI\*\* and  
Bruno VOITURIEZ\*\*

**Abstract:** Recent work made in the Tropical Western South Pacific along 170°E indicates that between 20°S and 5°S there are two permanent eastward countercurrents. One centered at about 9°S is the South Equatorial Countercurrent; it transports low salinity water which has also a minimum oxygen concentration and is nutrient rich. The other is centered near 17°30'S; its water has a low salinity but a high content in oxygen and low nutrient concentrations. The westward flow between them is composed of high salinity, highly oxygenated water. No seasonal variations of the intensity of the meridional extension, of the volume transport of these currents have been observed and it appears clearly that the South Equatorial Countercurrent is distinct from the current observed on the 125 cl/t surface. This zonal circulation can induce vertical displacements of water, the effect of which are seen on the nutrients vertical distributions. Between 9°S and 14°S and near 20°S there should be two zones where the productivity is more or less permanently higher than in the adjacent waters.

### 1. Introduction

In a recent review of the equatorial circulation of the South Pacific Ocean, TSUCHIYA (1968) has pointed out what he considered to be the main problems still to be solved concerning the zonal fluxes south of the equator. For him the actual knowledges suggest the existence of a permanent

South Equatorial Countercurrent.

He questions the zonal continuity of this surface countercurrent through the entire South Pacific since it does not show on certain surface-current charts. Similarly, he raises some doubt as to whether the axis of this current shifts towards the south in the eastern Pacific, as suggested by REID (1959) since it has been observed near 6°S close to 90°W.

Until 1968, only a few direct measurements had been made; BURKOV and OVCHINIKOV (1960) have measured, between 5°S and 8°S, at 172°E, a shallow countercurrent (less than 200 m deep) with a velocity core of 10 cm/s at the surface; at 176°W KOSHLIAKOV and NEIMAN (1965) have measured between 9°S and 11°S an eastward current extending to a depth of at least 1 000 m, with a velocity core at the surface of 20 cm/s. Further, the first authors indicate that the dynamic method leads to a deep eastward current (more than 2 000 m) at 172°E with a velocity core of 40 cm/s at the surface and approximately the same meridional extension; the other two give on the contrary a geostrophic current at 176°W extending from 7°S to at least 13°S and with a velocity core of 10 cm/s, its depth being not greater than 1 000 m. All the other indirect evidences of the South Equatorial current lead to a maximum speed of about 10 cm/s (TSUCHIYA 1968).

According to TSUCHIYA (1968) there are indications that the two eastward geostrophic currents observed at the surface and on the 125 cl/t isanosteric surface (REID 1961; WOOSTER 1961) can be sometimes distinct from each other and he points out finally that besides this particular aspect of

\* Received January 5, 1969.

\*\* Centre O.R.S.T.O.M., Nouméa, Nouvelle-Calédonie.

the eastward circulation, one interesting question to be studied is the variations with longitude and with season of the South Equatorial Countercurrent.

JARRIGE (1968) has given some interesting details on the strongest geostrophic eastward flow which has been met between December 1965 and August 1967. The latitude of the velocity core ranges from 7°S to 12°S whereas that of the southern border ranges from 10°S to 13°S and that of the northern border between 4°S and 9°S. In most cases, the velocity core is close to the surface and to the northern limit of the countercurrent. The wider the current the more northerly the velocity core and the higher the volume transport the lower the surface salinity which ranges from 34.0 ‰ to 34.8 ‰.

Lastly, it must be stressed that this countercurrent could well not be the only eastward flow in the South Western Pacific. In fact BURKOV and OVCHINNIKOV (1960) have measured between 14°S and 25°S an eastward countercurrent with a velocity maximum of 40 cm/s at 20°S, the geostrophic current showing between 20°S and 28°S with a velocity maximum of 20 cm/s; the later is much shallower than the former.

## 2. Zonal Circulation at 170°E, between 20°S and 4°S

The nine cruises of the *R. V. Coriolis* referred to by ROTSCHI and LEMASSON (1968) and by JARRIGE (1968) plus an additional cruise along the same itinerary made in April-May 1968 throw some light on the zonal circulation in the Western South Pacific.

At the surface they show not only the permanence, near 10°S, of the South Equatorial Countercurrent, but also the existence further south, between 15°S and 20°S, of a second countercurrent (fig. 1). The existence now proved of a zonal circulation pattern in the Western South Pacific more complicated than the three currents system makes it necessary to point out by TSUCHIYA (1968) to revise the names of the equatorial currents. Provisionally in this

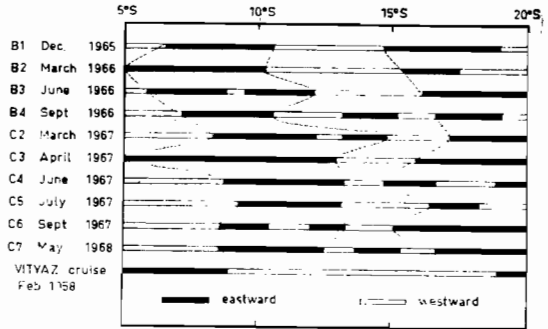


Fig. 1. Meridional extension of the zonal geostrophic currents observed at 170°E by the *R. V. Coriolis* from December 1965 to May 1968. Black line: current to the east; white line: current to the west. For comparison currents observed by the "Vityaz" in February 1958 are also given.

paper and in all the studies issued from our laboratory the word "current" applies to westward flows and the word "countercurrent" to eastward flows. The name Equatorial Current designate the westward current which is at the equator (South Equatorial Current in SVERDRUP). The name South Equatorial Current is reserved to the westward flow south of the equator and which can be divided in several branches.

JARRIGE (1968) has commented the characteristics of the South Equatorial Countercurrent. One can remark that the small westward current which intervenes within the South Equatorial Countercurrent at cruises B3, C2 and C6, has a very low velocity, respectively 2 cm/s, 1 cm/s and 6 cm/s, and can be questioned since no account has been taken of the possible effect of the internal waves. The most northerly extension, beyond 5°S was observed in March 1966 cruise B2, in April 1967 cruise C3 and also by the *Vityaz* in February 1958.

The second countercurrent shown on all the sections, the zonal extension of which is unknown and which could be provisionally called the South Tropical Countercurrent since it is a permanent feature of the zonal circulation in this tropical re-

Zonal Circulation in the Tropical Western South Pacific at 170°E

Table 1. Characteristics of the South Tropical Countercurrent at 170°E.

Cruise	Date	Limits	Maximum depth m	Maximum depth of the 10 cm/s isotach m	Maximum speed cm/s	Volume transport $10^6 \text{ m}^3/\text{s}$
B 1	Dec. 65	15°S–19°S	200	50	15	4
B 2	March 66	15°30'S–17°30'S	300	140	20	5
B 3	June 66	16°S–20°S	500	—	4	1
B 4	Sept.-Oct. 66	16°30'S–19°S	500	360	35	14
C 2	March 67	17°S–20°S	500	130	20	7
C 3	April 67	16°S–20°S	500	20	10	3
C 4	June 67	15°S–17°S	200	50	17	2
C 5	July 67	16°30'S–18°S	100	—	5	0.5
C 6	August 67	15°S–20°S	500	160	17	7
C 7	May 68	17°S–20°S	500	—	9	3

gion, is slower, shallower and has a smaller meridional extension than the South Equatorial Countercurrent (Table 1). Its volume transport is also extremely small, usually below  $10 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ . There is no apparent relation between the average latitude, the meridional extension or the volume transport of these two countercurrents. Nevertheless it could well be that the maxi-

imum velocity of three permanent currents which have been observed between 20°S and 5°S—the two countercurrents plus a westward current which is a branch of the South Equatorial Current—are bound and vary in the same way, the speedier being the South Equatorial Countercurrent and the slower the South Tropical Countercurrent (fig. 2). Thus, the absence of relation between the volume transport of the two countercurrents could be due only to the inaccuracy of the geostrophic method in the

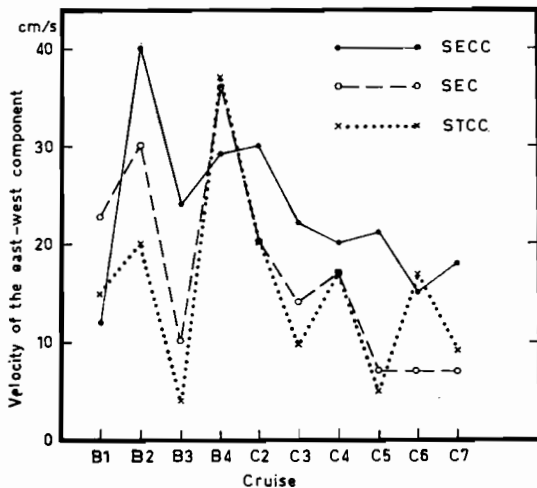


Fig. 2. Variation from cruise to cruise of the intensity of the east-west component of the permanent geostrophic currents observed between 20°S and 5°S. The three currents are: the South Equatorial Countercurrent, the South Equatorial Current and the South Tropical Countercurrent.

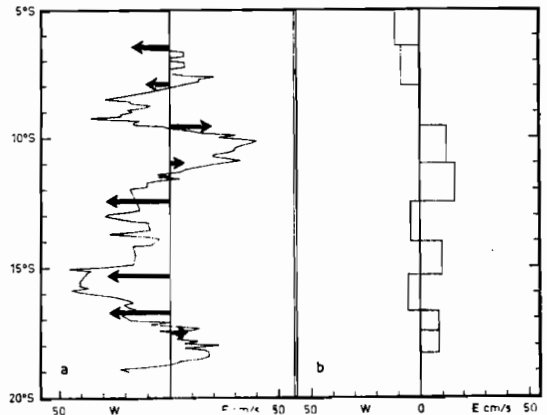


Fig. 3. Meridional distribution of the east-west component of the currents measured in April-May 1968 during the cruise C 7 of the *R. V. Coriolis*. (a)—G.E.K. measurements, b)—geostrophic currents. Arrows: measures with current meters.

evaluation of the true meridional extension and of the thickness of the currents.

This zonal geostrophic circulation which is supported by the direct measurements of BURKOV and OVCHINNIKOV (1960) has been confirmed by direct measurements of April 1968 during cruise C7 of the *R. V. Coriolis*. Measurements were made both with G. E. K. and with three Hydro-Product self-recording currentmeters according to the method described by MAGNIER, ROTSCHE, RUAL and COLIN (1969). The G. E. K. (Fig. 3) shows an eastward current between 9°30'S and 11°20'S, with a maximum velocity of 40 cm/s and another eastward current between 17°S and 18°45'S with a maximum velocity of 15 cm/s; the velocity core seems to be near the northern limit of the northernmost countercurrent and near the southern limit of the southernmost. In between, there is a westward current with a velocity maximum of 40 cm/s in the southern half of the current. North of the South Equatorial Countercurrent there is, between 8°S and 9°30'S, a westward current which can be seen also on all the vertical sections of the geostrophic currents of the *R. V. Coriolis*. Another weak eastward current has been measured between 6°30'S and 8°S.

The geostrophic circulation is slacker but the meridional distribution of the zonal component of the currents is quite similar. The South Equatorial Countercurrent shows at the same latitude but with a greater meridional extension both north and south and the South Tropical Countercurrent has the same extension but is displaced towards the north by half a degree. The South Equatorial Current appears as two bands separated by an eastward current, at about the same location where the G. E. K. measurements show a minimum of westward current at 14°S which at all events can be due to the fact that the westward drift of the ship under southeasterly wind with a speed of 7 m/s was compensated by an eastward geostrophic current. But the northernmost eastward current is replaced by a westward one. The direct measurements

with currentmeters which were made at the same location as the hydrological station give an east-west component which is in good agreement with other measurements.

Neither the direct measurements, nor the indirect evaluations of the circulation give

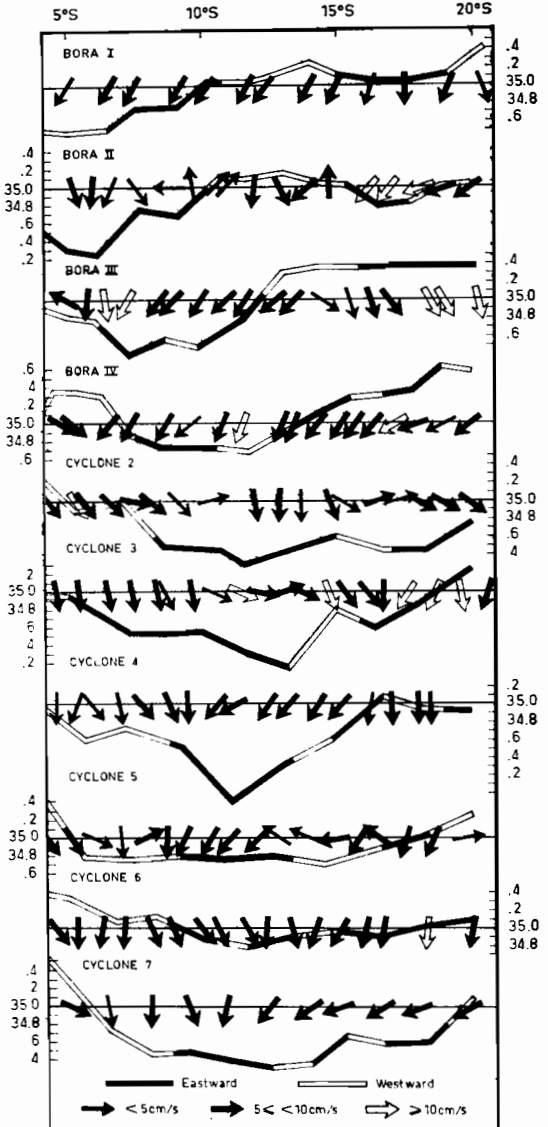


Fig. 4. Surface salinity observed during the cruises of the *R. V. Coriolis* along 170°E, in the westward currents and the eastward countercurrents. The arrows indicate the direction and strength of the observed winds.

### Zonal Circulation in the Tropical Western South Pacific at 170°E

any evidence of a shift of the countercurrent, in the direction of the equator, in the deep water. Thus, it seems now quite obvious that the surface South Equatorial Countercurrent is different from the subsurface one which has been observed on the 125 cl/t isanosteric surface at 5°S in the Western South Pacific (REID 1959, 1965). Direct measurements between 4°S and 4°N show a deep extension to the south of the Equatorial Undercurrent (MAGNIER, ROTSCHI, RUAL and COLIN, 1969), and this extension could well be the deep countercurrent met by REID (1959).

### 3. Hydrological Properties Associated to the Zonal Circulation

JARRIGE (1968) has pointed out that the South Equatorial Countercurrent is asso-

ciated to a low salinity ranging from 34.0 ‰ to 34.8 ‰. The comparison of the surface salinity and of the geostrophic currents shows that the so-called South Tropical Countercurrent is also associated to a low salinity (fig. 4) and that, generally speaking, the meridional alternation of high and low salinity reflects the alternation of the westward currents and of the eastward countercurrents. Our actual knowledge of the oceanography of the Western South Pacific indicates that there is only one possible source of low salinity water, the Solomons region.

This alternation is again found in subsurface and particularly at the depth of the salinity maximum of the subtropical lower water of the south Pacific, extending westward and northward along the 340 cl/t

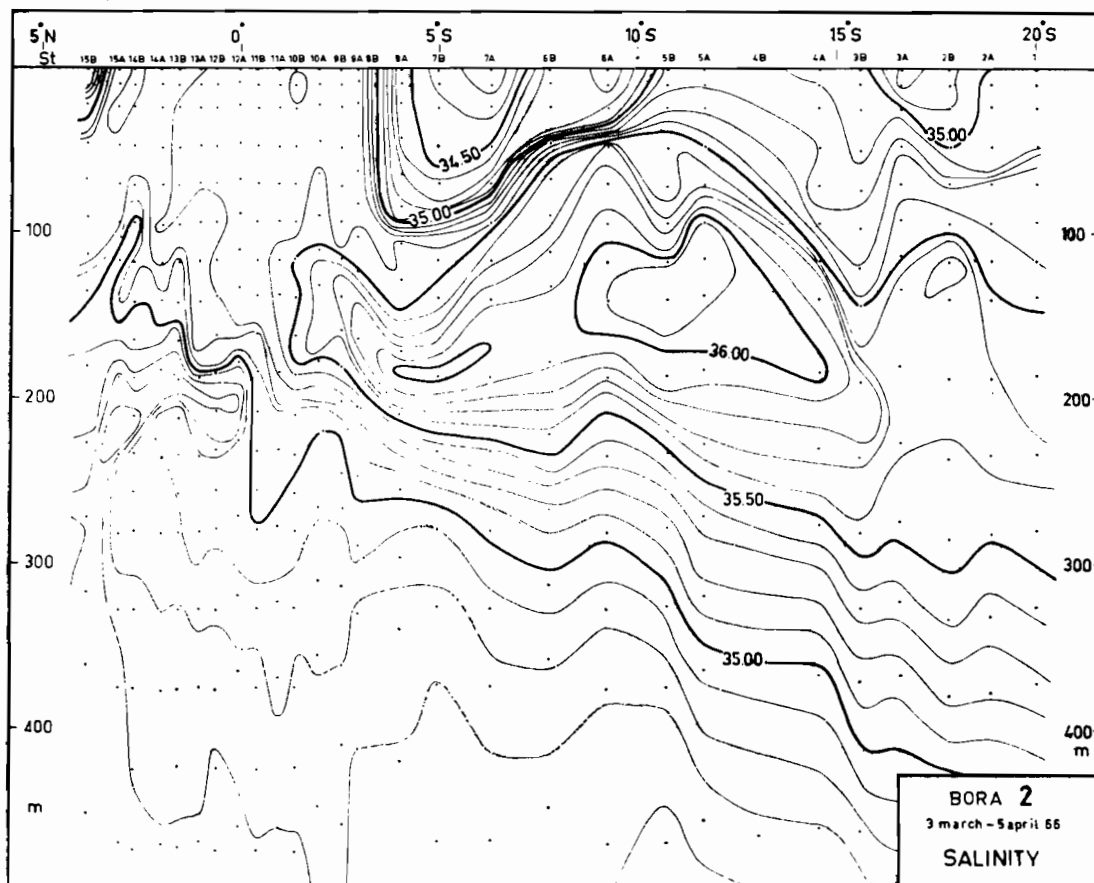


Fig. 5: Vertical distribution of the salinity along 170°E observed during cruise B2, of the R. V. *Coriolis*, in March 1966.

Table 2. Hydrological Identification of the Various Zonal Currents between

	Northern Westward Current					South Equatorial Countercurrent Average latitude 9°S				
	Surface Salinity Maximum	Salinity Maximum on 450 cl/t	O <sub>2</sub> Maximum ml/l	Phosphate Minimum µgat/l	Nitrate Minimum µgat/l	Surface Salinity Minimum	Salinity Minimum on 340 cl/t	O <sub>2</sub> Minimum ml/l	Phosphate Maximum µgat/l	Nitrate Maximum µgat/l
B 1	34.55	35.90	3.20	0.60	3.0	34.50	35.85	3.15	0.80	6.0
B 2	35.40	36.02	3.52	0.90	6.0	34.25	35.92	3.20	0.99	8.0
B 3	35.44	36.11	3.60	—	6.5	34.45	35.96	3.10	—	8.9
B 4	35.52	36.15	3.62	—	6.0	34.70	36.00	3.20	—	8.9
C 2	35.59	36.14	3.50	0.65	—	34.25	35.83	3.15	0.78	—
C 3	35.32	36.10	3.60	0.68	4.9	34.15	35.85	3.15	0.78	—
C 4	35.50	36.09	3.10	—	4.4	33.95	35.79	3.15	—	5.5
C 5	35.49	36.11	3.35	0.70	7.0	34.70	35.83	3.25	0.72	9.0
C 6	35.42	36.12	3.70	0.64	6.0	34.77	35.87	3.10	0.70	7.8
C 7	35.44	36.08	3.45	0.70	7.0	34.33	35.71	3.15	—	9.2

isanostric surface. At most of the cruises, as noted by TSUCHIYA (1968) two cores of high salinity are revealed (fig. 5) and on the 340 cl/t isanostric surface salinity maxima and minima are associated to westward and eastward geostrophic currents. Further, at least as far as the South Equatorial Countercurrent and the adjoining northern westward current are concerned, oxygen and nutrient (phosphate and nitrate) concentrations are such that when the salinity is maximum, the oxygen concentration is also maximum, the nutrients one being minimum and vice versa (fig. 6). In the South Tropical Countercurrent, to a low salinity correspond an oxygen maximum and nutrients minima.

Thus, the various zonal currents are relatively easy to identify, both at the surface and on the 340 cl/t isanostric surface, and their characteristics have been summarized, Table 2.

In a steady zonal circulation in the southern hemisphere, the continuity equation implies that there is a divergence at

the northern border of a westward current and a convergence at its southern border which is the northern border of the adjoining eastward flow. Such a vertical circulation should affect the distribution of the nutrients.

This appears mainly on the form of the discontinuity layer, below the surface homogeneous layer, in the distribution of phosphate (fig. 7) and of nitrate (fig. 8). Thus the subsurface waters seem effectively to be enriched by upward movements which do not reach the surface. But, as suggested by CROMWELL (1958) such a doming can have a great biological importance in the case of an euphotic zone deep enough to have its lower water affected by the water brought up in the direction of the surface.

The intensity of the doming does depend on the intensity of the zonal circulation; when the latter is sluggish, the doming can be unnoticeable and such conditions have been met at several occasions.

HISARD and PRON (1968) have shown that at the northern limit of the South

## Zonal Circulation in the Tropical Western South Pacific at 170°E

20°S and 5°S.

South Equatorial Current Average latitude 13°30'S		South Tropical Counter-current
Surface Salinity Maximum	Salinity Maximum on 340 cl/t	Surface Salinity Minimum
35.25	36.12	35.05
35.29	36.16	34.79
35.37	35.87	no minimum
no maximum		no minimum
34.61	35.96	34.44
34.79	35.96	34.61
35.08	35.86	no minimum
no maximum	35.90	no minimum
34.96	35.90	34.91
34.67	35.83	34.60

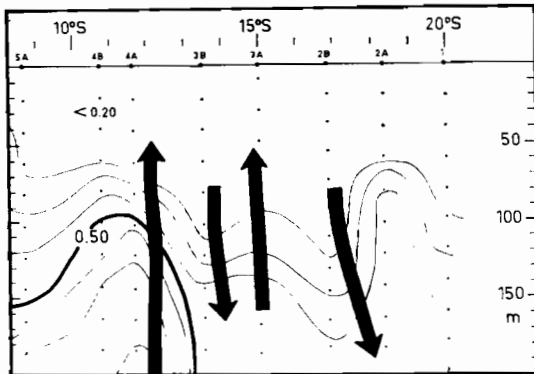


Fig. 7. Vertical distribution of phosphate in the subsurface layer, in March 1967, cruise C2 of the *R. V. Coriolis*. The arrows indicating the convergence or the divergence of the waters follow the limits between eastward and westward flow.

Equatorial Countercurrent there is, at the basis of the surface homogeneous layer, a nitrite maximum extending at least to 180° and obviously due to a convergence.

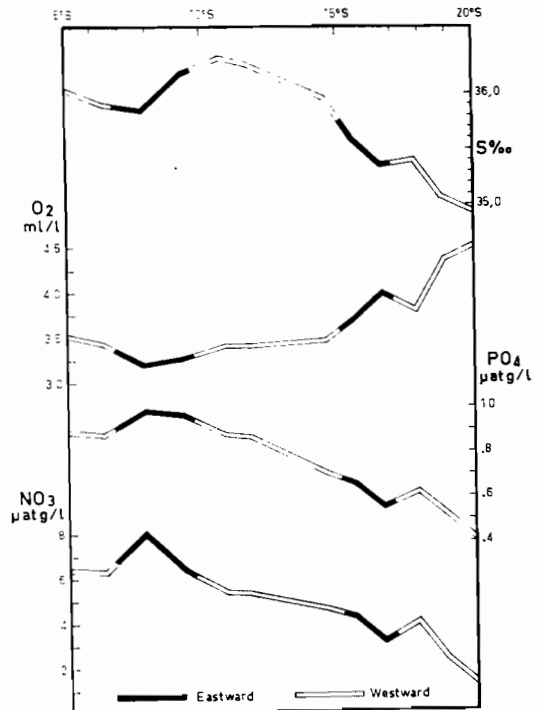


Fig. 6. Distribution of salinity and of oxygen, phosphate and nitrate concentrations on the 340 cl/t isanosteric surface during cruise B2 of the *R. V. Coriolis* in March 1966.

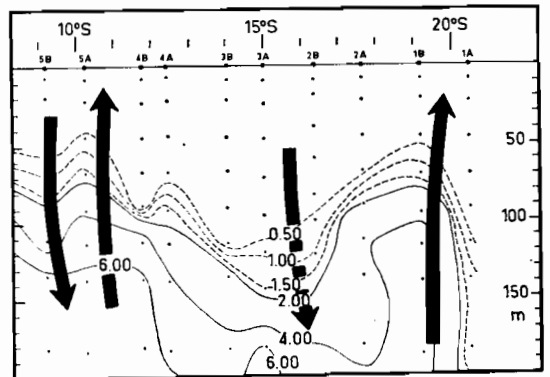


Fig. 8. Vertical distribution of nitrate in the subsurface layer, in December 1965, cruise B1 of the *R. V. Coriolis*. The arrows have the same meaning as in Figure 7.

### 4. Summary and Conclusions

It appears that the zonal circulation between 20°S and 5°S, in the Western South

Pacific is more complicated than believed until now. Besides the South Equatorial Countercurrent with a core at about 9°S, the existence of which is no more questionable and which in its swiftest part transports low salinity, low oxygen and nutrient rich water, there is, centered at about 17°30'S a second permanent, shallower and less meridionally extended countercurrent. This later current is composed of low salinity water, rich in oxygen and poor in nutrients. Between those two currents a branch of the South Equatorial Current with a core at about 13°30'S flows westward and is composed of high salinity water.

This surface and subsurface circulation is entirely distinct from the circulation which has been observed on the 125 cl/t isanosteric surface.

No apparent seasonal variation in the intensity, the volume transport, the meridional extension and the thickness of the various currents has been found.

This circulation has an effect on the vertical distribution of nutrients, and it can be expected that between 9°S and 13°30'S and near 20°S there is a more or less permanent enrichment of the deepest layer of the euphotic zone with a possible increase of the productivity of the upper layer. The total biomass collected with a 10 feet Isaac Kidd Midwater Trawl during the cruises BORA is maximum between 10°S and 15°S and this is a confirmation of the existence near these latitudes of a mechanism of enrichment.

### References

- BURKOV, V. A. and OVCHINNIKOV, I. M. (1960): Structure of zonal streams and meridional circulation in the Central Pacific during the northern hemisphere winter. *Trudi Instituta Okeanologii*, **40**, 93-107 (in russian).
- CROMWELL, T. (1958): Thermocline topography, horizontal currents and ridging in the Eastern Tropical Pacific. *Inter. Am. Trop. Tuna Com., Bull.*, **3** (3), 135-152.
- HISARD, Ph. and PITON, B. (1969): La distribution du nitrite dans le système des courants équatoriaux de l'Océan Pacifique à 170°E. *J. Cons. int. Explor. Mer*, **32** (3), 303-317.
- JARRIGE, F. (1968): On the eastward flow in the Western Pacific, south of the equator. *J. Mar. Res.*, **26** (3), 286-289.
- KOSHLIAKOV, M. N. and NEIMAN, V. G. (1965): Some results of measurements and calculations of zonal currents in the Pacific equatorial region. *Oceanology*, **5** (2), 37-49 (English translation).
- MAGNIER, Y., ROTSCHI, H., RUAL, P. and C. COLIN (1969): Courants équatoriaux à 170°E. *Progress in Oceanography*, **6**, B. WARREN ed., (in press).
- REID, J. L. (1959): Evidence of a south equatorial countercurrent in the Pacific Ocean. *Nature*, **184**, 209-210.
- REID, J. L. (1961): On the geostrophic flow at the surface of the Pacific Ocean with respect to the 1000 decibar surface. *Tellus*, **13** (4), 489-502.
- REID, J. L. (1965): Intermediate waters of the Pacific Ocean. *The Johns Hopkins Oceanographic Studies No. 2*, The Johns Hopkins Press, Baltimore, 85 pp.
- ROTSCHI, H. and LEMASSON, L. (1968): Variations observed during two years in the Western Equatorial Pacific. *Advances in Fisheries Oceanography*, **2**, 13-15.
- TSUCHIYA, M. (1968): Equatorial circulation of the South Pacific Ocean. *Proc. 9th General Assembly SCOR*, W. WOOSTER ed., (in press).
- WOOSTER, W. S. (1961): Further evidence of a Pacific South Equatorial Countercurrent. *Deep-Sea Rec.*, **8** (3-4), 294-297.

8

8

# PLANCTON DU LAGON ET DES ABORDS EXTÉRIEURS DE L'ATOLL DE MURUROA

par A. MICHEL

Cette étude a été effectuée dans le cadre du programme de recherches de la Direction des Centres d'Expérimentations Nucléaires, pour le compte du Service Mixte de Contrôle Biologique.

Tous mes remerciements vont au Professeur CAMUS, Directeur Général de l'O.R.S.T.O.M., au Médecin-Colonel AEBERHARDT, Chef du S.M.C.B., et au Docteur LE GUEN, son Adjoint, qui ont été à l'origine de cette mission.

Monsieur LEGAND, Directeur de la Section Océanographie du Centre O.R.S.T.O.M. de NOUMÉA, a bien voulu suivre cette étude et ses conseils m'ont été précieux pour la rédaction du travail.

Je dois au Médecin-Colonel NABHOLTZ, Chef de l'Échelon Polynésien du S.M.C.B., d'avoir mis à ma disposition le personnel et le matériel nécessaires à la mission. Enfin, je tiens à remercier le Capitaine de Corvette NOEL, les Officiers et l'Équipage du Dragueur « La Paimpolaise », le Maître FAVET, les plongeurs et tout le personnel du S.M.C.B. pour leur coopération et leur dévouement sans lesquels cette étude n'aurait pu être réalisée.

Dans le cadre des activités de la DIR.C.E.N. (Service Mixte de Contrôle Biologique), l'O.R.S.T.O.M. a été chargé d'effectuer l'étude du plancton des abords extérieurs et du lagon de Mururoa. Un océanographe biologiste du Centre O.R.S.T.O.M. de Nouvelle-Calédonie a travaillé sur le terrain du 6 avril au 13 mai 1967 pour récolte du matériel, le support logistique étant fourni par le S.M.C.B. L'étude de détail des récoltes a été faite au laboratoire de Nouméa.

Le profil des fonds suivant trois plans (cf. fig. 2 et 3) montre les différences de pente existant dans les parties Sud-Ouest et Est, ainsi que l'importance considérable de la masse d'eau emprisonnée qui représente la presque totalité de l'eau du lagon (1). Ces deux facteurs vont influencer considérablement sur la circulation de l'eau.

(1) On peut très grossièrement évaluer le volume d'eau du lagon à 3 milliards 500 millions de mètres cubes d'eau.

26 JUIN 1986

~~O. R. S. T. O. M. Fonds Documentaire~~

~~N° : 20 329~~

~~Cote :~~

~~A~~

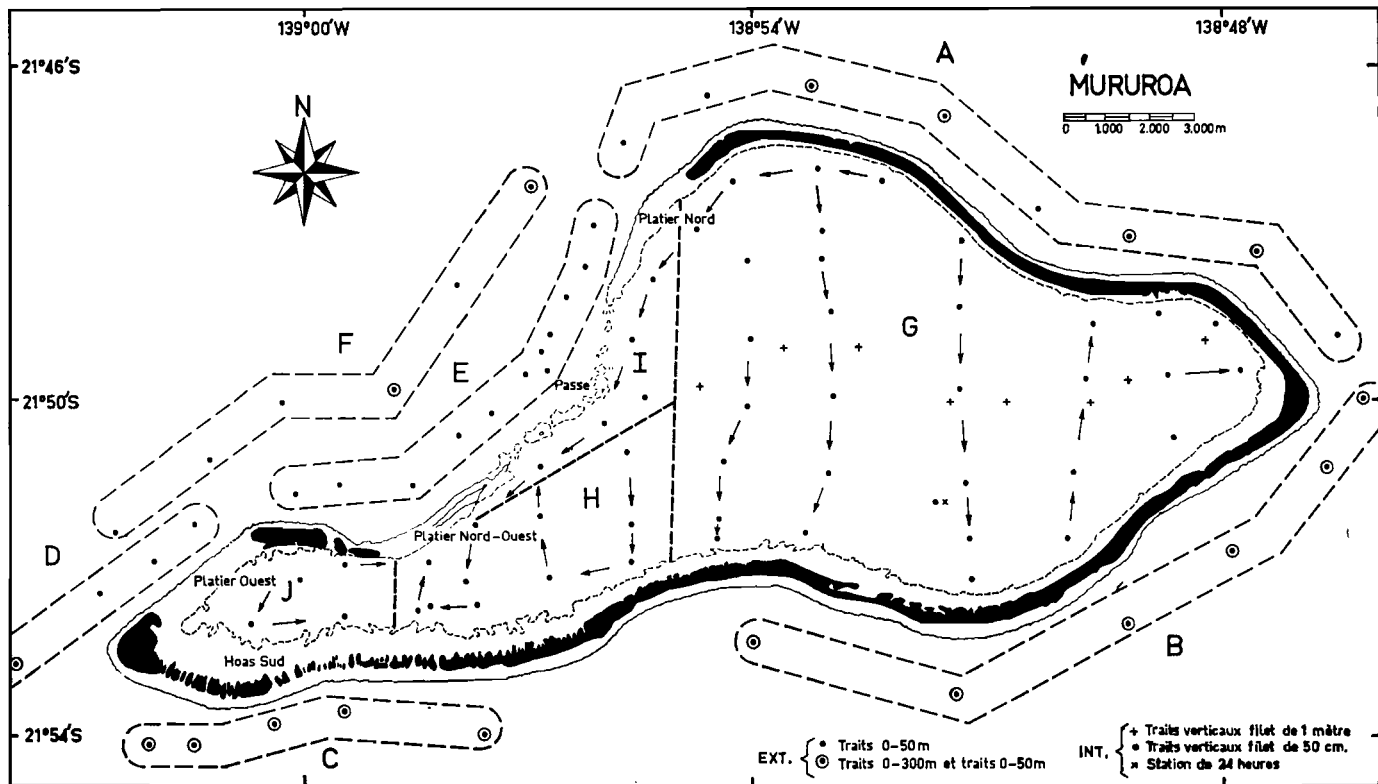


FIG. 1. — Carte de l'atoll de Mururoa. Position des traits de plancton.

## I. DONNÉES GÉNÉRALES

### 1. SITUATION GÉOGRAPHIQUE ET CONFIGURATION DE L'ATOLL.

L'atoll de Mururoa fait partie de l'archipel des Tuamotu ; il se situe par  $21^{\circ}50'$  de latitude Sud et  $138^{\circ}53'$  de longitude Ouest. Le long de son plus grand axe, orienté Est-Nord-Est — Ouest-Sud-Ouest, il mesure 14,8 milles pour 5,5 milles dans sa plus grande largeur (fig. 1).

Il existe trois modes de communications avec l'extérieur :

— une très large passe de 2,6 milles située au Nord-Ouest dont la profondeur du seuil varie entre 1,50 et 8 m.

— une série d'Hoa (1) dans la partie Sud-Ouest qui ne fonctionnent pour la plupart qu'à marée haute ou sous l'effet des grandes houles du secteur Sud.

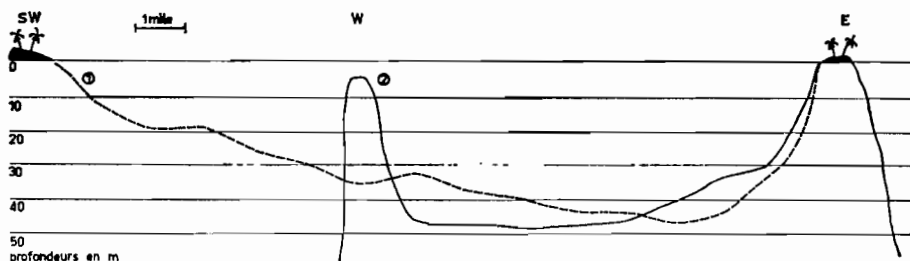


FIG. 2. — Profil des fonds du lagon : grand axe et axe Est-Ouest.

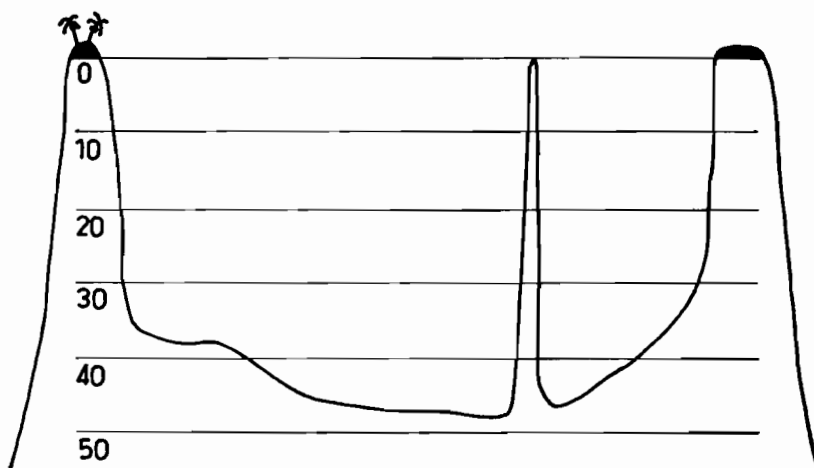


FIG. 3. — Profil des fonds du lagon : axe Nord-Sud.

(1) Terme tahitien désignant des saignées creusées perpendiculairement à la crête du récif permettant à l'eau de l'Océan de rentrer dans le lagon sous l'effet de la houle, mais empêchant tout mouvement inverse.

TABLEAU

indiquant les pertes de poids, par conservation dans une solution de formol à 10%, de 313 échantillons de macroplancton et de micronecton essorés plusieurs fois (pertes exprimées en % du poids humide frais).

Échantillons	Nbs.	Pds. moy. (g)	Pds. hum. frais (g)	Pertes						
				—	—	—	—	—	7 m	
Crustacés	p.	350	0.05	20.26	—	—	—	—	—	12
	p.	385	0.06	24.29	—	—	—	—	—	10
	p.	645	0.02	13.33	—	—	—	—	—	10
	p.	323	0.06	19.45	—	—	—	—	—	13
	p.	220	0.08	18.19	—	—	—	—	—	13
	p.	124	0.08	11.11	—	—	—	—	—	4
	p.	765	0.01	7.76	—	—	—	—	—	19
Amphipodes		19	0.10	2.03	—	—	—	—	—	19
		17	0.06	0.58	—	—	—	—	—	0
Phronimes		4	0.21	0.84	—	—	—	—	—	10
Copépodes		45	0.07	3.43	—	—	—	—	—	9
		33	0.07	2.34	—	—	—	—	—	26
Céphalopodes (Enoplo.)	g.	3	2.83	8.50	—	—	—	—	—	27
	m.	10	0.49	1.89	—	—	—	—	—	15
	m.	7	0.52	3.68	—	—	—	—	—	5
	m.	1	1.25	1.25	—	—	—	—	—	4
Céphalopodes (Cr.)	m.	3	0.51	1.55	—	—	—	—	—	9
	m.	1	0.41	0.41	—	—	—	—	—	12
	p.	2	0.10	0.21	—	—	—	—	—	43
Hétéropodes		2	6.76	13.52	—	—	—	—	—	45
		2	8.35	16.71	—	—	—	—	—	53
		1	6.60	6.60	—	—	—	—	—	21
		4	14.39	57.57	—	—	—	—	—	26
Ptéropodes gymno.		155	0.02	3.15	—	—	—	—	—	37
		180	0.02	3.67	—	—	—	—	—	40
		193	0.02	3.85	—	—	—	—	—	14
Ptéropodes théco.		10	0.02	0.24	—	—	—	—	—	29
Chétognathes		180	0.02	3.52	—	—	—	—	—	38
		255	0.03	7.88	—	—	—	—	—	40
		200	0.03	5.28	—	—	—	—	—	32
Méduses		5	3.69	18.43	—	—	—	—	—	40
		5	0.76	3.81	—	—	—	—	—	53
Gélatine		—	—	49.82	—	—	—	—	—	39
		—	—	94.49	—	—	—	—	—	47
		—	—	76.11	—	—	—	—	—	52
		—	—	85.17	—	—	—	—	—	48

— plusieurs platiers, sur la côte Ouest, toujours submergés où le courant engendré par l'action de la houle est en règle générale rentrant même à marée descendante mais peut s'inverser sous certaines conditions de vent.

Malgré ces ouvertures, le lagon est relativement fermé puisqu'il existe une barrière continue — 250 m de large en moyenne — couverte de végétation sur les 4/5 de son pourtour et faisant face aux vents dominants.

Les profondeurs du lagon varient de 0 à 53 m, la moyenne se situant autour de 38 m dans la partie Est et autour de 24 m dans la partie en doigt de gant du Sud-Ouest.

Des pâtés de coraux, plus spécialement dans le Sud-Ouest, émergent à marée basse au milieu même du lagon ; leurs pentes sont très fortes. Le fond, observé en plongée, se révèle formé d'un sédiment meuble sablo-vaux d'origine corallienne d'où émergent de nombreux petits pâtés de coraux de 50 cm à quelques mètres de hauteur.

Ce lagon se présente donc comme une cuvette bien fermée, où seule l'eau superficielle est susceptible de communiquer avec l'extérieur, l'eau subsuperficielle emprisonnée représentant plus des 3/4 du volume total. Les formes de cette cuvette vont conditionner la circulation profonde des masses d'eau qu'elle enferme.

## 2. DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES.

Dans toute cette région les vents pendant de longues périodes soufflent d'une direction bien définie, sans grandes fluctuations, mais ils peuvent aussi à certaines époques ne se stabiliser que quelques heures dans des directions diverses. Le secteur dominant est Est-Nord-Est.

Les intensités sont presque toujours comprises entre 3 m/s et 10 m/s, les périodes de calme sont assez rares, par contre les grains sont fréquents et accompagnés de fortes rafales. Ces vents lèvent dans le lagon des creux pouvant atteindre 1 m et provoquent des différences de niveau entre la côte extérieure au vent et l'intérieur du lagon. Ils vont conditionner la circulation des eaux superficielles et se surajouter ou s'opposer à l'influence de la marée.

## 3. MARÉES.

Les marées sont régulières, du type semi-diurne à faible inégalité. Il n'existe pas de déphasage dans le temps appréciable entre les différents points du lagon. L'amplitude, de l'ordre de 90 cm, est susceptible d'être influencée fortement par les conditions barométriques.

## 4. DONNÉES PHYSICO-CHIMIQUES.

Il n'y a pas eu d'études physico-chimiques effectuées en même temps que l'étude biologique. Les quelques données que nous reproduisons concernent des résultats obtenus par le Nord-Ouest « Coriolis » en septembre 1965 dans l'atoll voisin de Hao (cf. tableau 1).

Les caractéristiques physico-chimiques à l'intérieur et l'extérieur étaient très voisines, la seule différence notable se trouvait dans la présence

de nitrates à l'intérieur du lagon alors que les eaux océaniques de la couche équivalente en étaient dépourvues. La salinité était légèrement plus faible à l'intérieur qu'à l'extérieur.

Les données recueillies à Mururoa concernent 4 bathythermogrammes, 3 à l'extérieur et 1 à l'intérieur, et montrent que la couche 0-50 m à l'extérieur est en moyenne plus froide que celle du lagon (cf. fig. 4).

Le seul facteur physique observé, qui ait présenté au moment de l'étude de grandes variations, était la luminosité. En effet, les eaux extérieures sont extrêmement claires par rapport à celles du lagon : les observations en plongée montrent la présence d'une grande quantité de matières organiques en suspension dans l'eau du lagon, matières qui sont absentes à l'extérieur. Malgré ce phénomène, la pénétration de la lumière au fond du lagon est importante et pourra être un facteur limitant pour certaines espèces planctoniques.

TABLEAU 1 :  
Données physico-chimiques de l'Atoll de Hao.

	Z MÈ- TRES	T DE- GRÉS	S 0/000	O <sup>2</sup> ml/l	pO <sup>2</sup> atg/l	NO <sup>3</sup> atg/l	pH	Alc. meqv /l	CO <sup>2</sup> meqv /l TOTAL
Eau océanique	0	25,71	36,236	4,65	0,41	00,00	8,290	2,441	2,05
	24	25,70	36,228	4,76	0,41	00,00	8,271	2,400	2,03
	47	25,69	36,234	4,83	0,39	00,00	8,270	2,408	2,03
	70	25,72	36,219	4,85	0,38	00,00	8,270	2,408	2,03
Eau à la sortie de la passe	0	25,67	36,261	4,75	0,40	01,8	8,273	2,405	2,03
	30	25,67	36,264	4,74	0,42	01,1	8,276	2,413	2,04
	60	25,67	36,271	4,76	0,42	00,6	8,276	2,417	2,04
	90	25,72	36,389	4,85	0,41	00,6	8,279	2,419	2,04
Eau du lagon	0	25,39	36,180	4,82	0,42	00,9	8,243	2,361	2,01
	10	25,38	36,176	4,97	0,42	00,9	8,233	2,348	2,01
	20	25,38	36,179	4,85	0,42	00,8	8,233	2,354	2,02
	30	25,41	36,181	4,92	0,42	01,1	8,233	2,350	2,01
	40	25,37	36,181	4,84	0,42	00,9	8,238	2,357	2,02

## 5. COURANTS.

### A. Courants extérieurs.

La dérive générale des eaux océaniques est de direction Est-Ouest, tout au moins pour les eaux de surface entraînées par l'action des vents dominants. Cette dérive, devant l'obstacle que constitue un atoll, va se diviser en deux branches qui suivent grossièrement son contour pour se rejoindre sous le vent. Ceci se matérialise très nettement à Mururoa, devant la passe, où règne toujours un courant traversier, et à la pointe Sud-Ouest, où on rencontre souvent un fort clapotis dû à la réunion des deux branches.

B. Courants intérieurs.

Les seules études concernant la circulation de l'eau dans les lagons ont été faites par Von Arx (1) à Bikini et Eniwetok. Ces atolls présentent deux circulations distinctes :

— une circulation primaire engendrée par les vents dominants ; (cf. fig. 5) ; une couche d'eau de surface d'épaisseur variable — entre 5 et 20 m — se déplace à une vitesse atteignant 3% de la vitesse moyenne du vent ayant soufflé pendant les douze heures précédentes. La masse d'eau entraînée, trop importante pour pouvoir s'écouler par les passes, fait retour dans le

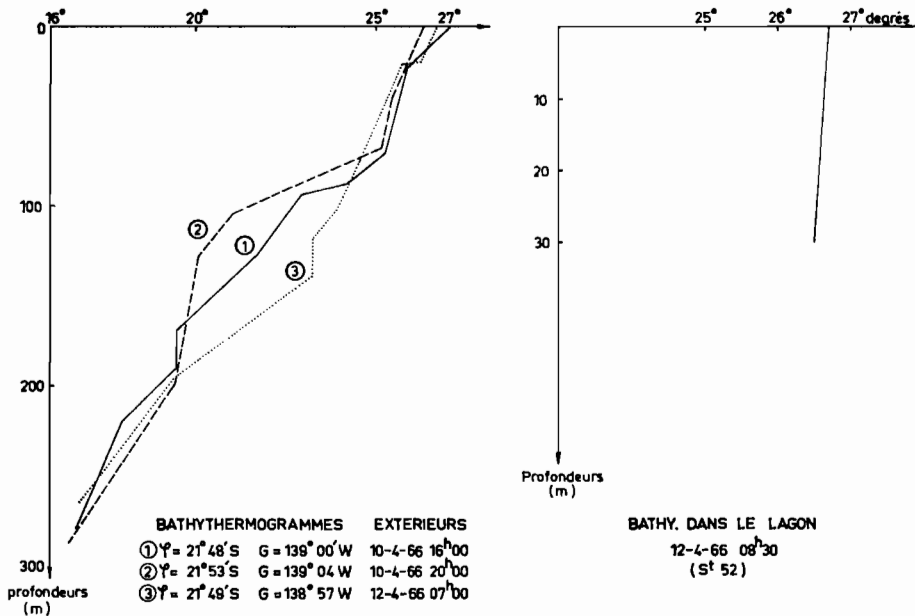


FIG. 4. — Bathythermogrammes.

lagon en s'enfonçant, engendrant un contre-courant profond de vitesse beaucoup plus faible. Au vent, un upwelling compense la perte d'eau due au courant superficiel ;

— une circulation secondaire, induite par les formes des cuvettes, qui est pour ces deux atolls formée de deux circuits rotationnels en sens inverse.

Quant aux courants de marée, Von Arx estime que seulement 30% de l'eau entrée à marée haute reste dans le lagon à marée basse, le reste ne pénétrant pas assez loin pour échapper au rejet de la marée descendante.

Toutes ces conclusions ne sont pas applicables à l'atoll de Mururoa : les formes particulières de la cuvette et surtout l'absence d'entrées d'eaux océaniques par-dessus le récif au vent vont entraîner des modifications.

(1) Cf. VON ARX, 1954.

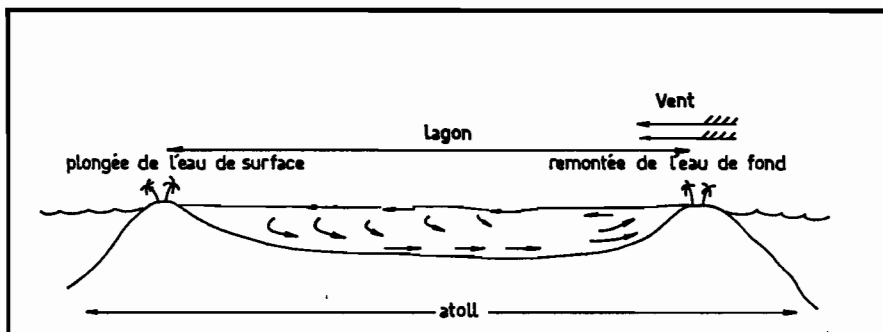


FIG. 5. — Circulation primaire dans un lagon (d'après Von Arx).

En période de vents dominants, la couche d'eau de surface entraînée vers l'Ouest-Sud-Ouest doit, la passe étant large, pouvoir s'écouler assez librement à l'extérieur rendant l'importance du retour par le fond relativement faible (1).

Pourtant la vie au fond du lagon n'est pas réduite, les pâtés de coraux abritent une faune variée dont les besoins en oxygène ne supporteraient pas une stagnation de l'eau de fond. Les courants, aussi faibles soient-ils, existent donc et sont suffisants pour empêcher la stratification de l'oxygène dissous.

Le renouvellement de l'eau pourrait suivre le processus suivant (cf. fig. 6) :

A marée montante l'eau océanique entre par la passe et les communications du Sud-Ouest (2).

L'eau pénétrant par la passe ressort en grande partie à marée descendante ; la fraction restante et l'eau des Hoa qui ne peut ressortir par la voie d'entrée, légèrement plus froides (3) que l'eau de surface du lagon, vont avoir tendance à plonger ; ainsi cette eau sursaturée en oxygène dissous va remplacer lentement l'eau profonde, aidée par des plongées d'eaux de surface du lagon pouvant s'exercer en différents endroits suivant les vents. Il est à noter que dans des atolls très fermés on assiste à certaines époques, correspondantes à des calmes, à de véritables stratifications de l'oxygène dissous lorsque les entrées d'eaux océaniques ne se font plus (4).

En conclusion, deux points sont intéressants pour la vie planctonique (5) : — Présence d'une couche d'eau superficielle — 0 à 10 m avec courant pouvant atteindre 0,3 nœud — susceptible d'entraîner les organismes qui s'y trouvent hors du lagon.

(1) Des études de courantométrie à Mururoa ont toujours donné des indications en deçà de la précision des appareils pour la couche profonde. Les seuls courants détectés en dehors des courants de surface ont été ceux dus à l'influence de la marée et encore ne sont-ils décelables qu'à proximité même de la passe.

(2) Par houle de tempête du sud, il peut passer un volume d'eau considérable par les Hoa, les courants pouvant atteindre 2 m/s.

(3) Des mesures ont donné 0,4° de différence entre l'eau océanique et l'eau de surface du lagon dans la partie sud-ouest.

(4) Cf. GUILCHER, BERTHOIS, DOUMENGE, MICHEL (1965).

(5) Cf. Martin JOHNSON (1947).

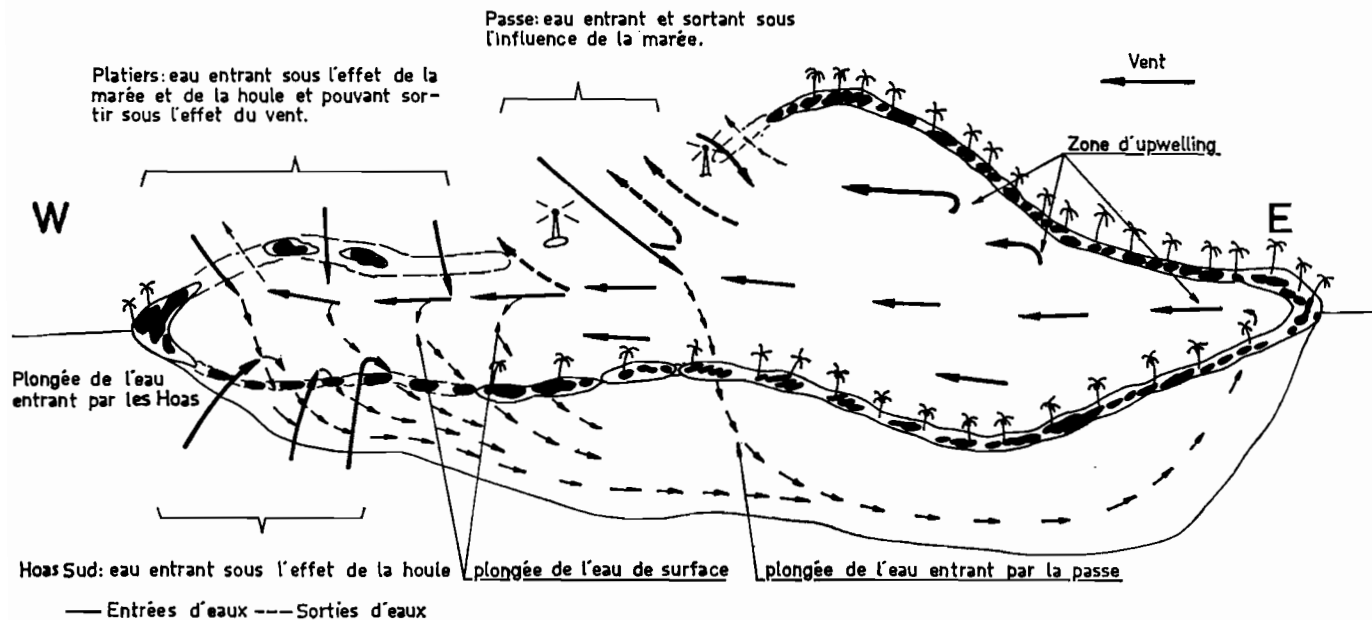


FIG. 6. — Schéma de circulation de l'eau dans le lagon de Mururoa.

— Présence d'une couche d'eau profonde — de 10 à 50 m où les courants sont très faibles — capable de retenir très longtemps dans des circulations closes les organismes qui y vivent.

#### 6. DONNÉES BIOLOGIQUES : PHYTOPLANCTON.

Il n'a été recueilli aucune donnée sur le phytoplancton de Mururoa ; les seules indications que l'on possède reposent sur deux stations faites en septembre 1964 par le Coriolis dans le lagon voisin de Hao où DESROSIÈRES (1) a trouvé que la flore du lagon apparaissait comme un mélange de la flore du large et d'une flore particulière endémique. Elle se caractérise par une richesse en *Diatomées pennées* mais ne montre pas de *Cocolithophorides* ; la flore propre du lagon serait à base de *Chaetoceros* et d'une forme particulière de *Ceratium kefoidei* bien individualisée.

Ces données succinctes correspondent pour le phytoplancton d'Hao à un schéma analogue à celui que nous allons trouver pour le zooplancton de Mururoa. D'autre part, à ces mêmes stations les teneurs en pigments fournissent les résultats consignés dans le tableau 2. Il apparaît que le phytoplancton est beaucoup plus riche dans le lagon et doit donc être capable de supporter une population planctonique beaucoup plus dense.

On peut présumer que la situation à Mururoa présente des ressemblances avec celle de Hao.

TABLEAU 2 :

Teneurs en chlorophylle pour deux stations intérieures au Lagon de Hao — A et B et une station extérieure C.

STATION A	cl a mg/m <sup>3</sup>	cl b mg/m <sup>3</sup>	cl c mg/m <sup>3</sup>
2 m	0,138	0,036	0,120
15 m	0,149	0,26	0,96
25 m	0,133	0,34	0,139
STATION B			
3 m	0,105	0,141	0,117
20 m	0,143	0,32	0,123
35 m	0,142	0,32	0,086
STATION C			
0 m	0,038	0,020	0,043
25 m	0,038	0,022	0,059
50 m	0,046	0,034	0,059

## II. METHODOLOGIE

### 1. ZOOPLANCTON EXTÉRIEUR.

Pour le prélèvement du plancton à l'extérieur du lagon, « La Paimpolaise », dragueur de la marine nationale, a été utilisée. Sa vitesse minimum

(1) Cf. Rapports de Croisières Brisants, « N.O. CORIOLIS ».

très élevée — 9 nœuds — n'a rendu possibles que des traits verticaux autour du lagon à environ un mille du récif, de 0 à 50 m et de 0 à 300 m de nuit et de jour. L'engin de capture était un filet de 1 m, maille 2 (1) gréé avec un débit-mètre T.S.K. en son centre et lesté d'une gueuse de 30 kg pour assurer une descente bien verticale.

## 2. PLANCTON DU LAGON.

Une baleinière de récif de 18 pieds munie d'un 40 CV hors bord et gréée d'un treuil à main WARLUZEL était le seul bateau disponible au moment de l'étude. Il était impossible dans ces conditions de faire des traits horizontaux ou obliques, la vitesse du bateau étant trop sujette à variation et le treuil trop faible pour manœuvrer le filet, bateau en marche.

Aussi, le bateau stoppé, 2 traits verticaux ont été faits à chaque station. La profondeur était mesurée par un sondeur enregistreur. Le filet utilisé était un filet de 50 cm maille 2 gréé d'un débit-mètre T.S.K. en son centre et lesté d'un plomb. Il était descendu jusqu'au fond et remonté lentement, explorant ainsi toute la couche d'eau. Entre chaque station un court trait de surface était fait en filant 20 m de câble, le filet n'étant pas lesté et la vitesse du bateau de l'ordre de 2 nœuds.

Une station de 24 h a été suivie en un point du lagon. Toutes les trois heures il était procédé à trois traits verticaux respectivement fond-surface, 20 mètres-surface, et 10 mètres-surface avec un filet de 1 mètre maille 2.

## 3. CRITIQUES DE LA MÉTHODOLOGIE

Deux critiques peuvent être faites à l'égard des traits verticaux :

- La courte durée des traits qui rend promordial l'éventuel passage du filet dans un essaim.
- La perturbation importante apportée par le câble dans la colonne d'eau explorée.

Dans le cas d'une étude de microdistribution la première critique perd de son importance d'autant plus que les observations en plongée ne semblent pas montrer l'existence d'essaims très denses, sauf pour les larves de certains poissons qui sont rassemblées par bancs dans les anfractuosités des pâtés de coraux.

D'autre part, si la perturbation par le câble peut être très forte pour les organismes bon nageurs, il n'en est pas de même pour les Méduses, Chéto-gnathes, Copépodes et autres constituants typiquement planctoniques du lagon car l'ouverture du filet était suffisamment grande pour que l'évitement d'organismes de cette taille soit minimum.

Par contre l'avantage de cette méthode est d'échantillonner toute la couche d'eau du fond jusqu'à la surface, le double prélèvement à chaque station permet de pallier d'éventuelles concentrations en essaims. Le problème du colmatage ne se pose pas sur des traits aussi courts.

Le choix du filet de 50 cm, seul disponible, a été justifié à posteriori par la récolte d'un nombre suffisant d'individus des espèces prédominantes.

(1) Vide de maille compris entre 0,330 et 0,340 mm.

#### 4. STATIONS EFFECTUÉES.

##### A. Extérieur du lagon (cf. fig. 1).

Les stations ont été faites du 10 au 12 avril et se répartissent ainsi : 44 stations comprenant 20 traits de 300 m à la surface et 41 traits de 50 m à la surface. A l'emplacement des stations les fonds variaient entre 400 et 2400 m.

##### B. Intérieur du lagon (cf. fig. 1).

Le lagon a été couvert par 59 stations comprenant deux traits verticaux fond-surface et par 36 traits horizontaux de surface. Les 8 premières stations, en vue d'apprécier la biomasse, ont été faites avec un filet de 1 m de diamètre, les autres avec un filet de 50 cm de diamètre. Toutes ont eu lieu de jour.

#### 5. TRI DU MATÉRIEL.

Pour tous les prélèvements le plancton a été séparé en deux fractions : une fraction dite « grosse » correspondant à ce qui restait sur un tamis de maille 000 (1) et une fraction dite « fine » correspondant à la partie passant à travers le tamis de maille 000 et restant sur un tamis de maille 2.

La fraction grosse des stations intérieures a été triée et séparée en ses différents constituants ; la fraction fine pour des raisons d'abondance du matériel et de temps d'étude restreint n'a pas été séparée effectivement en ses différents groupes mais simplement dénombrée sous le binoculaire (2).

Pour les mêmes raisons la fraction « fine » du plancton extérieur a été traitée pareillement sur des sous-échantillons allant de 1/2 jusqu'à 1/8 pour les stations les plus riches. Le sous-échantillonnage est toujours critiquable, mais si le nombre d'individus est grand dans le sous-échantillon et que les fractions sont de l'ordre de 1/4 à 1/8, les erreurs sont négligeables. Pour les groupes peu représentés, cette méthode est évidemment beaucoup plus sujette à entraîner des erreurs importantes.

Les déterminations au niveau spécifique ont été faites au laboratoire océanographique du Centre O.R.S.T.O.M. de Nouméa :

- pour les Méduses par M. R. REPELIN,
- pour les Copépodes par M. J. A. GUERDRAT,
- pour les Euphausiaées par M. C. ROGER.

### III. DISTRIBUTION DU ZOOPLANCTON

Les populations planctoniques rencontrées à proximité d'une terre se composent de deux fractions bien distinctes, une fraction holoplanctonique — organismes passant toute leur vie dans le plancton —, et une frac-

(1) Vide de maille compris entre 0,90 et 1,00 mm.

(2) On utilisait une cellule rectangulaire en « Altuglass », très allongée, dont la largeur correspondait au grossissement choisi du binoculaire, permettant ainsi un comptage très rapide, un assistant notant au fur et à mesure les organismes annoncés par le trieur.

tion méroplanctonique — organismes dont une partie de la vie seulement le passe à l'état planctonique.

Dans le cas d'un atoll où la vie est extrêmement riche et diversifiée, la fraction méroplanctonique va être un facteur déterminant de l'équilibre général pouvant notamment servir de nourriture à l'holoplancton. Cette importance est directement en relation avec la production des larves, principalement par les invertébrés, et sa composition saisonnière sera sujette à de grandes variations qualitatives et quantitatives (1), alors que l'holoplancton doit rester beaucoup plus stable, tout au moins qualitativement.

D'autre part, si les conditions de température et de salinité sont assez voisines à l'intérieur et à l'extérieur des lagons, les facteurs luminosité, courant, influence du fond, sont, eux, très différents et on peut s'attendre à trouver des populations holoplanctoniques distinctes surtout dans le cas du lagon de Mururoa où les communications avec l'extérieur sont restreintes.

### 1. ZOOPLANCTON EXTÉRIEUR.

Lors des croisières « Atoll » et « Brisants » du N.O. Coriolis, la zone des Tuamotu a fait l'objet d'une étude sur les productions primaires, secondaires et tertiaires. Des résultats détaillés concernant la couche 0-1000 m ont été donnés (2). Les principales caractéristiques à retenir sont :

- faible teneur en phytoplancton avec maximum profond entre 125 et 175 m,
- pauvreté en zooplancton et micronecton.

Ces conclusions sont en accord avec l'idée générale d'eaux tropicales biologiquement assez pauvres.

Les traits à l'extérieur du lagon ont donc été faits dans le but de déterminer les échanges au niveau planctonique entre les eaux du large et les eaux du lagon, et pour juger de l'importance de la partie méroplanctonique à proximité de l'atoll. Il a paru suffisant de se limiter à l'étude de la couche 0-50 m correspondant à la profondeur maximum du lagon, d'autant plus que le seuil de la passe n'excède pas 8 m.

Toutefois, un certain nombre de traits ont été faits jusqu'à 300 m. Tenant compte de la migration verticale très importante de certains groupes, les traits ont été exécutés de nuit et de jour afin de recueillir le maximum d'organismes présents dans la couche superficielle à un moment ou à un autre. Les stations voisines de la passe et des platiers submergés ont été resserrées car situées sur les voies d'échanges possibles.

Des cartes de répartition ont été dressées pour les différents groupes et 6 zones ont été délimitées autour du lagon (voir fig. 1) :

- les zones A, B, C, représentatives du plancton typiquement extérieur,
- la zone D, au voisinage du grand platier Sud-Ouest.
- la zone E, à proximité de la passe,
- la zone F, située plus au large.

(1) Cette étude de brève durée ne peut donner aucune indication sur ces variations.

(2) Cf. Résultats des croisières « Atoll » et « Brisants » du N.O. CORIOLIS, Centre O.R.S.T.O.M. de Nouméa, 1965.

TABLEAU 3 :

Couche 0,50 m. Nombre d'organismes par m<sup>3</sup> dans les zones extérieures.

ZONES	A	B	C	D	E	F
GROUPES	Traits de nuit			Traits de jour		Traits de nuit
<b>HOLOPLANCTONIQUES</b>						
Siphonophores	0,30	0,60	1,00	0,58	0,45	0,83
Cténophores	0,00	0,00	0,004	0,07	0,22	0,01
Chétognathes	0,57	0,55	0,90	0,80	2,20	1,27
Ptéropodes	0,35	0,13	0,25	0,04	0,02	0,34
Copépodes	19,00	13,70	21,30	15,00	8,00	23,10
Amphipodes	0,14	0,15	0,55	0,22	0,05	0,15
Euphausides	0,74	0,14	0,27	0,02	0,01	0,63
Appendiculaires	0,02	0,16	0,10	0,22	0,05	0,13
Salpes et Doliolés	0,32	0,06	0,16	0,20	0,33	0,32
<b>TOTAL</b>	<b>21,44</b>	<b>19,49</b>	<b>24,52</b>	<b>17,15</b>	<b>9,33</b>	<b>26,76</b>
<b>MEROPLANCTONIQUES</b>						
Méduses	0,08	0,04	0,02	0,12	0,09	0,06
Larves d'Annélides	0,51	0,12	0,17	0,48	0,26	0,34
Larves de Mollusques	0,26	0,15	0,19	0,14	0,28	0,44
Larves de Crustacés	2,00	1,58	2,40	2,40	6,02	3,63
Zoés et Megalops	0,07	0,08	0,09	0,12	0,30	0,09
Œufs de Poissons	0,14	0,08	0,12	0,11	0,28	0,16
Larves de Poissons	0,14	0,12	0,16	0,03	0,24	0,29
<b>TOTAL</b>	<b>3,20</b>	<b>2,21</b>	<b>3,15</b>	<b>3,40</b>	<b>7,47</b>	<b>5,01</b>

Dans chaque carte et pour chaque zone, les moyennes ont été établies. Tous les résultats sont exprimés en nombre d'organismes par mètre cube : pour certains groupes cette méthode est très criticable car la répartition est loin d'être homogène dans la couche considérée, mais elle semble la seule permettant de comparer plancton extérieur et intérieur.

A. *Plancton de la couche 0-50 m* (cf. tableau 3).

Holoplancton.

— Une partie des groupes holoplanctoniques ne présente pas pour les espèces intéressées une migration verticale importante, les moyennes des traits de jour et de nuit étant sensiblement les mêmes. Ce sont :

- a) SIPHONOPHORES, répartition homogène. Plusieurs espèces appartenant toutes au sous-ordre des *Calycophores*, représentées par des cloches nataoires et des eudoxies.
- b) CTÉNOPHORES (cf. fig. 7), groupe très peu représenté sauf dans la zone E où l'on trouve une seule espèce du genre *Hormiphora*.
- c) CHÉTOGNATHES (cf. fig. 8), répartition très homogène. La zone E avec ses 2,2/m<sup>3</sup> montre nettement l'influence de la passe, la moyenne extérieure n'étant que de l'ordre de 0,65/m<sup>3</sup>.

Plusieurs espèces parmi lesquelles :

- *Sagitta lyra*. Krohn.
- *Sagitta hexaptera*. d'Orbigny.
- *Sagitta inflata*. Grassi.
- *Sagitta oceanica*. Gray.

- d) APPENDICULAIRES (cf. fig. 9), groupe peu représenté mais par plusieurs espèces.
- e) SALPES et DOLIOLES, répartition assez homogène avec un maximum dans la zone F. Les espèces représentées sont toutes de petite taille.
- f) AMPHIPODES, répartition avec maximum dans la zone C. Plusieurs espèces.

— D'autres groupes au contraire présentent une migration verticale diurne importante et les moyennes des traits de jour et de nuit sont très différentes :

- a) PTÉROPODES, répartition homogène de nuit avec une moyenne de 0,25 contre 0,02 de jour.
- b) EUPHAUSIACÉS, migration verticale très importante : les traits de jour ne collectent que quelques spécimens alors que leur abondance est forte dans les traits de nuit : la moyenne des traits de jour est de 0,015 contre 0,47 de nuit. La montée ne se fait qu'à la nuit tombée. Les espèces rencontrées sont les suivantes :
  - *Stylocheiron carinatum*. G.O. Sars ; la plus abondante.
  - *Stylocheiron abbreviatum*. G.O. Sars.
  - *Stylocheiron insulare*. G.O. Sars.
  - *Stylocheiron longicorne*. G.O. Sars.
  - *Stylocheiron suhmii*. G.O. Sars.
  - *Euphausia brevis*. Hansen.
  - *Nematoscelis tenella*. G.O. Sars.





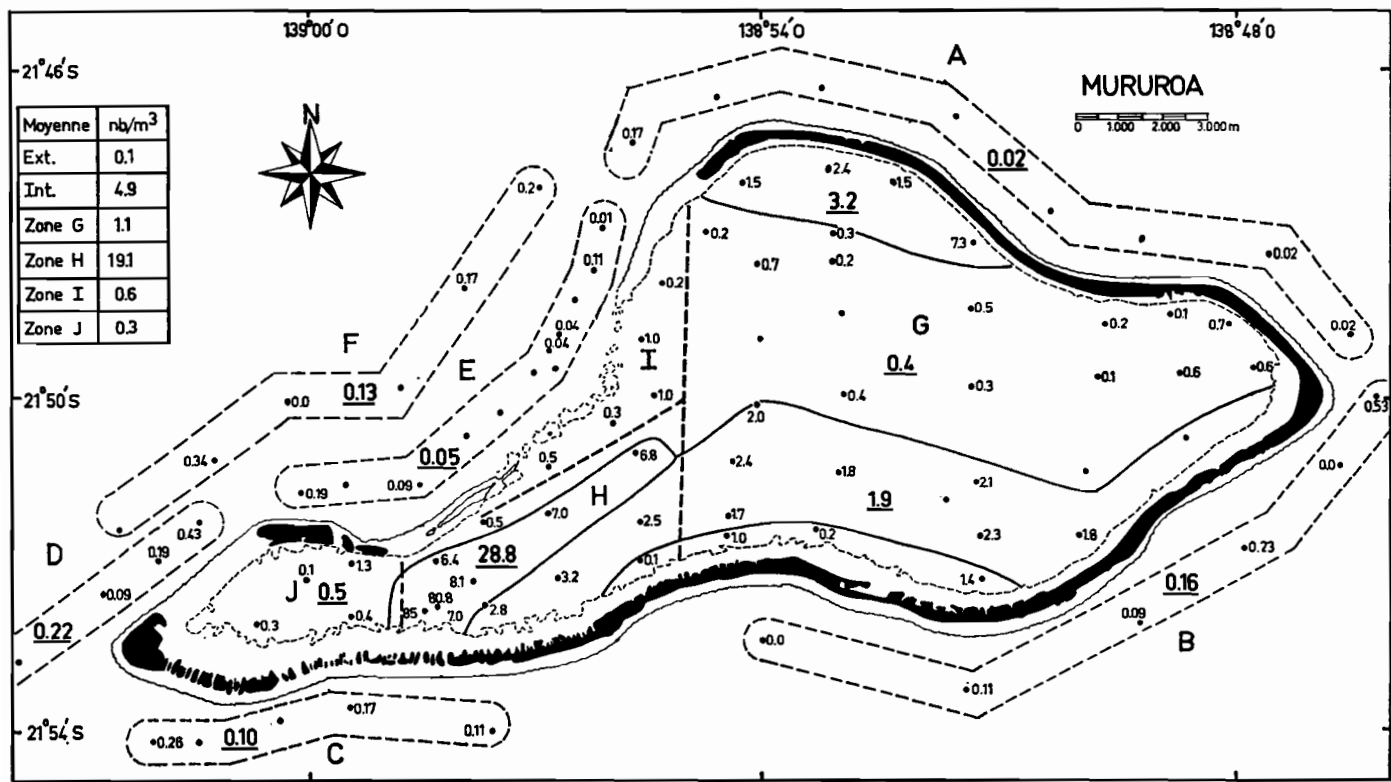


FIG. 9. — Distribution des Appendiculaires.

- *Thysanopoda obtusifrons*. G.O. Sars.
  - *Thysanopoda aequalis*. Hansen.
- c) COPÉPODES (cf. fig. 10), répartition assez homogène avec une moyenne pour les traits de nuit de 17,9 par m<sup>3</sup>. La migration verticale est très importante et prend place avant même le coucher du soleil, les derniers traits de jour étant voisins de l'ordre de grandeur des traits de nuit.

Espèces rencontrées :

- *Canthocalanus pauper*. (Giesbrecht).
- *Undinula vulgaris*. Dana.
- *Euchirella brevis*. Sars.
- *Undeuchaeta plumosa*. Lubbock.
- *Euchaeta* sp.
- *Scolecithrix danae*. Lubbock.
- *Pleuromamma* sp.
- *Lucientia flavicornis*. Claus.
- *Heterorhabdus* sp.
- *Haloptilus spiniceps*. Giesbrecht.
- *Haloptilus* sp.
- *Candacia oethiopica*. Dana.
- *Candacia* sp.
- *Labidocera* sp.
- *Acartia hamata*. Mori.
- *Oithona plumifera*. Baud.
- *Oithona setigera*. Dana.
- *Oithona* sp.

Parmi toutes ces espèces, aucune ne prédomine réellement et elles sont diversement représentées suivant les stations.

— Certains groupes ne sont représentés que par quelques spécimens, ce sont : Céphalopodes, Hétéropodes, Isopodes, Pyrosomes. A certaines stations des Halobathes ont été capturés en surface.

Méroplancton.

Il est le plus sujet à des variations importantes et dépend étroitement des cycles saisonniers de production larvaire des invertébrés benthiques du lagon. La vue que nous pouvons avoir ici est donc une vue très particulière ne reflétant qu'une époque bien précise.

- a) MÉDUSES (cf. fig. 11), répartition homogène autour de l'atoll. L'espèce *Rhopalonema velatum* est océanique et relève de l'holoplancton, les deux autres, *Pelagia noctiluca* et *Cirrholovenia polynema* sont néritiques avec polype fixé.
- b) LARVES D'ANNÉLIDES. Beaucoup d'Annélides fixées ou libres vivent dans le récif corallien ; on trouve donc leurs larves réparties d'une manière assez homogène autour de l'atoll ; elles ne montrent pas de grandes variations nyctémérales.
- c) LARVES DE MOLLUSQUES (cf. fig. 12). Elles représentent de nombreuses espèces correspondant aux espèces adultes du récif, en particulier beaucoup de larves de bivalves au stade prodisoconque.

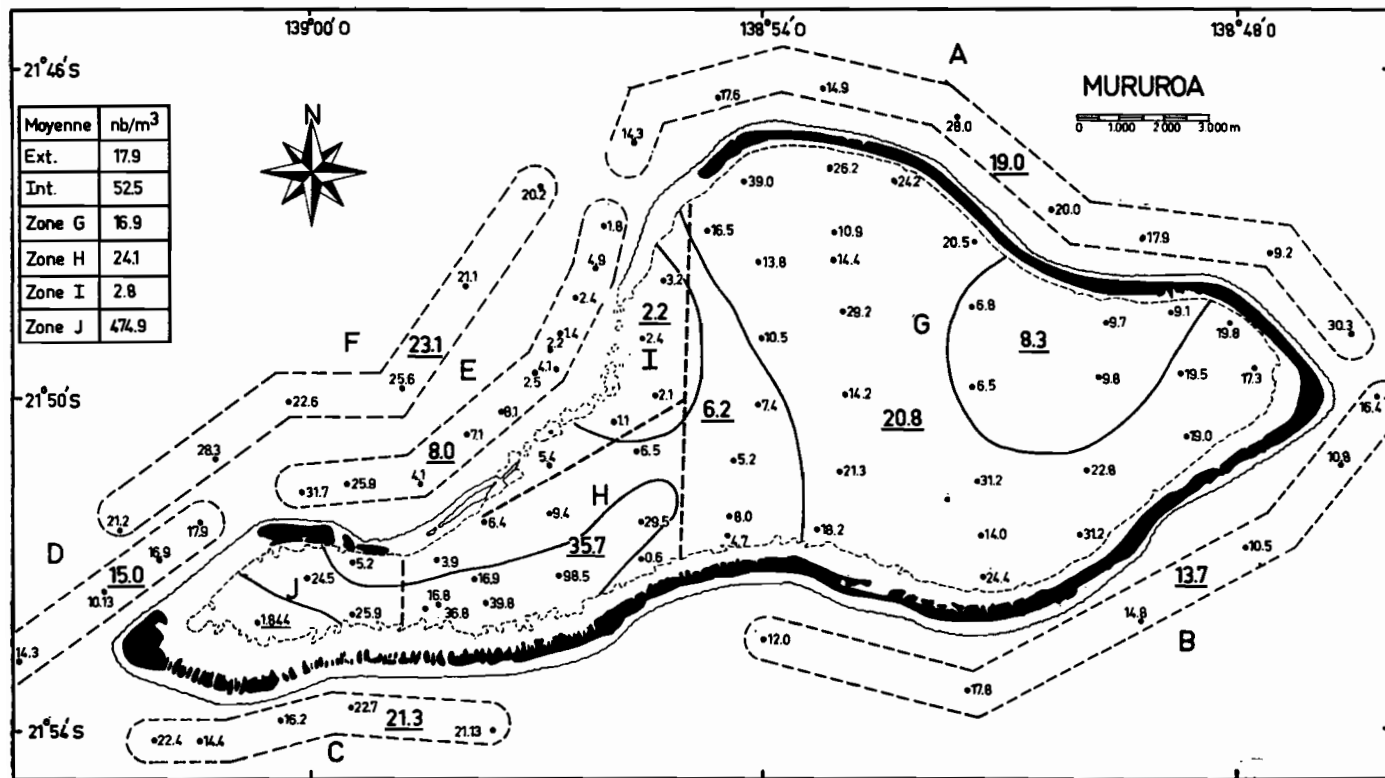


FIG. 10. — Distribution des Copépodes.



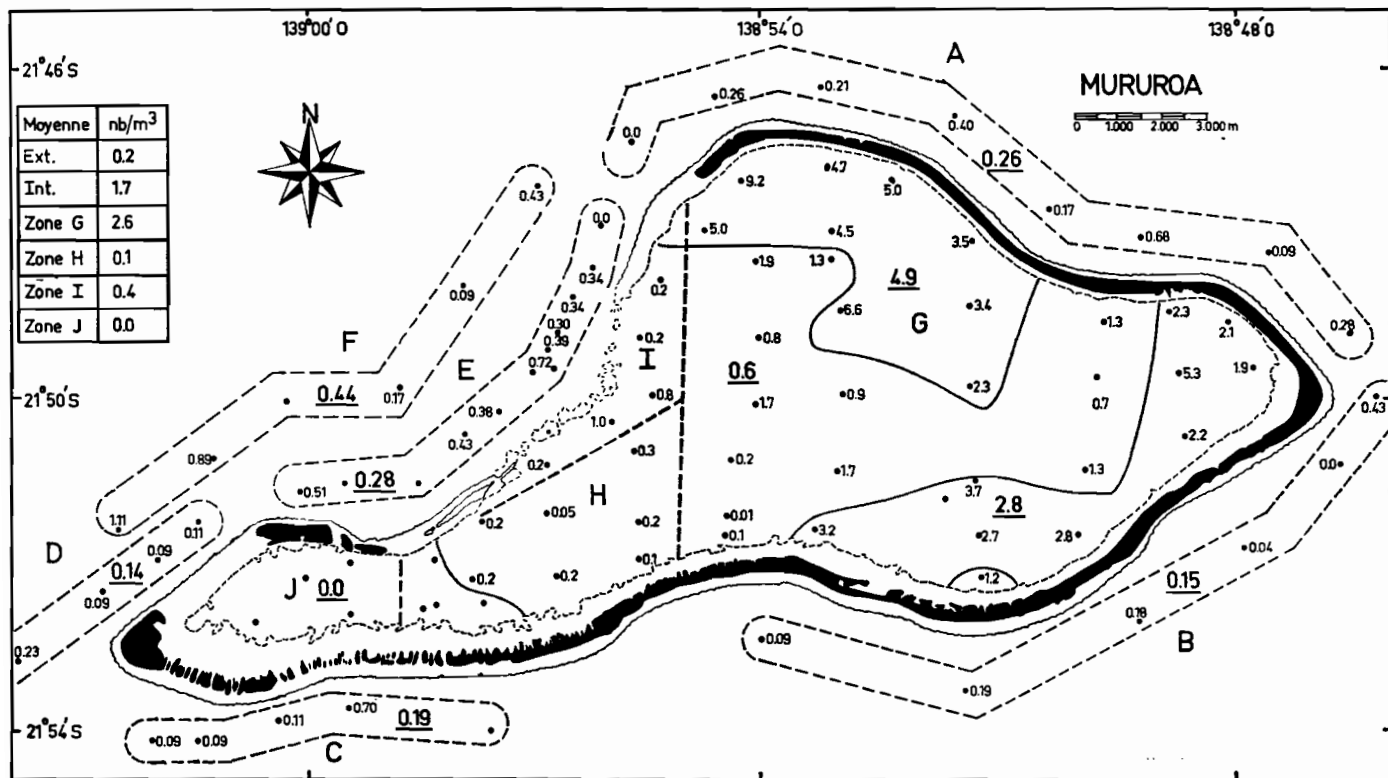


FIG. 12. — Distribution des Larves de Mollusques.

- d) OSTRACODES, répartition homogène de nuit, très faiblement représentés de jour.
- e) LARVES DE CRUSTACÉS DIVERS (cf. fig. 13). Ce groupe très hétérogène dans sa composition, puisqu'il englobe des larves de crustacés benthiques divers et de crustacés planctoniques, a néanmoins une répartition homogène avec maximum dans la zone E.
- f) ZOÉS et MEGALOPS (cf. fig. 14). Les Crustacés décapodes Brachyours sont très nombreux dans l'atoll, leurs larves sont réparties uniformément autour du récif avec toujours un maximum dans la zone E. Pas de variation nycthémerale apparente. On trouve en grande majorité des Zoés, ce qui laisse entrevoir une préférence de ce stade pour les eaux superficielles.
- g) LARVES D'ECHINODERMES, très peu représentées à l'extérieur.
- h) ŒUFS DE POISSONS (cf. fig. 15), répartition très homogène. Ils ne présentent pas de migration verticale, étant des flotteurs purement passifs : maximum dans la zone E.
- i) LARVES DE POISSONS (cf. fig. 16). Nous abordons là une catégorie d'organismes qui ne sont plus complètement planctoniques ; la répartition est relativement homogène, pourtant certains traits permettent de déceler des concentrations en essaims très denses. A la station n° 22, nous avons trouvé une moyenne de 12,6 par m<sup>3</sup> correspondant sans doute au passage du filet dans un essaim de larves d'une même espèce.

#### Biomasses.

Les biomasses totales rapportées au mètre cube d'eau (cf. fig. 17) ne montrent pas de différence considérable entre les zones où les traits ont été faits de nuit et les zones où les traits ont été faits de jour. Les variations sont de 1 à 2 pour les zones A, B, C, E, la zone B présentant un minimum relatif. Les valeurs de la biomasse moins importantes auxquelles on pouvait s'attendre pour les traits de jour sont majorées en partie par l'apport des organismes sortant du lagon.

La notion de biomasse sur des traits aussi courts est très sujette à caution, car il suffit de la présence dans le filet d'un seul organisme de taille très différente des autres (Céphalopode, Larve de Stomatopode, Caride, etc.) pour que la valeur trouvée ne soit pas comparable à celle des stations voisines où ces prises accidentelles n'ont pas eu lieu. La moyenne des zones où les traits ont été faits de nuit est de 28 mg pour 21 mg dans les zones où ils ont été faits de jour.

#### Synthèse.

Pour la couche 0-50 m, nous trouvons donc un plancton bien diversifié où tous les groupes sont représentés par plusieurs espèces et où le nombre d'individus de chaque espèce n'est jamais particulièrement abondant. Certains groupes présentent des variations nycthémerales importantes. En général, la répartition est très homogène autour de l'atoll. La zone E montre un

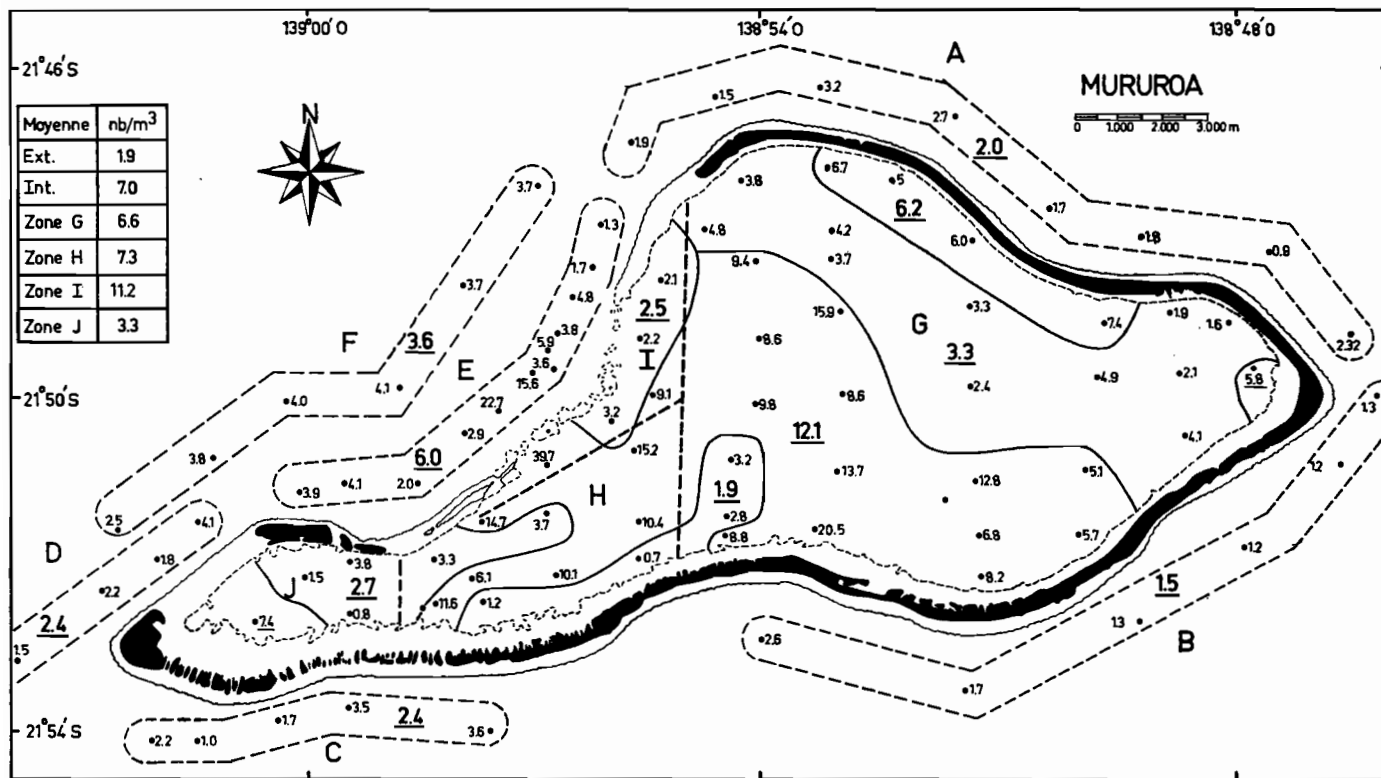


FIG. 13. — Distribution des Larves de Crustacés.



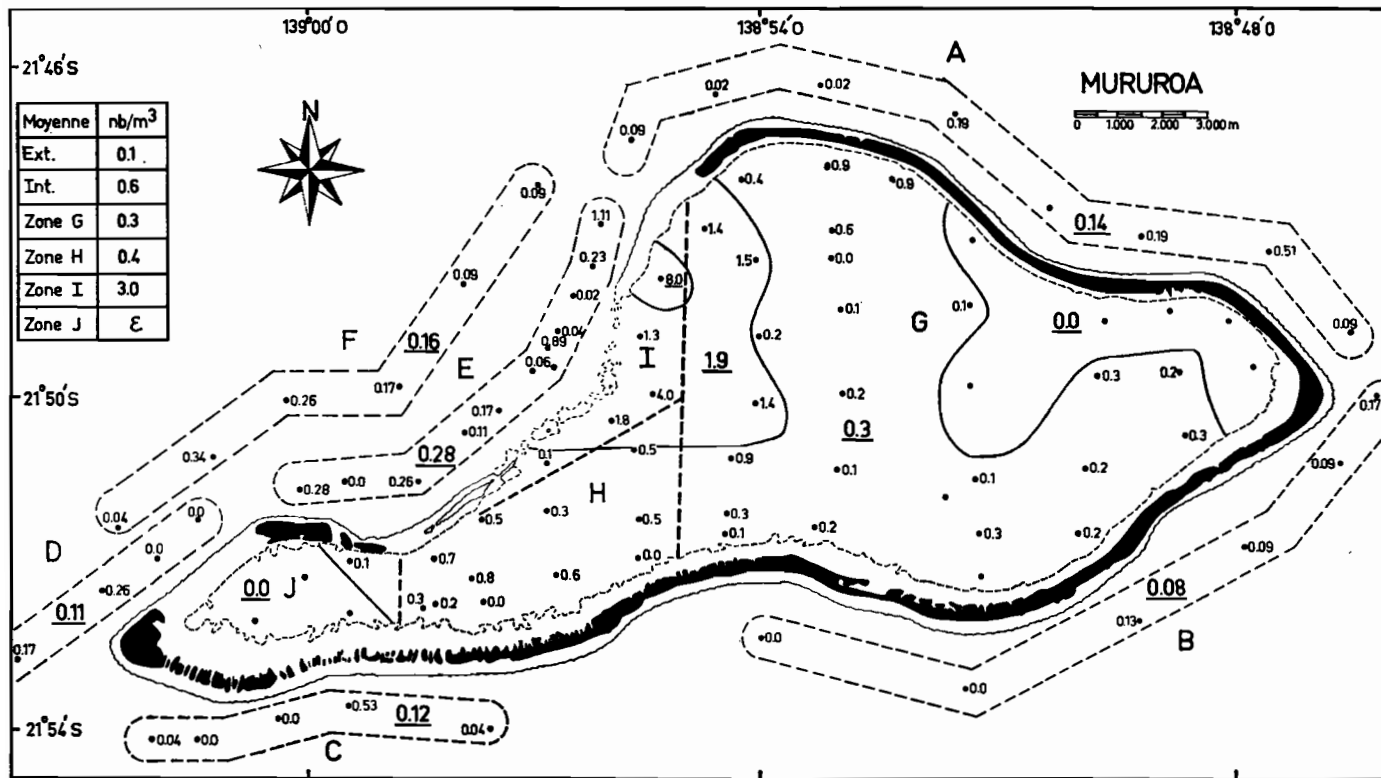


FIG. 15. — Distribution des Œufs de Poissons.

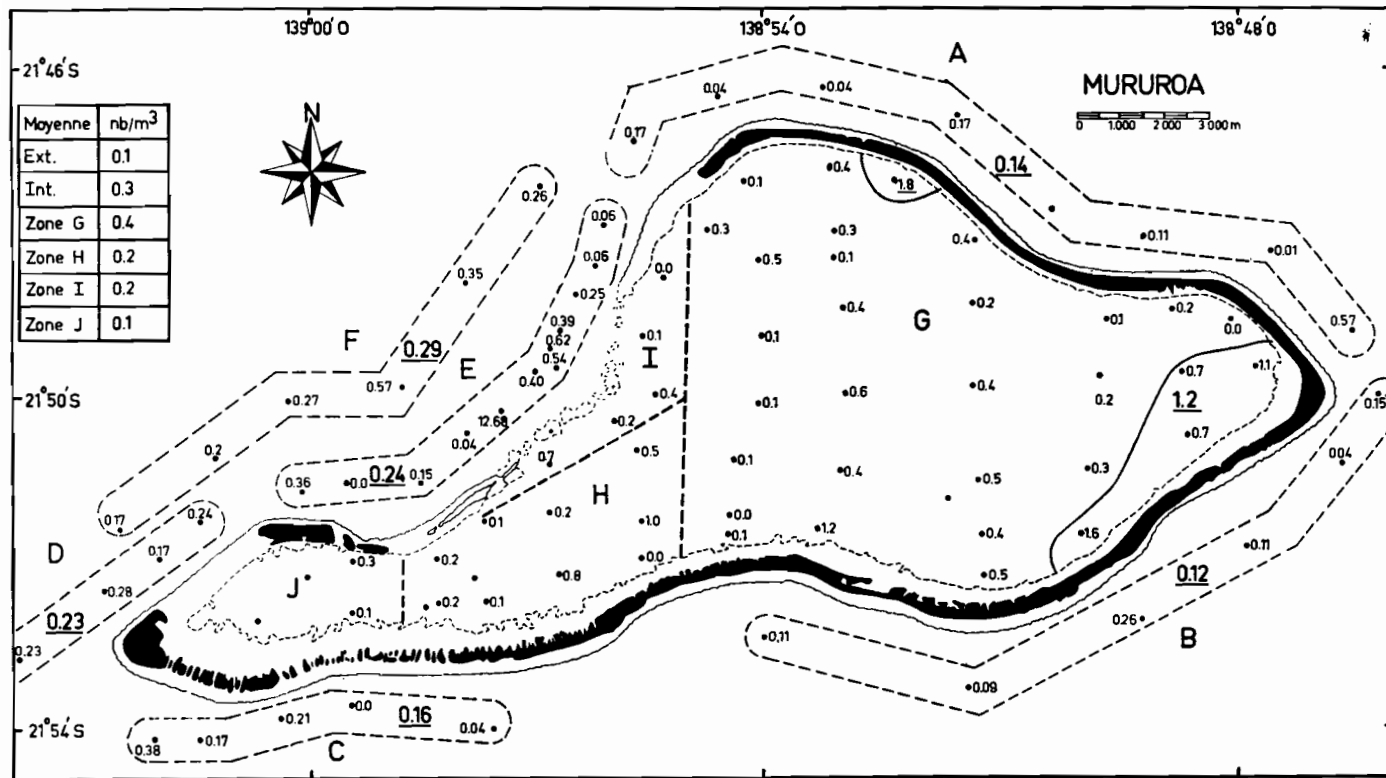


Fig. 16. — Distribution des Larves de Poissons.



maximum pour les Cténophores, les Chétognathes, les Zoés, les Larves de Crustacés et les Œufs de Poissons, laissant ainsi préjuger de l'influence du lagon.

### B. Couche 0-300 mètres

Cette couche a été étudiée du seul point de vue de la biomasse. Pour les 20 traits effectués, la biomasse moyenne par m<sup>3</sup> est de 13 mg, elle n'est que de 9 mg pour la couche 50-300 m (1). Si on compare ce dernier chiffre à celui obtenu pour la couche 0-50 m de nuit, soit 28 mg, le rapport est de 1 à 3 ; ceci indique que la couche superficielle abrite une population planctonique trois fois plus importante et justifie à posteriori la profondeur de 50 m comme limite de la couche d'étude de détail.

## 2. ZOOPLANCTON DU LAGON.

Par suite des variations de profondeur, les longueurs des traits verticaux, fond-surface, sont inégales ; pour les comparer, le nombre d'organismes a été ramené au mètre cube d'eau, présumant ainsi d'une répartition homogène qui, rappelons-le à nouveau, est loin d'être la réalité, mais fournit une expression pratique d'emploi. Seuls les groupes holoplanctoniques ont été séparés au niveau de l'espèce, la reconnaissance spécifique du méroplancton étant dans la plupart des cas impossible.

Des cartes de répartition ont été dressées et le lagon subdivisé en 4 zones (cf. fig. 1) :

- la zone G, partie Ouest du lagon, comprenant la masse d'eau la plus importante entourée par une couronne corallienne continue,
- la zone I, avoisinant la passe,
- la zone H, intermédiaire entre la zone G et l'extrémité du doigt de gant qui constitue la zone J, ces deux dernières zones étant sous l'influence directe des apports d'eau par les Hoa et les platiers.

Les moyennes ont été calculées pour chacune des zones, et les résultats consignés dans le tableau 4 (les maximums ont été soulignés). Il apparaît que la répartition spatiale n'est pas homogène et que les diverses espèces ont leur maximum de développement dans des zones différentes.

L'holoplancton se répartit ainsi en trois catégories :

- catégorie à maximum dans la zone G, minimum très marqué ou absence dans les zones I et J,
- catégorie à maximum dans la zone H, minimum très marqué dans les zones J et G,
- catégorie à maximum dans la zone J, minimum très marqué dans la zone G.

---

(1) Obtenu par différence entre les résultats de la couche 0-300 mètres et de la couche 0-50 mètres.

TABLEAU 4 :  
Nombre d'organismes par m<sup>3</sup> dans les 4 zones du Lagon.

ZONES	G	H	I	J
GROUPES				
<b>HOLOPLANCTONIQUES</b>				
Cténophores	2,05	0,30	0,98	0,00
<i>Sagitta enflata</i> jeunes	8,74	0,92	2,02	0,00
<i>Sagitta enflata</i> adultes	21,20	3,35	3,36	ε
<i>Oithona plumifera</i>	2,50	0,20	0,60	0,00
<i>Undinula vulgaris</i> jeunes	7,48	4,14	0,66	2,07
<i>Undinula vulgaris</i> adultes	2,80	6,45	0,50	0,92
<i>Canthocalanus pauper</i>	3,87	6,85	1,08	1,25
Appendiculaires	1,10	19,10	0,60	0,27
<i>Sagitta oceanica</i>	0,70	4,30	1,20	11,20
<i>Acartia hamata</i>	0,00	3,07	0,00	423,20
<b>TOTAL</b>	<b>50,44</b>	<b>48,68</b>	<b>11,00</b>	<b>438,91</b>
<b>MEROPLANCTONIQUES</b>				
Méduses	1,04	0,10	0,70	0,00
Larves de Crustacés	6,69	7,30	11,20	3,37
Larves d'Annélides	0,54	ε	0,12	0,00
Larves de Mollusques	2,68	0,11	0,48	0,00
Zoés et Megalops	0,97	0,27	0,46	0,00
Larves d'Echinodermes	0,13	ε	0,00	0,00
Larves de Poissons	0,44	0,28	0,28	0,10
Œufs de Poissons	0,35	0,40	3,06	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>12,84</b>	<b>8,46</b>	<b>16,30</b>	<b>3,47</b>

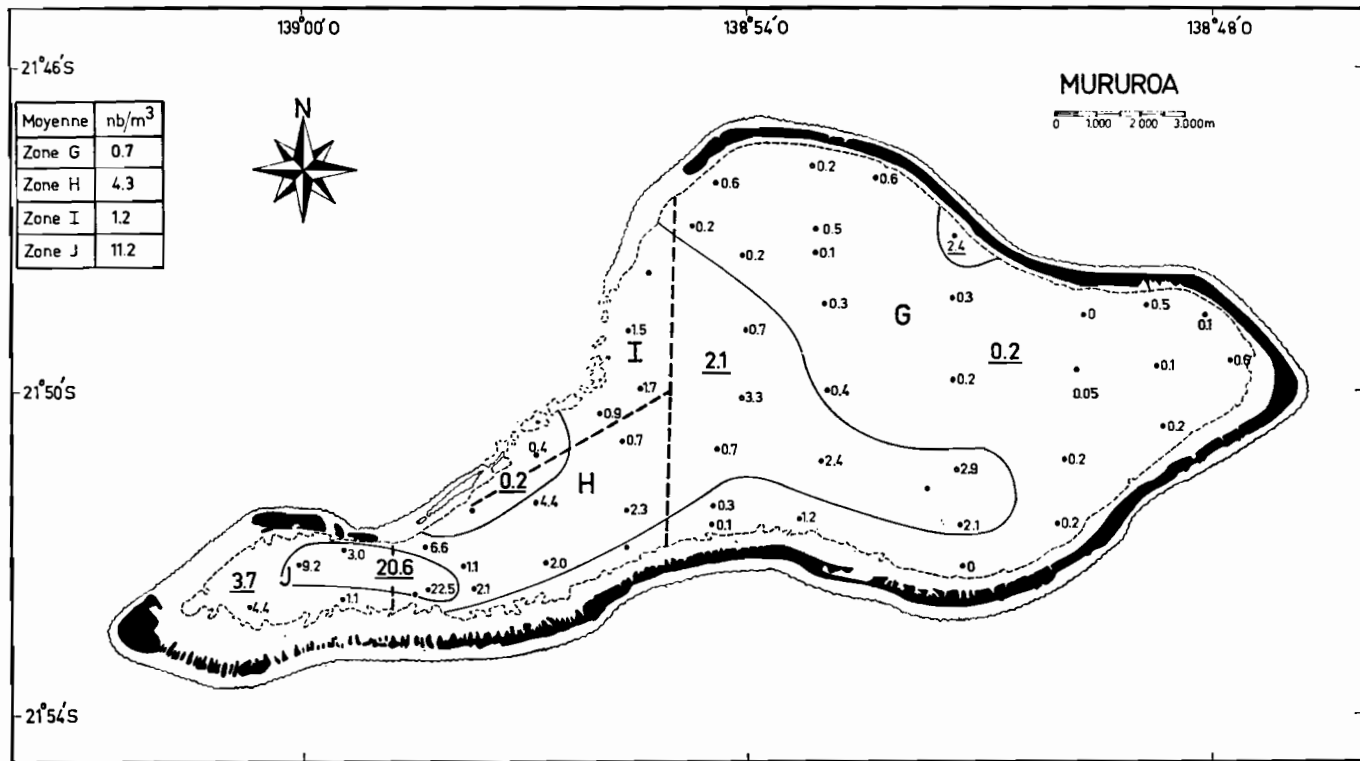


FIG. 18 — Distribution de *Sagitta oceania*.

Le méroplancton a une répartition beaucoup plus homogène, tous les maximums se trouvent dans la zone G sauf pour deux groupes : Larves de Crustacés et Œufs de Poissons. Mais ceci peut s'expliquer par l'hétérogénéité taxonomique des premiers et l'absence de tout mouvement propre chez les seconds.

### Holoplancton

- a) CTÉNOPHORES (cf. fig. 7). Ce groupe est représenté par une seule espèce du genre *Hormiphora*. Cette espèce semble assez superficielle ; son maximum se situe dans le nord du lagon et s'étend vers le sud ; on ne la trouve pratiquement pas dans les zones H et J.
- b) CHÉTOGNATHES (cf. fig. 18, 19, 20). Ce groupe comprend dans le lagon deux espèces : *Sagitta oceania* et *Sagitta enflata*. Leurs distributions sont très différentes et montrent que des variations faibles dans les conditions écologiques peuvent être cependant primordiales pour la répartition de deux espèces d'un même groupe.

*Sagitta enflata* connaît son maximum dans la partie Est du lagon, décroît très nettement vers la passe et devient presque absente des zones I et J. *Sagitta oceania* a une distribution inverse, avec maximum dans les zones H et J, et présente une extension vers l'est le long de la côte Sud. Or la seule différence entre les zones G et J est l'apport d'eaux océaniques très oxygénées par les Hoas et les platiers du Sud-Ouest. On peut donc penser que c'est ce facteur qui influence directement la répartition des deux espèces. *Sagitta enflata* a été divisé en deux catégories de taille, les cartes de répartition ne montrent pas de différence appréciable entre les positions des jeunes et des adultes à part une légère tendance des jeunes à être rassemblés dans la partie Est, relativement à l'abri des vents dominants. Il est donc vraisemblable qu'il n'y a pas de zone de reproduction privilégiée.

- c) APPENDICULAIRES (fig. 9). Ils sont représentés par deux espèces dont l'une prédomine largement, représentant presque la totalité du groupe. Leur répartition est identique à celle de *Sagitta oceania* avec toutefois le maximum situé plus à l'Ouest dans la zone I ; on trouve toujours une extension vers l'Est le long de la côte Sud. Une station très riche dans la partie Nord produit un deuxième maximum qui peut n'être qu'un effet d'échantillonnage.
- d) COPÉPODES : ce groupe est représenté dans le lagon pratiquement par 4 espèces.

*Undinula vulgaris* (cf. fig. 21 et 22) est l'espèce prédominante. Les cartes donnant les répartitions en deux catégories de taille montrent que le maximum des adultes est au Sud de la zone H avec une extension très importante vers l'Est le long du récif jusqu'au fond du lagon et une autre extension vers le Nord. Pour les *Undinula* de taille inférieure on trouve 3 maximums relatifs, l'un correspondant au maximum des adultes et les deux autres de la même importance, l'un dans la partie Est-Sud-Est et l'autre dans la partie Nord. Cette distribution peut s'expliquer par l'existence d'une aire de reproduction dans la zone H. Les nauplii seraient ensuite entraînés

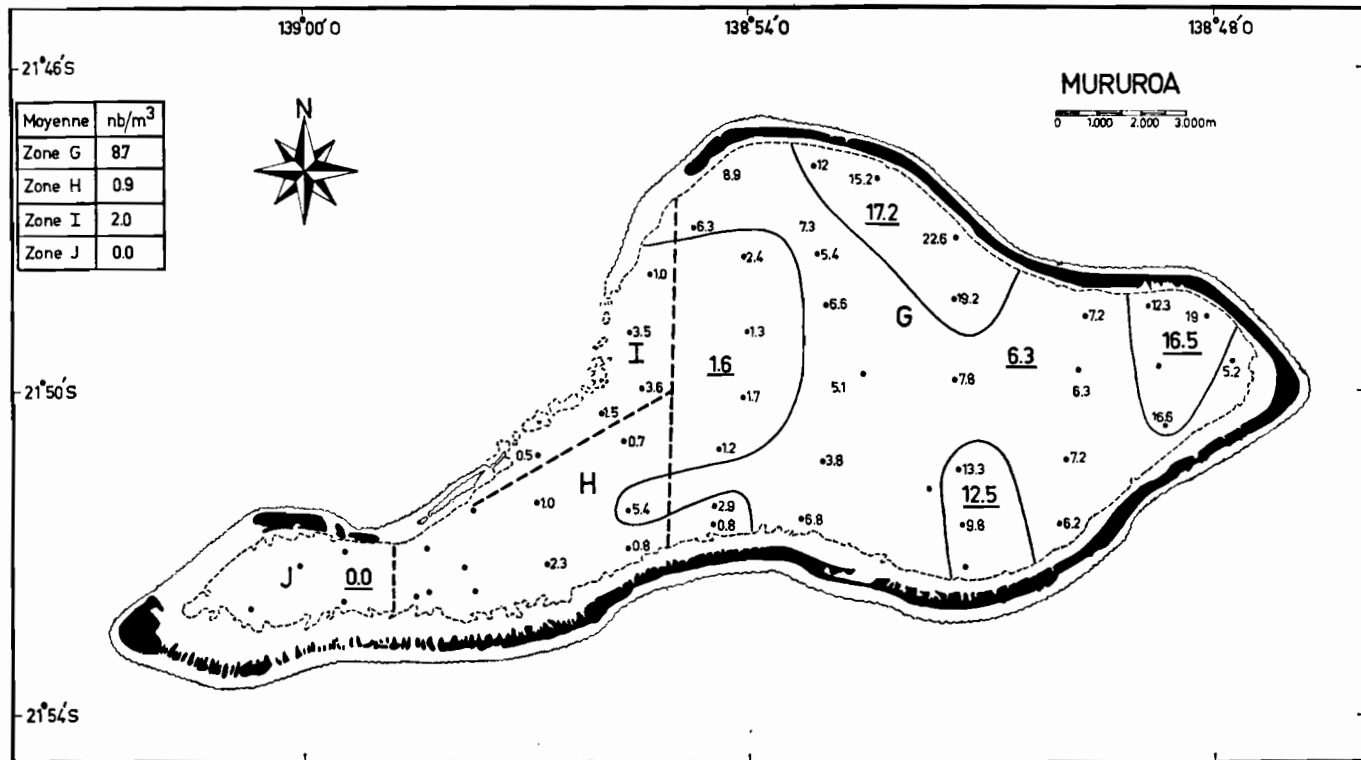


FIG. 19. — Distribution de *Sagitta enflata* (jeunes).

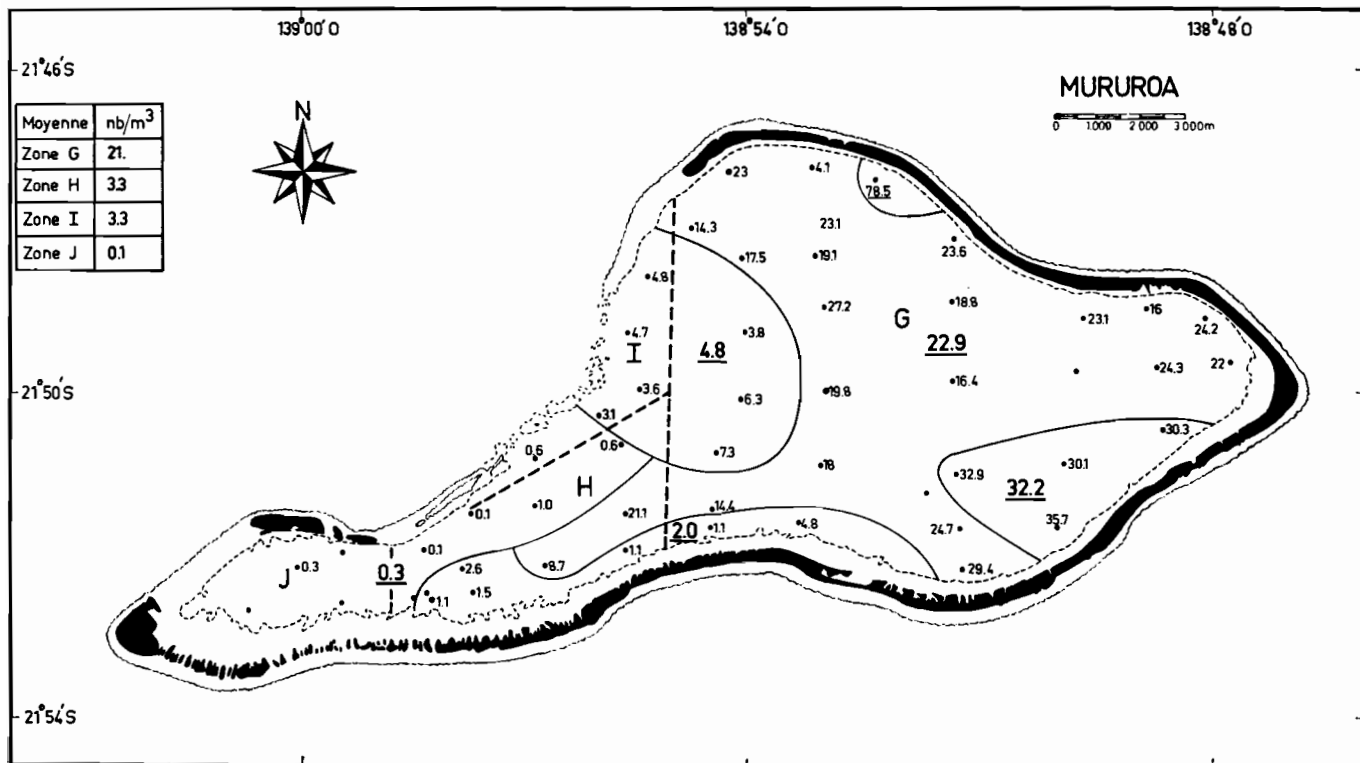


FIG. 20 — Distribution de *Sagitta enflaa* (adultes).

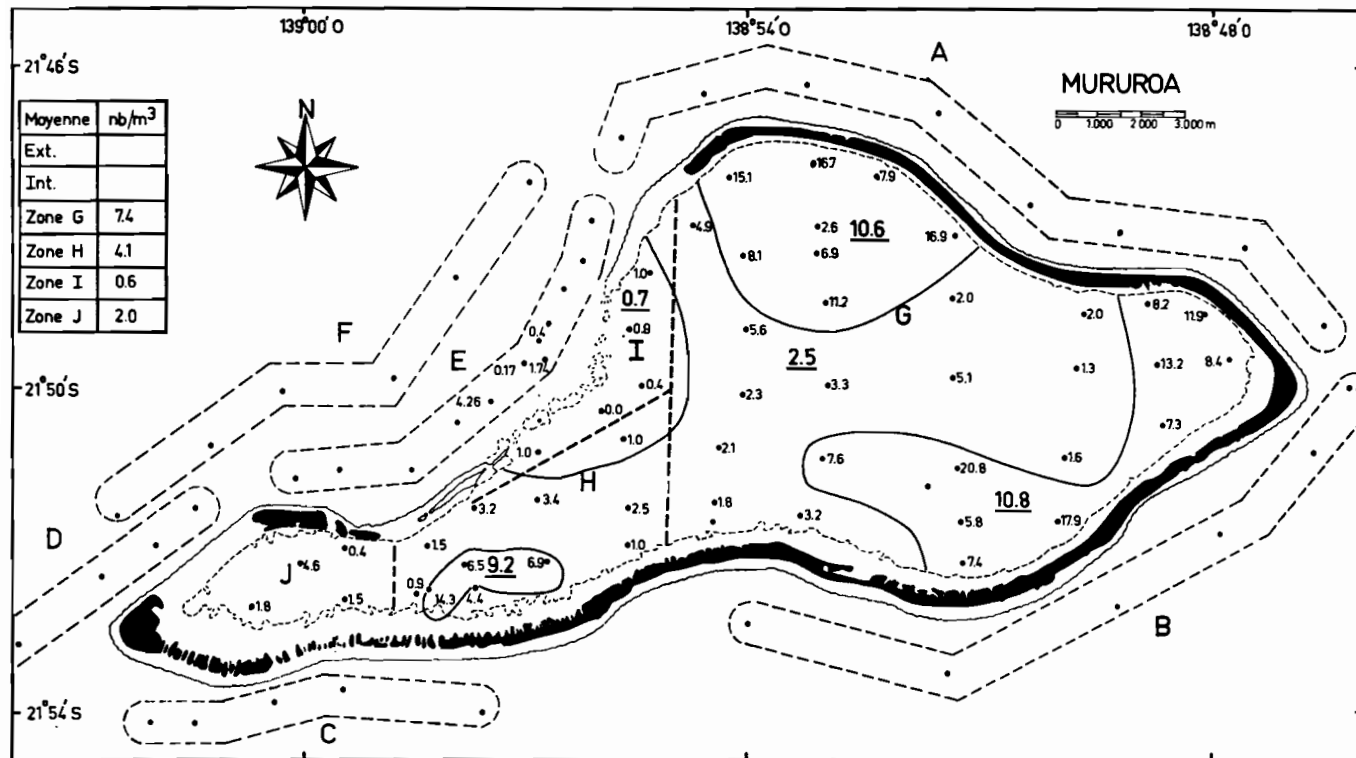


FIG. 21. — Distribution de *Undinula vulgaris* (jeunes).



vers la partie Est et la partie Nord où ils poursuivraient leur développement dans des eaux plus calmes pour revenir plus tard dans la zone H.

*Canthocalanus pauper* (cf. fig. 23) montre la même répartition que *Undinula vulgaris* avec un maximum dans la zone H et deux maximums relatifs, l'un au Sud-Est, l'autre au Nord de la zone G.

*Oithona plumifera* (cf. fig. 24). Cette espèce présente deux maximums dans la partie Sud-Est et Nord du lagon mais ne figure pratiquement pas dans les zones H et J.

*Acartia hamata* (cf. fig. 25). La distribution est inverse des précédentes ; le maximum se trouve dans la zone J et l'espèce n'est pas du tout représentée dans le reste du lagon.

On trouve quelques représentants d'autres espèces mais en nombre pratiquement négligeable des genres *Oncea* et *Coryceus*.

e) AMPHIPODES : ils sont très peu représentés dans le lagon, et on rencontre une seule espèce du genre *Brachycelus*.

#### Méroplancton

Pour le méroplancton les distributions sont beaucoup plus difficiles à analyser, les adultes étant susceptibles de se trouver sur toute la périphérie et le fond de l'atoll. On observe cependant des maximums dans la zone G, dus probablement à des phénomènes d'accumulation ; ceci est très net chez les Larves de Mollusques et d'Annélides. Dans d'autres cas la répartition semble homogène sur toute l'étendue du lagon (Larves de Crabes, d'Echinodermes et de Poissons).

Les Larves de Crustacés (cf. fig. 13) ont leur maximum à peu près au centre du lagon. Quant aux Œufs de Poissons leur maximum se situe dans la zone I.

Les Méduses (cf. fig. 11) présentent un cas particulier : ce groupe est représenté par 7 espèces :

*Podocoryne ocellata* (Agassiz et Mayer),  
*Amphinema rugosum* (Mayer),  
*Merga violacea* (Agassiz et Mayer),  
*Laodicea undulata* (Forbes et Goodsir),  
*Cirrholovenia polynema* (Kramp),  
*Aequorea macrodactyla* (Brandt),  
*Cephea octostyla* (Forskål).

Toutes ces espèces sont néritiques et possèdent des polypes fixés. Leur maximum se situe dans la partie Nord de la zone G et le minimum est très marqué dans la zone J.

*Aequorea macrodactyla* paraît nettement prédominante, répandue surtout dans la couche 0-10 m : de nombreux spécimens se présentent en état de multiplication par schizogonie.

Il semble se produire dans les eaux du lagon un cycle des espèces prédominantes. Il nous a été rapporté qu'à plusieurs reprises et notamment en décembre 1965, l'espèce *Linuche unquiculata* est apparue en énorme quantité à tel point que les eaux avaient pris une couleur marron et que de grandes traînées de concentration s'observaient en surface. Les jeunes

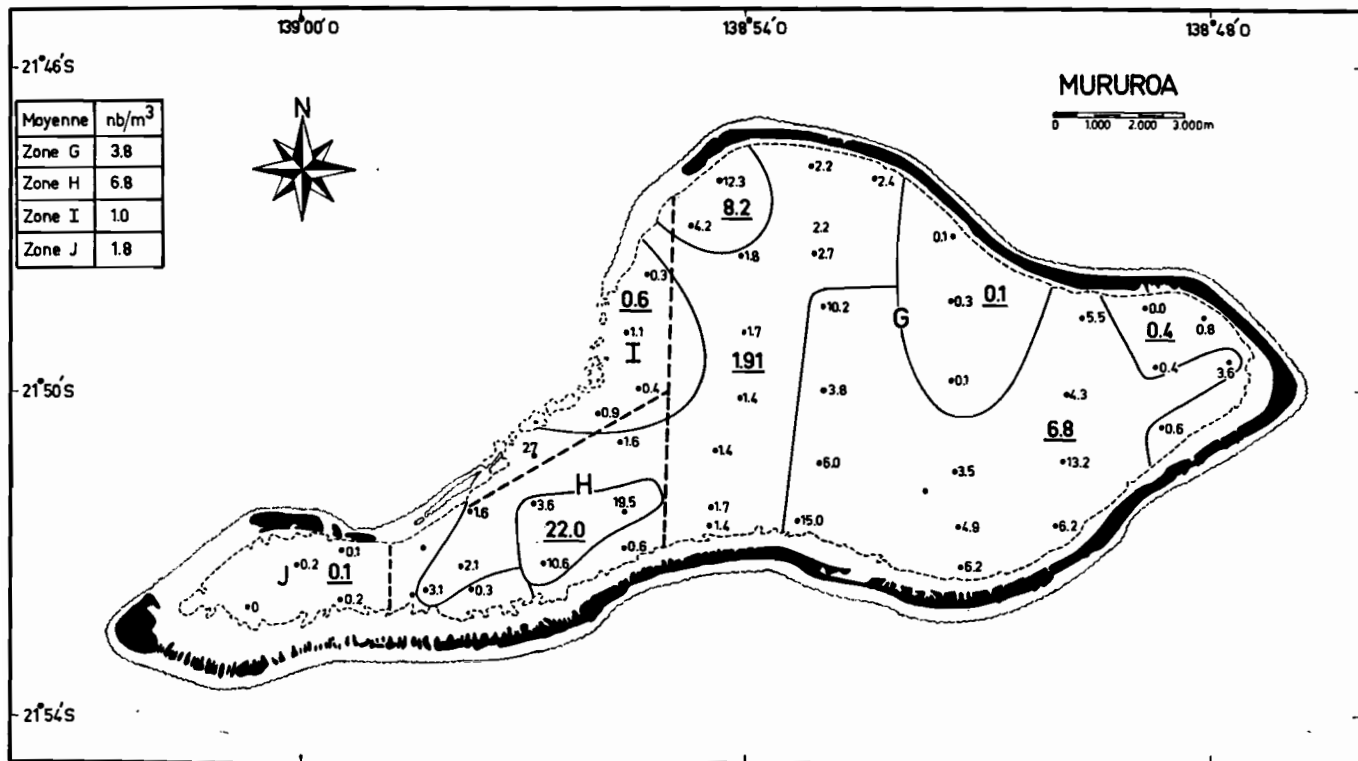


FIG. 23. — Distribution de *Canthocalanus pauper*.

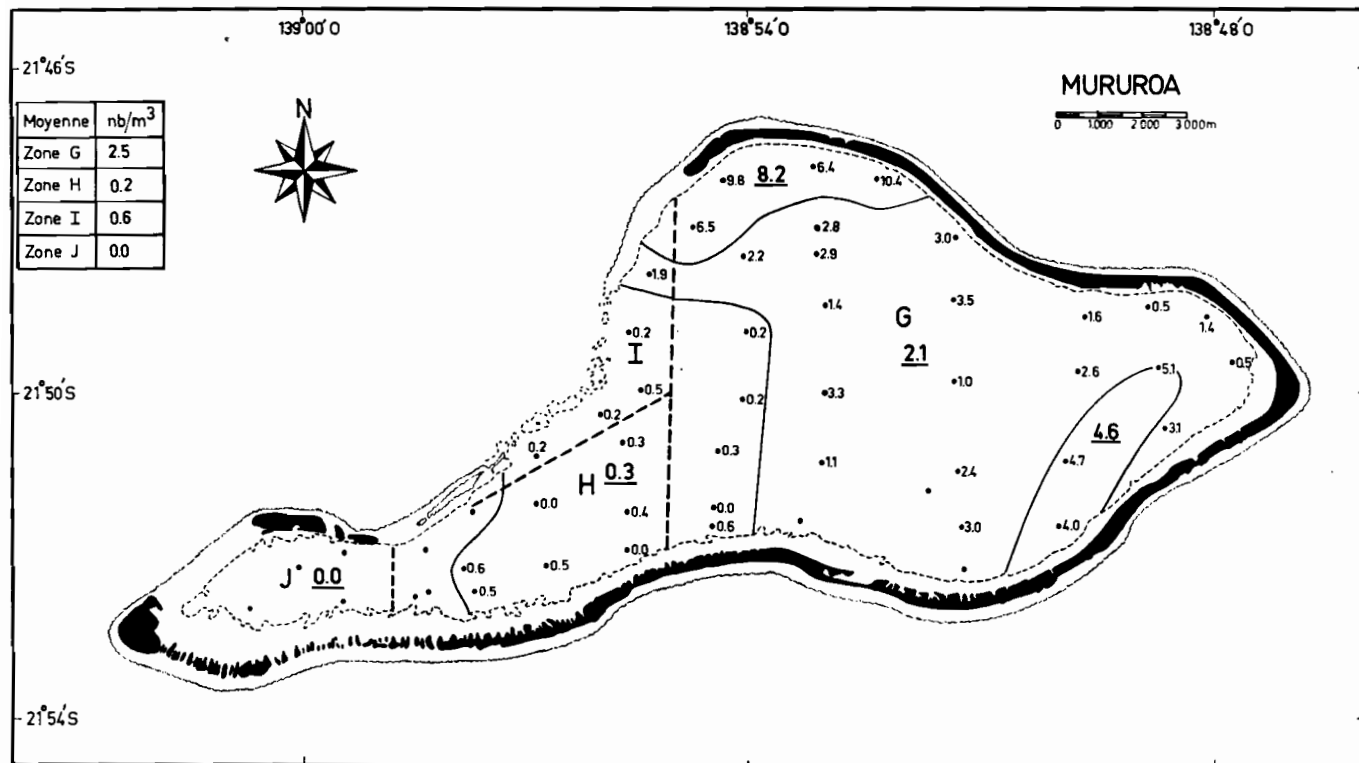


FIG. 24. — Distribution de *Oithona plumifera*.

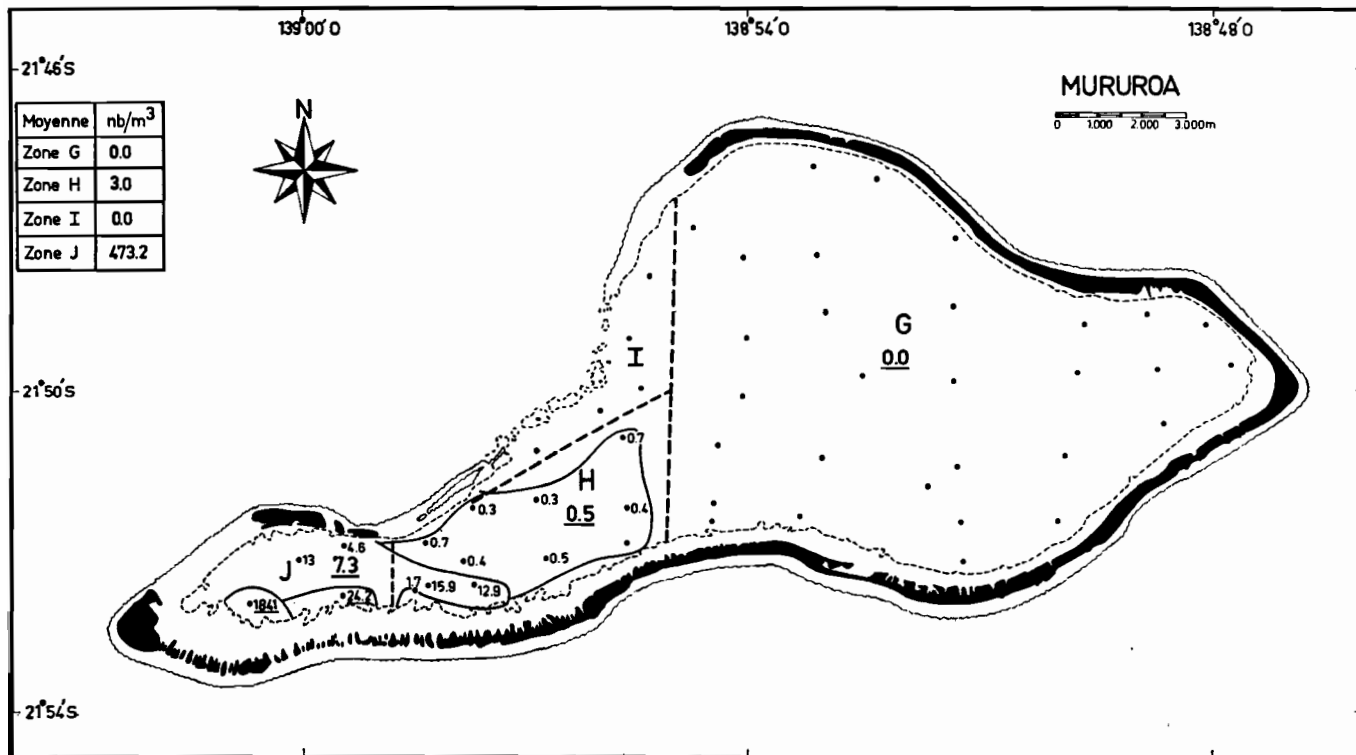


FIG. 25. — Distribution de *Acartia hamata*.

médusoïdes en temps normal sont rejetés à l'extérieur par le jeu des courants engendrés par le vent. Sous des conditions météorologiques accidentelles réduisant les échanges océan-lagon, ils resteraient à l'intérieur, d'où cette floraison extraordinaire. Il est à noter que cette accumulation disparaît très vite, confirmant ainsi la possibilité d'une évacuation rapide des eaux de surface. Ces phénomènes n'ayant pas eu lieu au moment de l'étude et la dernière observation n'ayant pas été datée précisément, il n'a pas été possible de trouver une corrélation avec les conditions météorologiques.

#### Traits de surface à l'intérieur du lagon

Pendant les traits, le haut du filet affleurant la surface, seuls les 50 premiers centimètres ont été échantillonnés. Les résultats sont aussi donnés en nombre d'organismes par mètre cube d'eau.

Le tableau 5 classe les groupes et espèces d'après le rapport : nombre d'organismes par mètre cube d'eau de surface sur nombre d'organismes par

TABLEAU 5 :  
Comparaison des traits de surface et des traits fond-surface.

GROUPES	— 1 —	— 2 —	RAPPORT
	NOMBRE D'ORGANISMES PAR M <sup>3</sup> SURFACE	NOMBRE D'ORGANISMES PAR M <sup>3</sup> FOND-SURFACE	$\frac{1}{2}$
<i>Acartia hamata</i>	3,22	127,7	0,02
Larves de Crustacés	0,27	7,00	0,04
<i>Undinula vulgaris</i>	0,45	10,60	0,04
Méduses	0,06	0,70	0,08
<i>Canthocalanus pauper</i>	0,35	3,90	0,09
Larves d'Annélides	0,04	0,36	0,11
Larves d'Echinodermes	0,01	0,09	0,11
Appendiculaires	0,67	4,80	0,14
<i>Oithona plumifera</i>	0,25	1,78	0,14
Larves de Poissons	0,05	0,34	0,15
Larves de Mollusques	0,13	0,65	0,20
<i>Sagitta inflata</i>	5,01	20,70	0,24
<i>Sagitta oceanica</i>	0,59	2,30	0,25
Cténophores	0,45	1,43	0,31
Larves de Stomatopodes	0,12	0,09	1,33
Œufs de Poissons	2,12	0,62	3,41
Zoes et Megalops	2,98	0,68	4,38
<i>Lucifer</i> sp.	1,53	ε	∞
Globigérines	0,14	ε	∞

mètre cube d'eau de toute la couche. Le plancton se répartit ainsi en trois catégories :

- organismes présents dans cette couche à des concentrations très faibles donc préférentielles des eaux subsuperficielles,
- organismes plus concentrés dans cette couche que dans les eaux sous-jacentes, Larves de Stomatopodes, Larves et Œufs de Poissons,
- organismes rencontrés uniquement dans cette couche, *Lucifer* sp., Globigérines.

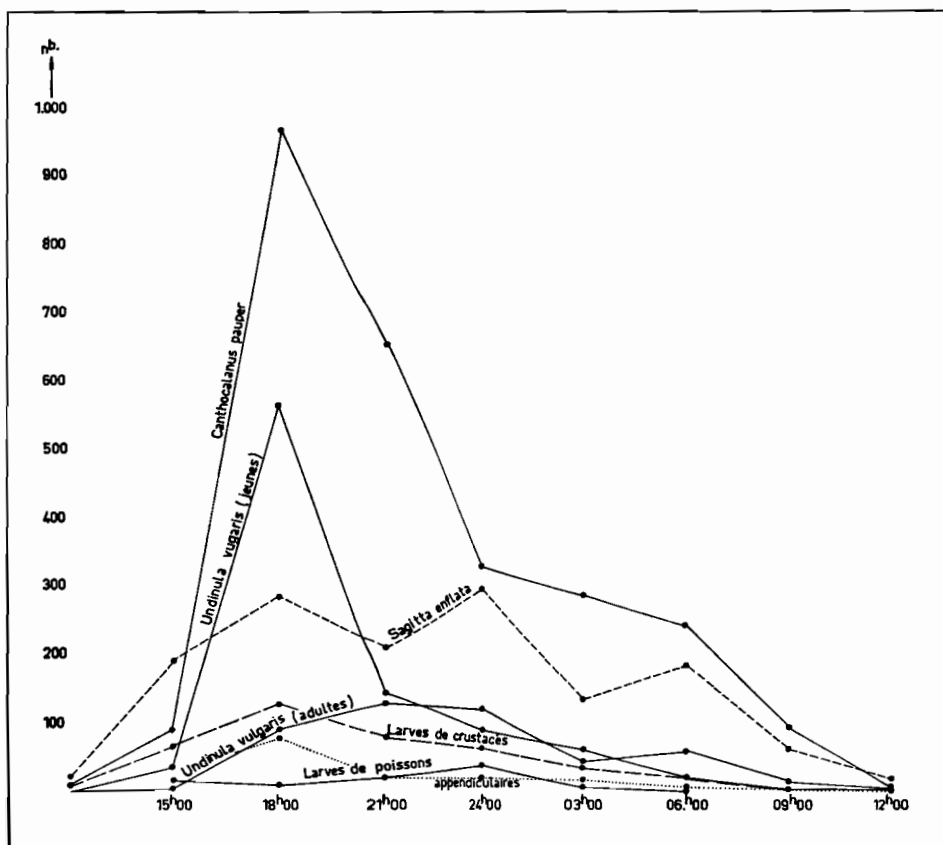


FIG. 26. — Variation nyctémérale de la couche 0 — 10 mètres.

En outre, on trouve occasionnellement dans la couche de surface des organismes qui étaient déjà présents à l'extérieur.

#### Station de 24 heures

La station au point A du lagon suivie durant 24 heures n'a été exploitable que pour les traits 0-10 m, les traits plus profonds donnant des résultats

très hétérogènes en raison de la méthodologie employée. En effet, les conditions météorologiques de la dernière quinzaine du mois d'avril ont été très mauvaises, rendant difficile la manipulation du filet de 1 m sur une petite embarcation. Néanmoins, les variations les plus intéressantes à suivre concernent la couche superficielle où les courants sont les plus forts. La figure 26 donne la composition de cette couche toutes les trois heures pour les groupes présentant des variations. Les pics se situent tous entre 18 h et

TABLEAU 6 :  
Biomasses de 8 stations du lagon mg/m<sup>3</sup> — Filet 1 m.

STATIONS	n° 52	n° 53	n° 54	n° 55	n° 56	n° 57	n° 58	n° 59
GROUPES								
Méduses	197	101	41	67	673	562	117	250
Cténophores	5	4						
Chétognathes	27	92	126	126	99	76	219	163
Copépodes	46	7	14	19	8	8	5	6
Larves de Crustacés	8	4	3	3	2	1	3	2
Larves de Poissons	0	0	1	2	1	2	2	1
Reste	15	20	21	33		40	49	49
TOTAL	298	228	206	250	783	689	395	471

24 h avec un maximum très net pour les *Canthocalanus pauper* et les *Undinula vulgaris* jeunes à 18 h, c'est-à-dire au coucher du soleil. Le minimum se situe à midi pour tous les groupes. Les autres groupes non figurés ne présentent pas de variation nyctémérale apparente.

Il faut noter qu'à des profondeurs faibles comme celles du lagon, les changements de luminosité dus aux nuages et à la présence ou à l'absence de lune doivent influencer considérablement sur la variation diurne.

Biomasses (cf. tableau 6)

Pour les 8 stations du lagon effectuées avec le filet de 1 m, les biomasses des différents groupes ont été calculées et ramenées au m<sup>3</sup> d'eau : les Méduses et Chétognathes en forment la part la plus importante.

La moyenne générale pour les 8 stations est de 415 mg/m<sup>3</sup>, soit 13 fois plus que la moyenne des stations extérieures de nuit pour la couche 0-50 m.

TABLEAU 7 :  
 Nombre d'organismes par m<sup>3</sup> à l'intérieur et à l'extérieur du lagon.

GROUPES	NB. MOYEN D'ORGANISMES PAR M <sup>3</sup> D'EAU		RAPPORT $\frac{M\ 1}{M\ 2}$
	LAGON M 1	EXTÉRIEUR M 2	
<b>HOLOPLANCTONIQUES</b>			
Siphonophores	ε	0,67	ε
Ptéropodes	0,00	0,25	ε
Euphausides	ε	0,47	ε
Salpes et Dolioles	0,0	0,21	0,04
Amphipodes	0,10	0,26	0,4
Copépodes	52,50	17,90	2,9
Larves de Crustacés	7,00	1,98	3,5
Méduses	0,70	0,05	14,0
Chétognathes	23,00	0,65	35,4
Appendiculaires	4,80	0,09	53,3
Cténophores	1,43	ε	∞
<b>MEROPLANCTONIQUES</b>			
Larves d'Annélides	0,36	0,26	1,4
Larves de Poissons	0,34	0,14	2,4
Œufs de Poissons	0,62	0,11	5,6
Larves de Crabes	0,69	0,09	7,6
Larves de Mollusques	1,70	0,21	8,1
Larves d'Echinodermes	0,10	0,0	∞

### Synthèse sur le plancton du lagon

Le plancton du lagon présente donc les caractéristiques suivantes :

- holoplancton représenté par un petit nombre d'espèces comprenant un nombre important d'individus,
- méroplancton très diversifié, représentatif des groupes d'invertébrés liés à la couronne récifale,
- les répartitions, surtout pour l'holoplancton, ne sont pas le fait du hasard, mais permettent de distinguer 4 zones : une zone de mélange où se fait sentir l'influence de la marée et 3 zones correspondant chacune à l'épanouissement de certaines espèces.

La seule différence entre ces trois dernières zones se trouve dans l'apport d'eaux océaniques, important pour les zones H et J, nul pour la zone G. Ces eaux agiraient par leur suroxygénation due au déferlement sur le récif et individualiseraient trois populations :

- l'une demandant une oxygénation très forte et un renouvellement de l'eau fréquent (*Acartia hamata* et *Sagitta oceanica*),
- une autre préférant des eaux plus stagnantes et moins oxygénées (Méduses, *Sagitta inflata*, *Ctenophores*, *Oithona plumifera* et *Undinula vulgaris* jeunes),
- la troisième ayant des besoins intermédiaires (*Undinula vulgaris* adultes, *Canthocalanus pauper* et Appendiculaires).
- La couche de surface abrite quelques organismes venus de l'extérieur et une faune propre en plus de la faune ordinaire des eaux subsuperficielles,
- la station de 24 h montre que la plupart des organismes holoplanctoniques du lagon ont une migration verticale diurne importante susceptible de les faire pénétrer pendant une partie de la nuit dans la couche de surface.

### IV. COMPARAISON ZOOPLANCTON EXTÉRIEUR ET INTÉRIEUR

La population méroplanctonique du lagon est, qualitativement, tout à fait comparable à celle de l'extérieur ; il y a par contre des différences quantitatives notables dues à une densité plus importante des invertébrés à l'intérieur de l'atoll et à des chances de dispersion plus grandes de leurs larves à l'extérieur.

Le tableau 7 reproduit le nombre d'organismes par mètre cube d'eau à l'intérieur et à l'extérieur. Le rapport entre les deux densités varie de  $\epsilon$  à l'infini, permettant de diviser le plancton en 3 catégories :

- 1° *Catégorie dite océanique*, dont les composants n'entrent qu'accidentellement ou pas du tout dans le lagon : Siphonophores, Euphausides, Salpes et Doliolés.
- 2° *Catégorie endémique* du lagon, dont les constituants ne se trouvent à l'extérieur qu'à proximité des zones d'échanges ; c'est pratiquement l'ensemble de tout l'holoplancton du lagon.

3° *Catégorie ambivalente*, que l'on trouve aussi bien à l'extérieur qu'à l'intérieur, comprenant surtout le méroplancton, mais qui est toujours plus riche à l'intérieur.

Qualitativement, l'holoplancton du lagon est représenté par peu d'espèces riches en individus alors que l'holoplancton extérieur est très diversifié en espèces moins bien représentées.

Quantitativement, les biomasses à l'intérieur sont plus importantes qu'à l'extérieur surtout si on note que les comparaisons portent sur des traits de nuit à l'extérieur, faisant donc intervenir dans la couche 0-50 m des organismes qui appartiennent à des couches plus profondes.

Le rapport biomasse intérieure sur biomasse extérieure est de 415 sur 24,5, soit environ 17.

## V. CIRCUITS PLANCTONIQUES A L'INTÉRIEUR DU LAGON

La répartition des espèces holoplanctoniques dans le lagon vient à l'appui du schéma de circulation générale admis dans la première partie. En effet, pour les espèces ayant leur maximum dans les zones H et J, il apparaît toujours une expansion vers l'Est qui se subdivise en deux branches, l'une courant le long de la côte Sud et l'autre remontant vers le Nord. Ceci permet d'expliquer la répartition différente des adultes et jeunes d'*Undinula vulgaris*. Les nauplii sont entraînés par les très faibles courants de profondeur, alors que les adultes meilleurs nageurs peuvent se maintenir dans les conditions qu'ils préfèrent. Les jeunes vont donc s'accumuler dans les deux zones Est et Nord. Ces zones d'accumulation se retrouvent dans beaucoup de groupes non superficiels du lagon. Par contre, des espèces superficielles comme les Méduses, les Cténophores et les Chétognathes voient leur maximum plus près du centre du lagon, confirmant le retour des eaux de surface vers l'Ouest sous l'action des vents dominants. Entre ces deux zones de maximum, il existe pour presque tous les groupes une région de minimum correspondant certainement à une zone morte entre deux circuits tourbillonnaires. La figure 27 met en évidence une remontée des Chétognathes dans la partie Est de la zone G, ce qui pourrait matérialiser l'upwelling au vent de la circulation primaire.

## VI. INTERRELATIONS LAGON-OCÉAN

La grande endémicité du plancton du lagon indique que les mouvements d'eau entre l'extérieur et l'intérieur sont nécessairement de faible importance et qu'en particulier les entrées d'eau de la marée montante doivent être à peu près compensées par les sorties de la marée descendante, sinon la possibilité de maintien d'une population planctonique taxonomiquement stable serait nulle.

Ces échanges existent cependant mais ne peuvent intéresser que les eaux superficielles puisque le seuil de la passe n'est qu'à huit mètres de profondeur. Ce sont donc uniquement les organismes se trouvant dans cette couche qui seront susceptibles de s'échanger.

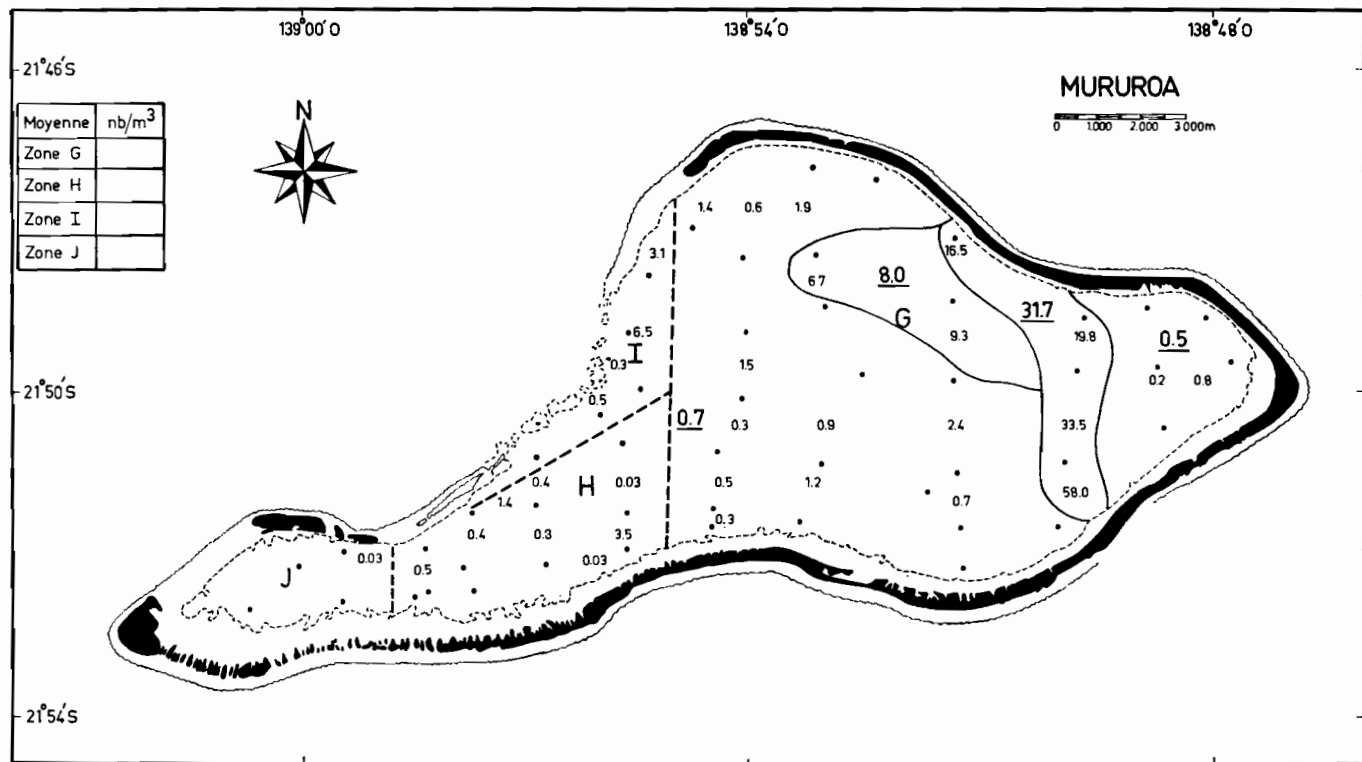


FIG.27. — Distribution de *Sagitta enflata* en surface.

D'après les résultats de la station de 24 h à l'intérieur du lagon cette couche est, durant la journée, très pauvre en organismes, ce n'est donc que pendant la nuit où très souvent les vents soufflent avec une intensité moindre que les échanges risqueraient de prendre une certaine importance. Or la circulation primaire comporte une plongée des eaux de surface qui emmène une partie des organismes vers les couches plus profondes et les circulations secondaires sous certaines conditions forment des circuits clos qui restreignent encore les échanges.

Malgré cela des organismes échappant à ces divers circuits vont se trouver dans de l'eau qui va sortir du lagon poussée par les vents. A la sortie de la passe ce phénomène est très marqué car on trouve des espèces endémiques du lagon en quantité non négligeable, en particulier *Undinula vulgaris* et *Sagitta oceanica* qui jouent le rôle d'espèces indicatrices. La répartition de ces deux espèces dans la zone E est très hétérogène : pour deux stations voisines, l'espèce indicatrice était abondante dans l'une et absente dans l'autre, l'écoulement ne se ferait donc pas en un flot continu mais par veines étroites. Il n'a pas été possible de mettre en évidence des mouvements d'eau importants par les platiers Sud-Ouest. Les traits effectués à l'extérieur à leur voisinage n'ont pas révélé la présence d'espèces indicatrices du lagon. L'extension de l'influence du lagon sur l'extérieur paraît donc assez faible, la faune de la zone F n'étant pas sensiblement différente de la faune océanique des zones A, B, C.

L'influence des eaux extérieures sur le lagon paraît être encore moins importante et n'intéresse que la couche de surface. On ne trouve en effet des organismes typiquement océaniques que dans les traits de surface à l'intérieur du lagon à proximité de la passe et des platiers du Sud-Ouest, confirmant ainsi pour ces derniers la prépondérance des mouvements d'entrée de l'eau extérieure. Exceptionnellement on trouve certains de ces organismes assez loin dans la zone G, prouvant que la circulation de surface est elle aussi complexe.

Les échanges d'organismes semblent donc beaucoup plus nets dans le sens lagon-extérieur que dans l'autre sens, ce qui s'explique par le régime des courants de surface et indique que la marée ne joue qu'un rôle tout à fait secondaire.

## VII. COMPARAISON AVEC LE PLANCTON DES ATOLLS DES ILES MARSHALL

Les seuls travaux quantitatifs sur le plancton des lagons ont été faits par JOHNSON, MARTIN, W., et GILMARTIN à Bikini et dans les atolls voisins. Les résultats donnés sont exprimés en nombre d'organismes par m<sup>3</sup> d'eau, mais les méthodes employées étant totalement différentes, les chiffres obtenus ne sont pas directement comparables ; JOHNSON utilisait deux Clarke Bumpus qu'il traînait simultanément à 1,80 et à 18 m pendant 15 mn, alors qu'à Mururoa toute la couche d'eau a été échantillonnée avec un filet beaucoup plus large.

Le tableau 8 compare les résultats des Marshall à ceux de Mururoa. Il est très difficile d'en tirer des conclusions car les différentes études n'ont pas été faites aux mêmes époques ; il semble pourtant que pour tous ces atolls on trouve un plancton particulier dont le caractère d'endémicité est plus ou moins marqué suivant que l'atoll a des communications importantes ou restreintes avec l'Océan. Le plancton de Bikini paraît beaucoup moins endémique que celui de Mururoa, ce qui se manifeste par la présence dans le lagon d'un grand nombre d'espèces océaniques à des concentrations diverses ; on trouve au moins 20 espèces de Copépodes à Bikini pour 5 à 6 seulement à Mururoa dont 4 représentent la quasi-totalité de la biomasse du groupe. Ceci s'explique par le régime des courants plus forts à Bikini, où des passages d'eau existent du côté au vent et où les profondeurs des passes sont plus grandes.

TABLEAU 8 :  
Comparaison avec le plancton des atolls des îles Marshall.

	MURUROA	BIKINI	ENIWETOK	RONGELAP	RONGERIK
Copépodes	52,50	62,34	15,51	49,20	15,84
Larves de Crabes	0,69	3,31	5,92	5,05	2,44
Larves de Crustacés	7,00	4,41	5,06	13,84	4,78
Chétognathes	23,00	7,47	5,67	5,76	4,03
Appendiculaires	4,80	25,25	1,76	26,18	47,62
Œufs de Poissons	0,62	1,45	0,90	2,27	0,73
Larves de Poissons	0,34	0,61	1,15	3,64	1,43

Il faut noter que l'on retrouve dans tous ces atolls à peu près les mêmes espèces endémiques comme *Undinula vulgaris*, *Canthocalanus pauper*, *Acartia hamata* et *Sagitta enflata*.

### VIII. CONCLUSIONS

Plancton du lagon et plancton extérieur se révèlent extrêmement différents dans leur composition qualitative et quantitative.

— huit espèces — 1 Ctenophore, 2 Chétognathes, 4 Copépodes, 1 Appendiculaire — forment la quasi-totalité de l'holoplancton du lagon alors qu'à l'extérieur il comprend de nombreuses espèces.

- les biomasses ramenées au m<sup>3</sup> d'eau sont 17 fois plus élevées dans le lagon : 415 mg contre 24 mg,
- les espèces holoplanctoniques du lagon présentent un caractère d'endémicité remarquable et ne se retrouvent au dehors en quantité appréciable qu'à proximité des voies d'échanges,
- les distributions des différents groupes sont homogènes autour de l'atoll alors que dans le lagon l'holoplancton se groupe en trois populations connaissant leur maximum de développement dans les zones distinctes délimitées probablement par les apports d'eaux océaniques,
- la distribution verticale subit l'influence des variations nycthémerales particulièrement importantes et sujettes à fluctuations en raison des faibles profondeurs, la majorité du plancton restant dans la couche profonde,
- la circulation profonde du lagon est très lente ; quant à celle de surface elle est directement en relation avec les conditions météorologiques et présente dans le détail une grande complexité due aux formes de l'atoll et à l'influence du vent ayant soufflé pendant les heures précédentes, la tendance moyenne étant toutefois à une sortie de l'eau par la passe,
- le maintien d'un plancton endémique indique que les échanges avec l'extérieur sont faibles ou tout au moins inférieurs au taux de reproduction. Ces échanges intéressent la couche superficielle 0-8 m — seuil de la passe — et se font sentir pour les organismes surtout dans le sens lagon-océan. La zone proche de la passe se révèle formée d'un mélange de la faune extérieure et de la faune du lagon. A l'intérieur, on trouve quelques organismes typiquement océaniques mais seulement dans les traits de surface.
- la comparaison avec le plancton d'autres atolls montre que l'endémicité est très variable, en relation avec les communications extérieures et permet d'avoir une idée sur l'évolution du plancton au cours de la vie d'un atoll. Le peuplement est à l'origine assuré par le plancton océanique. Au fur et à mesure que les conditions écologiques évoluent, parallèlement à la fermeture de l'atoll, certaines espèces vont disparaître, permettant l'épanouissement de celles qui trouvent alors un milieu favorable. A la limite, on arrive à un nombre d'espèces très réduit.

Cette étude effectuée pendant une période de courte durée avec des moyens souvent inadaptés ne permettait pas de réaliser toutes les opérations souhaitables. Les résultats semblent néanmoins intéressants et laissent penser qu'une étude biologique étalée sur une période de deux ans et complétée par des observations physico-chimiques fréquentes fournirait des éléments solides pour la compréhension des cycles et des relations trophiques. En effet dans un lagon, le milieu est accessible en tous points à l'observation et au prélèvement direct, toutes les variations des facteurs physico-chimiques peuvent être facilement suivies et on aurait même la possibilité, grâce à la faible circulation de l'eau, d'agir sur les sels minéraux (apport de nitrates, phosphates, d'oligoéléments).

Un travail ainsi conduit fournirait un modèle schématique d'interrelations entre les différentes espèces d'une population planctonique réduite et pourrait servir de base à des extrapolations aux études des populations plus complexes des eaux océaniques.

## SUMMARY

— The zooplankton found in Mururoa lagoon is quite different in his qualitative and quantitative composition from the zooplankton found in the surrounding open sea.

— Eight species formed almost the totality of the lagoon holoplankton while a large number of species occurred in the outside surrounding water.

— Meroplanktonic forms were the same outside and inside but they were much more concentrated inside the lagoon.

— In the lagoon, biomass per cubic meter was seventeen times higher than outside 425/24 mg.

— Holoplanktonic species of the lagoon showed a high degree of endemicity and were found in the outside surface waters only near the pass.

— Groups distribution was relatively homogeneous around the atoll but in the lagoon plankton was formed of three populations with their maximum in distinct zone probably bounded by the influence of oceanic waters.

— Vertical distribution, on the dependance of the diurnal migration is important especially in shallow waters. Plankton occurred mainly in the deeper layer.

— Two circulations occur in the lagoon : a slow deep constant circulation and a faster surface circulation variable in direction and velocity on the dependance of the wind but generally given an outflow of the water by the pass.

— The foster of an endemic plankton shows that the relations between lagoon and outside are restricted and concern only the surface waters. Near the pass are found a mixed fauna of the lagoon and of the outside waters.

— Comparison with plankton of others lagoon shows that the degree of endemicity is quite variable related with outside communications.

O.R.S.T.O.M. (Section Océanographie)  
Nouméa — Nouvelle-Calédonie.

## BIBLIOGRAPHIE

- BRIAN (P.), BODEN, MARTIN (W.), JOHNSON and EDWARD, BRINTON. — 1955. — The Euphausiacea (Crustacea) of the north Pacific. Bull. of the Scripps Institution of Oceanography of the University of California. Vol. 6, n° 8, p. 287-400, 55 fig.
- BRINTON, EDWARD. — 1962. — The distribution of Pacific Euphausiids. Bull. of the Scripps Institution of Oceanography of the University of California. Vol. 8, n° 2, p. 51-270, 126 fig.
- GILMARTIN (M.). — 1958. — Some observations on the lagoon plankton of Eniwetok Atoll. Pacific Science, Vol. XII, n° 4, p. 313-316.
- GRICE (G.). — 1961. — Calanoid Copepods from equatorial waters of the Pacific Ocean. Fish. Wild. Service, 61 Fish Bull. 186, p. 167-246.
- GUILCHER (A.), BERTHOIS (L.), DOUMENGE (F.) et MICHEL (A.). — 1963. — Renouveau des eaux dans le lagon de Maupihaa. Compte-rendu de l'Acad. des Sciences, 1965.
- JOHNSON (W.), MARTIN. — 1954. — Plankton of northern Marshall Islands. Geol. Survey. Prof. Paper. 260 - F.
- MORI (T.). — 1964. — The pelagic Copepoda from the neighbouring waters of Japan Tokyo., p. 1-50, pl. 80.
- ROSE (M.). — 1933. — Copepodes pélagiques, Faune de France 26. p. 1-374.
- SCOTT (A.). — 1909. — The Copepoda of the Siboga Expedition. Siboga Expeditie Oceanography 29a, p. 1-323, pl. 69.
- SUND (N.). — 1959. — A key to the Chaetognatha of the Tropical Eastern Pacific Ocean. Pacific Science, Vol. XIII, n° 3, p. 269-285.
- VON ARX. — 1954. — Circulation systems of Bikini and Rongelap lagoons. Bikini and nearby atolls, Marshall Islands. U.S. Geol. Surv. Prof. Pap., p. 265-273.
- WIENS (H.J.). — 1963. — Atoll environment and Ecology. Yale press 1963.



**LES LARVES PHYLLOSOMES  
DU GENRE *PANULIRUS* - *PALINURIDAE* -  
(CRUSTACÉS DÉCAPODES)  
DU PACIFIQUE TROPICAL SUD ET ÉQUATORIAL**

par A. MICHEL\*

RÉSUMÉ

*Les larves phyllosomes du genre Panulirus White, récoltées dans le Pacifique tropical et équatorial sud se répartissent en trois groupes. Ces groupes sont attribués aux espèces P. versicolor, P. longipes et P. penicillatus. Les larves des deux autres espèces signalées dans la région P. ornatus et P. homarus ne semblent pas avoir été récoltées.*

ABSTRACT

*Phyllosoma larvae belonging to the genus Panulirus White caught in tropical and equatorial waters of the South Pacific were separated in three groups. The first one seems represent the larvae of P. versicolor while the second and third groups are related to the species P. longipes and P. penicillatus. It appears that the larvae of the two other adults species of the area, namely P. ornatus and P. homarus, have not been found.*

1. INTRODUCTION

En vue d'une étude ultérieure de la dérive des larves phyllosomes, il a paru nécessaire de faire le point des connaissances sur les formes larvaires des adultes signalés dans la région. Ce premier travail concerne les larves du genre *Panulirus*. Appartenant à la famille des *Palinuridae*, le genre *Panulirus* White 1847, comprend 16 espèces (POSTEL 1966). Les formes adultes sont bien caractérisées, mais leurs larves phyllosomes restent souvent inconnues.

GURNEY (1939), à partir des échantillons provenant des récoltes du Discovery, différencie pour ce genre 3 formes de larves phyllosomes sans pouvoir les relier aux adultes correspondants. Des travaux plus récents décrivent la suite des stades larvaires attribués à *Panulirus argus* (LEWIS, 1950), *Panulirus interruptus* (JOHNSON, 1956), *Panulirus penicillatus* (PRASAD et TAMPI,

\* Océanographe biologiste. Centre ORSTOM de Nouméa (Nouvelle-Calédonie)

26 JUIN 1966

O. R. S. T. O. M. Fonds Documentaire

N° : 20 320

Cote : A

1959), *Panulirus cygnus* (GEORGE, 1962), *Panulirus inflatus* (JOHNSON et KNIGHT, 1966), *Panulirus marginalis* et *Panulirus penicillatus* (JOHNSON, 1968).

Toutes les larves décrites proviennent de récoltes planctoniques et les auteurs les ont groupées en stades (11 ou 12) en fonction d'un ensemble de caractères morphologiques. Des études plus détaillées ont montré que l'échelle de taille et les variations de structure à l'intérieur de certains stades suggéraient l'existence de plusieurs mues (JOHNSON, 1956 sur *P. interruptus*). Les travaux sur *P. inflatus* résolvent cette question : en effet, JOHNSON et KNIGHT (1966), montrent qu'en réalité il existe de nombreuses mues, de l'ordre de 25 à 28, depuis l'éclosion jusqu'à la métamorphose en post-larve ; ces mues sont mises en évidence par la segmentation progressive de l'exopodite des péréiopodes 1 et 2 correspondant à l'addition d'une paire de soies. Ce caractère a été choisi comme paraissant le plus progressif pour *P. inflatus*, l'addition des paires de soies sur les exopodites des autres appendices paraissant beaucoup plus anarchique.

Cependant, malgré son imprécision, la division en stades demeure suffisante pour une étude descriptive et fournit une représentation pratique qui a été conservée dans la suite de cette étude. Toujours d'après JOHNSON et KNIGHT (1966), certains stades semblent bien définis, ce sont : le premier stade (yeux non pédonculés), le deuxième stade (yeux avec court pédoncule), l'avant dernier stade (apparition des branchies sur les coxa des péréiopodes), et le dernier stade (développement complet des branchies larvaires). Les autres stades ont des caractères beaucoup plus imprécis en particulier les troisième et quatrième probablement parce qu'ils englobent un nombre plus important de mues.

L'attribution d'une série larvaire à l'espèce adulte correspondante pose toujours des problèmes, car une transformation complète des caractères morphologiques intervient au moment de la métamorphose post-larvaire. Aussi les relations adultes-larves des espèces déjà décrites sont fondées sur des considérations de fréquence en un même lieu. Dans certaines régions, la présence d'une seule espèce adulte permet une identification certaine ; dans d'autres régions et en particulier dans la zone intertropicale, la présence simultanée de plusieurs espèces et la dispersion importante des larves rend ce processus d'identification très aléatoire.

Pour surmonter cette difficulté, il paraissait logique de tenter des élevages à partir de femelles ovigères identifiées ou d'obtenir la métamorphose des derniers stades récoltés dans le plancton. Jusqu'à présent aucun élevage n'a pu être mené à bien depuis l'œuf jusqu'à la post-larve, certains résultats partiels ont pu cependant être obtenus ; ont été ainsi décrites les premières mues de *P. argus* (CRAWFORD et De SMIDT, 1922-1<sup>er</sup> stade) *P. interruptus* (JOHNSON, 1956-1<sup>er</sup> stade), *P. ornatus* (PRASAD et TAMPI, 1957-1<sup>er</sup> stade), *P. burgeri* = *P. homarus* (PRASAD et TAMPI, 1959-1<sup>er</sup> stade), *P. longipes* (SAISHO et NAKAHARA, 1960-1<sup>er</sup> stade au 4<sup>e</sup> stade), *P. japonicus* (SAISHO, 1966-1<sup>er</sup> stade au 12<sup>e</sup> stade), *P. versicolor*, *P. polyphagus* (SHRINIWAS DESHMUKH, 1968-1<sup>er</sup> stade) ; la notion de stade est liée dans le cas des élevages au nombre de mues depuis l'éclosion. Quant à la métamorphose en post-larve des derniers stades larvaires, elle a été obtenue par CHITTLEBOROUGH (1968, communication personnelle) pour *P. cygnus*.

## 2. MATÉRIEL RÉCOLTÉ

Entre 1961 et 1968, lors des croisières de l'ORSOM III et du N.O. Coriolis, 279 larves phyllosomes appartenant au genre *Panulirus* ont été trouvées dans les récoltes planctoniques et micro-nectoniques ou dans les contenus stomacaux de Thons (Thons à nageoires jaunes) pêchés à la ligne de traîne le long du récif. Toutes sont conservées dans une solution de formol neutralisé à 10 %. La région explorée s'étend de 25°S à 5°N et de 155°E à 180°E, quelques récoltes proviennent de la zone des Tuamotu 26°S-14°S, 150°W à 140°W (fig. 1).

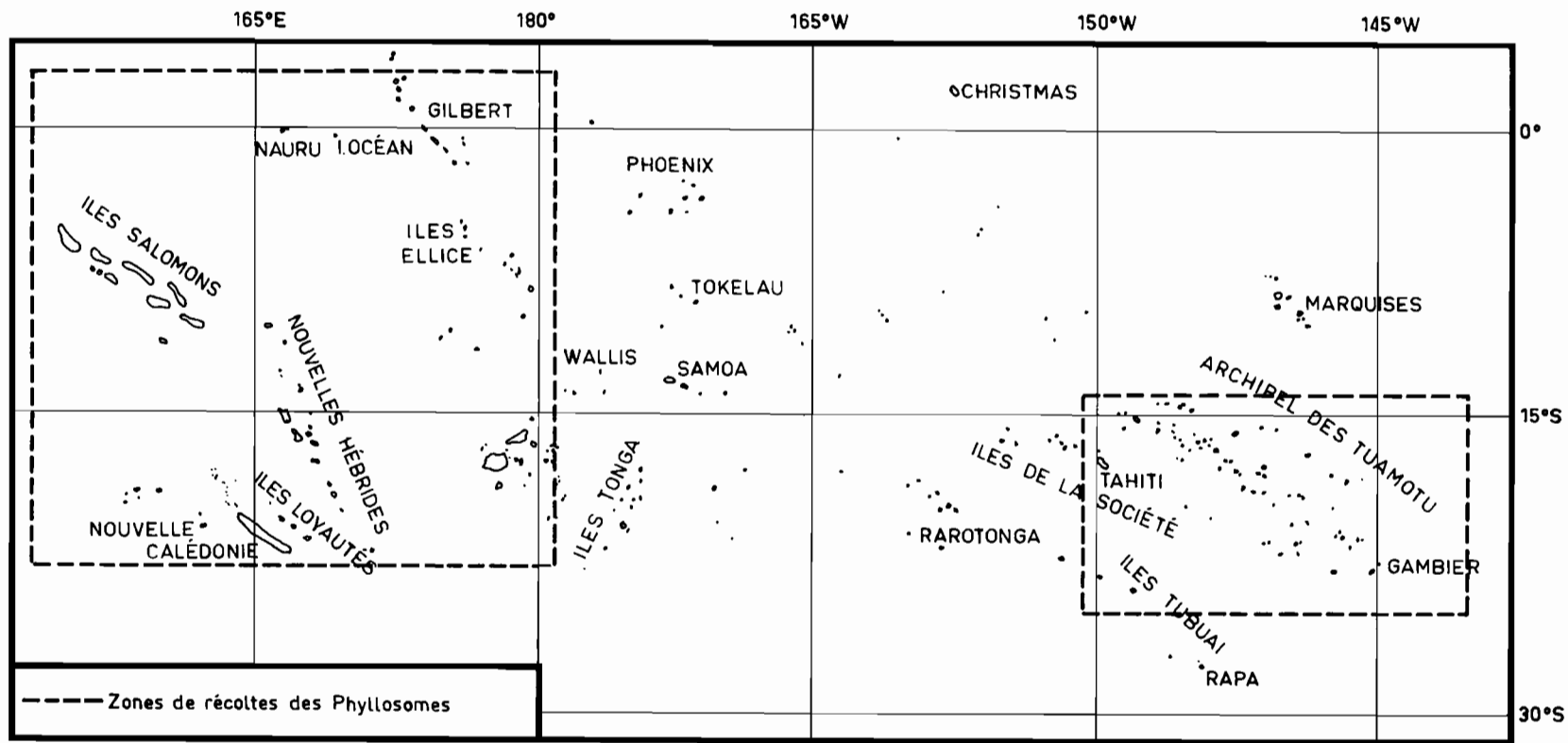


Fig. 1. — Régions explorées.

### 3. ESPÈCES ADULTES SIGNALÉES DANS LES ILES ET ATOLLS DES RÉGIONS PROSPECTÉES

Le genre *Panulirus* est un genre côtier dont la limite inférieure de distribution verticale ne dépasse pas 50 mètres (POSTEL, 1966). Quatre espèces sont signalées fréquemment et sont liées aux faciès coralliens ou à leurs dérivés. Deux autres sont plus rares, l'une d'elles étant inféodée au faciès de type rocheux (1).

— *Panulirus penicillatus* (OLIVIER, 1811).

Cette espèce a été signalée aux Mariannes et en Nouvelle-Calédonie (GRUVEL) aux Iles Loyauté (BORRADAILLE) aux Nouvelles-Hébrides et aux Fidji (MIERS) aux Samoa (DEMANDT), à Tahiti (STIMPSON, BATE), aux Gambiers (NOBILI, GRUVEL) et aux Marquises (récolte du Coriolis, 1967). D'après POSTEL (1966), la profondeur maximale de son habitat ne dépasserait pas 10 mètres. En Nouvelle-Calédonie cette espèce se trouve en assez grande quantité sur la zone des brisants du grand récif barrière mais aussi à l'intérieur du lagon sur les récifs frangeants des îlots ou de la grande terre.

— *Panulirus longipes* (A. MILNE EDWARDS, 1858).

Cette espèce fait partie du groupe de *Panulirus japonicus* (GEORGE et HOLTHUIS, 1965) comprenant cinq espèces qui sont restées très longtemps en synonymie. Les sillons transversaux des somites 2, 3 et 4 rejoignant les sillons des pleures, la marge antérieure du somite abdominal 2 sans dents, la présence de deux épines sur la partie postérieure du sternum thoracique de la femelle et la coloration, confirment que tous les spécimens adultes examinés dans la région appartiennent à l'espèce *Panulirus longipes*. Cette espèce a été signalée dans la région, aux Loyauté (BORRADAILLE), à Aneytum et aux Nouvelles-Hébrides (MIERS), à Funafuti et aux Ellice (WHITELEDGE); elle est présente aux Tuamotu (observations personnelles). D'après PICHON (1964), la profondeur maximale de son habitat n'excède pas 15 mètres et cette espèce serait très exigeante quant à la transparence de l'eau. En Nouvelle-Calédonie, on la trouve sur le récif barrière en mélange avec *Panulirus penicillatus* et sur les fonds blancs du lagon où elle s'abrite dans les patés de coraux, généralement en des endroits où le déferlement est assez fort.

— *Panulirus ornatus* (FABRICIUS, 1798).

Cette espèce moins abondante est aussi largement distribuée : elle a été signalée aux Gilbert (BANNER), aux Samoa (HASWELL), elle existe en Nouvelle-Calédonie et aux Nouvelles-Hébrides (observations personnelles). Elle n'est pas signalée en Polynésie Française. Sa distribution verticale n'excéderait pas 25 mètres (PICHON, 1964). Elle se trouve, en Nouvelle-Calédonie, soit dans les patés de coraux des fonds blancs du grand récif soit sous les dômes de *Porites* en bordure des récifs frangeants des îlots ou du platier de la grande terre.

— *Panulirus versicolor* (LATREILLE, 1804).

Cette espèce a été signalée aux Fidji, aux Samoa et aux Salomon (PFEFFER), aux Gilbert (BANNER), aux Marshall (HIATT), elle existe en Nouvelle-Calédonie et aux Nouvelles-Hébrides (observations personnelles). Elle n'est pas signalée en Polynésie Française. Sa distribution

(1) Les éléments concernant la répartition géographique proviennent de DE MAN (1916), HOLTHUIS (1946) et GEORGE et HOLTHUIS (1965).

verticale ne dépasse pas 15 mètres. On la trouve en Nouvelle-Calédonie dans le même biotope que *P. ornatus*, elle est relativement peu fréquente.

— *P. polyphagus* (HERBST, 1796).

Cette espèce, rare dans la région, n'a été signalée qu'aux Samoa (ORTMANN) et à Tahiti (GAVINO).

— *P. homarus* (LINNE, 1758).

Cette espèce est prédominante sur les faciès rocheux où les coraux sont absents, elle est fréquente aux Iles Marquises mais jusqu'à présent n'avait pas été signalée dans le Pacifique Sud-Ouest, or quelques spécimens ont été récoltés en février 1968 par M. Y. MAGNIER\* sur la côte ouest de Nouvelle-Calédonie à un endroit où la passe dans le récif barrière est suffisamment large pour permettre à la houle extérieure de se briser contre une côte rocheuse. Il semble que ce type de faciès ne puisse se rencontrer que sur les îles hautes et soit totalement absent des atolls comme les Iles Gilbert.

En conclusion, d'après la bibliographie citée précédemment, il apparaît que pour les espèces précédentes, les descriptions connues de larves phyllosomes concernent le premier stade de *P. ornatus*, *P. homarus*, *P. versicolor* et *P. polyphagus*, les quatre premières mues de *P. longipes* la série des stades attribuée par PRASAD et TAMPI à *P. penicillatus* ainsi que la série des larves d'Hawaï différente de la précédente et attribuée par JOHNSON à la même espèce.

#### 4. LARVES PHYLLOSOMES

##### *Description :*

Les larves phyllosomes de *Panulirus* récoltées ont été réunies en trois groupes d'après les caractères morphologiques déjà utilisés pour la séparation d'autres espèces du genre : formes et proportions relatives du céphalon et du péron, présence ou absence d'épines coxales, présence ou absence d'une épine à la hauteur de l'insertion de l'exopodite sur les périopodes 1 à 3. A l'intérieur de ces trois groupes, les tailles des larves varient mais représentent une suite cohérente quant à la morphologie et au développement relatif des différentes parties du corps et des appendices. Ceci permet sans grand doute d'attribuer chaque groupe à une seule espèce ; si un des groupes déterminés représentait deux espèces, il semble qu'il serait difficile de les différencier aux stades larvaires d'après des critères uniquement morphologiques. On a choisi la division en douze stades comme permettant d'après les récoltes de décrire au mieux l'évolution des larves à l'intérieur d'une série. Les collectes ayant été faites loin des côtes et avec des filets à grosses mailles la totalité des phyllosomes capturées représentent les stades IV à XII.

##### 4.1. Premier groupe.

Ce groupe renferme des larves phyllosomes répondant aux caractères de celles décrites par PRASAD et TAMPI (1959) et attribuées à *P. penicillatus*. 26 larves ont été récoltées dont la taille varie de 6,6 mm à 26,1 mm, elles représentent les stades V, VI, VIII, IX, X, XI. Seul le stade XI qui ne se trouvait pas dans les récoltes de PRASAD et TAMPI a été représenté ici (fig. 2). Il existe un stade XII (CHITTLEBOROUGH, 1964) qui serait le dernier stade avant la métamorphose. Les caractères permettant la détermination rapide des différents stades sont fournis dans le tableau 4.

\* Océanographe physicien au Centre ORSTOM de Nouméa.

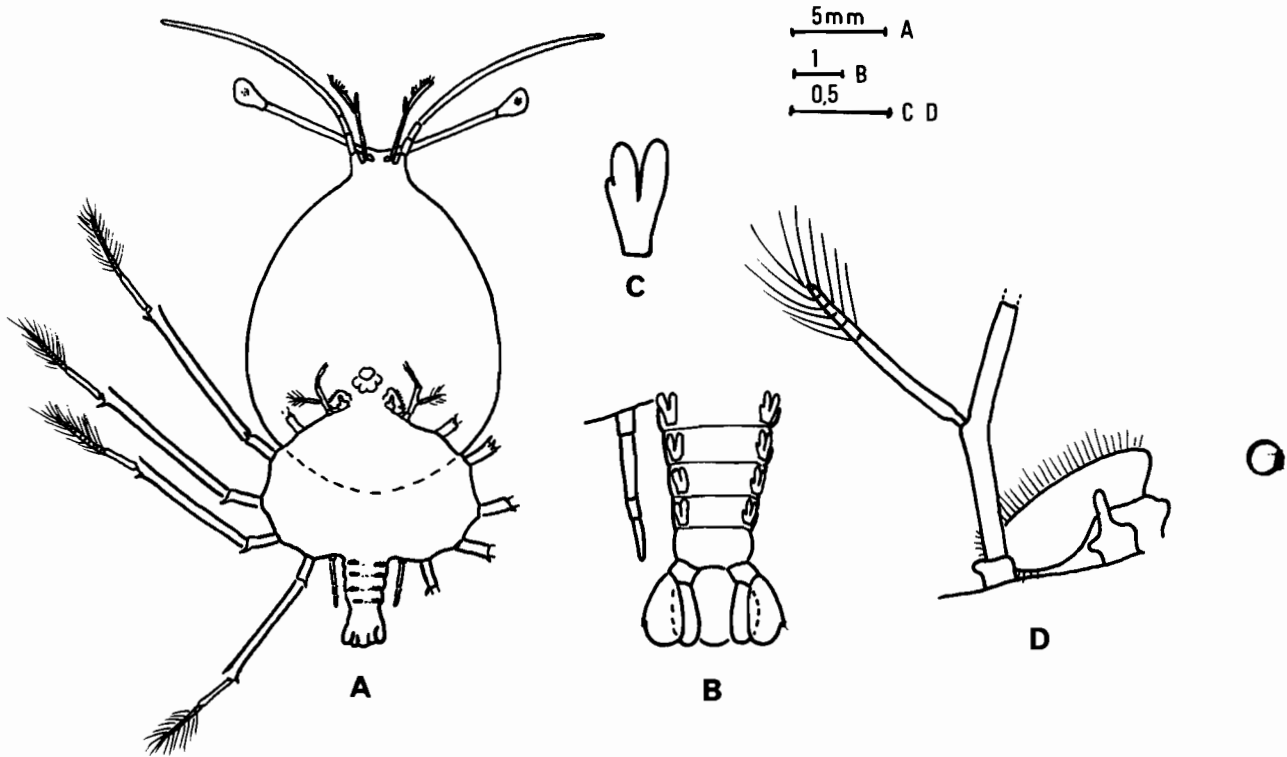


Fig. 2. — *P. versicolor*, stade XI : A, phyllosome ; B, abdomen et P5 ; C, pléopode ; D, deuxième maxille premier et deuxième maxillipède.

#### 4.2. Deuxième groupe (fig. 3 à 5 ; tableaux I, III et IV).

Ce groupe renferme 80 larves phyllosomes dont la taille varie de 3,8 mm à 38 mm représentant les stades IV à XII. Anticipant sur la discussion, notons tout de suite que ces larves forment une suite continue avec les quatre premières mues de *P. longipes* décrites par SAISHO et NAKAHARA (1960) ; elles se différencient de celles du premier groupe par un céphalon moins large que le péréion et l'absence d'épines coxales dorsales.

Le céphalon est ovale et ne recouvre le péréion que jusqu'à la hauteur de Mxp3. Dès le stade IV sa largeur devient nettement inférieure à celle du péréion, le rapport longueur/largeur passe de 1,2 pour le stade I à 1,5 pour le stade XII.

Antennes et antennules sont uniramées et unisegmentées, l'exopodite des antennules n'apparaît qu'au stade V et devient segment libre au stade XI. La longueur des antennes est inférieure à celle des antennules jusqu'au stade VIII ou elle l'égale, au stade IX elle devient supérieure jusqu'à atteindre presque le triple au stade XII.

Les yeux non pédonculés au stade I acquièrent au stade II un court pédoncule qui grandira au fur et à mesure du développement.

La bouche est située assez loin de l'insertion des maxilles, les maxillules sont insérés juste derrière les mandibules et comprennent un protopodite à deux branches, la branche antérieure porte deux (jusqu'au stade VI) puis trois épines terminales dentelées et la branche postérieure deux soies, l'endopodite est absent.

Les maxilles possèdent au stade II deux segments, le deuxième portant 4 soies, à partir du stade VI ce segment s'élargit et acquiert des soies supplémentaires, au stade XII il s'étend jusqu'au troisième maxillipède et porte de très nombreuses soies.

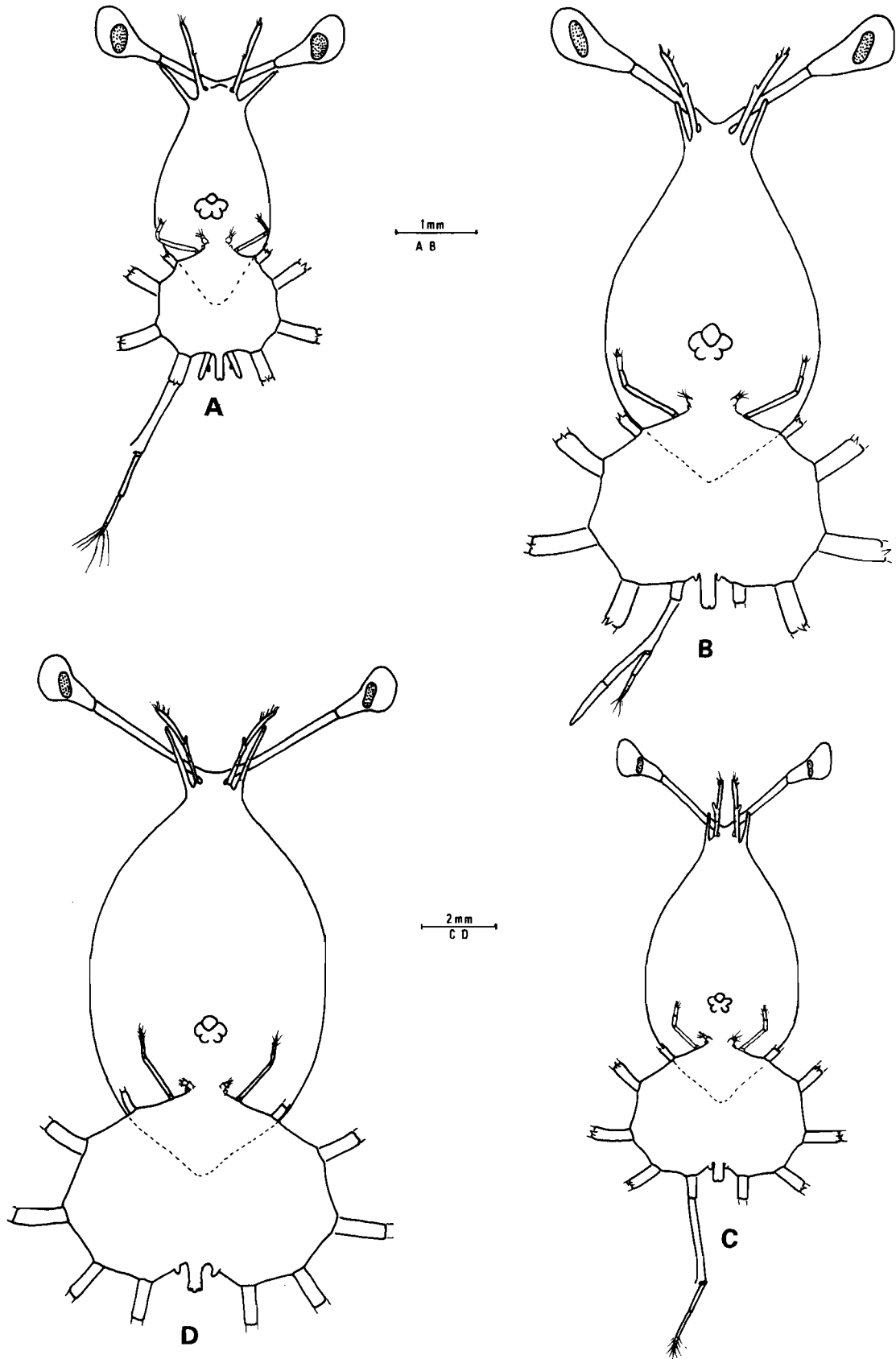


Fig. 3. - *P. longipes*: A, stade IV ; B, stade V ; C, stade VI ; D, stade VII.

TABLEAU I. — Sommaire des caractères des stades de *Panulirus longipes* stade 1 à 3 d'après SAISHO et NAKAHARA (1960)

Stades	Échelle de taille mm	a1	a2	Mx2	Mxp1	Mxp2	Mxp3	P1, P2	P3	P4	P5	Pléo-podes	Uro-podes	Bran-chies
I	1,17 - 1,23	1 seg. >	1 seg.	2 seg. 4 soies	bo.	5 seg. 0 exo.	C ep. co.	C ep. co.	ex. bo. ep. co.	0	0	0	0	0
II	2,01 - 2,10	—	—	—	—	—	—	—	exo. + soies	—	0	0	0	0
III	2,50 - 2,58	—	—	—	—	—	—	—	C ep. co.	bo.	0	0	0	0
IV	3,8	—	—	—	—	—	—	—	—	exo. bo.	bo.	0	0	0
V	5,8 - 7,5	1 seg. endo >	1 seg. bo.	—	—	—	—	—	—	exo. + soies	—	0	0	0
VI	7,9 - 12,0	1 seg. >	3 seg.	2 seg. 5 soies	—	—	—	—	—	C	1 seg.	0	bo.	0
VII	12,5 - 14,3	1 seg. >	4 seg.	—	—	—	0 ep. co.	0 ep. co.	0 ep. co.	—	—	bo.	unil.	0
VIII	15,4 - 18,7	4 seg. =	4 seg.	2 seg. nb. soies	—	—	—	—	—	—	—	unil.	bil.	0
IX	19,8 - 22,4	4 seg. <	4 seg.	—	—	exo. bo.	—	—	—	—	2 seg.	bil.	—	0
X	23,5 - 25,5	—	—	—	unil.	exo. 0 soies	—	—	—	—	3 seg.	bil.	segm.	0
XI	27,7 - 30,0	—	—	—	bil.	—	—	—	—	—	4 seg.	bil.	—	bo.
XII	35,5 - 38	—	—	—	tril.	exo. + soies	—	—	—	—	5 seg.	segm.	—	C

*seg.* : segment, *segm.* : segmenté, *bo.* : bouton, *exo.* : exopodite, *endo.* : endopodite, *unil.* : unilobé, *bil.* : bilobé, *tril.* : trilobé, *ep. co.* : épine coxale, 0 : absent, C : complètement formé.

Le premier maxillipède se présente en bouton jusqu'au stade VII, il devient bilobé au stade XI et trilobé au stade XII.

Le deuxième maxillipède est presque complètement formé au stade I, un exopodite apparaît en bouton au stade IX et grandit jusqu'au stade XII où il acquiert quelques soies.

Le troisième maxillipède est complètement formé au stade I et seul le nombre de paires de soies de l'exopodite croîtra avec le développement.

Le rapport largeur/longueur du péréion varie de 1,2 pour le stade IV à 1,8 pour le stade XII. Il serait de 1 pour le stade I (SAISHO et NAKAHARA, 1960).

P1 et P2 sont formés dès le stade I avec un exopodite portant 5 paires de soies, elles évoluent en taille parallèlement à la larve et le nombre de soies atteint 31 au stade XII pour P1. D'après JOHNSON et KNIGHT (1966), ceci indiquerait un nombre de mues de l'ordre de 26 entre la larve à l'éclosion et le dernier stade. P3 au stade I possède 4 segments avec un exopodite rudimentaire, cet exopodite acquiert des soies au stade III. Des épines coxales sont présentes sur Mxp3, P1, P2, P3 jusqu'aux stade V à VI où elles disparaissent progressivement. P4 est en bouton dès la troisième mue, elle devient bilobée au stade IV et elle est complète au stade V. P5 est en bouton à partir du stade IV et reste unisegmentée jusqu'au stade VIII et au stade XII possède 5 segments sans exopodite. Quelques épines se trouvent réparties le long du deuxième segment des péréiopodes. P1 à P4 sont presque tout le temps brisées à l'insertion de l'exopodite et les

caractères des segments terminaux n'ont pu être donnés. Quoique ces caractères puissent être utiles pour la détermination spécifique, il faut noter que les récoltes de routine ramènent rarement les phyllosomes de *Panulirus* avec leurs pattes complètes.

Les branchies apparaissent en bouton sur les coxa des pattes au stade XI et sont bien visibles au stade XII (tableau III).

L'abdomen est visiblement segmenté à partir du stade VIII : il est cylindrique au début du développement et devient tronconique à partir du stade IV. Les pléopodes apparaissent en bouton au stade VIII, sont bilobés aux stades IX et X, l'amorce de l'appendice interne se voit au stade XI ; au stade XII ils sont complètement segmentés. Les uropodes sont en bouton au stade VI, unilobés au stade VII et bilobés au stade VIII, ils deviennent complètement segmentés au stade X.

Les caractères de détermination rapide des stades sont consignés dans le Tableau IV.

#### 4.3. Troisième groupe (tableaux II et III).

Ce groupe renferme 172 larves dont la taille varie de 3,6 mm à 42,5 mm représentant les stades IV à XII. Elles correspondent parfaitement aux larves décrites par JOHNSON aux Hawaï et attribuées à *P. penicillatus*. Les larves se distinguent de celles du premier groupe par l'absence d'épines coxales dorsales et de celles du deuxième groupe par la forme plus arrondie du céphalon, qui légèrement plus large que le péréion jusqu'au stade IV est dans la suite du développement à peu près de la même largeur. A l'exception de ce caractère, les larves de cette série sont très voisines de celles de la série précédente : mêmes échelles de taille, avec cependant un léger allongement pour les derniers stades, apparition et segmentation semblables des différents appendices au cours des stades.

Les caractères de détermination rapide des différents stades sont rassemblés dans le Tableau n° IV.

TABLEAU II. — Sommaire des caractères des stades de *Panulirus penicillatus*

Stades	Échelle de taille mm	a1	a2	Mx2	Mxp1	Mxp2	Mxp3	P1, P2	P3	P4	P5	Pléo-podes	Uro-podes	Bran-chies
IV	3,6	---	---	---	---	---	---	---	C ep. co.	ex. bo.	bo.	0	0	0
V	6, 8-8, 2	4 seg. endo. > 1 seg. bo.	---	---	---	---	---	---	---	C 0 ep. co.	bo.	0	0	0
VI	8, 5-13, 0	---	---	2 seg. 5 soies	---	---	---	---	0 ep. co.	---	1 seg.	0	bo.	0
VII	13, 2-15, 5	4 seg. > 2 seg.	---	---	---	---	0 ep. co.	0 ep. co.	---	---	---	bo.	unil.	0
VIII	16, 0-18, 5	4 seg. = 4 seg.	---	2 seg. nb. soies	---	---	---	---	---	---	---	unil.	bil.	0
IX	19, 0-24, 1	4 seg. < 4 seg.	---	---	---	exo. bo.	---	---	---	---	2 seg.	bil.	---	0
X	24, 5-28, 5	---	---	---	unil.	---	---	---	---	---	3 seg.	bil.	segm.	0
XI	28, 5-36, 1	---	---	---	bil.	exo. + soies	---	---	---	---	4 seg.	bil.	---	bo.
XII	37, 2-42, 5	---	---	---	tril.	---	---	---	---	---	5 seg.	segm.	---	C

*seg.* : segment, *segm.* : segmenté, *bo.* : bouton, *exo.* : exopodite, *endo.* : endopodite, *unil.* : unilobé, *bil.* : bilobé, *tril.* : trilobé, *ep. co.* : épine coxale, 0 : absent, C : complètement formé.

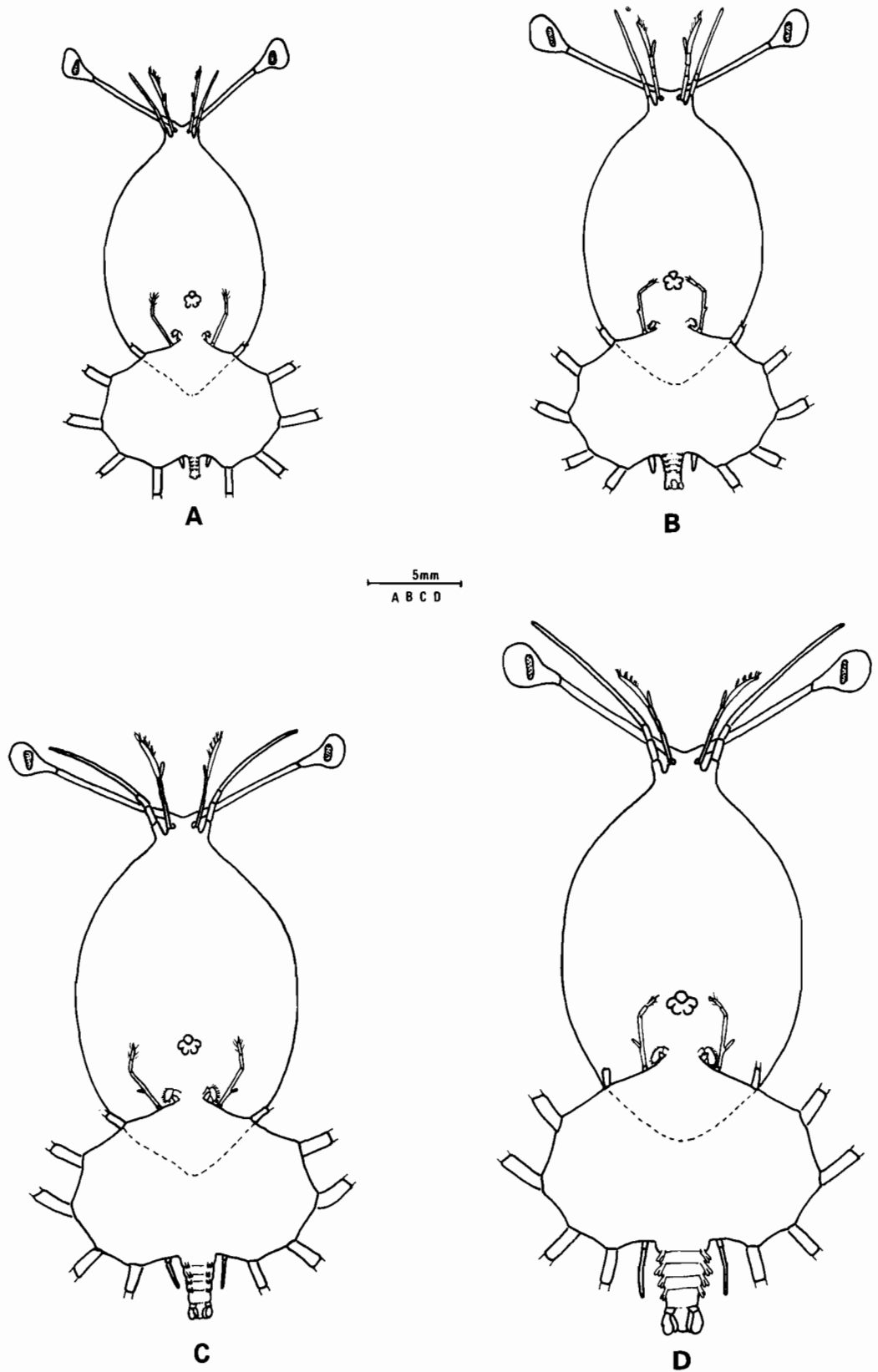


Fig. 4. — *P. longipes*: A, stade VIII ; B, stade IX ; C, stade X ; D, stade XI.

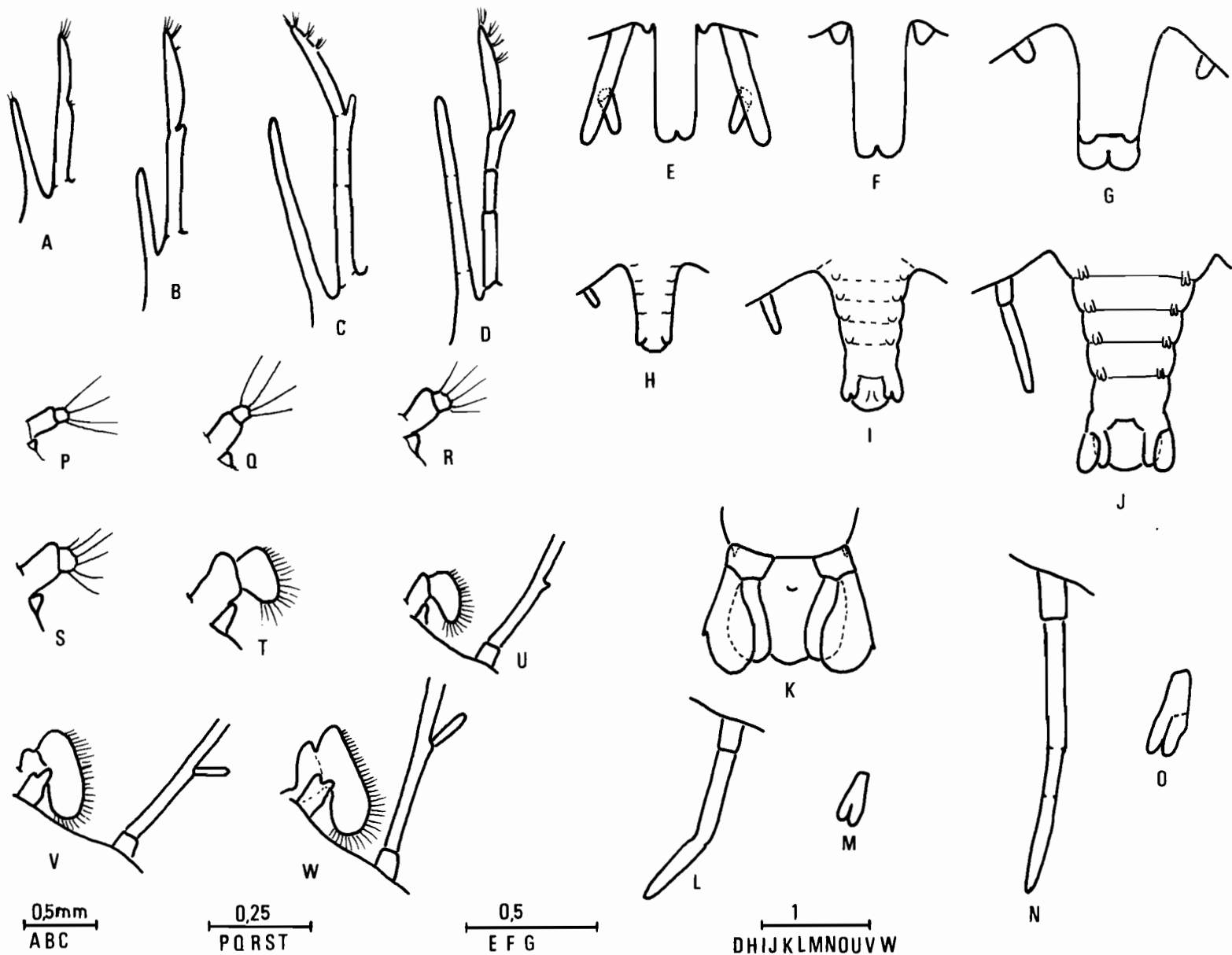


Fig. 5. — *P. longipes*: A à D, antennes et antennules stades IV à VII; E à J, abdomen et P5 stades IV à IX; K, telson stade X; L et N, P5 stade X et XI; M et O pléopodes stade X et XI; P à W, deuxième maxille premier et deuxième maxillipède stade IV à XI.

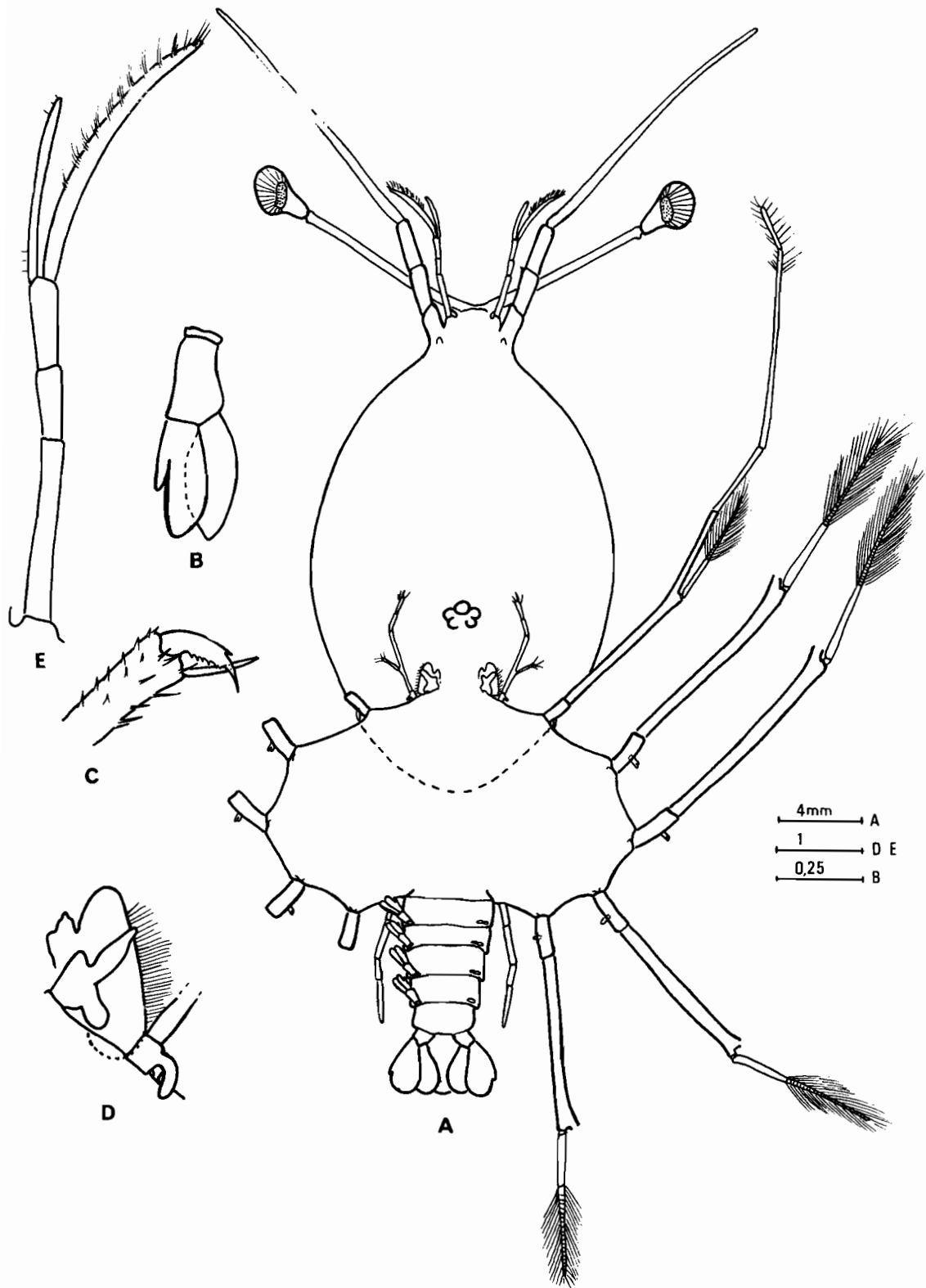


Fig. 6. — *P. longipes* : stade XII : A, phyllosome ; B, pléopode ; C, segment distal de P2 ; D, deuxième maxille et premier maxillipède ; E, antennules.

TABLEAU III : Formules branchiales des derniers stades de *P. longipes* et *P. penicillatus*

Appendices	Espèces	<i>P. longipes</i>			<i>P. penicillatus</i>		
		Pleuro.	Arthro.	Podo.	Pleuro.	Arthro.	Podo.
Mxp2		0	1	1 bil.	0	1	1 bil.
Mxp3		1	1	1 bil.	1	1	1 bil.
P1		1	1	1 bil.	1	1	1 bil.
P2		2	1	1 bil.	2	1	1 bil.
P3		2	1	1 bil.	2	1	1 bil.
P4		2	1	1 bil.	2	1	1 bil.
P5		1	0	0	1	0	0

*Pleuro.* : pleurobranchie, *Arthro.* : Arthrobranchie, *Podo.* : Podobranchie.

TABLEAU IV : Caractères de détermination rapide des stades de *Panulirus*

	IV	V	VI
<i>Panulirus longipes</i> groupe II	P4 avec exo. bo.	O pléop. O urop. P5 bo.	O pléop. urop. bo
<i>Panulirus penicillatus</i> groupe III	P4 avec exo. bo.	O pléop. O urop. P5 bo.	O pléop. urop. bo.
<i>Panulirus versicolor</i> groupe I	P4 avec exo. bo.	O pléop. urop. bo. P5 bo.	pléop. bo. urop. bo.

	VII	VIII	IX	X	XI	XII
<i>Panulirus longipes</i> groupe II	pléop. bo. urop. unil.	pléop. unil. urop. bil.	pléop. bil. exo. bo. sur Mxp2	pléop. bil. urop. segm. exo. o soies	branch. bo. Mxp1 bil.	branch. bien visibles pléop. segm. Mxp1 tril.
<i>Panulirus penicillatus</i> groupe III	pléop. bo. urop. unil.	pléop. unil. urop. bil.	pléop. bil. exo. bo. sur Mxp2	pléop. bil. urop. segm. exo. o soies	branch. bo. Mxp1 bil.	branch. bien visibles pléop. segm. Mxp1 tril.
<i>Panulirus versicolor</i> groupe I	pléop. bo. urop. unil. exo. bo. sur Mxp2	pléop. unil. urop. bil. exo. o soies sur Mxp2	pléop. bil. urop. bil. exo + soies sur Mxp2	pléop. bil. urop. segm.	branch. bo. urop. segm.	?

*pléop.* : pléopodes, *urop.* : uropodes, *ex.* : exopodite, *endo.* : endopodite, *bo.* : bouton, *unil.* : unilobé, *bil.* : bilobé,  
+ : avec, *segm.* : segmenté.

## 5. DISCUSSION

Pour les six espèces adultes signalées dans la région, on a donc seulement récolté trois groupes de larves dont on pense qu'ils représentent chacun une seule espèce ; il manquerait donc les larves de trois espèces. Quoique le rattachement de la série larvaire d'Hawaï à *P. penicillatus* soit à peu près certain, il a paru intéressant de vérifier la concordance entre la répartition des larves et des adultes dans différentes régions. Le tableau V fournit la distribution des larves et adultes pour la Nouvelle-Calédonie, les Iles Gilbert, les Iles Tuamotu, les Iles Hawaï, les Iles Laquedives et la Côte sud-est de l'Afrique du Sud, d'après les éléments bibliographiques et nos observations personnelles.

TABLEAU V : Distribution des adultes et des groupes larvaires.

	Nouvelle-Calédonie	Iles Gilbert	Iles Tuamotu	Afrique du Sud (d'après POSTEL)	Laquedives (d'après PRASAD et TAMPI)	Iles Hawaï (d'après JOHNSON)
<i>Adultes :</i>						
<i>P. penicillatus</i> .....	XXXXX	X	XXX		X	XXX
<i>P. longipes</i> .....	XXXX	X	XXX			
<i>P. ornatus</i> .....	XX	X		XX	X	
<i>P. versicolor</i> .....	XX	X		XXXX	X	
<i>P. polyphagus</i> .....		X				
<i>P. homarus</i> .....	X			X	X	
<i>Phyllosomes :</i>						
Groupe I.....		XX		XXX	X	
Groupe II.....	XXX	XXX	XX			
Groupe III.....	XXXX	XXXX	XX			XX

Une X indique la présence ; par l'utilisation de plusieurs croix, on a cherché une figuration grossière de l'abondance des larves et des adultes sauf pour les Gilbert et les Laquedives au sujet desquelles nous n'avons pas d'indications permettant de le faire.

En se basant sur l'examen de ce tableau, il est possible :

— de rejeter l'espèce *P. homarus* comme pouvant être l'espèce adulte d'un des trois groupes larvaires ; cette espèce liée uniquement aux faciès rocheux est en effet absente des atolls coralliens des Iles Gilbert à proximité desquelles les trois groupes ont été trouvés ;

— de relier les groupes II et III aux espèces *P. longipes* et *P. penicillatus* qui sont les plus fréquentes en Nouvelle-Calédonie et sont les seules reconnues jusqu'à présent aux Tuamotu.

— de relier par différence au groupe I les espèces adultes *P. ornatus*, *P. versicolor* ou *P. polyphagus*.

Il reste maintenant à préciser les attributions les plus vraisemblables.

Les larves du deuxième groupe sont morphologiquement très voisines des larves phyllosomes de l'espèce d'Hawaï *Panulirus marginalus* et de l'espèce ouest australienne *P. cygnus* qui avait

été longtemps mise en synonymie (SHEARD, 1949) avec l'espèce *P. longipes*. D'autre part, la description des 4 premières mues de cette dernière espèce par SAISHO et NAKAHARA (1960) permet le rattachement, sans solution de continuité, avec les larves récoltées ici ; on a donc attribué cette série à l'espèce *P. longipes*. La larve décrite par PRASAD et TAMPI sous le nom de *Panulirus* sp IV est tout à fait semblable au stade VI de la série et les phyllosomes *Panulirus*  $\beta$  de SAISHO (1966), semblent appartenir aussi à *P. longipes*. Cette série de larves est morphologiquement voisine de la série *Panulirus* forme A de GURNEY (1936) ; elle en diffère cependant par l'absence de l'épine à l'insertion de l'exopode sur les périopodes 1, 2 et 3.

Par élimination les larves du troisième groupe se rattachent à l'espèce *P. penicillatus* ce qui confirme donc les conclusions de JOHNSON (1968).

D'après ce qui précède, il apparaît que l'attribution des larves du groupe I à l'espèce *P. penicillatus* par PRASAD et TAMPI soit à revoir ; cette attribution, mise en doute par JOHNSON (1968), reposait sur des considérations d'abondance des femelles ovigères dans la mer des Laquedives où plusieurs autres espèces se rencontrent : *P. versicolor*, *P. homarus*, *P. ornatus*. Le fait qu'aucune larve de ce groupe n'ait été capturée dans les stations voisines du récif de Nouvelle-Calédonie ou à proximité des atolls des Tuamotu, où les adultes sont abondants semble apporter une preuve de l'invalidité de l'hypothèse de PRASAD et TAMPI. Une confirmation est fournie par le lieu de capture des larves phyllosomes *Panulirus* forme D, décrites par GURNEY (1936) ; ces dernières sont identiques à celles de PRASAD et TAMPI et ont été trouvées près de la côte sud-est de l'Afrique du Sud où seules se rencontrent les espèces *P. ornatus* et *P. versicolor*. PRASAD et TAMPI faisaient d'ailleurs remarquer qu'on ne connaissait rien au sujet des larves de cette dernière espèce ; ils refusaient l'attribution à *P. ornatus* des phyllosomes qu'ils décrivaient d'après la comparaison du premier stade de leur série au premier stade de cette dernière espèce qu'ils avaient obtenu en aquarium : or, il semble bien qu'ils puissent avoir fait une confusion et que le stade I récolté devait appartenir à une autre série. Deux indices viennent à l'appui de cette hypothèse :

— la présence ou l'absence d'une épine à l'insertion de l'exopodite des périopodes semble être un caractère constant tout au long du développement chez les espèces du genre. *P. inflatus* possède cette épine pour les 12 stades alors qu'elle est absente pour tous les stades chez *P. argus*, *P. interruptus*, *P. cygnus*, *P. marginalis* et *P. penicillatus* (Hawaï). PRASAD et TAMPI pour le stade I de leur série ne font mention ni dans le texte ni dans la figure de cette épine alors qu'elle est représentée pour le stade X et qu'on la retrouve de P1 à P3 sur toutes les larves de ce type récoltées dans le Pacifique sud-ouest.

— de plus, PRASAD et TAMPI ne font pas mention d'une épine coxale sur Mxp3 alors qu'elle est présente dans tous les stades suivants, il semble que ce caractère soit aussi une constante chez les autres espèces du genre, présente chez *P. inflatus* et *P. interruptus*, absente chez *P. cygnus*, *P. argus* et *P. marginalis* ; il arrive que cette épine disparaisse progressivement au cours du développement mais il n'a pas été décrit jusqu'à présent de cas d'apparition en cours d'évolution.

Par contre, le stade I de *Panulirus* sp II décrit aussi par PRASAD et TAMPI présente ces deux caractères (présence de l'épine coxale sur Mxp3 et présence d'une épine à l'insertion de l'exopodite des périopodes 1, 2 et 3 et pourrait donc très bien être le véritable premier stade de leur série, or SHRINIWAS DESHMUKH (1968) a prouvé, par des élevages, que ce stade correspondait au stade I de *P. versicolor*. Il est donc presque certain que le groupe I et la série de PRASAD et TAMPI à l'exception des premiers stades se rattachent à *P. versicolor*.

Les séries de *P. longipes* et *P. penicillatus* sont très proches l'une de l'autre, la seule différence notable étant la forme du céphalon (tableau IV). Pour ces deux espèces, les Mx2 et l'endopodite de Mxp2 se développent assez tardivement, ce dernier n'apparaît qu'à partir du stade IX et le deuxième segment du maxille ne s'étend qu'à partir du stade VIII ; la bouche est située pour les deux espèces relativement loin de l'insertion des maxilles. Le rapport a/b des distances définies par JOHNSON (1968) avoisine 1,2 pour les derniers stades.

La série du premier groupe se différencie des deux autres par le recouvrement différent du péréion par le céphalon, par l'apparition plus précoce de l'endopodite de Mxp2 (stade VII), par le développement plus rapide des Mx2 (stade V) et par la position de la bouche proche de l'insertion des maxilles, le rapport a/b étant pour les derniers stades voisins de 0,7.

Les espèces adultes *P. longipes*, *P. marginatus* et *P. cygnus* appartiennent au groupe *japonicus*, leurs larves phyllosomes sont de même très proches et seul le rapport largeur du péréion sur largeur du céphalon semble les séparer (tableau VII). C'est d'ailleurs ce caractère qui permet de distinguer les larves de *P. longipes* de celle de *P. penicillatus* dès le stade IV alors qu'il faut attendre le stade VI pour *P. marginatus* (JOHNSON, 1968).

TABLEAU VI : Rapport : largeur sur longueur du céphalon

Stade	<i>P. penicillatus</i>	<i>P. longipes</i>
4	0,66	0,58
5	0,66	0,55
6	0,66	0,56
7	0,71	0,59
8	0,71	0,55
9	0,76	0,61
10	0,75	0,66
11	0,73	0,62
12	0,75	0,62

TABLEAU VII : Rapport R : largeur du péréion sur largeur du céphalon

<i>P. penicillatus</i>		<i>P. longipes</i>		<i>P. marginatus</i> *		<i>P. cygnus</i> *	
Stade	R	Stade	R	Stade	R	Stade	R
4	0,92	4	1,08	6	1,14	8	1,29
5	1,00	5	1,20	7	1,15	10	1,25
6	1,00	6	1,19	3	1,11	11	1,25
7	1,01	7	1,16	9	1,12		
8	0,98	8	1,17	10	1,10		
9	0,96	9	1,19	11	1,06		
10	1,00	10	1,18				
11	1,00	11	1,22				
12	1,01	12	1,20				

\* D'après les figures de JOHNSON et de GEORGE.

D'après cette étude, il apparaît que les groupes I, II et III de larves phyllosomes sont reliés respectivement à *P. versicolor*, *P. longipes* et *P. penicillatus*. Il semble anormal qu'aucune larve de *P. ornatus* n'ait été récoltée alors que les adultes sont fréquents dans la région. Il reste la possibilité d'un mélange de deux espèces à l'intérieur d'un groupe, encore une fois seuls les élevages pourront permettre de résoudre ce problème.

## BIBLIOGRAPHIE

- CHITTLEBOROUGH (R. G.), 1964. — Western Australian Crayfish Recruitment phase. Report January-June.
- DESHMUKH, SHRINIWAS, 1968. — On the first phyllosomae of the Bombay spiny lobsters (*Panulirus*) with a note on the unidentified first *Panulirus* phyllosomae from India (*Palinuridea*). *Crustaceana*, supplement 2.
- GEORGE (R. W.), 1962. — Description of *Panulirus cygnus* sp. nov. the commercial crayfish of western Australia. *J. r. Soc. west. Austral.*, 45 (4), 100-110.
- GEORGE (R. W.), HOLTHUIS (L. B.), 1965. — A revision of the Indo West Pacific spiny lobsters of the *Panulirus japonicus* group. *Zool. Verh.* n° 72.
- GURNEY (R.), 1936. — Larvae of Decapod Crustacea. Part III, Phyllosoma. *Discov. Rep.*, 12, 400-440.
- GURNEY (R.), 1942. — Larvae of Decapod Crustacea. The Ray Society London, 1-306.
- HARADA (E.), 1957. — Ecological observation on the Japanese spiny lobster *Panulirus japonicus* in its larval and adult life. *Publ. Seto Mar. Biol. Lab.*, 6 (1), 99-120.
- HARADA (E.), 1961. — Palinurid and Scyllarid lobsters (Crustacea decapoda) from New-Caledonia. *Publ. Seto Mar. Biol. Lab.*, 9 (1), 191-196.
- HOLTHUIS (L. B.), 1946. — The Stenopodidae, Nephrosidae, Scyllaridae and Palinuridae. The decapoda Macrura of the Snellius Expedition. I. Biological results of the Snellius Expedition. XIV *Tenminckia*, 7, 1-178.
- JOHNSON (M. W.), 1960. — Production and distinction of larvae of the spiny lobster *Panulirus interruptus* (Randall), with records on *Panulirus gracilis* Street. *Bull. Scripps Inst. Oceanogr. Univ. Calif.* 7, 6, 413-462.
- JOHNSON (M. W.), KNIGHT (M.), 1966. — The phyllosoma larvae of the spiny lobster *Panulirus inflatus* (Bouvier). *Crustaceana*, 10 (1), 31-47.
- JOHNSON (M. W.), 1968. — Palinurid phyllosoma larvae from the Hawaiian Archipelago. *Crustaceana*, supplement 2.
- LEWIS (J. B.), 1951. — The phyllosoma larvae of the spiny lobster *Panulirus argus*. *Bull. Mar. Sci. Gulf Caribbean*, 1, 89-103.
- MAN (J. G.), 1916. — Families Eryonidae, Palinuridae, Scyllaridae and Nephrosidae. The Decapoda of the Siboga Expedition. Part III, *Siboga Exped. Mon.*, 39 (a2), 1-22.
- PRASAD (R. R.), TAMPI (P. R. S.), 1957. — On the phyllosoma of Mandapan. *Proc. nation. Inst. Sci. India.*, 23 B, 48-67.
- PRASAD (R. R.), TAMPI (P. R. S.), 1959. — A note on the first phyllosoma of *Panulirus burgeri*. *Proc. Indian Acad. Sci.*, 49 B, 397-401.
- PRASAD (R. R.), TAMPI (P. R. S.), 1960. — On a collection of Palinurid phyllosomas from the Laccadive Seas. *J. mar. biol. Ass. India*, 1 (2), 143-164.
- SAISHO (T.), 1966. — Studies on the phyllosoma larvae with reference to the oceanographical conditions. *Mem. Fac. Fish. Kagoshima Univ.*, 15, 177-239.
- SAISHO (T.), NAKAHARA (K.), 1960. — On the development of *Ibacus ciliatus* and *Panulirus longipes*. *Mem. Fac. Fish. Kagoshima Univ.*, 9, 84-90.
- SHEARD (K.), 1962. — The Western Australian Crayfishery 1914-1961. Paterson Brokensha Pty Ltd., Perth, 1-107.

Q

Q



## CONTENUS STOMACaux D'ALEPISAURUS (POISSONS) DANS LE SUD-OUEST PACIFIQUE

par P. FOURMANOIR\*

### RÉSUMÉ

L'étude concerne les poissons, au nombre de 610, trouvés dans les contenus stomacaux d'Alepisaurus.

La plupart bien préservés permettaient l'identification spécifique lorsque la taille n'était pas trop petite.

Notre liste avec 95 espèces est plus importante que celle d'HAEDRICH et NIELSEN pour l'Atlantique Nord et le Pacifique Sud Oriental. Ce fait s'explique par l'abondance d'îles et de récifs dans notre région à partir desquels dérivent les formes juvéniles coralliennes ou continentales. Les espèces océaniques importantes atteignent à peine 27 comme dans les listes des auteurs cités plus haut, mais elles concernent près des 2/3 des exemplaires récoltés.

Dans notre inventaire *Diplospinus multistriatus* est l'espèce la plus importante aussi bien par son nombre d'exemplaires (167) que par son occurrence.

La comparaison des trois listes S.W. Pacifique, S.E. Pacifique, N. Atlantique montre l'identité ou la similitude des espèces océaniques des trois provenances et un pourcentage presque identique des exemplaires quand on réunit les genres *Diplospinus*, *Sternoptyx*, *Alepisaurus*, constituant un peu plus de la moitié des proies d'Alepisaurus.

Un rapprochement de notre inventaire est possible avec celui de l'Atlantique Nord en ce qui concerne *Diplospinus* et *Alepisaurus brevirostris*. Des précisions sur les proies d'Alepisaurus contenues dans la Monographie des Poissons de Madère, confirment cette similitude.

Par contre, *Paralepis* en grand nombre dans les autres inventaires, est absent.

On remarquera l'importance de la famille des Gempylidae dans notre région, les deux genres principaux étant : *Nealotus* et *Nesiarchus*.

### ABSTRACT

610 specimens of fishes pertaining to 95 species were extracted from stomach contents of 110 *Alepisaurus ferox*. As most stations were within the range of 120 miles from reefs or islands only one third of the species belongs to a high sea community.

\* Océanographe biologiste. Centre ORSTOM de Nouméa (Nouvelle-Calédonie).

26 JUIN 1986

O. R. S. T. O. M. Fonds Documentaire

N° : 20 322

Site : A

However high sea specimens are numerous, rising to nearly 400. A comparison has been made between these South Western Pacific fishes and fishes from North Atlantic recorded by HAEDRICH and MAUL, and Southeastern Pacific recorded by HAEDRICH, NIELSEN.

Similarity between the food habits of North Atlantic and Southwest Pacific *Alepisaurus* can be found.

### 1. ORIGINE ET ÉTUDE DU MATÉRIEL

De 1957 à 1968, 90 stations de pêche à la « longue ligne » effectuées dans la région Nouvelle-Calédonie, Nouvelles Hébrides ont permis la capture de 186 *Alepisaurus* dont 110 contenaient des poissons peu altérés. La totalité de ces poissons (610 exemplaires) nous a été confiée à l'exception des leptocephales d'Apodes (32 exemplaires déterminés par J. H. CASTLE (1964).

Un examen des familles et des principaux genres, portant sur 360 poissons, avait été présenté par M. LEGAND et B. WAUTHY en 1961. Ces auteurs nous ont proposé de poursuivre une étude de systématique plus détaillée sur l'ensemble du matériel.

Nous avons ainsi trouvé 95 espèces réparties en 47 familles. Nous rappellerons en fin d'étude les 11 espèces supplémentaires d'Apodes de J. H. CASTLE.

Il est intéressant de comparer notre inventaire à ceux de l'Atlantique septentrional et du Pacifique du Sud-Est, donnés récemment par HAEDRICH et NIELSEN. La *Monographie des Poissons de Madère* par MAUL indique aussi les espèces qui proviennent d'*Alepisaurus*. Nous avons retrouvé dans cette dernière liste certaines espèces, à représentants isolés dans notre inventaire que nous sommes alors amenés à considérer comme caractéristiques malgré leur rareté.

### 2. COMPARAISON DU MATÉRIEL S.W. PACIFIQUE AU MATÉRIEL DÉCRIT PAR HAEDRICH, ET HAEDRICH NIELSEN DE L'ATLANTIQUE NORD ET DU PACIFIQUE ORIENTAL

La collection Atlantique examinée par HAEDRICH contenait 268 poissons provenant de 42 *Alepisaurus*, la moyenne de 6 par contenu stomacal est très proche de la nôtre (5,5) et même identique si l'on inclut les Apodes. La collection du S. E. Pacifique examinée par HAEDRICH et NIELSEN obtenue à partir d'*Alepisaurus* plus nombreux n'était que de 186 exemplaires.

En nombre de spécimens, les trois premières espèces *Diplospinus*, *Sternoptyx*, *Alepisaurus* ont fourni 54 %, 55,5 %, 40,3 % dans les régions S.W. Pacifique, N. Atlantique, S.E. Pacifique comme on peut le voir d'après le tableau I :

TABLEAU I

Composition des contenus stomacaux d'*Alepisaurus* (exprimée en pour cent)

	S.W. Pacifique	N. Atlantique	S.E. Pacifique
68. <i>Diplospinus multistriatus</i> .....	28	11,9	2,7
3. <i>Sternoptyx diaphana</i> .....	15,8	29,4	32,8
16. <i>Alepisaurus brevirostris</i> .....	10	14,2	4,8
6. <i>Vinciguerria nimbaria</i> .....	7	—	—
27. <i>Anoplogaster cornutus</i> .....	4,7	1,1	3,2
65. <i>Nealotus tripes</i> .....	3,3	—	0,5
59. <i>Brama rai</i> .....	2,3	2,2	5,9
17. <i>Alepisaurus feror</i> .....	2,2	1,5	8,6
9. <i>Macroparalepis</i> .....	1,5	0	0,5
<i>Paralepis</i> .....	—	19,8	7
12. 13. 14. <i>Lestidiops</i> .....	2	—	—
67. <i>Nesiarchus nasutus</i> .....	1,5	—	—

Le tableau I résume, en indiquant les espèces numériquement les plus importantes, la liste extensive des espèces du tableau II. Les numéros proviennent de l'ordre dans lequel elles apparaissent en suivant la classification de GRASSE.

Dans le tableau placé en fin de texte, on constate que trois stations de longue ligne ont fourni la totalité des *Vinciguerria* (42 ex.) dont une seule (dans ce cas il n'y avait qu'un *Alepisaurus*) en donnait 40.

Le pourcentage élevé (7 %) que *Vinciguerria* a dans notre collection n'est plus significatif dans une liste par occurrence qui s'établirait ainsi.

Pourcentage d'occurrence par station et par *Alepisaurus*.

— <i>Diplospinus mullistriatus</i> .....	30	42 environ (V.R. *)
— <i>Alepisaurus brevirostris</i> .....	28	32 environ
— <i>Sternoptyx diaphana</i> .....	23,6	33 environ
— <i>Anoplogaster cornutus</i> .....	13,6	18 environ
— <i>Nealotus tripes</i> .....	12,7	14
— <i>Alepisaurus ferox</i> .....	10	10
— <i>Brama rai</i> .....	9	10
— <i>Nesiarchus nasutus</i> .....	6	6

Il faut remarquer par contre l'absence de *Paralepis* dans nos récoltes du S.W. Pacifique alors que ce genre vient en 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> place par le nombre de spécimens et par occurrence dans le N. Atlantique et le S.E. Pacifique.

On observe que la liste S.E. Pacifique est proche de la liste N. Atlantique pour les espèces importantes *Diplospinus*, *Alepisaurus brevirostris*.

Le nombre important de nos espèces (95) s'explique par les captures plus nombreuses d'*Alepisaurus* et surtout parce que celles-ci ont lieu pour la plupart à moins de 120 milles d'îles ou de récifs coralliens.

Ainsi les genres *Naso*, *Axinurus*, *Acanthurus*, *Chaetodon*, *Ostracion*, *Lactoria*, *Tetrodon*, *Canthidermis*, *Balistes*, *Monacanthus* ont été trouvés dans les *Alepisaurus* jusqu'à cette distance. La plupart étaient des formes très jeunes pélagiques et de dérive à l'exception d'un *Canthidermis maculatus* (BLOCH) de 16,5 cm dont la distribution est atlantique et indo-pacifique.

*Canthidermis* est l'un des rares poissons à pouvoir franchir la « barrière pacifique orientale » par sa capacité à prolonger sa vie de dérive océanique jusqu'au stade sub-adulte. Notre exemplaire a été trouvé à 130 milles de la côte.

Partant de fonds rocheux insulaires *Actinoberyx*, *Polymixia*, *Taractes*, *Trachichtodes*, *Champsodon*, *Pristipomoides* et quelques *Anthiidae* ont aussi dérivé sur des moindres distances avant d'être les proies d'*Alepisaurus*. Les adultes de ces espèces vivent (à l'exception des *Anthiidae*) à plus de 200 m dans la zone qui nous concerne dont la thermocline est profonde.

En tenant compte des *Anchoviella*, pris surtout à moins de soixante milles des Nouvelles-Hébrides, nous ne dépassons pas 37 espèces océaniques après élimination de tous les genres qui viennent d'être cités.

Nous croyons pouvoir également soustraire l'exemplaire unique des genres *Idiacanthus*, *Stomias*, *Chlorophthalmus*, *Benthodesmus*, *Hoplaltilus*, *Epinnula*, *Lepidocybium*, arrivé par le hasard d'un très grand nombre d'estomacs recueillis, et nous retrouvons alors les 27 espèces des listes Atlantique et Pacifique Oriental qui sont toutes caractéristiques du grand large océanique.

\* R. — Parfois dans les récoltes initiales, les contenus stomacaux de deux ou trois *Alepisaurus* pris à la même station ont été placés dans un même flacon. Aussi pour les premières espèces nous n'avons pu donner avec certitude l'occurrence, l'erreur des quatre premiers nombres de la 2<sup>e</sup> colonne peut être de 5 à 10 %.

### 3. COMPARAISON AVEC LA FAUNE DE MADÈRE

Dans la Monographie des Poissons de Madère (MAUL, 1945-1954), nous trouvons comme nous l'avons signalé plus haut de curieuses similitudes avec notre inventaire, surtout quand il s'agit de poissons rares.

Citons, parmi les *Anacanthi* : *Phalacomacrus pantherinus* (MAUL et KOEFOED), *Macruronus maderensis* (MAUL), *Lepidion?* sp., parmi les *Iniomi* : *Lestidiops jayakari*, parmi les *Berycomorphi* : *Taractes asper* (à Madère désigné sous le nom de *Trachyberyx barretoï* Roule, synonyme) *Beryx decadactylus* à rayon dorsal filamenteux qui est très proche de notre *Actinoberyx longispinnis*.

Parmi les espèces communes à toutes ou plusieurs listes, MAUL a également trouvé celles du genre *Diplospinus*, *Anoplogaster*, *Sternophyx*, *Scopelarchus*, *Omosudis*, *Vinciguerria*.

Il n'y a pas d'*Anotopterus pharao* (*Iniomi*) dans notre inventaire, les ichthyologistes (MAUL, HAEDRICH, NIELSEN) l'ont cité dans l'Atlantique et le Pacifique oriental, sa fréquence était plus grande à Madère.

### 4. NOTES SUR LA FAMILLE DES GEMPYLIDAE

Dans notre inventaire qui comprend la moitié de Gempylidae connus, on remarque l'absence de trois espèces voisines en morphologie et mode de vie. *Rexea solandri*, *Promethichtys prometheus*, *Thyrsooides marleyi*. Adultes, elles sont attachées au continent. Les jeunes eux-mêmes, qui paraissent hors de portée des *Alepisaurus*, gardent le même habitat benthique entre 200 et 400 m de profondeur dans notre région.

La liste confirme l'importance de *Nealotus tripes* (65) et accroît l'aire de distribution de *Nesiarchus nasulus* dans le Pacifique (Océan Indien 1956, Pacifique Central 1964), *Mimasea taeniosomia*, voisin de *Nesiarchus*, capturé par le « Coriolis » au filet bathypélagique, échappe peut-être à *Alepisaurus* par sa profondeur.

*Diplospinus multistriatus* (60) mérite une mention spéciale par son importance dans les contenus alimentaires et sa découverte relativement récente, dans l'Atlantique et le Pacifique. Comme pour d'autres Gempylidae (*Gempylus*, *Nesiarchus*) les adultes peuvent être trouvés dans les eaux superficielles. Les exemplaires de plus de 15 cm de cette petite espèce ont atteint leur maturité. En avril et décembre les œufs étaient mûrs chez les femelles de 16 à 18 cm.

La nourriture principale des *Diplospinus* est constituée par les *Euphausiacés*. Ils peuvent être la proie de *Nesiarchus* (*Diplospinus* de 9 cm dans un *Nesiarchus* de 14,6 cm). Notons à cette occasion dans le contenu stomacal de *Nesiarchus* de 22,5 cm et 25 cm signalé par Voss (1957) : *Chauliodus sloanei*, espèce bathypélagique relativement profonde pendant les heures de jour.

Les Gempylidae du large peuvent donc évoluer en eau de profondeur très variable et sans doute atteindre des amplitudes nocturnes-diurnes d'au moins 500 m.

### 5. QUELQUES CARACTÈRES SYSTÉMATIQUES D'ESPÈCES

a/ La déformation d'exemplaires (*Gadidae*), la petitesse de certains, rendent parfois difficiles la détermination spécifique pour les espèces suivantes :

21. *Macruronus* sp. (proche de *maderensis*)  
D 9+135, P. 18, Br. 11 sur l'arc inférieur
22. *Lepidion* : sp.  
D. 78, A. 70, P. 23, V. 7

23. *Physiculus* sp.

D. 9+70, A. 78, Br. 5+1+14

Les deux rayons en filament de la pectorale atteignent presque la caudale.

28. *Polymixia berndti*

D. V+35, A. IV+15, Br. 4+1+8

L.S. 5 cm, H. 2 cm

32. *Arnoglossus microphthalmus*

D. 110, A. 85

Récolté avec des espèces côtières *Naso*, *Balistes*33. *Laeops* sp.D. 92, A. 74 avec espèces coralliennes *Naso*, *Chaetodon* ou côtière *Stolephorus*.35. *Champsodon* sp.

D. V 20, A. 17

Longue épine préoperculaire atteignant presque la base de la pectorale. Diffère de *capensis* par ses longues nageoires ventrales, diffère de *guntheri* par le nombre de rayons de la dorsale et de l'anale, de *snyderi* par la longueur de l'épine.

b/ Espèces de la famille des Latilidae.

36. *Latilus* sp.

D. IX 24-26, A. 21, P. 17, L. 1. 120, L/H 3,5.

Une épine préoperculaire comme chez *Hoplolatilus*. Près de 30 crêtes au-dessus de la tête dont 4 supra-orbitaires.

L'espèce a été découverte récemment dans les contenus stomacaux de thons.

37. *Hoplolatilus* sp.

La formule D. X. 12-13, A 11 12-13, P. 16, L. 1. 100 correspond à celle de *H. fronticinclus* Gunther.

Présence d'un rostre pointu, d'une épine ptérotique très allongée et d'environ 16 crêtes sur le dessus de la tête.

L'espèce est aussi commune dans les contenus stomacaux de thons.

*LISTE DES ESPÈCES DE POISSONS  
CONTENUS DANS LES ESTOMACS D'ALEPISAURUS*

- ISOSPONDYLI.  
ENGRAULIDAE.
1. *Stolephorus zollingeri* (Blkr.)  
7 ex., 3 st L.S. de 3,8 cm à 7,3 cm
- STOMIATOIDEI.  
STERNOPTYCHIDAE.
2. *Argyropelecus aculeatus* Val. in Cuv. et Val  
3 ex., 3 st., L. S. 4,7 cm, 5 cm, 6,5 cm.
  3. *Sternoptyx diaphana* Hermann  
95 ex., 26 st., L. S. 1,4 cm à 6 cm
- STOMIATIDAE
4. *Stomias affinis* Günther  
1 ex., L.S. 6 cm
- IDIACANTHIDAE.
5. *Idiacanthus fasciola* Peters  
1 ex., L.S. 11,5 cm
- GONOSTOMIDAE.
6. *Vinciguerria nimbaria* (J. et W)  
42 ex., 3 st.
- INIOMI.  
AULOPIDAE.
7. *Aulopus* sp.  
1 ex., L.S. 2,25 cm
- CHLOROPHTALMIDAE.
8. *Chlorophthalmus*, sp.  
1 ex., L.S. 4,8 cm
- PARALEPIDIDAE.
9. *Macroparalepis breve* Ege  
5 ex., 1 st., L.S. 6,7 cm ; 3 ex., 1 st., L.S. 5 et 6 cm
  10. *Macroparalepis affine* Ege  
1 ex., L.S. 16 cm
  11. *Stemonosudis elongata* (Ege)  
4 ex., 3 st., L.S. 16 cm (3 ex.), 17 cm (1 ex.)
  12. *Lestidiops mirabilis* (Ege)  
2 ex., 2 st., L.S. 13,5 cm et 13,9 cm
13. *Lestidiops jayakari* (Boul.)  
2 ex., 1 st., L.S. 7,8 cm
  14. *Lestidiops* sp.  
7 ex., 2 st., 3 ex. 2,2 cm, 4 ex. 3,5 cm,  
débris de Paralepididae, 2 st.
- OMOSUDIDAE.
15. *Omosudis lowei* Günther  
1 ex., L.S. 5,8 cm
- ALEPISAURIDAE.
16. *Alepisaurus brevirostris* Gibbs  
62 ex., 28 st., L. S. 2,6 cm à 30,2 cm
  17. *Alepisaurus ferox*  
13 ex., 12 st., L. S. 9,2 cm à 45 cm.
- EVERMANELLIDAE.
18. *Coccorella atrata* (Alcock)  
1 ex., L.S. 4,5 cm
- SCOPELARCHIDAE.
19. *Scopelarchus* sp.  
1 ex., L.S. 7,6 cm
- ANACANTHINI.  
MACRURIDAE.
20. *Phalacomacrurus pantherinus* Maul et  
Koefoed  
2 ex., 2 st. L.S. 6,3 cm et 14 cm
  21. *Macruronus* (maderensis Maul.?)  
1 ex., L.S. 4 cm
- GADIDAE.
22. *Lepidion?* sp.  
1 ex., L.S. 5,3 cm
  23. *Physiculus* sp.  
1 ex., L.S. 4 cm
  24. *Bregmaceros japonica* Tanaka  
1 ex., 1,7 cm et 3 ex. 1,4 cm, 1 st.
- ALLOTRIIGNATHI.  
TRACHYPTERIDAE.
25. *Desmodema polysticta* (Ogilby)  
3 ex., 2 st. L.S. 5,7 cm, 9 cm, 12,5 cm)

26. *Trachypterus iris* (Walbaum)  
1 ex., L.S. 7 cm
- BERYCOMORPHI.  
ANOPLOGASTRIDAE.
27. *Anoplogaster cornuta* (Val. in Cuv. et Val)  
28 ex., 11 st., L. S. 1,2 cm à 7,2 cm
- POLYMIXIIDAE.
28. *Polymixia berndti* Gilbert  
2 ex., L.S. 2,6 cm et 5 cm ,2 st.
- BERYCIDAE.
29. *Actinoberyx longipinnis* (Barnard)  
3 ex., 3 st., L.S. 5,5 cm, 6 cm, 6,5 cm
- TRACHICHTYIDAE.
30. *Trachichtodes affinis* Günther  
1 ex., L.S. 3,5 cm
- CARISTIIDAE.
31. *Caristius macropus* (Bellotti)  
7 ex., 2 st. L.S. de 2,5 cm à 4 cm
- HETEROSOMATA.  
BOTHIDAE.
32. *Arnoglossus microphthalmus* (Von Bonde)  
1 ex., L.S. 5,8 cm
33. *Laeops* sp.  
1 ex., L.S. 5,1 cm
- PERCOMORPHI.  
CHAMPSODONTIDAE.
34. *Champsodon* sp.  
1 ex., L.S. 1,9 cm
- CHIASMODONTIDAE.
35. *Chiasmodon* sp.  
1 ex., L.S. 4,7 cm
- 35 bis. *Pseudoscopelus sagamianus* Tanaka  
8 ex., 5 st. L.S. 3,8 à 9,6 cm
- LATILIDAE.
36. *Latilus* sp.  
6 ex., 2 st., L.S. 3,3 cm à 3,5 cm
37. *Hoplolatilus* sp.  
15 ex., 5 st., L.S. 1,8 cm à 4 cm
- CAPROIDAE.
38. *Antigonia rubescens* (Günther)  
2 ex., 2 st. L.S. 1,6 cm et 2,4 cm
- PRIACANTHIDAE.
39. *Priacanthus hamrur* (Forsk)  
1 ex., L.S. 5,2 cm
- SERRANIDAE.
40. *Ostracoberyx tricornis* Matsubara  
1 ex., L.S. 3,2 cm
- ANTHIIDAE.
41. *Symphysanodon typus* Blkr.  
2 ex., 2 st., L.S. 5 cm et L.S. 4,5 cm
42. *Sacura margaritacae* Hilg.  
1 ex., L.S. 2,3 cm
43. *Pseudanthias* sp.  
1 ex., L.S. 2,7 cm
44. *Naurua* sp.  
2 ex., 2 st., L.S. 2,3 cm et 2,7 cm
- APOGONIDAE.
45. *Apogon* sp.  
1 ex., L.S. 1,4 cm
- POMACANTHIDAE.
46. *Holacanthus* sp.  
1 ex., L.S. 1,5 cm
- CHAETODONTIDAE.
- 47-49. *Chaetodon* sp.  
10 ex., appartenant à trois espèces 5 st.,  
L.S. de 1 cm à 2,4 cm
50. *Chaetodon speculum* Cuvier  
4 ex., 1 st., L.S. 1,5 à 2,5 cm
- ACANTHURIDAE.
- 51-53. *Acanthurus* sp.  
7 ex. appartenant à trois espèces, 3 st.,  
L.S. de 2,2 cm à 3,1 cm
- NASIDAE.
54. *Axinurus thynnoides* (Val. in Cuv. et Val.)  
3 ex., 2 st., L.S. 3,3 cm à 4,7 cm
56. *Naso* sp.  
appartenant à deux espèces  
7 ex., 4 st., L.S. 1,6 cm à 3,2 cm
- LUTJANIDAE.
57. *Etelis* sp. (oculatus?)  
2 ex., 2 st., L.S. 4,4 cm et 5,5 cm
58. *Pristipomoides typus* Blkr.  
1 ex., L.S. 4,5 cm

## BRAMIDAE.

59. *Brama rai* (Bloch)  
14 ex., 9 st., L.S. de 2,5 cm à 6,5 cm
60. *Taractes asper* Lowe  
2 ex., 2 st., L.S. 1,2 cm et 5,2 cm
61. *Pteraclis carolinus*. Val., in Cuv. et Val.  
6 ex., 6 st. L.S. 1,6 cm à 5,2 cm
62. *Pteraclis velifera* (Pallas)  
1 ex., L.S. 12,8 cm

## SCOMBROIDEA.

## GEMPYLIDAE.

63. *Epinnula magistralis* Matsubara et Iwai  
(non Poey)  
1 ex., L.S. 3,1 cm
64. *Lepidocybium flavobrunneum* Smith  
1 ex., L.S. 4,1 cm
65. *Nealotus tripes* Johnson  
20 ex., 15 st. tailles régulièrement échelonnées entre 3,3 cm et 12 cm
66. *Gempylus serpens*, Cuvier in Cuv. et Val.  
2 ex., 2 st., L.S. 13 cm et 17 cm
67. *Nesiarchus nasutus* Johnson  
9 ex., 6 st., L.S. de 2,9 cm à 14,6 cm
68. *Diplospinus multistriatus* Maul  
167 ex., 33 st., L.S. de 2 à 21 cm

## LEPIDOPIIDAE.

69. *Benthodesmus tenuis* Günther  
1 ex., L.S. 31 cm

## STROMATEOIDEI.

## NOMEIDAE.

70. *Psenes whitelegi* Waite  
2 ex., 2 st., L.S. 2,3 cm et 7,5 cm
71. *Psenes maculatus* Lütken  
1 ex., L.S. 5,3 cm
72. *Cubiceps gracilis* Lowe  
2 ex., 2 st., L.S. 5,5 cm et 8,3 cm
73. *Cubiceps caeruleus* Regan  
1 ex., L.S. 5,8 cm

## CATAPHRACTI

## SCORPAENIDAE (Pteroinae)

74. *Pteropterus* sp.  
1 ex., L.S. 4,5 cm

## TRIGLIDAE.

75. *Trigla* sp.  
2 ex., 2 st., L.S. 2 cm et 2,2 cm

## PLECTOGNATHI.

## MOLIDAE.

76. *Mola* sp.  
2 ex., 2 st., L.S. 1,55 cm et 2,7 cm
77. *Ranzania laevis* (Pennant)  
6 ex., 1 st., L.S. de 3,2 à 3,5 cm

## BALISTOIDEI.

## BALISTIDAE.

78. *Canthidermis maculatus* (Bloch)  
1 ex., L.S., 16,5 cm
79. *Balistes vidua kamoharai* Abe  
1 ex., L.S. 7,5 cm
80. *Balistes* sp.  
1 ex., L.S. 1,5 cm

## MONACANTHIDAE.

81. *Pseudalutarius nasicornis* (Schl.)  
1 ex., L.S. 4,3 cm
82. *Monacanthus* sp.  
1 ex., L.S. 3,6 cm

## TRICANTHODIDAE.

83. *Triacanthodes* sp.  
1 ex., L.S. 2,6 cm

## OSTRACIONTOIDEI.

## OSTRACIONTIDAE.

84. *Rhinesomus reipublicae* (Ogilby)  
1 ex., L.S. 1,5 cm
85. *Lactoria fornasini* (Bianconi)  
1 ex., L.S. 2,3 cm
86. *Lactoria* sp.  
1 ex., L.S. 0,9 cm
87. *Lactoria diaphana* (Bloch)  
1 ex., L.S. 10 cm
88. *Ostracion* sp.  
1 ex., L.S. 1,3 cm

## TETRAODONTOIDEI.

## TETRODONTIDEI.

89. *Arothron stellatus* (Bloch)  
1 ex., L.S. 1,8 cm
90. *Tetrodon* sp.  
9 ex., 8 st., L.S. 1,4 cm à 3 cm

## PEDICULATI.

## LOPHIIDAE.

91. *Lophius setigerus* (Vahl.)  
2 ex., 1 st., L.S. 2 cm et 3 cm
92. *Lophioides* sp.  
1 ex., L.S. 5,3 cm

## CERATIIDAE.

93. *Oneirodes* sp.  
2 ex., 2 st., L.S. 3,4 cm et 4 cm

## ANTENNARIIDAE.

94. *Antennarius* sp.  
2 ex., 2 st., L.S. 3,3 cm et 3,5 cm

Leptocephales d'*Apodes* déterminés par J. H. CASTLE.

## FAMILLE DES CONGRIDAE.

- Genre *Ariosoma* 1 ex. *scheelei*, 6 ex. *maurilianum*, 5 ex. *anago*
- Genre *Alloconger* 1 ex. *anagoïdes*
- Genres indéterminés 1 ex. spécification *laureus*, 1 ex. *trilineatus*, 1 ex. *geminus*, 1 ex. *mediopunctatus*

## FAMILLE DES NEMICHTYIDAE.

- 13 ex. *Nemichtys scolopaceus*,  
1 ex. *Borodinula gilli*

## FAMILLE DES MURAENIDAE.

- 1 ex. *Uropterygius* sp.

## BIBLIOGRAPHIE

- ANDRIASCHEV (A. P.), 1960. — *Paradiplospinus antarcticus*, gen. et sp. n (Pisces, Trichiuridae) *Zool. Zh.*, S.S.S.R. 244-249 (vol. XXXIX, n° 2).
- FITCH (J. E.), 1964. — The Ribbonfishes (family Trachypteridae) of the eastern Pacific Ocean, with a description of a new species. *California Fish Game* 5P (4), 228-240.
- FOREST (J.), LEGENDRE (R.), 1950. — De quelques Thyrsitinae (Scombridae) du genre *Nesiarchus* observés à Concarneau. *Bull. Inst. Oceanogr.* Monaco 966, 12 p.
- GOODE (G. B.), BEAN (T. H.), 1895. — Oceanic Ichthyology. U.S. *Nat. Mus. Spec. Bull.* 2 : xxv+553 p., 417 fig.
- GREY (M.), 1953. — Fishes of the family Gempylidae, with records of *Nesiarchus* and *Epinnula* from the Western Atlantic and descriptions of two new subspecies of *Epinnula orientalis*. *Copeia* (3), 135-141.
- HAEDRICH (R. L.), 1964. — Food habits and young stages of North Atlantic *Alepisaurus* (Pisces, Iniomi). *Breviora*, n° 201, 1-15.
- HAEDRICH (R. L.), NIELSEN (G.), 1966. — Fishes eaten by *Alepisaurus* in the southeastern Pacific Ocean. *Deep-sea Res.* vol. 13, n° 5.
- HARRY (R. R.), 1953. — Studies on the bathypelagic fishes of the family Paralepididae. *Pacif. Sci.* 7 (2), 219-249.
- KOEFØED (E.), 1953. — Synentognathi, Solenichthyes, Ancanthini Berycomorphi, Xenoberyces from the « Michael Sars » North Atlantic. *Deep sea expedition* 1910, vol. IV, part II, n° 3, John Grieg Bergen.
- LEGAND (M.), WAUTHY (B.), 1961. — Importance présumée d'*Alepisaurus* sp dans le cycle biologique de thons de longue ligne au large de la Nouvelle-Calédonie.
- MARSHALL (N. B.), 1955. — *Alepisaurus* fishes. *Discov. Rep.* 27, 303-336.
- MATSUBARA (K.), IWAI (T.), 1952. — Studies on some Japanese fishes of the family Gempylidae. *Pacific Sci.*, 6 : 193-212, fig. 1-12.
- MATSUBARA (K.), OCHIAI (A.), MAOKA (K.), NAKAMURA (I.), 1964. — Revisional Study of the Trachinoid Fishes of the family Champsodontidae from the waters around Japan and Tonking bay. *Bull. Misaki Mar. Biol. Inst.* Kyoto University.
- MAUL (G. E.), 1945-1954. — Monographia dos Peixes do Museum Municipal de Funchal.
- ROFEN (R. R.), 1966. — Family Paralepididae in : Fishes of the Western North Atlantic. *Mem. Sears. Fn. mar Res.*, 1 (5), 205-461.
- SCHULTZ (L. P.), 1961. — Revision of the marine silver hatchet fishes (Family Sternoptychidae). *Proc. Us. nation. Mus.* 112, 587-649.
- SMITH (J. L. B.), 1964. — An interesting new fish of the family Chiasmodontidae from South Africa, with redescrptions of *Odontonema kerberli* Weber 1913. *Ann. Mag. Nat. Hist. Ser.* 13, vol. VII, p. 57.
- SMITH (J. L. B.), 1965. — New records and new species of fishes from South Africa, chiefly from Natal. Occas. paper n° 4, *Dept. ichthyology, Rhodes Univ. Grahamstown*, South Africa.
- SMITH (J. L. B.), 1966. — A new Stromateid fish from South Africa with illustration of the unique rare *Centrolophus hulloni* Waite, 1910. *Ann. Mag. Nat. Hist. Ser.* 13, vol-ix, p. 1.
- STRASBOURG (D. W.), 1964. — Postlarval scombroid fishes of the genera *Acanthocybium*, *Nealotus* and *Diplospinus* from the central Pacific Ocean. *Pacif. Sci.* 18 (2), 174-185.
- VOSS, NANCY (A.), 1954. — The postlarval development of the fishes of the family Gempylidae from the Florida Current I. *Nesiarchus* Johnson and *Gempylus* Cuv. et Val. *Bull. Mar. Gulf. Carib.* 4 (2), 120-159, 15 fig, 9 tabl.
- VOSS, NANCY (A.), 1957. — Fishes of the family Gempylidae collected by the Bermuda Oceanographic Expeditions 1929, 1930, 1931 and 1934. *Copeia* 4, 304-305.



## NITRITE ET CIRCULATION MERIDIENNE A L'ÉQUATEUR DANS L'OCÉAN PACIFIQUE OCCIDENTAL

par C. OUDOT\*, P. HISARD\* et B. VOITURIEZ\*

### RÉSUMÉ

La distribution du nitrite dans la région équatoriale entre 4°S et 4°N est étudiée, en relation avec la circulation méridienne et le champ de densité. L'enrichissement des eaux superficielles dans une zone d'upwelling a été clairement mis en évidence : la concentration maximale de nitrite en surface, qui peut aider à situer l'axe de divergence équatoriale, varie de 0,50 mg N-NO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> à moins de 0,10 mg N-NO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> suivant la circulation verticale. Les concentrations maximales de nitrite subsurface caractérisent également des zones de divergence. La circulation des masses d'eau dans l'hypothèse d'un écoulement isentropique affecte grandement la distribution verticale du nitrite, qui devient ainsi un bon traceur de la circulation verticale. L'alternance avec la saison de la circulation méridienne influe sur la distribution d'ensemble du nitrite de part et d'autre de l'équateur. L'étude comparée des distributions méridiennes de nitrite et des autres sels nutritifs, ainsi que de l'UAO, montrent l'identité des mécanismes qui règlent la répartition de ces paramètres physico-chimiques et nous amène à penser que le nitrite pourrait être le résultat d'une oxydation incomplète de la matière organique.

### SUMMARY

The distribution of nitrite in a profile across the Equator from 4°S to 4°N is related to the meridian circulation and the field of density. The increase of the fertility of surface waters is shown obviously in upwelling area: the maximum concentration of surface nitrite which can help to situate the axis of equatorial divergence, is varying from 0,50 mg N-NO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> to less than 0,10 mg N-NO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> according to the vertical circulation. The maximum subsurface concentrations show likewise divergence zones. The circulation of water masses, assuming an isentropic flow, influences greatly the vertical distribution of nitrite, which becomes thus an excellent tracer of the vertical circulation. The alternation of the meridian circulation with the season acts on the whole distribution of nitrite on both sides of Equator. The comparison of meridian distribution of nitrite and others nutrients salts as well as AOU, points out the identity of mechanisms, regulating the repartition of those physicochemical parameters and leads us to think that the nitrite could be the result of incomplete oxydation of organic matter.

\* Océanographes. Centre ORSTOM de Nouméa (Nouvelle-Calédonie).

26 JUN 1986

~~O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire~~

~~no : 20 372~~

~~site : A~~

## INTRODUCTION

L'étude des distributions verticales et horizontales du nitrite, comparativement à celles des autres caractéristiques hydrologiques et chimiques présente un intérêt à plusieurs égards. Les concentrations particulièrement élevées de nitrite superficiel dans la région équatoriale confirment l'existence du phénomène d'enrichissement des eaux de surface. L'étude très fine de la structure verticale du nitrite, comme l'ont montré HISARD et PITON (1969) peut donner des renseignements importants sur la circulation des masses d'eau.

Le nitrite intervenant à la fois dans les processus de nitrification et de dénitrification, a une origine très controversée par les auteurs. La distribution verticale du nitrite contenu dans l'eau de mer révèle parfois deux maxima, caractérisant l'existence de deux couches d'accumulation de nitrite. Le maximum supérieur ou maximum primaire, ainsi que l'ont signalé BRANDHORST (1959), WOOSTER *et al.* (1965), est toujours associé à un fort gradient de densité, lié à la thermocline. La présence de nitrite à ce niveau serait le résultat d'une oxydation bactérienne de l'ammoniaque et des substances aminées dérivées de la matière organique, dont la sédimentation est ralentie à cette barrière de densité. L'origine du nitrite pourrait être aussi une libération extracellulaire, au cours de l'assimilation de nitrate par le phytoplancton, lorsque celui-ci déficient en azote, se trouve brusquement au contact de grandes quantités de nitrate, au niveau de la thermocline (VACCARO et RYTHÉ, 1960). Cependant, dans leur étude cinétique du cycle de l'azote, MIYAKE *et al.* (1968) considèrent le nitrite comme un stade de l'oxydation irréversible de la matière organique azotée en nitrate.

Le maximum inférieur ou maximum secondaire, qui a une extension géographique limitée, est situé sous la thermocline dans une couche d'eau intermédiaire, caractérisée par des concentrations très faibles d'oxygène dissous. Cette couche d'accumulation de nitrite, repérée le long des côtes du Pérou (WOOSTER *et al.*, 1965 ; FIADEIRO et STRICKLAND, 1968) et dans l'Océan Pacifique tropical nord-est (BRANDHORST, 1959 ; THOMAS, 1966 ; WOOSTER, 1967 ; GOERING, 1968), traduirait un mécanisme de dénitrification à partir du nitrate, dont le stade final pourrait être l'azote moléculaire (GOERING, 1968). Cependant, la réduction bactérienne du nitrate nécessite des concentrations de matière organique particulière et dissoute rarement rencontrée au cœur de l'océan et une explication de l'apparition du nitrite par une oxydation incomplète de la matière azotée semble plausible (FIADEIRO et STRICKLAND, 1968).

La répartition du nitrite dans certaines zones de l'océan semble être le reflet de la circulation ; WOOSTER *et al.* (1965) associent les concentrations élevées de nitrite au maximum de salinité du sous-courant du Chili-Pérou. HISARD et PITON (1969), étudiant la distribution du nitrite dans le système des courants équatoriaux de l'Océan Pacifique à 170°E, ont mis en évidence un phénomène d'accumulation remarquable de nitrite le long de la convergence qui sépare le courant équatorial du contre-courant équatorial sud.

L'étude qui suit est une description de la distribution du nitrite et une comparaison avec celle des autres paramètres physico-chimiques dans la zone équatoriale proprement dite, de 4°S à 4°N. Elle a été entreprise sur la base d'une série de croisières mensuelles (croisières Cyclone) effectuées par le N.O. « Coriolis », le long du méridien 170°E, de 20°S à 4°N, entre mars 1967 et mai 1968. Ces campagnes avaient pour but l'étude des variations saisonnières du système équatorial et tropical sud. Nous avons profité du matériel recueilli au cours de ces nombreuses croisières pour mieux cerner la distribution verticale du nitrite, dans une zone à structure fine très complexe.

Au cours des séquences équatoriales de 4°S à 4°N, 17 stations hydrologiques furent occupées, tous les 30 nautiques. Une croisière s'est déroulée à un rythme particulier : elle a comporté trois séquences de 3030S à 5°N répétées à une semaine d'intervalle. Chaque station hydrologique était suivie d'une station courantométrique au cours de laquelle les courants furent mesurés par rapport à une surface de référence (500 ou 1400 m) considérée immobile. A deux croisières s'ajoutèrent des prélèvements pour la détermination des pigments chlorophylliens.

Toutes les analyses sont effectuées à bord du navire. Les méthodes analytiques employées sont pour l'oxygène : méthode de Winkler avec titration potentiométrique de l'iode libéré ; pour les sels nutritifs : nitrate, nitrite et phosphate, et les pigments phytoplanctoniques : celles décrites par STRICKLAND et PARSONS (1968). Les mesures d'extinction sont faites avec un spectrophotocolorimètre Beckman DU. L'utilisation apparente d'oxygène UAO est calculée à l'aide des tables de GREEN et CARRITT (1967).

Toutes les données relatives aux croisières Cyclone sont rassemblées dans les Rapports scientifiques nos 15, 20, 21, 25 à 29 et 31 à 33, du laboratoire d'Océanographie du Centre O.R.S.T.O.M. de Nouméa.

### DISTRIBUTION DU NITRITE

La figure 1 rassemble les coupes méridiennes de la distribution verticale des teneurs en nitrite, observée pour chaque croisière. Sur la coupe C. 2, les concentrations de nitrite en surface dépassent  $0,50 \text{ matg N-NO}_2/\text{m}^3$  de  $0^\circ 30\text{N}$  à  $1^\circ\text{N}$ , alors qu'à C. 3 on ne relève pas de valeurs supérieures à  $0,10 \text{ matg N-NO}_2/\text{m}^3$ . La distribution du nitrite à l'équateur varie beaucoup d'une croisière à l'autre, même dans l'intervalle de temps aussi court que celui qui sépare les trois coupes C. 7<sub>1</sub>, C. 7<sub>2</sub> et C. 7<sub>3</sub>.

Toutes les observations du N.O. « Coriolis » recueillies dans la zone équatoriale font ressortir l'existence quasi-permanente d'un « upwelling » caractérisé par un refroidissement et un accroissement de la fertilité des eaux superficielles (ROTSCHI, 1968).

Les distributions méridiennes de l'anomalie thermostérique pour les croisières C. 2 et C. 3 (fig. 2) illustrent bien l'interférence de la situation d'upwelling sur la répartition du nitrite. Sur la figure 2, nous avons disposé les composantes méridiennes des courants mesurés parallèlement aux lignes isanostériques, adoptant le mode de représentation de BURKOV et OVCHINNIKOV (1960) dans l'hypothèse d'un écoulement isentropique. La forme en dôme des lignes isanostériques, relevée sur toutes les coupes excepté à C. 3, est toujours associée à un enrichissement en nitrite des eaux superficielles. La présence d'une convergence dans les cinquante premiers mètres à C. 3 est à rapprocher des très faibles concentrations de nitrite ( $< 0,10 \text{ matg N-NO}_2/\text{m}^3$ ) dans la même couche.

Dans la zone équatoriale les concentrations de nitrite en surface permettent de caractériser les divergences et convergences au même titre que le phosphate. L'absence d'upwelling équatorial à C. 3 est manifeste sur la figure 3 où l'on a représenté les concentrations superficielles de nitrite et phosphate en fonction de la latitude. En subsurface, la distribution du nitrite fait apparaître une structure en noyaux de concentrations supérieures à  $1,00 \text{ matg N-NO}_2/\text{m}^3$  (fig. 1).

Le profil vertical de la teneur en nitrite, à chaque station de  $4^\circ\text{S}$  à  $4^\circ\text{N}$  révèle un maximum dont la profondeur varie avec la latitude. La forme et la profondeur de ce maximum sont fonction de la structure hydrologique de la colonne d'eau (fig. 4) : le maximum est d'autant plus étalé que le gradient de densité est plus faible, dans la couche d'eau au-dessus de la thermocline. Aux stations où le phénomène de divergence est bien établi (fig. 4 : station  $0^\circ 30\text{N}$ ), la couche d'accumulation de nitrite soumise à des mouvements ascendants, est dispersée dans la colonne d'eau superficielle. La profondeur du maximum de nitrite est fixée par celle de la pycnocline dont le tracé, qui suit de près celui de la thermocline, peut être le reflet des convergences et divergences.

Une représentation schématique de la distribution méridienne de la concentration en nitrite est donnée sur la figure 5-A. A chaque station, nous avons évalué la quantité totale de nitrite dans une colonne d'eau de  $1 \text{ m}^2$  de section, comprise entre la surface et l'isanostère  $400 \text{ cl/t}$  qui limite assez bien la base de la couche de nitrite. Sur le graphique, nous avons ramené cette quantité à l'unité de hauteur de la colonne d'eau, pour représenter la teneur moyenne de la colonne d'eau en  $\text{matg N-NO}_2/\text{m}^3$ . Cette méthode de calcul est sujette à critiques car il est difficile de repérer

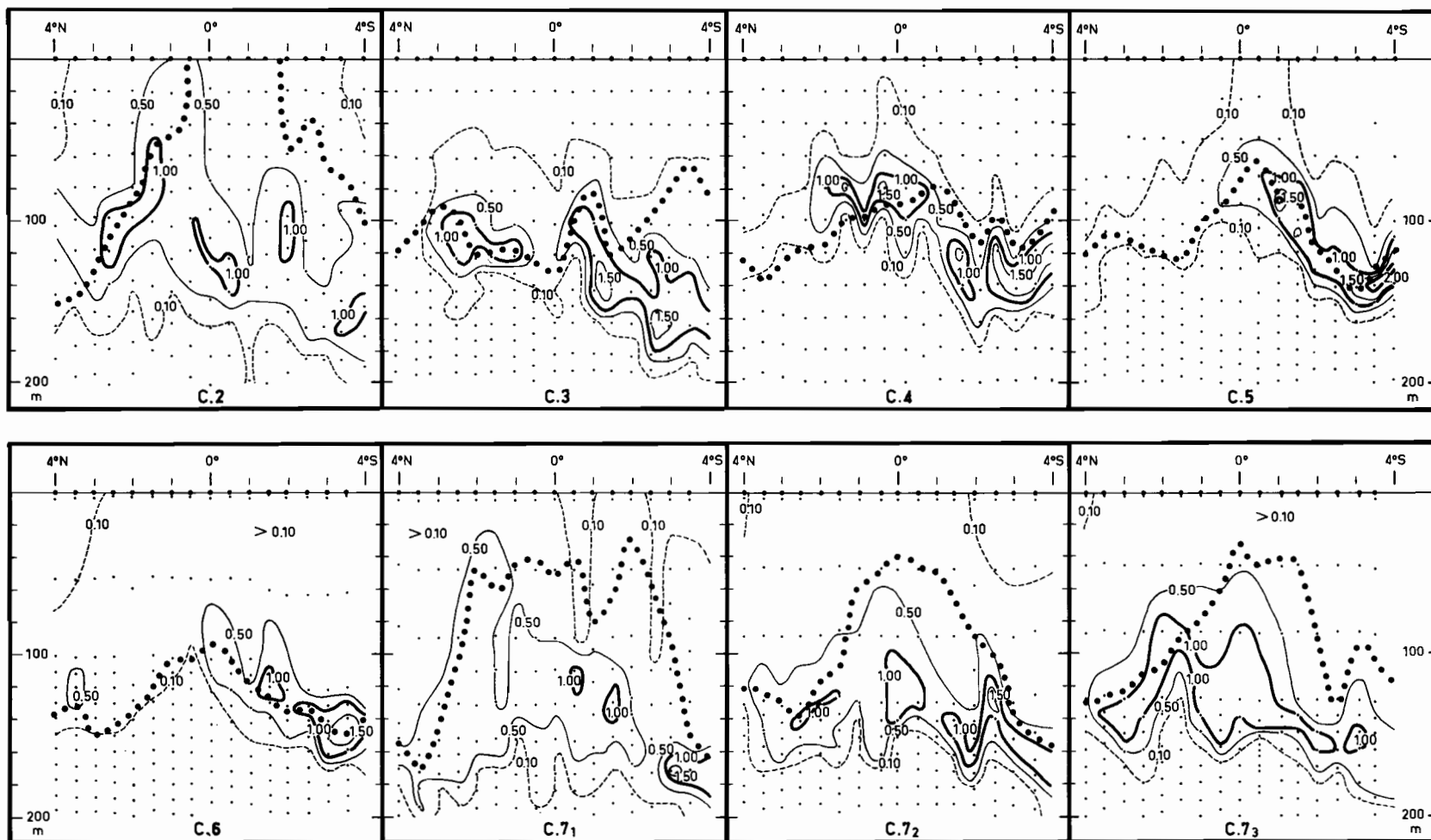


Fig. 1. — Distributions méridiennes du nitrite (matg  $N-NO_2/m^3$ ) le long de  $170^\circ E$  en mars (C. 2), en avril (C. 3), en juin (C. 4), en juillet (C. 5), en août 1967 (C. 6) et en avril-mai 1968 (C. 7<sub>1</sub>, C. 7<sub>2</sub>, C. 7<sub>3</sub>). En pointillés : l'isanostère 500 cl/t.

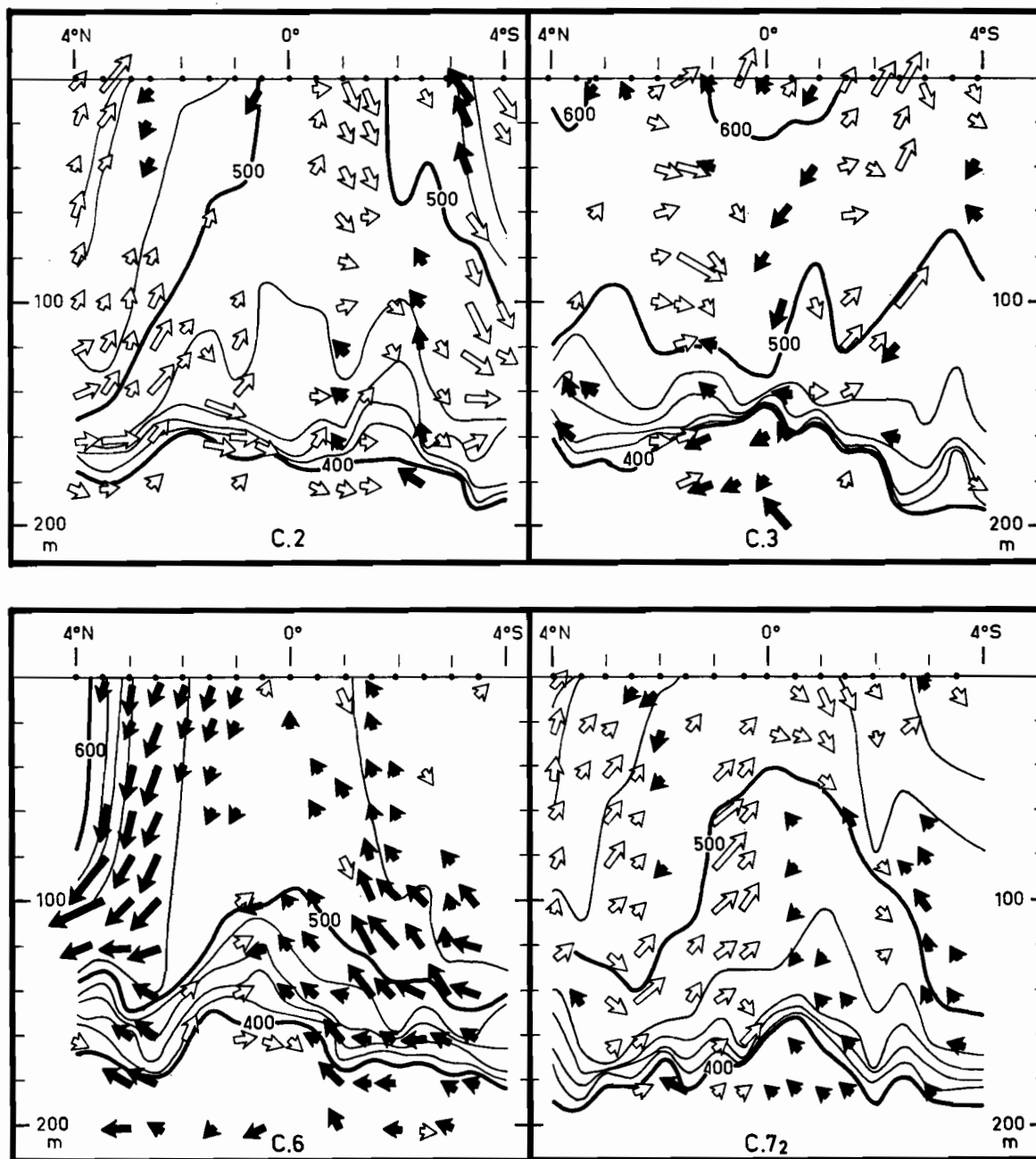


Fig. 2. — Distributions méridiennes de l'anomalie thermostérique (cl/t) le long de 170°E en mars (C. 2), en avril (C. 3), en août 1967 (C. 6) et en avril 1968 (C. 7<sub>2</sub>). Vecteurs : composantes nord-sud du courant dont l'intensité est supérieure à 10 cm/s, disposées parallèlement aux lignes isanostériques.

la teneur maximale de nitrite. Cependant, la validité d'un tel procédé est confirmée par une bonne analogie avec la situation des autres caractéristiques physico-chimiques. Le même calcul a été appliqué aux autres sels nutritifs (fig. 5 et 6). Les quantités de phosphate reminéralisé sont calculées sur la base du rapport  $\frac{\Delta O}{\Delta P} = 276$ . Nous avons pris en compte pour ce calcul seulement les valeurs UAO positives, chiffrant l'excès de la consommation d'oxygène sur la libération photosynthétique.

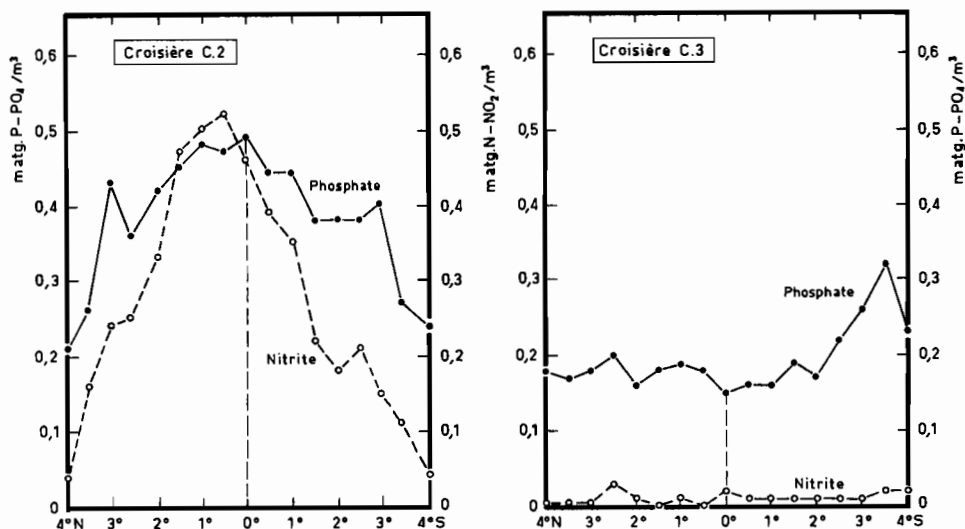


Fig. 3. — Distributions méridiennes des concentrations superficielles de nitrite ( $\text{matg N-NO}_2/\text{m}^3$ ) et de phosphate ( $\text{matg P-PO}_4/\text{m}^3$ ) en mars (C. 2) et en avril 1967 (C. 3).

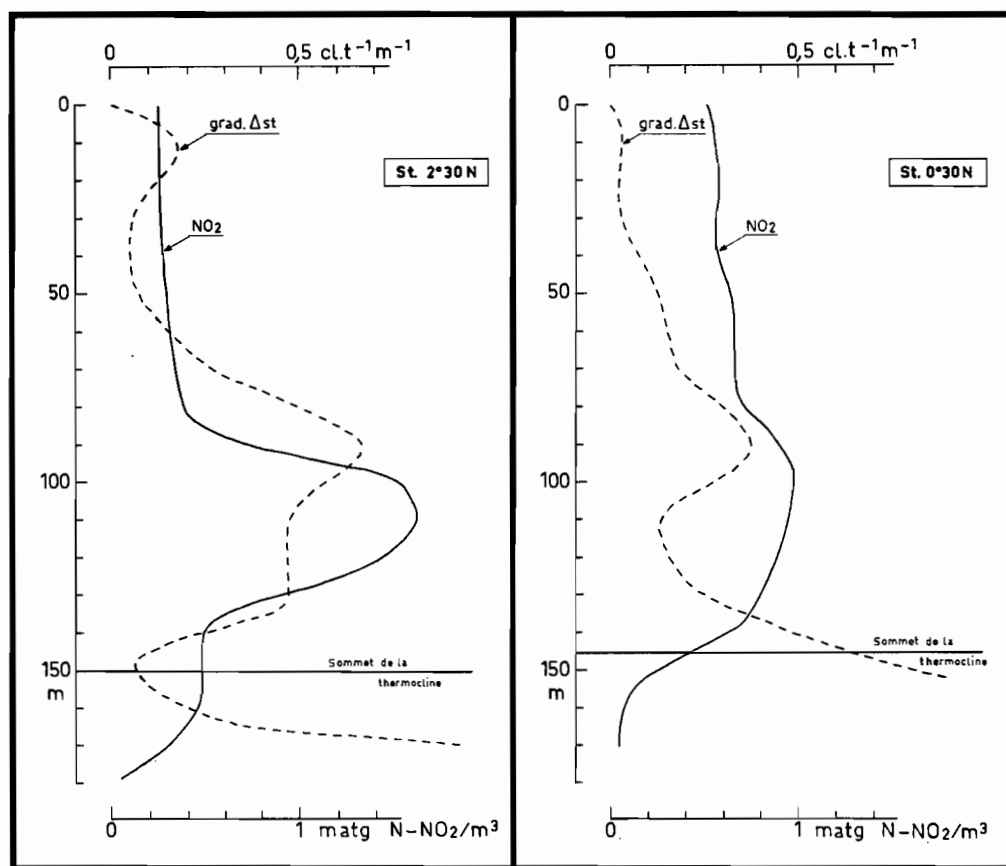


Fig. 4. — Distributions verticales du nitrite ( $\text{matg N-NO}_2/\text{m}^3$ ) et du gradient d'anomalie thermostérique à  $2^{\circ}30\text{N}$  et  $0^{\circ}30\text{N}$ , en mars 1967 (C. 2).

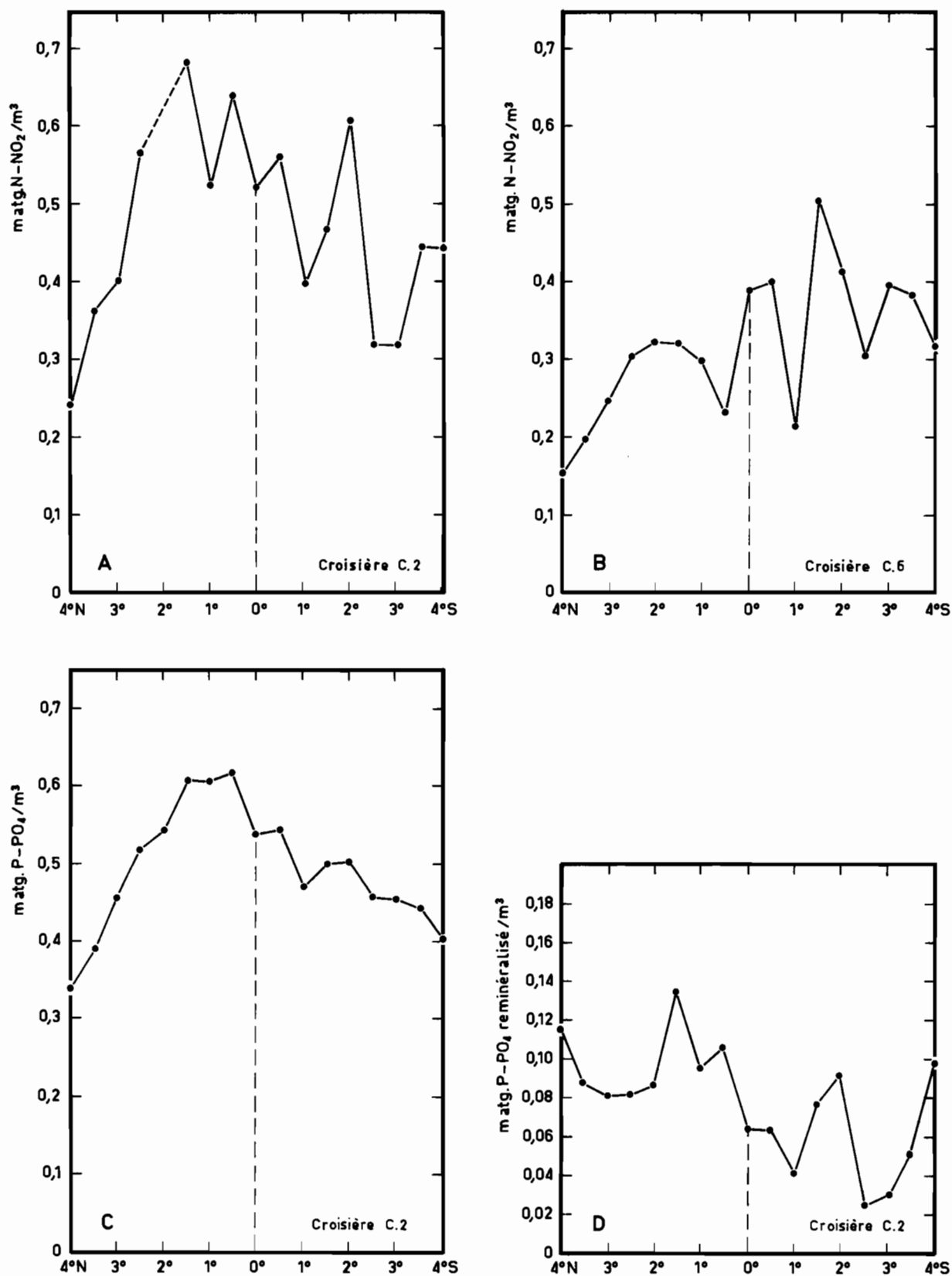


Fig. 5. --- Distributions méridiennes des teneurs moyennes dans une colonne d'eau comprise entre la surface et l'isanoctère 400 cl/t, du nitrite (matg N-NO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>) en mars (A) et en août 1967 (B), phosphate et phosphate reminéralisé (matg P-PO<sub>4</sub>/m<sup>3</sup>) en mars 1967 (C et D), le long de 170°E.

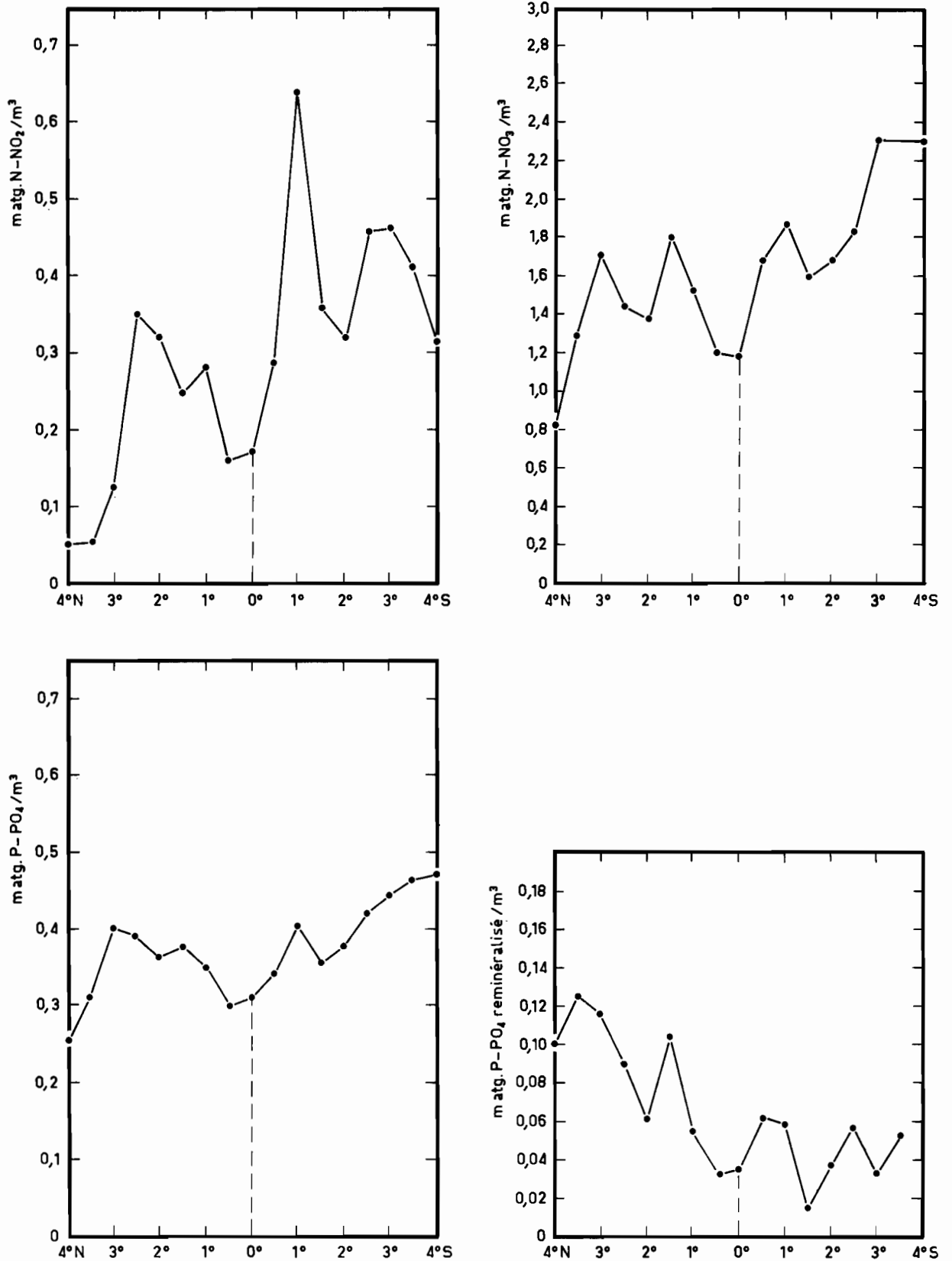


Fig. 6. — Distributions méridiennes des teneurs moyennes dans une colonne d'eau comprise entre la surface et l'isanostré 400 cl/t, du nitrite ( $\text{matg N-NO}_2/\text{m}^3$ ), nitrate ( $\text{matg N-NO}_3/\text{m}^3$ ), phosphate et phosphate reminéralisé ( $\text{matg P-PO}_4/\text{m}^3$ ) en avril 1967 (C. 3).

En examinant la figure 5-A, on retrouve trois zones riches en nitrite, correspondant aux trois noyaux de la figure 1-C. 2, et centrées sur 2°S, 0° et 2°N. A 4°S, apparaît le prolongement de la « poche de nitrite » (HISARD et PITON, 1969), associée à la zone de convergence centrée sur 5°S. Il est intéressant de noter que ces zones d'enrichissement en nitrite sont liées à des zones de divergence, mises en évidence par un dôme des lignes isanostériques (fig. 2-C. 2) : l'isanostère 480 cl/t, très voisine du maximum de nitrite, se rapproche de la surface à 2°S, 0°30N et 1°30N. Inversement, les zones moins riches en nitrite sont l'image de zones de convergence à 3°S, 1°S et 1° N.

Les croisières C. 2 et C. 6 ont eu lieu respectivement pendant qu'il régnait sur l'équateur un régime d'alizés de nord-est ou de sud-est. L'influence de la circulation atmosphérique sur la circulation des masses d'eau est clairement illustrée par la prédominance d'une circulation méridienne vers le sud ou vers le nord (fig. 2-C. 2 et 2-C. 6). Le déplacement vers le nord à C. 2 et vers le sud à C. 6, de l'axe de divergence, repéré en surface par la température la plus froide et les concentrations de phosphate et nitrate les plus élevées, est à rapprocher de la dissymétrie dans la répartition du nitrite de part et d'autre de l'équateur. Il y a plus de nitrite dans l'hémisphère nord à C. 2 et dans l'hémisphère sud à C. 6 : cette inversion est mise en évidence sur les figures 1, 5-A et 5-B.

La distribution du nitrite dans la région équatoriale est donc grandement affectée par la circulation méridienne : de plus, elle varie notablement au cours du temps, comme en témoignent les trois coupes C. 7<sub>1</sub>, C. 7<sub>2</sub> et C. 7<sub>3</sub> (fig. 1) répétées à une semaine d'intervalle.

### NITRITE ET CHAMP DE DENSITÉ

Au retour de chaque campagne, des stations fixes de 24 heures et même de 48 heures furent occupées, à l'équateur, pour étudier la périodicité et l'amplitude des variations des paramètres physiques et chimiques. Toutes les quatre heures, on effectuait une station hydrologique avec prise d'eau pour l'analyse des sels nutritifs. Il se révèle que la profondeur du maximum de nitrite varie (fig. 7). Pour vérifier que ce phénomène est dû aux ondes internes, les concentrations de nitrite sont reportées en fonction de l'anomalie thermostérique et non plus de la profondeur (fig. 8). Le maximum apparaît alors se stabiliser sur la surface isanostérique 500 cl/t. Nous relevons à certaines stations un léger maximum au-dessus du maximum habituel (fig. 7) : cette accumulation se maintient durant 28 heures puis reparait 8 heures plus tard. L'espacement des bouteilles est trop grand pour fixer de façon précise ce maximum.

La distribution verticale du nitrite en fonction de l'anomalie thermostérique, à chaque station de 4°S à 4°N, montre d'une façon générale que les eaux de l'hémisphère nord ont un maximum de nitrite associé à une anomalie thermostérique plus grande que les eaux de l'hémisphère sud. La jonction entre ces deux masses d'eau se fait toujours près de l'équateur : sur la figure 9, de 2°S à 0°, le maximum de nitrite est situé sur la surface isanostérique 480 cl/t et de 2°N à 3°30N sur la surface 500 cl/t. La zone de transition est caractérisée par un maximum de nitrite, qui évolue de 480 à 500 cl/t avec parfois des stations présentant deux maxima l'un proche de 480 cl/t, l'autre de 500 cl/t (figure 9 : stations à 0°30N et 1°30N). Cette superposition de deux maxima marque la rencontre de deux masses d'eau de caractéristiques hydrologiques différentes. Un examen des courbes T-S confirme cette séparation des masses d'eau (fig. 10) : entre 0°30N et 1°N, on assiste à un changement du profil de la courbe T-S, en particulier entre 480 et 500 cl/t. Un autre argument en faveur de la différenciation de ces deux types de masses d'eau, est la convergence des composantes méridiennes subsuperficielles de la vitesse entre 0°30S et 0°30N (fig. 2-C. 7<sub>2</sub>).

Le nitrite, composé transitoire, sujet aux transformations chimiques et biologiques, permet cependant grâce à sa structure verticale présentant une couche d'accumulation, de suivre la circulation des masses d'eau subsuperficielles, dans l'hypothèse de mouvements méridiens isentropiques.

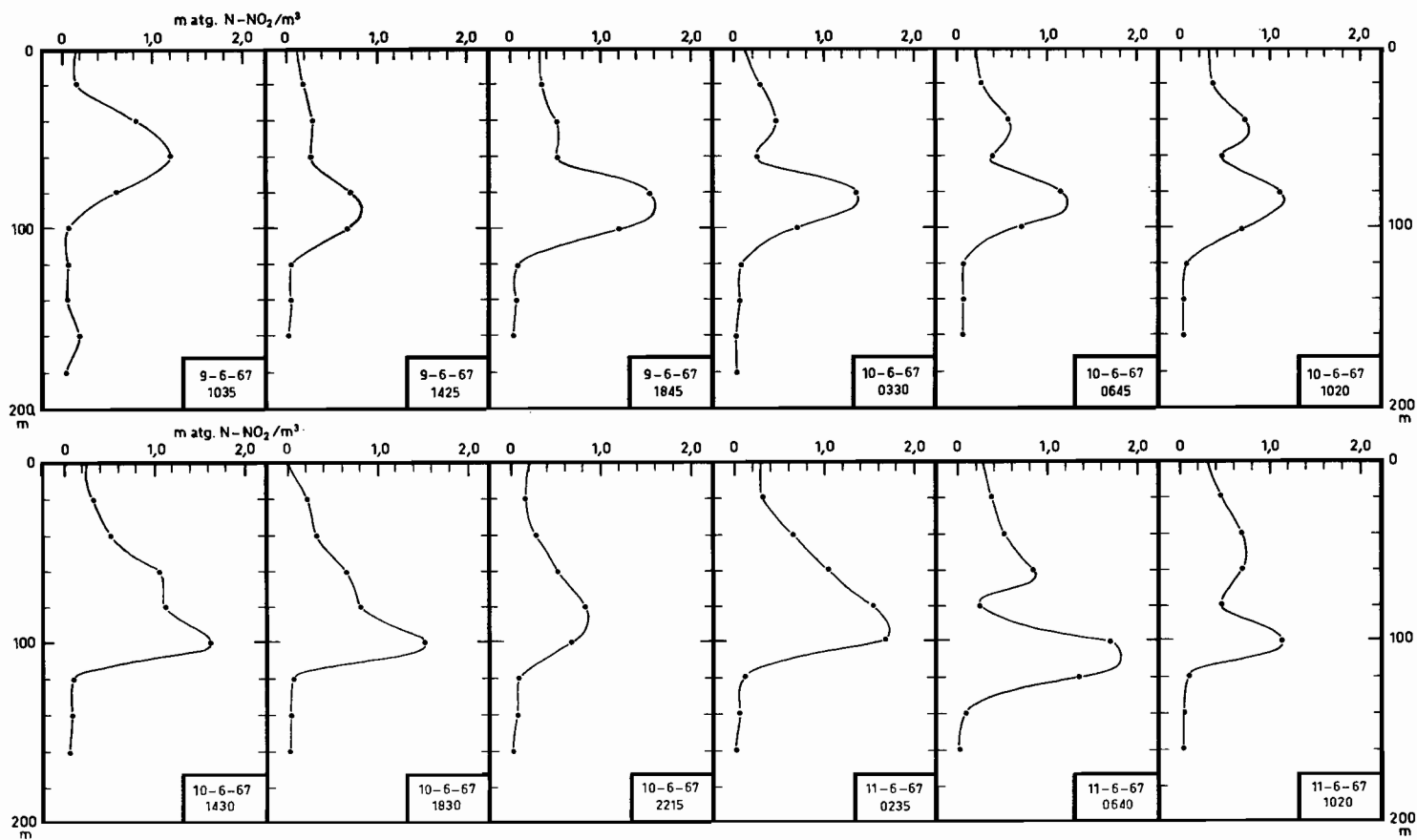


Fig. 7. — Distribution verticale du nitrite (mg N-NO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>) pendant une station de 48 heures à l'équateur et à 170°E, en juin 1967.

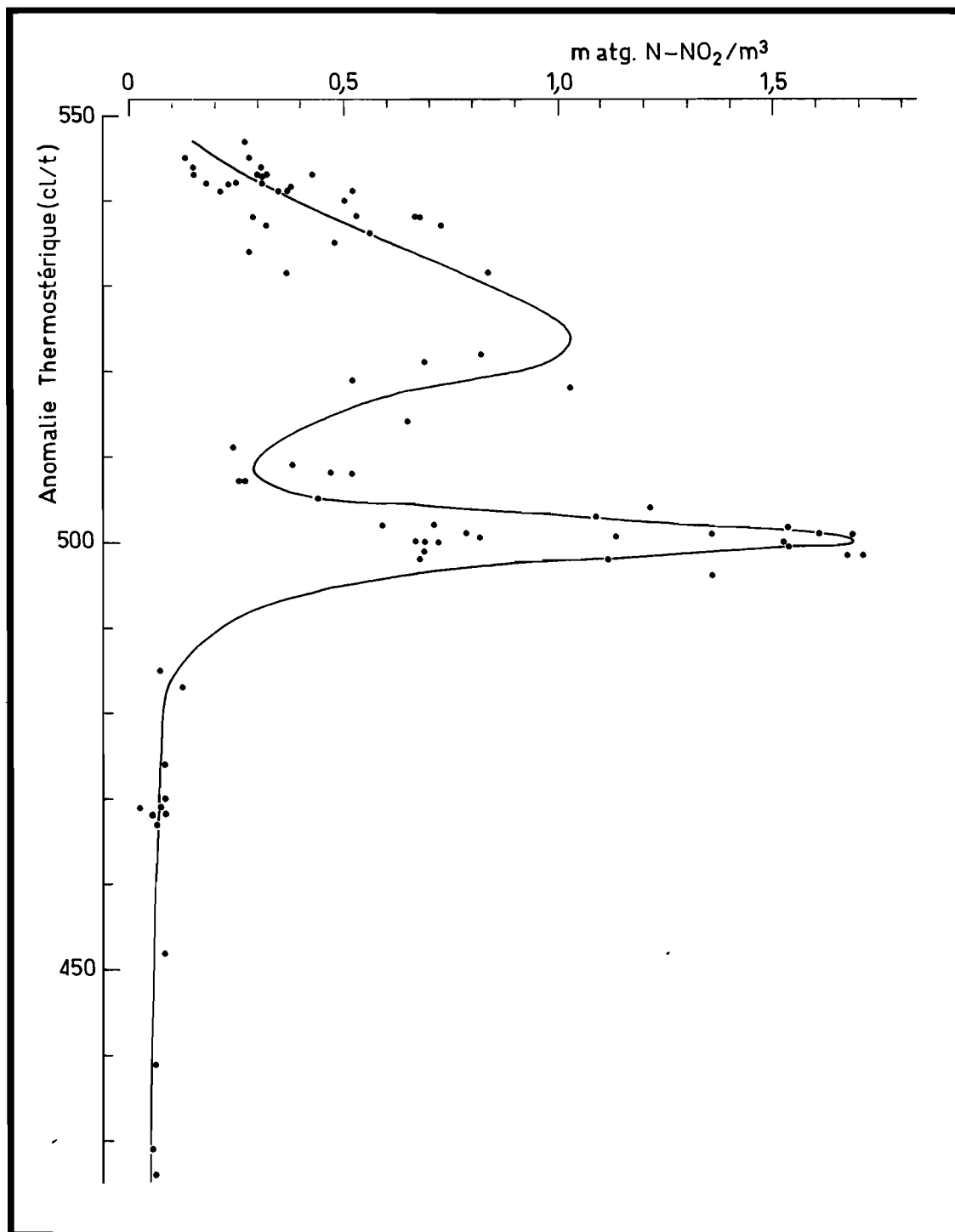


Fig. 8. — Distribution du nitrite (matg N-NO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>) en fonction de l'anomalie thermostérique, pendant une station de 48 heures à l'équateur et à 170°E, en juin 1967.

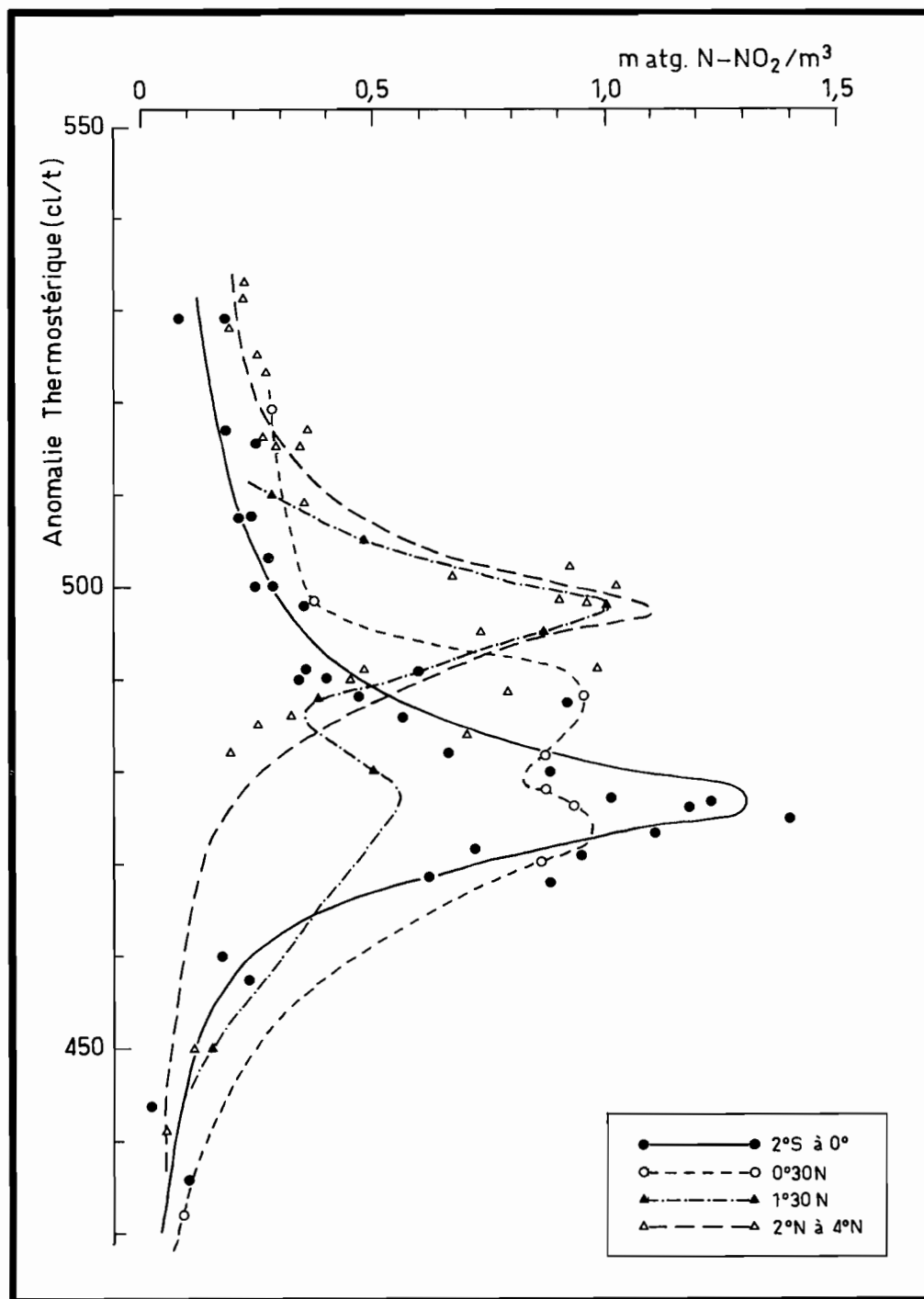


Fig. 9. — Distribution du nitrite (matg N-NO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>) en fonction de l'anomalie thermostérique le long de 170°E, en avril 1968 (C. 7<sub>4</sub>).

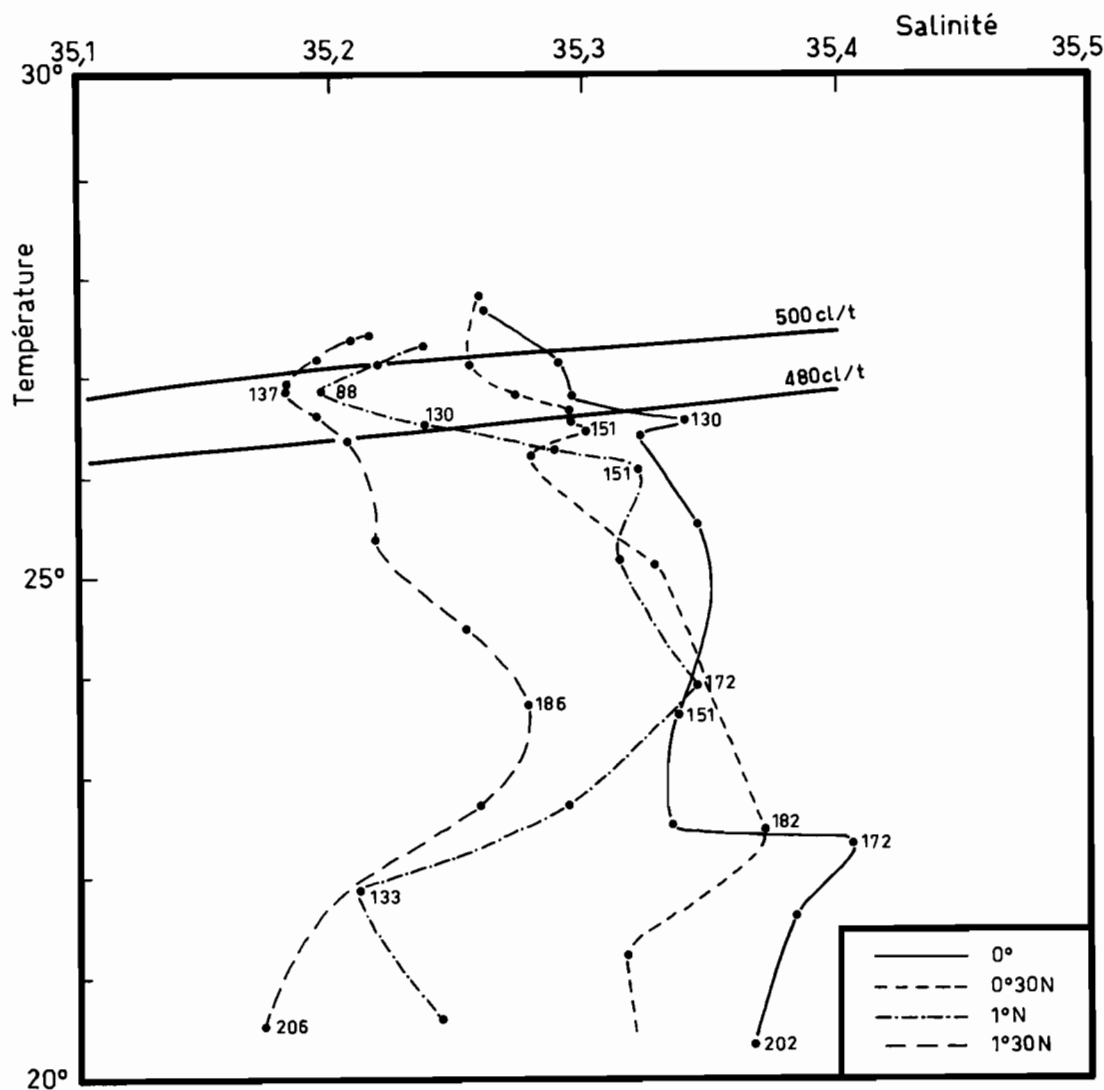


Fig. 10. — Diagramme T.S. aux stations 0°, 0°30N, 1°N et 1°30N en avril 1968 (C. 7<sub>2</sub>).

### NITRITE ET MINÉRALISATION

Les deux premières croisières C. 2 et C. 3 en mars et avril 1967, représentent deux exemples extrêmes de situation physico-chimique à l'équateur, comme en témoignent les coupes de nitrite (fig. 1). Les figures 5 et 6 illustrent en fonction de la latitude les teneurs moyennes dans une colonne d'eau superficielle de nitrite, nitrate, phosphate et phosphate reminéralisé, ce dernier symbolisant la minéralisation.

A la croisière C. 2, exemple d'upwelling équatorial particulièrement intense, le maximum de nitrite est le plus accentué aux stations où le phosphate marque un enrichissement et où la minéralisation est plus intense (fig. 5). La campagne C. 3 où la divergence équatoriale est absente, est marquée par un appauvrissement à l'équateur en nitrite, nitrate, phosphate et phosphate reminéralisé. Les stations montrant un enrichissement des sels nutritifs et une minéralisation plus intense de part et d'autre de l'équateur sont le siège de mouvements ascendants subsuper-

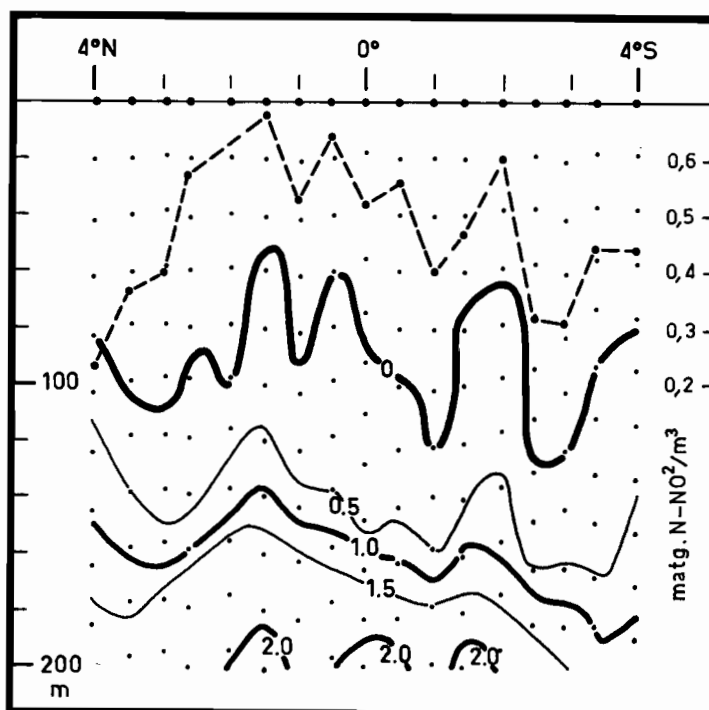


Fig. 11. — Distribution méridienne de l'UAO (ml/l) et de la teneur moyenne dans une colonne d'eau comprise entre la surface et l'isanostrère 400 cl/t du nitrite (matg N-NO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>) en mars 1967 (C. 2) le long de 170°E.

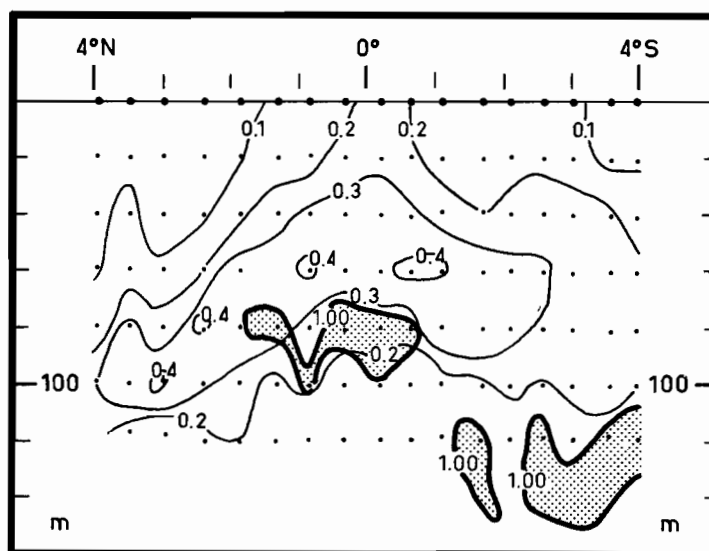


Fig. 12. — Distribution méridienne de la chlorophylle *a* (mg/m<sup>3</sup>) en juin 1967 (C. 4), le long de 170°E. On a représenté les noyaux de concentrations de nitrite supérieures à 1,00 matg N-NO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>.

ficiels (fig. 2-C. 3). La couche d'accumulation de nitrite est toujours présente, mais elle n'est pas affectée par des mouvements ascendants ramenant le nitrite jusqu'en surface. La matière organique azotée accumulée au-dessus de la thermocline pourrait être soumise aux mêmes mouvements

ascendants et minéralisée dans les couches superficielles riches en oxygène : on expliquerait ainsi les fortes teneurs de nitrite en présence d'une divergence.

La distribution de l'UAO est aussi directement fixée par le système des convergences et divergences. Bien que l'emploi de l'UAO pour évaluer la minéralisation ne soit pas rigoureusement exact dans les couches superficielles, elle donne des résultats compatibles avec la situation hydrologique et physico-chimique. Le tracé de la profondeur de compensation (UAO = 0) à C. 2 (fig. 11) suit de façon très satisfaisante la distribution méridienne moyenne du nitrite, traduisant une relation entre le nitrite et le processus de minéralisation : dans une zone de divergence, la profondeur de compensation diminue, et la quantité de matière organique minéralisée sur place augmente, pour une même hauteur de colonne d'eau.

La détermination de la chlorophylle *a* à la croisière C. 4 (fig. 12) a confirmé la relation nitrite-populations phytoplanctoniques à l'équateur, signalée par HISARD et PITON (1969). Les teneurs en chlorophylle *a* supérieures à 0,30 mg/m<sup>3</sup>, couvrent une aire importante située au-dessus de la couche d'accumulation de nitrite, repérée par les noyaux de concentrations supérieures à 1,00 matg N-NO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>. Les teneurs élevées de chlorophylle *a* traduisent une fertilité accrue des eaux dans une zone d'upwelling.

### CONCLUSION

Le nitrite, par sa distribution verticale particulière, différente de celle des autres sels nutritifs, peut être un excellent traceur des masses d'eau. Les coupes méridiennes de nitrite confirment la circulation extrêmement complexe de la zone équatoriale : la structure en noyaux met clairement en évidence la juxtaposition des divergences et convergences alimentant les cellules de circulation. La dissymétrie dans la répartition du nitrite de part et d'autre de l'équateur illustre le balancement saisonnier du système des courants équatoriaux et le rôle de la circulation méridienne sur la distribution du nitrite.

L'enrichissement en nitrite de la couche superficielle d'une colonne d'eau siège du phénomène de divergence s'explique par la remontée et la diffusion de la couche d'accumulation reposant sur la thermocline. Mais le fait que la quantité moyenne de nitrite dans cette colonne d'eau soit plus grande en présence d'une divergence que d'une convergence suggère que la matière organique azotée reprise par les mouvements ascendants a pu être oxydée en nitrite au contact des couches superficielles plus riches en oxygène.

Dans la région équatoriale riche en pigments chlorophylliens, le maximum primaire de nitrite semble plutôt être le résultat d'un processus de minéralisation de la matière organique. La théorie de Miyake expliquant l'existence d'une couche d'accumulation par des conditions du milieu réglant les cinétiques de formation et de disparition du nitrite est compatible avec nos observations.

## BIBLIOGRAPHIE

- BRANDHORST (W.), 1959. — Nitrification and denitrification in the eastern tropical north Pacific. *J. Cons. Internation. Explor. Mer*, 25, 3-20.
- BURKOV (V. A.), OVCHINNIKOV (I. M.), 1960. — Structure of zonal streams and meridional circulation in the central Pacific during the Northern Hemisphere winter. *Trudy Inst. Okeanol. Akad. Nauk. S.S.S.R.*, 40, 93-107 (en russe).
- FIADAIRO (M.), STRICKLAND (J. D. H.), 1968. — Nitrate reduction and the occurrence of a deep nitrite maximum in the ocean of the west coast of south America. *J. Mar. Res.*, 26, 187-201.
- GOERING (J. J.), 1968. — Denitrification in the oxygen minimum layer of the eastern tropical Pacific ocean. *Deep sea Res.*, 15, 157-164.
- GREEN (E. J.), CARRITT (D. E.), 1967. — New tables for oxygen saturation of sea water. *J. Mar. Res.*, 25, 140-147.
- HISARD (Ph.), PITON (B.), 1969. — La distribution du nitrite dans le système des courants équatoriaux de l'Océan Pacifique, à 170°E. *J. Cons. Internation. Explor. Mer.*, 32 (3), 303-317.
- MIYAKE (Y.), WADA (E.), 1968. — The nitrogen cycle in the sea. *Rec. Oceanogr. Works in Japan*, 9, 197-208.
- ROTSCHI (H.), 1968. — Remontée d'eau froide et convergence à l'équateur dans le Pacifique Occidental. *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 267, 1459-1462.
- STRICKLAND (J. D. H.), PARSONS (T. R.), 1968. — A practical handbook of sea water analysis. *Fish. Res. Board Canada*, Bulletin 167, 311 p.
- THOMAS (W. H.), 1966. — On denitrification in the northeastern tropical Pacific ocean. *Deep Sea Res.*, 13, 1109-1114.
- VACCARO (R. F.), 1961. — The oxidation of ammoniac in sea water. *J. Cons. Internation. Explor. Mer*, 27, 1-14.
- VACCARO (R. F.), RYTHIER (J. H.), 1960. — Marine phytoplankton and the distribution of nitrite in the sea. *J. Cons. Internation. Explor. Mer*, 25, 260-271.
- WOOSTER (W. S.), 1967. — Further observations on the secondary nitrite maximum in the northern equatorial Pacific. *J. Mar. Res.*, 25, 154-161.
- WOOSTER (W. S.), CHOW (T. J.), BARRETT (I.), 1965. — Nitrite distribution in Peru current waters. *J. Mar. Res.*, 23, 210-221.



## QUELQUES ASPECTS DE LA DISTRIBUTION DE LA PRODUCTION PRIMAIRE LE LONG DU MÉRIDIEN 170° E ENTRE 20° S ET 5° N

par J. LE BOURHIS † et B. WAUTHY\*

### RÉSUMÉ

*Les mesures de production in situ et les déterminations spectrophotométriques de pigment effectuées au cours de cinq croisières du N.O. Coriolis ont permis de décrire quelques aspects de la production primaire le long du méridien 170°E entre 20°S et 5°N.*

*La quantité totale de chlorophylle a par mètre carré était maximale dans la zone équatoriale (3°N-3°S: 24,28 mg/m<sup>2</sup>, 3°N-5°N: 15,65 mg/m<sup>2</sup>, 3°S-18°S: 21,03 mg/m<sup>2</sup>). La production avait une distribution similaire (0,16-0,31 gC/m<sup>2</sup>/jour dans la zone équatoriale contre 0,05-0,10 gC/m<sup>2</sup>/jour au nord ou au sud). Dans toute la zone étudiée, il y avait plus de chlorophylle a dans la couche 50-100m, près du gradient en sels nutritifs, que dans la couche de surface (0-50 m) appauvrie. Les rapports des caroténoïdes à la chlorophylle a les plus bas se trouvaient à 75 et 100 m.*

*Les contrastes les plus marqués quant à la teneur en chlorophylle a ont été notés dans la couche superficielle (0-50 m). Les rapports des caroténoïdes à la chlorophylle a étaient plus faibles dans les zones riches en chlorophylle a et peu différents de ceux à 75 et 100 m. L'accroissement des teneurs en chlorophylle a et en même temps la diminution des rapports des caroténoïdes à la chlorophylle a dans la couche superficielle à l'équateur, à 10°S et à 20°S sont dus à l'enrichissement de la couche euphotique par des divergences.*

*Ainsi, les traits principaux de la production primaire correspondaient à ceux des propriétés physico-chimiques qui étaient gouvernées par l'alternance zonale de courants vers l'ouest et de contre-courants vers l'est.*

### ABSTRACT

*It was possible to depict some aspects of the primary production along 170°E between 20°S and 5°N from in situ measurements and spectrophotometric pigment determinations performed during five cruises of N.O. Coriolis. The highest amount of chlorophyll a per square meter occurred in the equatorial zone (3°N-3°S: 24.28 mg/m<sup>2</sup>, 3°N-5°N: 15.65 mg/m<sup>2</sup>, 3°S-18°S: 21.03 mg/m<sup>2</sup>). There was a similar distribution for production (0.16-0.31 gC/m<sup>2</sup>/day in the equatorial zone compared*

\* Océanographe. Centre ORSTOM de Nouméa (Nouvelle-Calédonie).

26 JUIN 1986

~~O. R. S. T. O. M. Fonds Documentaire~~

~~N° : 20 523~~

~~Cote : A~~

to 0.05-0.10 gCm<sup>2</sup>/day either south or north). In the whole area chlorophyll a was higher in the 50-100 m layer, near the nutrient gradient, than in the nitrate depleted surface layer (0-50 m). The lowest carotenoid to chlorophyll a ratios occurred at 75 and 100 meters. The greatest contrast were observed in the surface layer (0-50 m) between zones with high and low chlorophyll a. Carotenoid to chlorophyll a ratios were lower where chlorophyll a values were higher and not very different from 75 and 100 meters values. Increase in chlorophyll a and simultaneous decrease in carotenoid to chlorophyll a ratio in the surface layer at the equator, 10°S and 20°S, are caused by nutrient replenishment of the euphotic layer due to divergences.

Thus the main features of the primary production matched those of the physical and chemical properties which were ruled by the zonal alternation of westward currents and eastward countercurrents.

## INTRODUCTION

Des mesures du taux de photosynthèse et des déterminations spectrophotométriques de teneurs en pigments ont été effectuées le long du méridien 170°E entre 20°S et 5°N au cours de cinq croisières du « N.O. Coriolis », du Centre ORSTOM de Nouméa.

Au cours des croisières Bora 1 (novembre-décembre 1965), Bora 3 (juin-juillet 1966) et Bora 4 (septembre-octobre 1966), les mesures ont porté sur le taux de photosynthèse entre la surface et 150 mètres ainsi que sur la teneur en pigments d'échantillons prélevés entre la surface et 200 mètres.

Au cours des croisières Cyclone 2 (mars 1967) et Cyclone 4 (mai-juin 1967) les mesures ont été limitées à des déterminations de teneurs en pigments sur des échantillons prélevés entre la surface et 100 mètres, mais en des stations plus proches les unes des autres dans l'espace et dans le temps qu'au cours des croisières Bora.

Les résultats, répertoriés dans deux rapports scientifiques (LE BOURHIS, WAUTHY, AMADEO, 1967 ; LE BOURHIS, WAUTHY, PAGES, 1967) ont été traités dans leur ensemble pour essayer de dégager les traits essentiels de la distribution de la production primaire de la zone étudiée.

## 2. MÉTHODES

### 2.1. Détermination spectrophotométrique des pigments.

La méthode de RICHARDS et THOMPSON (1952) a été utilisée avec quelques modifications : filtration de grands volumes d'eau, de l'ordre de dix à vingt litres en deux fois sur filtre millipore HA avec addition de carbonate de magnésium et emploi de cuves de 10 centimètres de trajet optique et de contenance 5 millilitres. Les teneurs en chlorophylles *a*, *b* et *c* ont été calculées d'après les formules de résolution trichromatique de PARSONS et STRICKLAND (1963).

L'étude statistique de 83 paires de mesures lors de la croisière Bora 4 a montré que les erreurs relatives étaient distribuées à peu près normalement et qu'au seuil de probabilité 0,05, dans la gamme 0,05-0,20 mg/m<sup>3</sup>, la chlorophylle *a* était mesurée à  $\pm 7$  %.

### 2.2. Mesure du taux de photosynthèse.

La méthode de STEEMANN NIELSEN (1952) a été appliquée au cours des croisières Bora avec incubation « in situ » des échantillons, deux « clairs » et un « obscur » par profondeur, entre 07.00 TL et 12.00 TL. Lorsque l'activité d'un échantillon « obscur » paraissait excessive, une valeur moyenne tirée des autres échantillons obscurs était utilisée pour calculer l'activité nette.

L'étude statistique de 63 paires de mesures lors des croisières Bora a montré que les erreurs relatives étaient distribuées à peu près normalement et qu'au seuil de probabilité 0,05, dans la gamme 0,05-0,90 mgC/m<sup>3</sup>/h, la production était mesurée à  $\pm 40$  %.

### 2.3. Traitement des résultats.

Bien que les croisières aient été prévues pour l'étude des variations saisonnières, il apparut très vite que les situations observées évoluaient à court terme (une dizaine de jours entre l'aller et le retour lors de Bora 3) et même à très court terme (stations de 24 et 48 heures lors des Cyclone), en liaison étroite avec la divergence à l'équateur, dont les effets dépendaient des conditions de vent du moment ou des jours précédents.

L'étude hydrologique de ces croisières ayant montré qu'au-delà des variations à court terme il subsistait un certain nombre de traits constants (divergence à l'équateur, alternance de courants zonaux de l'équateur au tropique) il nous a semblé important d'étudier l'ensemble de nos données de biomasse phytoplanctonique (chl. *a*), à la recherche de traits analogues. En conséquence, les stations n'ont pas été étudiées une à une, mais rassemblées suivant la latitude en groupes couvrant un degré. Chaque groupe, caractérisé par la moyenne, la dispersion, et le nombre de ses mesures a été comparé aux groupes adjacents et des fusions de groupes ont été effectuées jusqu'à obtenir des différences significatives au seuil de probabilité 0,05.

## 3. DISTRIBUTION DES PIGMENTS

### 3.1. Chlorophylle *a*.

Le profil des distributions verticales de la chl. *a* observé au cours de ces croisières était caractérisé par un maximum situé entre 50 et 100 m en dehors de la zone équatoriale où il pouvait être uniforme de la surface à 75 m. En conséquence les quantités de chlorophylle *a* par mètre carré ont été calculées pour les couches 0-50 m, 0-100 m et 0-200 m (croisières Bora) et présentées dans la figure 1. Pour juger de la validité des variations observées, les résultats ont été traités comme il est indiqué au paragraphe 2. 3. et ont conduit au tableau I.

Ce tableau montre, par couche, le regroupement des stations en fonction de la latitude nécessaire pour obtenir des moyennes significativement différentes au seuil de probabilité 0,05 d'un groupe à l'autre. A l'intérieur de chaque bloc sont donnés de haut en bas : la quantité moyenne de chl *a* en mg/m<sup>2</sup>, le nombre des valeurs utilisées, et la somme des carrés des écarts de ces valeurs à la moyenne correspondant à un groupe. Le seuil de signification de la différence des moyennes entre deux groupes est précisé sous la séparation entre les blocs.

L'examen de ce tableau fait ressortir les faits suivants :

— à toute latitude il y a une concentration de la chl *a* dans la couche 50-100 m, avec un léger maximum dans la zone 2°N-3°S.

— si l'on considère la couche 0-200 m (croisières Bora) de 5°N à 18°S, seule la zone équatoriale 3°N-3°S est significativement plus riche.

— si l'on se restreint à la couche 0-100 m, en plus d'un maximum équatorial nous voyons apparaître un minimum dans la zone 12°S-16°S.

— les variations les plus marquées sont trouvées dans la couche 0-50 m ; il y a des zones riches et des zones pauvres, avec un maximum absolu à l'équateur et des maxima relatifs vers 10°S et 20°S alternant avec des minima (5°N-3°N, 5°S-8°S, 12°S-16°S).

Ce traitement des données conduit au schéma de la figure 2 où chaque palier est significatif.

### 3.2. Rapports des chlorophylles.

Les rapports des chlorophylles *b* et *c* à la chlorophylle *a* ont été comparés sur des échantillons prélevés à différentes profondeurs mais ayant tous une teneur de 0,20 mg/m<sup>3</sup> en chlorophylle *a* (à ± 0,02 près) dans le souci de conserver un bon niveau de précision.

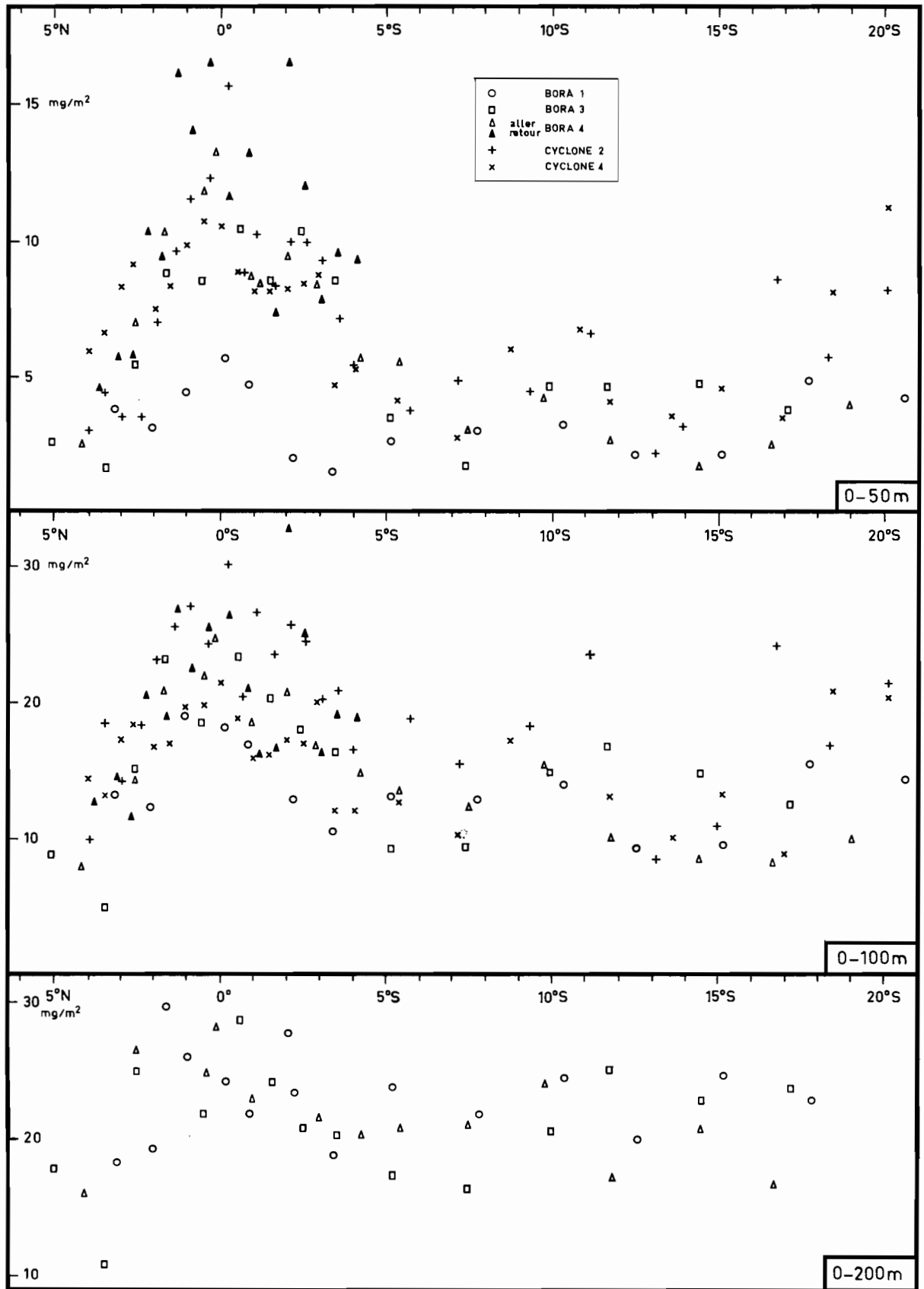
Fig. 1. — Chlorophylle *a* (mg/m<sup>2</sup>) le long du 170°E.

TABLEAU I

Quantités moyennes de chlorophylle *a* en mg/m<sup>3</sup>

0-200 m

5°N	3°N	3°S	18°S
15,65 4 35,69	24,28 18 201,42	21,03 21 150,54	
P	<0,01	<0,01	

BORA 1, 3, 4

0-100 m

5°N	3°N	2°N	3°S	12°S	16°S	20°S
11,80 10 137,46	15,85 10 72,52	21,18 46 788,56	14,88 30 362,77		10,49 8 36,57	15,53 11 300,76
P	<0,05	<0,01	<0,01		<0,02	<0,05

BORA 1, 3, 4 et CYCLONE 2, 4

0-50 m

5°N	3°N	2°N	3°S	5°S	8°S	12°S	16°S	20°S
4,07 10 24,74	6,35 10 56,72	10,32 42 263,66	7,24 10 31,40	3,46 10 11,26	4,91 9 11,63	2,92 9 9,90	5,79 11 74,75	
P	<0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	

50-100 m

5°N	2°N	3°S	20°S
8,60 19 138,76		11,39 46 336,12	9,49 49 339,65
P		<0,01	<0,01

Les valeurs moyennes du rapport *b/a* calculées pour des échantillons prélevés en surface et à dix mètres (0,21), à 50 m (0,28), à 75 m (0,39), à 100 m (0,53) et à 125 m (0,68) étaient significativement différentes les unes des autres au seuil de probabilité 0,05. Il y aurait donc augmentation de ce rapport avec la profondeur croissante.

La même étude statistique effectuée sur les valeurs du rapport *c/a* ne permet pas de conclure à des différences significatives au seuil 0,05 d'un niveau à l'autre mais la valeur moyenne (0,58) pour l'ensemble des échantillons des niveaux superficiels (0 m, 10 m et 50 m) était au seuil 0,01 significativement inférieure à la valeur moyenne (0,72) pour l'ensemble des niveaux plus profonds (75 m, 100 m et 125 m).

### 3.3. Rapport D 480/D 665.

Selon PARSONS et STRICKLAND (1963), la concentration en caroténoïdes d'un extrait de phytoplancton marin serait proportionnelle à sa densité optique à 480 millimicrons ; comme

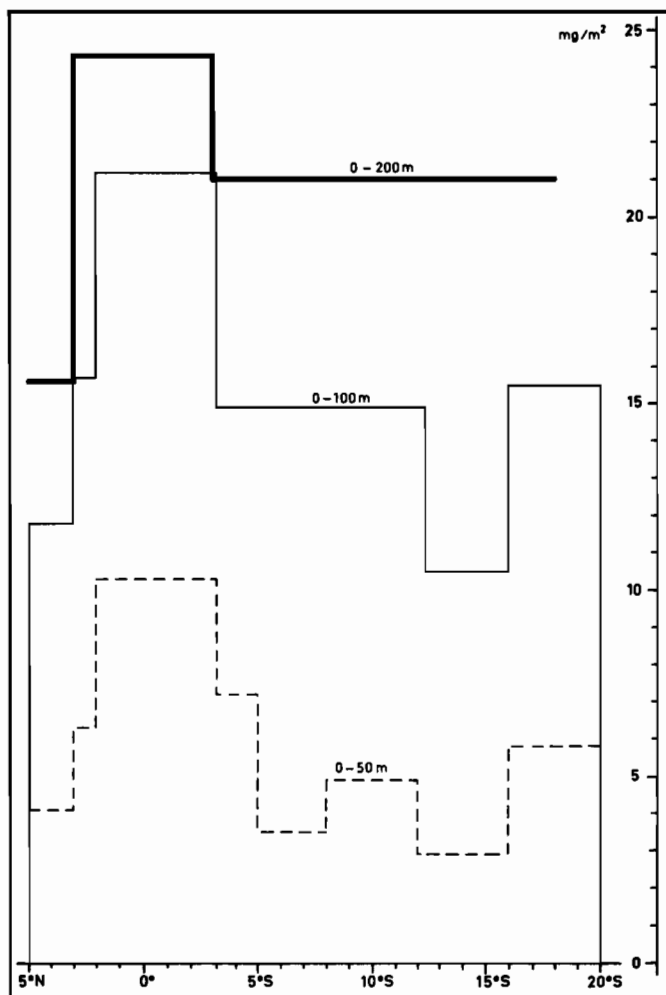


Fig. 2. — Distribution schématique de la chl *a* ( $\text{mg}/\text{m}^2$ ) après analyse des données de la figure 1.

par ailleurs la concentration en chl *a* de cet extrait est approximativement proportionnelle à sa densité optique à 665 millimicrons, le rapport de ces deux densités,  $D_{480}/D_{665}$  peut être utilisé comme indice reflétant le rapport des caroténoïdes à la chlorophylle *a*.

Les valeurs de ce rapport en chaque station et à cinq niveaux différents sont présentées dans la figure 3. La variabilité des valeurs des niveaux superficiels et l'homogénéité des valeurs des niveaux profonds sont nettement apparentes. Nous avons traité ces résultats suivant le processus indiqué au paragraphe 2.3 et précisé au paragraphe 3.1 et nous avons obtenu des différences significatives par niveau suivant la latitude. Une comparaison des valeurs moyennes de niveau à niveau nous a conduit au schéma du tableau II où toutes les moyennes sont différentes de bloc à bloc au niveau de probabilité 0,01.

L'examen de ce tableau montre que :

— les valeurs des niveaux profonds sont homogènes quelle que soit la latitude, puisqu'aucune différence significative n'a pu être mise en évidence au niveau 100 m et que seule la zone 3°N-11°S est caractérisée par une valeur sensiblement inférieure au niveau 75 m.

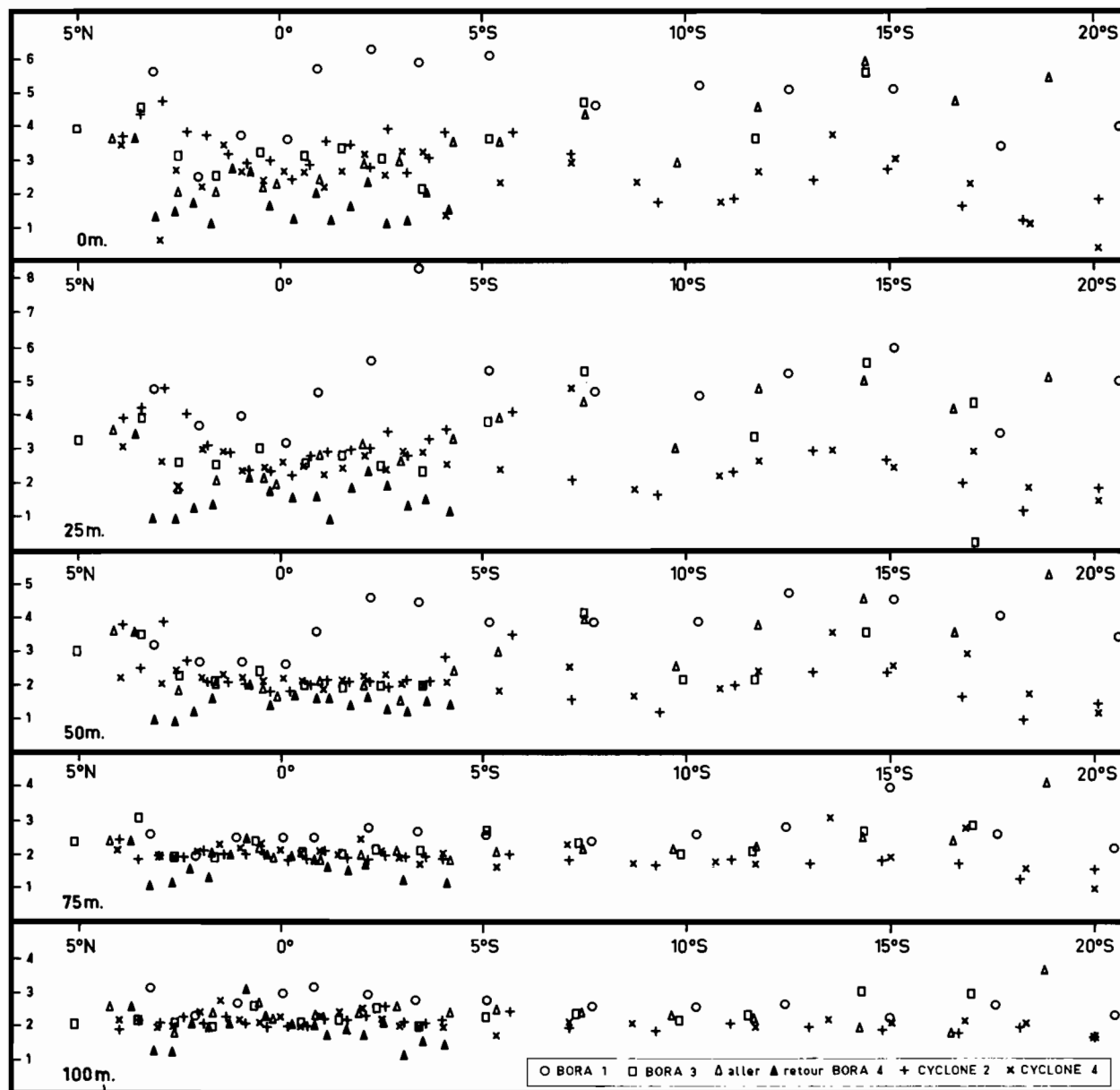


Fig. 3. — Rapports des densités optiques  $D_{480}/D_{665}$  à cinq niveaux le long du 170°E.

— il y a alternance des valeurs aux niveaux superficiels ; les zones à valeurs maximales étant 5°N-3°N, 5°S-8°S, 11°S-16°S, et celles à valeurs minimales 3°N-5°S, 8°S-11°S, 16°S-20°S.

— les distributions verticales du rapport sont de deux types :

- + valeurs relativement homogènes de la surface à 100 m dans les zones à minimum superficiel
- + valeurs superficielles nettement supérieures aux valeurs profondes dans les zones à maximum superficiel.

TABLEAU II

Valeurs moyennes du rapport D480/D665 entre la surface et 100 m

	5°N	3°N	5°S	8°S	11°S	16°S	20°S
0 m		0,01 2,50 117 64,39	0,01 3,58 27 24,83		0,01 3,79 33 47,06	0,01 2,79 31 66,65	
25 m	3,30 29 29,30	0,01 1,98 156 22,02	0,01 2,17 144 34,04		0,01	0,01	
50 m	0,01						
75 m							
100 m							

## 4. DISTRIBUTION DU TAUX DE PHOTOSYNTHÈSE

Les mesures du taux de fixation du carbone par le phytoplancton ont été effectuées « in situ » à sept ou huit niveaux échelonnés de la surface à 150 m au cours des croisières Bora, de 07.00 à 12.00 TL. Les valeurs de production primaire en gC/m<sup>2</sup>/jour ont été calculées en extrapolant ces mesures à une durée arbitraire de 10 heures pour les colonnes 0-50 m et 0-100 m. Étant donné que nous n'avons obtenu que quelques valeurs positives faibles à 125 m, les valeurs de production par unité de surface pour la colonne 0-100 m représentent l'essentiel de la production pour toute la colonne d'eau. Ces valeurs sont présentées figure 4.

Une analyse statistique des valeurs obtenues a conduit au tableau III qui donne, par croisière et pour les couches 0-50 m et 0-100 m, les valeurs extrêmes et moyennes correspondant à des zones en latitude dont les moyennes sont significativement différentes au seuil de probabilité précisé. Ce tableau montre que seule une zone équatoriale étroite couvrant 3° de latitude de chaque côté de l'équateur est caractérisée par une production significativement supérieure à celle du reste de la radiale étudiée, la différence étant plus marquée dans la couche 0-50 m que dans la couche 0-100 m.

TABLEAU III

Production journalière en gramme de carbone fixé par mètre carré pour dix heures

		17°37S-02°09S	P	00°50S-03°12N
BORA 1	0-50 m	(0,03/0,047/0,06)	<0,01	(0,08/0,094/0,12)
	0-100 m	(0,06/0,093/0,14)	<0,02	(0,13/0,158/0,20)

TABLEAU III (suite)

		17°00S-11°35S	P	02°25S-02°36N	P	03°30N-05°04N
BORA 3	0-50 m	(0,04/0,053/0,07)	<0,01	(0,09/0,110/0,15)	<0,05	(0,05/0,055/0,07)
	0-100 m	(0,06/0,093/0,11)	<0,01	(0,12/0,163/0,19)	<0,05	(0,05/0,090/0,13)
		05°18S-04°08S	P	02°52S-02°35N		
BORA 4	0-50 m	(0,03/0,042/0,05)	<0,05	(0,14/0,232/0,39)		
	0-100 m	(0,04/0,055/0,07)	<0,05	(0,19/0,313/0,51)		

## 5. DISCUSSION

Quelques propriétés physico-chimiques ont été choisies pour illustrer l'observation qui a servi de point de départ à cette étude, à savoir qu'au-delà des variations dans le temps il subsiste des traits constants dans la distribution en fonction de la latitude (MERLE, ROTSCHI et VOITURIEZ, sous presse). La figure 5 présente le profil dynamique de la surface par rapport à 1000 décibars au cours des croisières Bora. Nous y voyons nettement une alternance de points bas traduisant des divergences vers 0°, 11°S et 20°S, et de points hauts correspondant à des convergences vers 5°N, 6°S et 16°S. Ceci indique qu'il y a une certaine permanence d'un système de courants zonaux plus complexe que celui qui est classiquement admis. Nous avons ici deux courants portant à l'ouest, l'un équatorial entre 5°N et 6°S, l'autre couvrant la zone 11°S-16°S et deux contre-courants portant à l'est, l'un couvrant 6°S-11°S, l'autre 16°S-20°S.

Une conséquence directe de ce système dynamique est que l'épaisseur de la couche homogène varie suivant la latitude ; elle est faible au voisinage des divergences et augmente au niveau des convergences comme le montre la figure 6 où sont portées les profondeurs de la limite supérieure de la thermocline au cours des Bora. Cette thermocline isole la couche superficielle homogène des couches profondes beaucoup plus riches en sels nutritifs ; cependant au niveau des divergences il y a une diffusion importante des sels nutritifs vers la surface ; ce fait est mis en évidence par la figure 7.

Cet enrichissement de la surface se traduit par une biomasse plus importante dans les zones de divergences comme nous l'avons montré d'après les mesures de chlorophylle *a* (figure 2, surtout couche 0-50 m).

Cet enrichissement se traduirait aussi par un meilleur état physiologique des cellules phytales dans les zones de divergence. Le rapport des carotenoides à la chlorophylle *a* pourrait servir à apprécier cet état physiologique. Le tableau II fait ressortir que ce rapport est plus élevé pour la couche 0-50 m dans les zones correspondant aux convergences où une certaine déficience en azote est possible, que dans les zones de divergence où les teneurs en azote sont généralement suffisantes. Remarquons en outre qu'aux niveaux 75 et 100 m, à la base de la couche euphotique, où les teneurs en nitrate sont élevées, le rapport est uniformément faible pour toute la radiale ; ce fait va dans le sens du mécanisme, évoqué par YENTSCH et VACCARO (1958), de restauration de l'état physiologique de cellules déficientes dans les couches superficielles qui, en s'enfonçant, pénètrent dans les couches profondes, riches en sels nutritifs, mécanisme que nous avons rencontré dans le Pacifique sud tropical (WAUTHY et LE BOURHIS, 1966).

En ce qui concerne la production primaire, si le nombre de stations « in situ » est insuffisant pour mettre en évidence des différences significatives en fonction de la latitude correspondant dans le détail aux zones délimitées par les autres caractères, la figure 4 semble confirmer l'existence de deux zones à forte production centrée sur 0° et 10°S avec un net fléchissement vers 5°S.

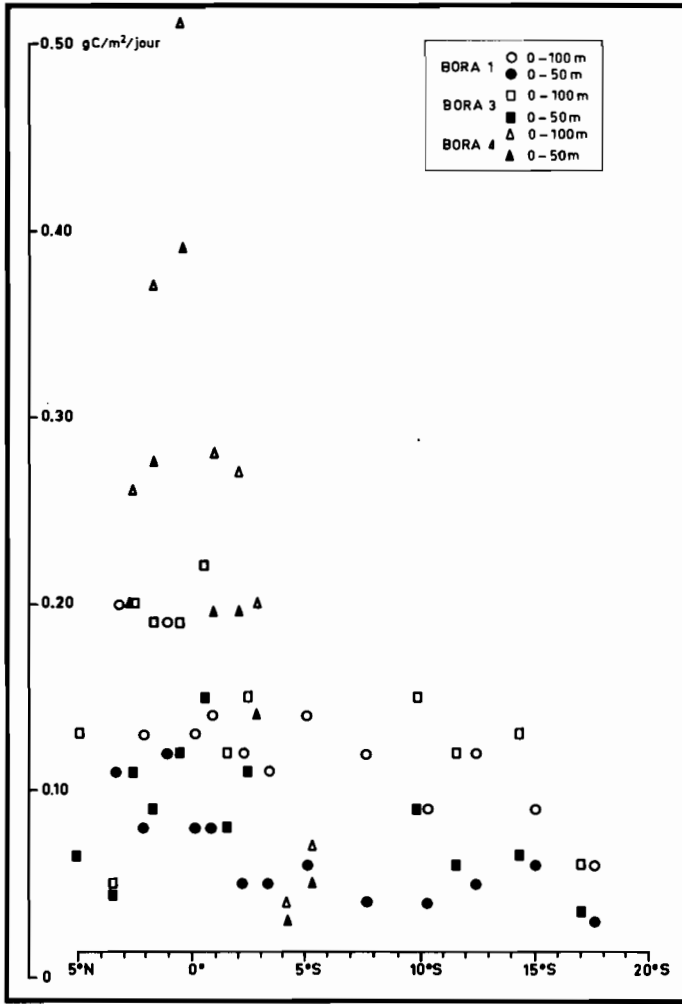
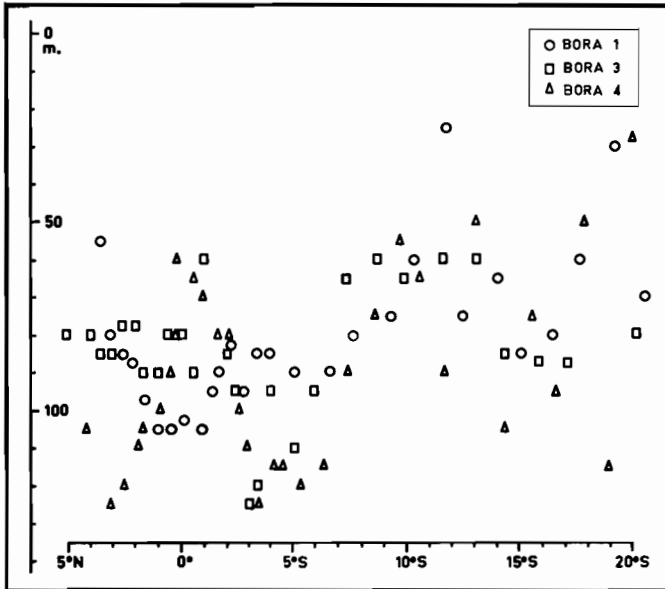


Fig. 4. — Production primaire ( $\text{gC/m}^2/\text{j}$ ) le long du 170°E.



← Fig. 6. — Profondeur (m) de la limite supérieure de la thermocline, le long du 170°E.

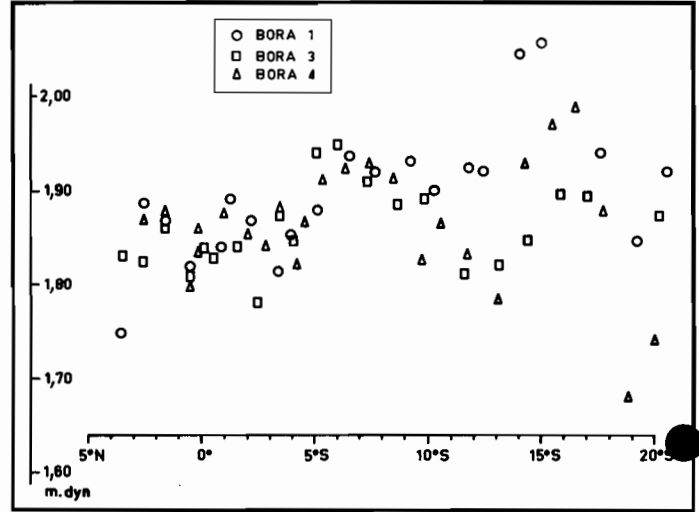


Fig. 5. — Hauteur dynamique (mdyn) de la surface par rapport à 1.000 db le long du 170°E.

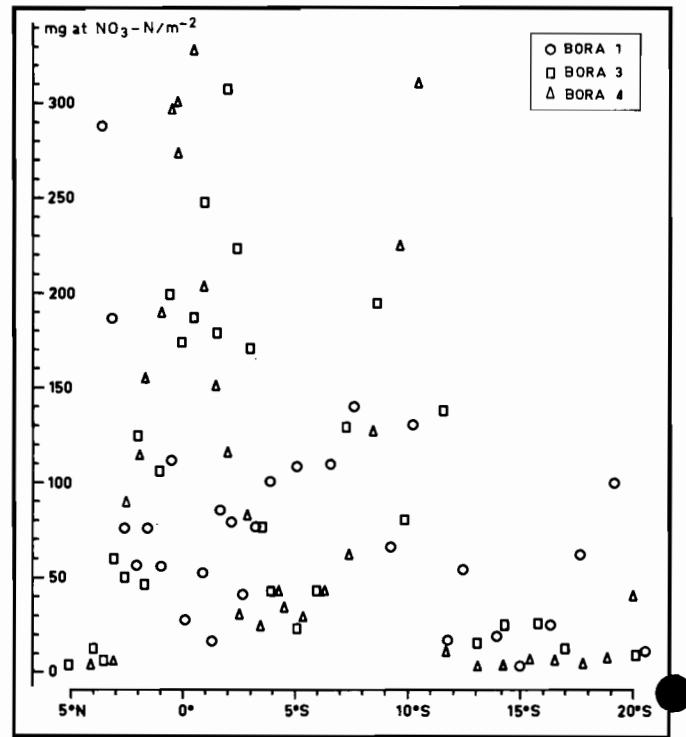


Fig. 7. — Nitrate ( $\text{mg at NO}_3\text{-N/m}^2$ ) entre la surface et 100 m, le long du 170°E.

## 6. CONCLUSION

L'étude détaillée des croisières entreprises par le « N.O. Coriolis » le long du méridien 170°E entre 20°S et 5°N a montré que la situation hydrologique y est très complexe et que les variations annuelles sont masquées ou bouleversées par les conditions météorologiques de surface (surtout les vents) aussi bien locales que plus à l'est ou à l'ouest puisqu'il s'agit d'une zone où l'advection des eaux superficielles intervient en permanence. Ce dernier fait nous a cependant permis d'établir quelques traits caractéristiques de cette situation hydrologique. Toute la radiale étudiée est en effet soumise en permanence à une circulation zonale, avec alternance de courants portant à l'ouest et de contre-courants portant à l'est. Aux frontières séparant ces courants il y a une circulation verticale importante ; c'est ainsi que nous trouvons des lignes de convergence vers 5°N, 6°S et 16°S et des lignes de divergence à l'équateur, vers 11°S et vers 20°S.

L'étude de l'ensemble des résultats de production primaire montre que ses traits caractéristiques correspondent à ceux de l'hydrologie ; nous avons en effet dans les zones de divergence enrichies en sels nutritifs des populations phytales en bon état physiologique se reproduisant activement alternant avec des populations moins denses souffrant vraisemblablement d'une déficience en azote, de productivité réduite, dans les zones de convergence.

## BIBLIOGRAPHIE

- LE BOURHIS (J.), WAUTHY (B.), AMADEO (M.), 1967. — Mesures de production primaire des croisières Bora 1, Bora 3 et Bora 4 du N.O. Coriolis. ORSTOM-Nouméa, Océanographie, *rapport multigr.* n° 14.
- LE BOURHIS (J.), WAUTHY (B.), PAGES (J.), 1967. — Mesures de production primaire des croisières Cyclone 2 et Cyclone 4 du N.O. Coriolis. ORSTOM-Nouméa, Océanographie, *rapport multigr.* n° 15.
- MERLE (J.), ROTSCHI (H.), VOITURIEZ (B.) (sous presse). — Zonal circulation in the Tropical Western South Pacific at 170°E. Volume jubilaire du Pr. UDA. *University Fish. Oceanogr.*, Tokyo.
- PARSONS (T. R.), STRICKLAND (J. D. H.), 1963. — Discussion of spectrophotometric determination of marine plant pigments, with revised equations for ascertaining chlorophylls and carotenoids. *J. Mar. Res.*, 21 (3).
- RICHARDS (F. A.), THOMPSON (T. G.), 1952. — The estimation and characterization of plankton populations by pigment analysis. II. A spectrophotometric method for the estimation of plankton pigments. *J. Mar. Res.*, 11 (2).
- STEEMANN NIELSEN (E.), 1952. — The use of radio-active carbon for measuring organic production in the sea. *J. Cons.*, 18 (2).
- WAUTHY (B.), LE BOURHIS (J.), 1966. — Considérations sur l'étude des pigments du phytoplancton marin en zone tropicale oligotrophe. *Cah. O.R.S.T.O.M., ser. Océanogr.*, IV (4), 3-19.
- YENTSCH (C. S.), VACCARO (R. F.), 1958. — Phytoplankton nitrogen in the oceans. *Limnol. and Oceanogr.*, 3 (4).



*LES LARVES PHYLLOSOMES*  
*DU GENRE PALINURELLUS VON MARTENS*  
*(Crustacés Décapodes : Palinuridae)*

Par A. MICHEL



BULLETIN DU MUSÉUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE

2<sup>e</sup> Série — Tome 41 — N<sup>o</sup> 5, 1969 (1970), pp. 1228-1237.

**LES LARVES PHYLLOSOMES  
DU GENRE PALINURELLUS VON MARTENS  
(Crustacés Décapodes : Palinuridae)**

Par A. MICHEL \*

**Introduction**

SIMS (1965) récolte dans les eaux des détroits de Floride et de Yucatan 31 larves phyllosomes présentant les caractères suivants :

- céphalon recouvrant en partie ou en totalité le périeron ;
- présence d'un rostre s'étendant au-dessus de courts pédoncules oculaires.

Les larves phyllosomes possédant ces caractères n'étaient connues qu'en peu d'exemplaires et avaient été auparavant décrites sous le nom de *Phyllamphion elegans* Reinhardt (lieu de capture : Phillipines) et de *Phyllamphion reinhardti* G. Belloc (lieu de capture : Antilles). Le lieu de capture, la présence du rostre, la longueur relative des segments du pédoncule antennulaire (BELLOC, 1959) permettaient de penser que ces larves ne pouvaient appartenir qu'aux genres *Puerulus* ou *Palinurellus*. Le genre *Puerulus* est inconnu des Antilles, et le genre *Palinurellus* von Martens (1878) n'est représenté que par deux espèces (HORTHUIS, 1965) : *Palinurellus wieneckii* (de Man, 1881), tropicale, indo-pacifique et *Palinurellus gundlachi* von Martens signalée aux Antilles, à Cuba et à la Barbade (SMITH, 1948). Aussi, SIMS a-t-il attribué les larves récoltées à l'espèce *Palinurellus gundlachi* et a-t-il conclu son étude en supposant que *Phyllamphion elegans* pouvait être attribué à *Palinurellus wieneckii*. JOHNSON (1968) décrit deux larves, récoltées aux Hawaii, semblables aux larves *Phyllamphion reinhardti* et introduit le genre *Justitia* comme genre adulte possible.

Au cours des croisières de 1965 à 1967 du N. O. « Coriolis », du Centre O.R.S.T.O.M. de Nouméa, parmi les organismes récoltés au moyen d'un chalut pélagique Isaacs-Kidd de 10 pieds autour de la Nouvelle-Calédonie et sur une radiale le long du 170°E de 20°S à 05°N, 19 larves présentant les caractères des *Phyllamphion* ont été trouvées. Elles forment l'objet de cette étude.

**MATÉRIEL RÉCOLTÉ DANS LES EAUX DU PACIFIQUE SUD-OUEST**

Les 19 larves examinées appartiennent à une seule espèce et se trouvent à des stades de développement différents.

Elles sont morphologiquement très voisines de celles décrites par SIMS pour *Palinurellus gundlachi*, et les stades les plus évolués correspondent à la description du *Phyllamphion elegans*.

\* Océanographe biologiste au Centre O.R.S.T.O.M. de Nouméa.

26 JUN 1966

**O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire**

N<sup>o</sup> : 20 224

Lab. A

Le nombre de spécimens récoltés, compte tenu des profondeurs variées de prélèvement entre 0 et 1 200 mètres, fait présumer une faible abondance des adultes dans cette région.

#### STADES LARVAIRES

Le développement larvaire des Palinuridae est très long (6 à 8 mois) et tous les auteurs ayant travaillé sur ce sujet ont essayé de définir différents stades (SIMS, 1965 ; PRASAD et TAMPI, 1957-1959 ; JOHNSON, 1956-1966-1968 ; SAISHO, 1966). Il s'avère que cette distribution en stades est artificielle et ne fournit qu'un mode de représentation pratique. JOHNSON (1966) a montré qu'en réalité il existait de nombreuses mues, de l'ordre de la trentaine, au cours du développement. D'après lui, la succession des mues pourrait être suivie en comptant le nombre de segments sur l'exopodite des pattes thoraciques 1 ou 2 ; à chaque mue il s'ajouterait un segment et une paire de soies supplémentaires ; les séries de phyllosomes étant décrites d'après des récoltes planctoniques hétérogènes, les limites des stades sont imprécises, dépendant du matériel récolté et du choix de groupement. Il serait cependant fastidieux et sans grand intérêt, sauf pour des études très particulières, de décrire chaque mue qui ne diffère de la précédente ou de la suivante que par des points de détail. Aussi, dans la suite de cette étude, la division en stades a été conservée et on a suivi le découpage de SIMS pour les phyllosomes de *Palinurellus gundlachi*. La taille moyenne a été indiquée entre parenthèses après le numéro du stade.

#### DESCRIPTION GÉNÉRALE DES LARVES

Le plan de description de SIMS a été repris pour faciliter la comparaison entre les deux espèces.

— Le céphalon passe de la forme arrondie à la forme carrée puis rectangulaire au cours du développement tout en recouvrant progressivement le péréion. Les yeux sont, à partir de la deuxième mue, portés par de courts pédoncules. On trouve un rostre s'étendant au-dessus de la jonction des pédoncules oculaires et croissant en fonction de la taille. Les antennes sont bilobées, passant de 1 à 4 segments, l'exopodite se réduisant à une épine dans les derniers stades. Les antennules passent de 1 à 4 segments, le dernier se différenciant en deux flagelles. Le rapport de la longueur de l'antenne à la longueur de l'antennule, d'abord inférieur à 1, dépasse l'unité et augmente alors tout au long de la croissance. Dès l'éclosion, mandibules et maxillules sont formées. La maxille comporte deux segments ; le deuxième portant des soies s'étend progressivement jusqu'à atteindre le troisième maxillipède. Le premier maxillipède commence par un bouton à la base de la maxille et devient progressivement trilobé. L'exopodite du deuxième maxillipède n'apparaît qu'au stade III et grandit au fur et à mesure du développement. Le troisième maxillipède est, au stade I, complètement formé et porte une épine coxale. Les trois premières paires de pattes thoraciques sont complètement formées au stade I et ne subiront plus que des modifications de taille. La quatrième paire de pattes n'est complète qu'à partir du stade V ; elle se présente en bouton au premier stade, tandis que la cinquième paire de pattes n'est complète qu'au stade VII ; toutes les pattes thoraciques portent des épines

coxales. L'abdomen, de non segmenté, passe à 6 segments ; il porte quatre paires de pléopodes et une paire d'uropodes à partir du stade V. Le telson est complètement formé au stade IX. Les branchies apparaissent en bouton à partir du stade V (voir tableau 2). La P1 porte un exopodite qui passe de 9 paires de soies à 33 paires ; d'après l'hypothèse de JOHNSON, ceci impliquerait 24 mues au cours du développement larvaire.

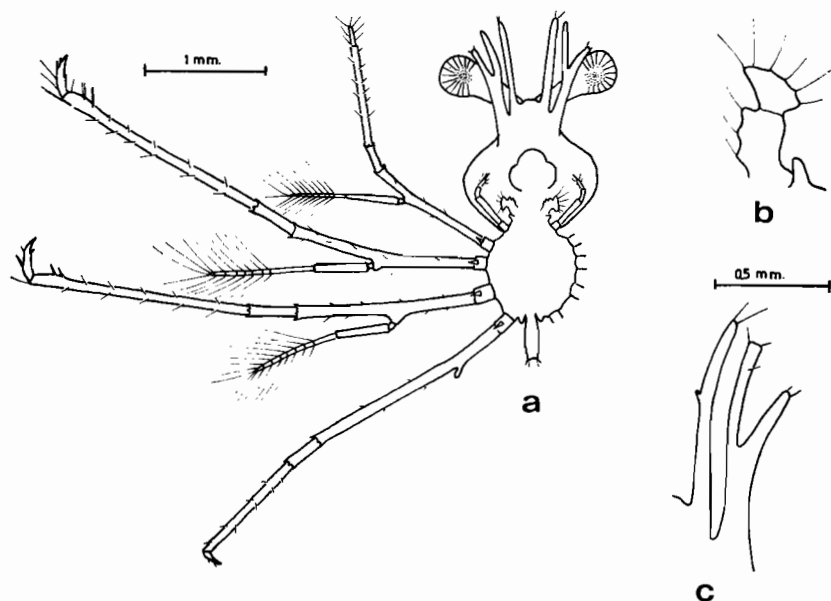


FIG. 1. — *Palinurellus wieneckii* (de Man), stade I : a, vue ventrale ; b, détail de Mx2 et Mxp1 ; c, antennes et antennules.

#### DESCRIPTION PAR STADES (fig. 1, 2, 3 ; tableau 1)

##### *Stade I* (2,2 mm)

Il représente les larves après l'éclosion.

Yeux sans pédoncule (ce caractère définit, d'après JOHNSON, 1966, le stade I sans ambiguïté possible). Amorce du rostre à peine visible. Antennes bilobées, avec exopodite égal à la moitié de l'endopodite, non segmentées. Antennules non segmentées avec amorce de l'endopodite et se terminant par deux soies. Maxille à deux segments dont le deuxième, élargi, porte six soies ; maxillipède 1 en bouton, maxillipède 2 complètement segmenté sans exopodite, maxillipède 3 avec exopodite portant des soies et épine coxale. P1, P2 avec exopodite portant des soies (9 paires) et épine coxale. P3 avec exopodite en bouton. P4 en bouton, P5 absente. Abdomen non segmenté, sans trace d'uropodes ni de pléopodes.

##### *Stade II* (3,0 mm)

Yeux portés par de très courts pédoncules. P3 avec exopodite sans soie. P4 a un seul segment égal à l'abdomen. P5 en bouton. Le reste est sans change-

Tableau 1. — CARACTÈRES DES STADES PHYLLOSOMES DE *Palinurellus wieneckii*

Stades	I	II	III	V	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Taille (mm).....	2,2	3,0	3,8	5,3-5,5	7,9	9,5-10,5	12	15,0-15,3	17,3-17,8	23,3-23,5
Spécimens .....	3	1	1	3	1	3	1	3	3	2
Long. A1.....	0,9	1,0	1,2	1,6	2,6	3,8	?	5,7	6,4	8,8
Seg. ....	1	1	1	2	3	4	4	4	4	4
Long. A2.....	0,8	1,0	1,2	1,6	2,2	2,9	3,3	3,8	4,5	5,0
Seg. ....	1	1	1	3	4	4	4	4	4	4
Long. yeux.....	0,8	1,2	1,5	2,2	2,7	3,1	3,4	3,8	4,4	4,4
Larg. céphalon.....	1,2	1,8	2,8	3,8	5	6,8	7,6	9,6	10,2	11,2
Larg. péréion.....	0,8	1,2	1,6	2,2	3,2	3,7	4,3	5,2	6,1	6,8
P1 et P2.....	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
P3 .....	ex.bo.	ex.bo.	C	C	C	C	C	C	C	C
P4 .....	bo.	seg.	ex.bo.	C	C	C	C	C	C	C
P5 .....	0	bo.	bo.	ex.bo.	C	C	C	C	C	C
Long. abdomen.....	0,3	0,4	0,6	0,9	1,7	2,5	3,4	5,2	6	9,6
Pléopodes .....	0	0	0	bo.	bil.	bil.	bil.	bil.	bil.seg.	bil.seg.
Uropodes .....	0	bo.	unil	bil.	»	bil.seg.	bil.seg.	bil.seg.	»	»
Telson .....	0	0	0	I	I	I	C	C	C	C

ex. : exopodite ; bo. : bouton ; bil. : bilobé ; unil. : unilobé ; I : avec cran ; C : complètement formé ; seg. : segmenté.

ment, excepté le nombre de paires de soies sur les exopodites des appendices. Il passe à 10 pour P1 et P2 ; ce stade représenterait la première mue après l'éclosion.

*Stade III (3,8 mm)*

Céphalon couvrant le péréion jusqu'à la hauteur de la première paire de pattes thoraciques. Pédoncule oculaire plus grand. Antennes bilobées, à 1 segment ; exopodite égal au 1/3 de l'endopodite. Antennules légèrement plus longues que les antennes, à 1 seul segment avec amorce de l'endopodite. Maxillipède 2 avec exopodite en bouton. P1 avec 13 paires de soies sur l'exopodite. P4 avec 5 segments et un exopodite sans soie. P5 légèrement plus longue que l'abdomen, à 1 seul segment avec amorce de l'exopodite. Abdomen non segmenté avec uropodes en boutons. Telson avec cran. Pas de branchies.

*Stade V (5,5 mm)*

Céphalon aussi large que long ; rostre plus grand. Antennes bilobées, à 2 segments ; exopodite égal au quart de l'endopodite. Antennules à 3 segments ; même longueur que les antennes. Maxillipède 2 avec exopodite, mais sans soie. P1 à P4 complètes, P1 avec 16 paires de soies sur l'exopodite. P5 avec exopodite, sans soie ni épine coxale. Abdomen segmenté avec pléopodes en boutons et uropodes bilobés. Amorce de pleurobranchies.

*Stade VII (7,9 mm)*

Céphalon carré recouvrant le péréion jusqu'à P3. Antennes à 3 segments, plus longues que les antennules, à 3 segments. Deuxième segment de la maxille s'étendant jusqu'au maxillipède 2. Maxillipède 2 avec exopodite portant des soies. P1 à P4 complètes, P1 avec 12 paires de soies sur l'exopodite. P5 avec exopodite portant des soies. Pléopodes non segmentés, bilobés. Uropodes non segmentés, bilobés. Pleures abdominaux arrondis. Pleurobranchies en boutons ; amorce des arthrobranchies.

*Stade VIII (10,5 mm)*

Céphalon carré recouvrant le péréion jusqu'à P3. Antennes et antennules à 4 segments. La maxille se développe. Maxillipède 1 toujours en bouton. Maxillipède 2 complètement développé. P1 à P5 complètement formés, P1 avec 24 paires de soies sur l'exopodite. Uropodes, à 2 segments, bilobés. Branchies (cf. tableau 2) ; apparition des podobranchies.

*Stade IX (12 mm)*

Céphalon rectangulaire couvrant le péréion jusqu'à la hauteur de P4. Les antennules et antennes sont complètement formées. Maxillipède 1 bilobé. P1 avec 25 paires de soies sur l'exopodite. Pléopodes bilobés. Uropodes complètement formés. Telson avec cran très léger. Branchies (cf. tableau 2).

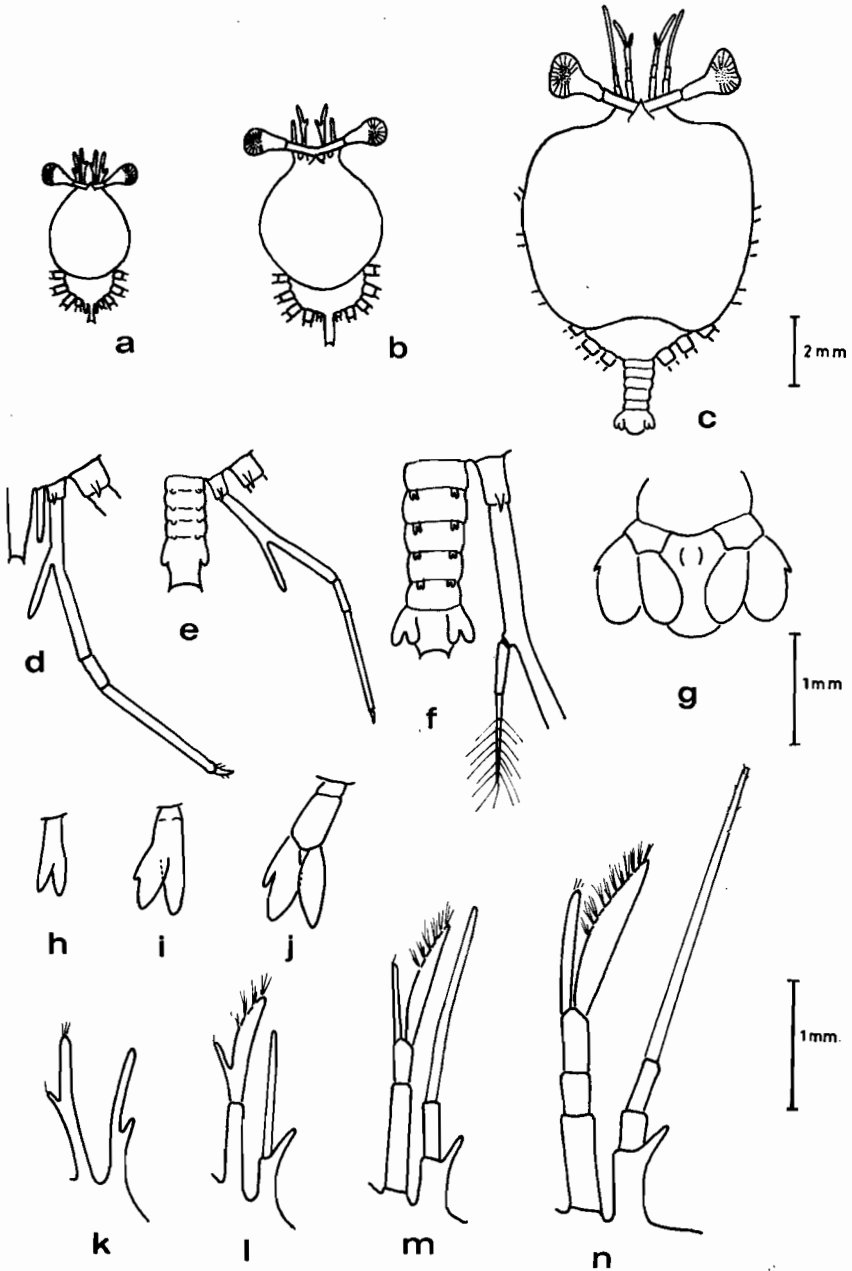


FIG. 2. — *Palinurellus wieneckii* (de Man) : a, stade III, vue dorsale ; b, stade V, vue dorsale ; c, stade VIII, vue dorsale ; d à f, P5 et abdomen des stades III, V, VII ; g, telson du stade IX ; h à j, pléopodes des stades IX, X, XI ; k à n, antennes et antennules des stades III, V, VII, VIII.

Tableau 2. — COMPARAISON DES BRANCHIES ENTRE *Palinurellus gundlachi*  
et *Palinurellus wieneckii*

*Palinurellus gundlachi* (d'après SIMS, 1966)

	Stade VIII			Stade X			Stade XI			Stade XII		
Taille (mm)	8,4			11,2			12,4			15,2 — 17,0		
Branchies	P	A	Po	P	A	Po	P	A	Po	P	A	Po
Mxp2 .....	0	0	0	0	0	1 bil	0	1	1 bil	0	1	2
Mxp3 .....	0	0	1 bil	0	1	1 »	2	1	1 »	2	1	1 bil
P1 .....	0	0	1 »	2	1	1 »	2	1	1 »	2	1	1 »
P2 .....	0	0	1 »	2	1	1 »	2	1	1 »	2	1	1 »
P3 .....	0	0	0	2	1	1 »	2	1	1 »	2	1	1 »
P4 .....	0	0	0	2	1	1 »	2	1	1 »	2	1	1 »
P5 .....	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0

*Palinurellus wieneckii*

	Stade III			Stade V			Stade VI			Stade VIII		
Taille (mm)	3,8			5,3 — 5			7,9			9,5 — 10,5		
Branchies	P	A	Po	P	A	Po	P	A	Po	P	A	Po
Mxp2 .....	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	bo
Mxp3 .....	0	0	0	bo	0	0	1	0	0	1	1	»
P1 .....	0	0	0	bo	0	0	1	1	0	1	1	»
P2 .....	0	0	0	bo	0	0	1	0	0	2	1	»
P3 .....	0	0	0	bo	0	0	1	0	0	2	1	»
P4 .....	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	»
P5 .....	0	0	0	0	0	0	0	0	0	bo	0	0
	Stade IX			Stade X			Stade XI			Stade XII		
Taille (mm)	12			15,0 — 15,3			17,3 — 17,8			15,2 — 17,0		
Branchies	P	A	Po	P	A	Po	P	A	Po	P	A	Po
Mxp2 .....	0	0	1	0	bo	1	0	1	1	0	1	1 bil
Mxp3 .....	1	1	1	1	1	1 bil	1	1	1 bil	1	1	1 »
P1 .....	1	1	1	1	1	1 »	1	1	1 »	1	1	1 »
P2 .....	2	1	1	2	1	1 »	2	1	1 »	2	1	1 »
P3 .....	2	1	1	2	1	1 »	2	1	1 »	2	1	1 »
P4 .....	2	1	1	2	1	1 »	2	1	1 »	2	1	1 »
P5 .....	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0

P : Pleurobranchies, A : Arthrobranchies, Po : Podobranchies  
bil. : bilobé ; bo. : bouton.

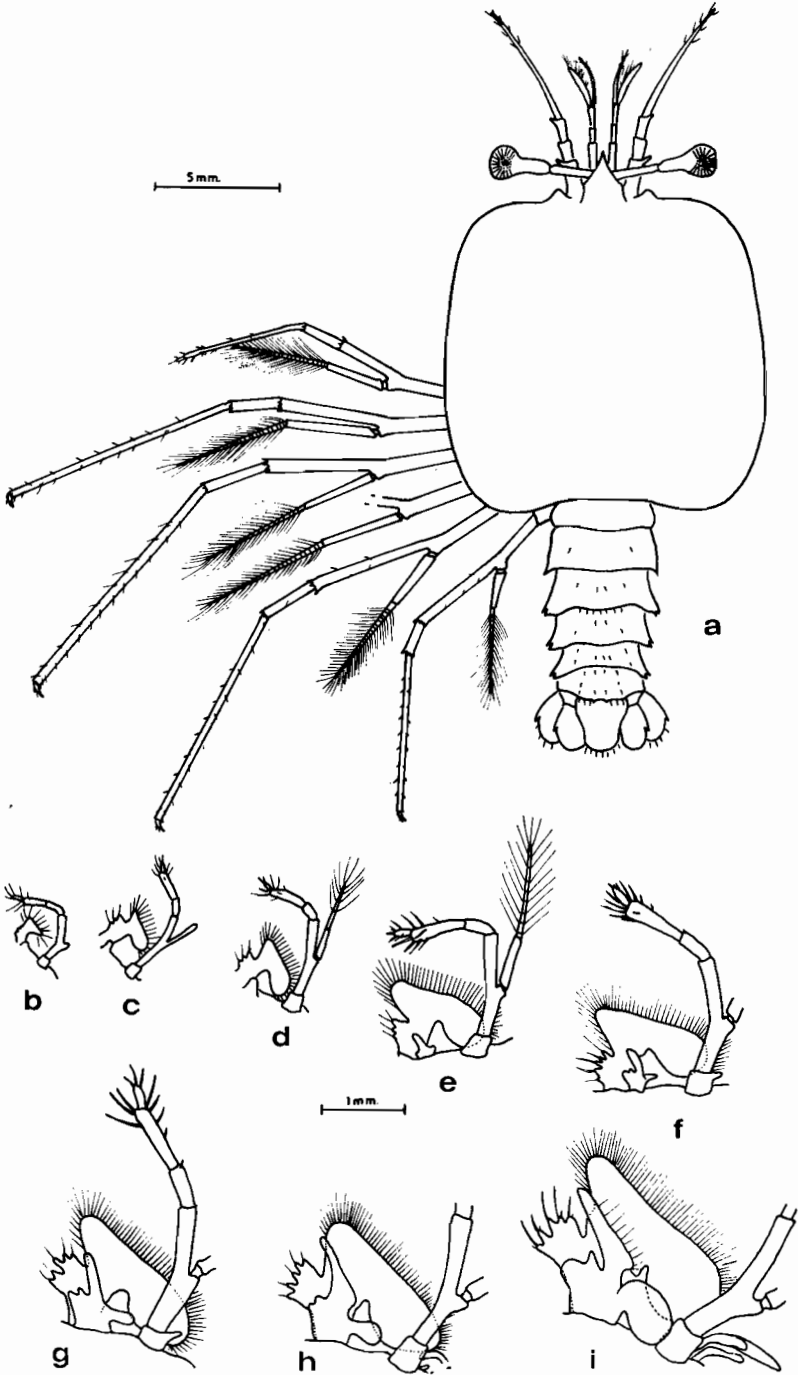


FIG. 3. — *Palinurellus wieneckii* (de Man) : a, stade XII, vue dorsale, b à i, évolution de Mx2, Mxp1 et Mxp2 des stades III à XII.

*Stade X (15,1 mm)*

Céphalon rectangulaire. Maxillipède 1 trilobé. P1 avec 27 paires de soies sur l'exopodite. Pleures abdominaux se terminant par des épines. Apparition d'une excroissance sur l'endopodite des pléopodes. Branchies (cf. tableau 2).

*Stade XI (17,5 mm)*

Le céphalon couvre l'ensemble du péréion. Il y a apparition d'épines sur le troisième segment de l'antenne. Abdomen à 6 segments, le premier est réduit avec pleures arrondis, les deuxième, troisième et quatrième sont terminés par deux épines, le cinquième est terminé par une épine et un lobe. P1 avec 28 ou 29 paires de soies sur l'exopodite. Telson et uropodes complètement formés. Pléopodes segmentés, à endopodite muni d'un lobe interne. Branchies (cf. tableau 2). Maxille s'étendant jusqu'au maxillipèdes 3.

*Stade XII (23 mm)*

A part la taille, ce stade ne diffère du précédent que par les branchies. Il semble être le dernier stade avant la métamorphose. Le P1 porte de 31 à 33 paires de soies.

COMPARAISON AVEC LES LARVES PHYLLOSOMES DE **Palinurellus gundlachi**

Cette série larvaire est très proche de celle de *Palinurellus gundlachi* mais, malgré leur similitude de forme, les larves apparaissent différentes par leur taille dans les derniers stades (cf. tableau 2) et surtout par le nombre et l'ordre d'apparition des diverses branchies. Ce dernier caractère, noté par ТОКІОКА (1963) comme étant le meilleur critère de distinction des derniers stades phyllosomes d'une espèce, semble l'être aussi pour différencier deux espèces voisines.

Le tableau 2 fournit les formules branchiales des deux espèces. Dans la série étudiée, on trouve une seule pleurobranchie sur Mxp3 et P1 et une podobranchie bilobée sur Mxp2 alors que chez *P. gundlachi* on trouve deux pleurobranchies sur Mxp3 et P1 et deux podobranchies sur Mxp2. Au cours du développement, il apparaît que ce sont les podobranchies qui se forment les premières chez *P. gundlachi* alors que ce sont les pleurobranchies dans la série du Pacifique.

**Discussion**

JOHNSON (1968) considère le genre *Justitia* comme genre adulte possible des larves *Phyllamphion*, car les espèces de ce genre possèdent aussi un rostre et l'une d'elle est signalée aux Iles Hawaii où, par contre, le genre *Palinurellus* n'a pas été recensé. Cependant deux faits conduisent à suivre SIMS (1965) pour l'attribution au genre *Palinurellus*; on trouve, en effet, chez le genre *Justitia* un rostre petit et des antennes longues alors que chez les larves *Phyllamphion* ainsi que chez les adultes de *Palinurellus* le rostre est important et les antennes

courtes. D'autre part, on a récolté dans la même zone trois post-larves (travail en cours) qui, d'après leurs caractères morphologiques, se rattachent sans solution de continuité au dernier stade larvaire décrit. Ces post-larves possèdent un céphalothorax avec rostre important, sans épines saillantes au-dessus des yeux et des antennes et antennules courtes ; cet ensemble de caractères permet de les relier sans ambiguïté au genre *Palinurellus*. La série larvaire formant l'objet de ce travail a donc été attribuée à l'espèce *Palinurellus wieneckii* seule espèce du genre indo-pacifique.

Les adultes des deux espèces du genre *Palinurellus* sont très proches et pendant longtemps *Palinurellus wieneckii* n'a été considérée que comme une sous-espèce de *Palinurellus gundlachi* (HOLTHUIS, 1946). Les larves sont, de même, morphologiquement très voisines, mais les différences dans les échelles de taille et surtout dans le nombre et l'ordre d'apparition des diverses branchies permettent de les distinguer et apportent une confirmation de la validité des deux espèces adultes.

### Abstract

19 unknown phyllosoma larvae were collected in the South West Pacific. They were related to the species *Palinurellus wieneckii*. The series of larval stages are described and illustrated and a comparison has been made with the phyllosoma larvae of *Palinurellus gundlachi*.

### BIBLIOGRAPHIE

- BELLOC, G., 1959. — Note sur un *Phyllamphion* de la mer des Antilles. *Bull. Inst. oceanogr. Monaco*, 1154, pp. 1-10.
- GURNEY, R., 1936. — Larvae of Decapod Crustacea. *Discovery Report*, 12, pp. 377-440.
- HOLTHUIS, L. B., 1946. — The Decapoda Macrura of the Snellius Expedition. I. The Stenopodidae, Nephropsidae, Scyllaridae and Palinuridae. (Biological Results of the Snellius Expedition, XIV). *Temminckia*, 7, pp. 1-178, pl. I-XI.
- 1965. — On spiny lobsters of the genera *Palinurellus*, *Linuparus* and *Puerulus*. *Abstr. Pap. Symposium Crustacea Mar. Biol. Ass. India*, pp. 1-2.
- JOHNSON, M. W., 1968. — On *Phyllamphion* larvae from the Hawaiian Islands and the South China Sea (Palinuridea). *Crustaceana*, supplément n° 2, pp. 38-46, fig. 1-14.
- et M. KNIGHT, 1966. — The phyllosoma larvae of the spiny lobster *Panulirus inflatus* (Bouvier). *Crustaceana*, 10, 1, pp. 31-47.
- SAISHO, Toshio, 1966. — Studies on the phyllosoma larvae with reference to oceanographical conditions. *Mem. Fac. Fish. Kagoshima Univ.*, 15, pp. 177-239.
- SIMS, H. W., Jr., 1966. — The phyllosoma larvae of the spiny lobster *Palinurellus gundlachi* Von Martens (Decapoda, Palinuridae). *Crustaceana*, 11, 2, pp. 205-215.
- TOKIOKA, T., et E. HARADA, 1963. — Further notes on *Phyllosoma utivebi* Tokioka. *Publ. Seto Mar. Biol. Lab.*, 11, 2, pp. 425-434.



Océanographie Physique. — *Aspects géostrophiques de la circulation Est-Ouest dans l'océan Pacifique équatorial occidental*. Note (\*) de MM. Christian Colin et Henri Rotschi, présentée par M. André Gougenheim.

Des calculs géostrophiques effectués à partir des valeurs de l'anomalie de hauteur dynamique représentant la moyenne des observations faites au cours de dix croisières le long du méridien 170° de longitude Est, rendent compte non seulement des traits permanents de la structure des courants Est-Ouest en zone équatoriale, mais aussi de leur intensité. La partie inférieure du courant de Cromwell, dont le maximum de vitesse est situé vers une profondeur de 200 m, est géostrophique. Il en est de même du courant Ouest qui s'écoule sous le précédent et qui est encadré par deux extensions profondes de ce dernier. En revanche, le régime des vents affecte grandement la circulation entre la surface et le maximum de vitesse du courant de Cromwell.

Les observations directes des courants à l'équateur, dans le Pacifique oriental et central, ont indiqué tantôt que le courant de Cromwell était géostrophique [(1), (2)], tantôt qu'il ne l'était pas (3). Les nombreuses mesures de la température, de la salinité et des courants effectuées à bord du navire océanographique *Coriolis* du Centre ORSTOM de Nouméa, le long du méridien 170° Est, permettent la comparaison du champ de vitesse géostrophique et du champ de vitesse observé dans le Pacifique occidental.

Afin d'éliminer les fluctuations à court terme du géopotential qui, en surface, peuvent avoir une amplitude de plusieurs centimètres dynamiques (3), on a calculé, pour chaque station et pour l'ensemble des croisières présentant les mêmes caractéristiques météorologiques de surface, la moyenne de l'anomalie de hauteur dynamique. On a utilisé les données de dix croisières échelonnées de 1966 à 1968, au cours desquelles les mesures portèrent sur 24 niveaux entre la surface et la profondeur de 500 m, tous les demi-degrés de latitude. Le champ de géopotential ainsi obtenu (*fig. 1*) est caractérisé par le changement de concavité des isobares qui apparaît entre les isobares 120 et 140 db et par deux points d'inflexion des isobares profondes, de 280 à 400 db. En termes géostrophiques un tel champ implique un courant Ouest entre la surface et la profondeur de 120-140 m, un courant Est subsuperficiel, localisé sous le précédent et atteignant une profondeur voisine de 280 m et, enfin, un courant Ouest plus profond limité approximativement à 2°N et 2°S, inclus par conséquent dans une circulation profonde vers l'Est et s'étendant jusqu'à une profondeur supérieure à 400 m.

26 JUN 1986

~~O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire~~~~N° : 20 325~~~~Cote : A~~

L'approximation géostrophique,  $u = -(1/f) (\partial D / \partial y)$  ( $x$  et  $y$  positifs vers l'Est et  $y$  vers le Nord) est utilisable jusqu'à un demi-degré de l'équateur [(<sup>1</sup>), (<sup>2</sup>)]; à l'équateur même on peut utiliser [(<sup>4</sup>), (<sup>5</sup>)] la formule approchée  $u = -(R/2\omega) (\partial^2 D / \partial y^2)$ ,  $f$  étant le paramètre de Coriolis,  $D$  l'ano-

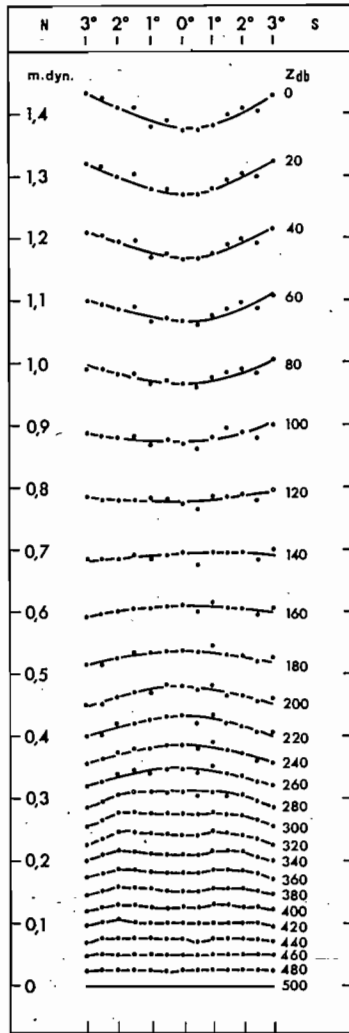


Fig. 1.

Fig. 1. — Champ moyen de l'anomalie de hauteur dynamique par rapport à 500 db à 170°E; mètres dynamiques.

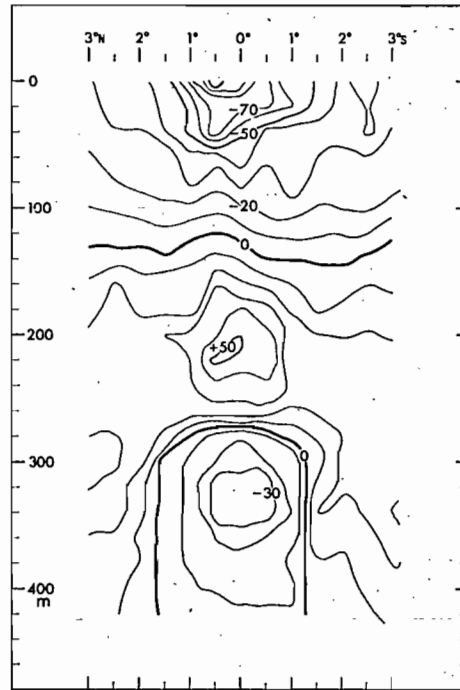


Fig. 2.

Fig. 2. — Champ de vitesse zonale déduit de celui de l'anomalie de hauteur dynamique. Vitesse positive vers l'Est en centimètres par seconde.

malie de hauteur dynamique,  $R$  le rayon terrestre et  $\omega$  la vitesse angulaire de rotation de la Terre. Les courbes lissées à la main, représentant le relief dynamique de chacune des surfaces isobares (*fig. 1*), ont été utilisées pour le calcul des dérivées premières et secondes de l'anomalie de hauteur dynamique selon les formules de Coulmy (<sup>6</sup>).

Le champ de vitesse zonale obtenu par cette méthode (*fig. 2*) comporte un courant subsuperficiel Est avec, vers 200 m de profondeur, un maximum de vitesse de l'ordre de 50 cm/s; il s'écoule sous un courant de surface Ouest et au-dessus d'un courant profond également Ouest.

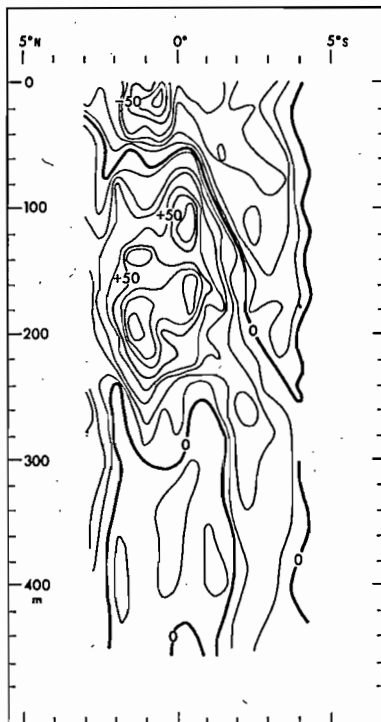


Fig. 3.

Fig. 3. — Composante zonale des courants mesurés au cours de la croisière « Cyclone 5 », juillet 1967. Profondeur de référence : 500 m.

Cette représentation géostrophique moyenne des courants dans le Pacifique occidental rend compte de tous les caractères permanents de la circulation mesurée, c'est-à-dire du maximum de vitesse du courant de Cromwell à 200 m de profondeur, du courant équatorial intermédiaire Ouest antérieurement signalé (<sup>7</sup>), encadré par deux extensions profondes du courant de Cromwell. Elle diffère des mesures réelles par l'absence du maximum secondaire de vitesse du courant de Cromwell à 100 m de profondeur qui a été observé à la plupart des dix croisières du navire océanographique *Coriolis*; ce noyau secondaire n'est donc pas géostrophique, ce que confirme la règle que dans une couche homogène on ne peut pas trouver deux courants opposés en équilibre géostrophique (<sup>8</sup>); néanmoins l'ordre de grandeur des courants calculés est le même que celui des courants observés (*fig. 3*). La comparaison de la topographie dynamique moyenne, de la topographie au cours d'une croisière particulière et de celle qui

découlerait d'un équilibre géostrophique des courants mesurés montre que, lorsque le vent de surface est d'Est, les écarts entre les deux premières sont surtout importants dans les couches supérieures, au Nord de 2° N; ils intéressent donc plus particulièrement la partie supérieure non géostrophique du courant de Cromwell. Il existe en revanche un excellent accord entre les trois topographies à la surface de la mer, au niveau du maximum de vitesse du courant de Cromwell ainsi que dans le courant équatorial intermédiaire.

Il existe donc, en zone équatoriale occidentale du Pacifique, une circulation géostrophique rendant parfaitement compte des structures permanentes, directement indépendantes des vents en surface, de la circulation équatoriale. Cette dernière apparaît en définitive plus complexe qu'on ne l'avait considéré jusqu'à présent et elle impose une révision de la terminologie utilisée pour désigner ces courants. En particulier, le terme « sous-courant équatorial » appliqué au courant de Cromwell devient caduc car il peut aussi bien désigner ce dernier que le courant Ouest au-dessus duquel il s'écoule; si pour diverses raisons <sup>(10)</sup> le nom courant de Cromwell est récusé, la désignation la plus convenable serait « contre-courant équatorial subsuperficiel ». Le courant Ouest de surface serait alors le « courant équatorial » et le courant Ouest identifié entre 300 et 1000 m de profondeur « courant équatorial intermédiaire ».

(\*) Séance du 21 septembre 1970.

(1) J. A. KNAUSS, *Deep Sea Res.*, 6, 1960.

(2) R. B. MONTGOMERY et E. D. STROUP, *The Johns Hopkins Oceanographic Studies*, 1, 1962.

(3) J. A. KNAUSS, *J. Mar. Res.*, 24, 1966.

(4) K. HIDAKA, *Japanese J. Geophys.*, 1, 1955.

(5) M. TSUCHIYA, *Rec. Oceanogr. Works in Japan*, 2, 1955.

(6) G. COULMY, *Exploitation des relevés expérimentaux*, Gauthier-Villars, Paris, 1962 (chap. 5).

(7) PH. HISARD et P. RUAL, *Cah. ORSTOM*, Sér. Oceanogr., 8, 1970.

(8) N. P. FOFONOFF et R. B. MONTGOMERY, *Tellus*, 7, 1955.

(9) H. ROTSCHI, *Comptes rendus*, 267,, série B, 1968, p. 1459.

(10) R. B. MONTGOMERY, *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 20th anniv. vol., 1962.

(Centre O.R.S.T.O.M. de Nouméa,  
B. P. n° 4, Nouméa,  
Nouvelle-Calédonie.)



**R. REPELIN et J.-A. GUEREDRAT**  
**EFFICIENCES COMPARÉES DE FILETS À**  
**PLANCTON CONIQUES DE MÊMES**  
**DIMENSIONS ET DE MAILLES DIFFÉRENTES**  
**II. SÉLECTIVITÉ DE LA MAILLE N°000**  
**POUR LES AMPHIPODES ET LES COPÉPODES**

EXTRAIT DU JOURNAL DU CONSEIL INTERNATIONAL  
POUR L'EXPLORATION DE LA MER

Vol. 33. No. 2. 1970

**EFFICIENCES COMPARÉES DE FILETS À  
PLANCTON CONIQUES DE MÊMES  
DIMENSIONS ET DE MAILLES DIFFÉRENTES  
II. SÉLECTIVITÉ DE LA MAILLE N°000  
POUR LES AMPHIPODES ET LES COPÉPODES**

Par

R. REPELIN et J.-A. GUEREDRAT

Centre ORSTOM de NOUMEA  
Nouvelle Calédonie

During a cruise in tropical waters of the Pacific Ocean, oblique plankton hauls with a special gear, designed with two nets on the same frame, were made on the RV "Coriolis" of the Centre ORSTOM of NOUMEA (New Caledonia). One of the nets was fitted with nylon gauze N° 000 (mesh aperture 0.91mm) and the other with a fine mesh of N° 2 grade (0.34 mm).

A comparative study deals with Amphipods and Copepods of the two catches. Selection lengths for the gauze N° 000 are determined. A considerable escapement through this filtering material takes place and the samples lose a great part of their representative and non-selective properties.

Examination of the N° 2 mesh shows a sufficient retention of the Amphipods and an acceptable sampling of the calanoid Copepods. Nevertheless, a smaller mesh size (0.28 mm) is suggested for the Copepods as a whole.

**INTRODUCTION**

Au cours de la croisière "BORA II" du navire de recherches "CORIOLIS" du Centre ORSTOM de NOUMÉA, des pêches furent effectuées à l'aide d'un engin spécial, composé de deux filets à plancton de 1 m de diamètre, couplés, ayant la même longueur mais possédant chacun une gaze de nylon différente, N° 000 et N° 2. Les résultats d'ensemble ont fait l'objet d'une note intitulée "Efficacités comparées de filets à plancton coniques de mêmes dimensions et de mailles différentes. I. Étude générale" par R. GRANDPERRIN et A. MICHEL (1969).

En ce qui concerne les Amphipodes et les Copépodes, l'étude des cycles biologiques suppose un échantillonnage convenable de toutes les classes de population. Ainsi, l'absence ou la réduction artificielle du nombre des jeunes, par suite d'un effet d'échappement excessif au travers des mailles du filet, rendrait difficile la détermination précise des périodes de reproduction. D'un autre côté, les couches océaniques superficielles, obligatoirement explorées par un filet non fermant, sont l'habitat préférentiel des espèces de petites tailles.

J. Cons. int. Explor. Mer	32	No. 2	256-81	Copenhague, Août 1970
---------------------------	----	-------	--------	-----------------------

26 JUIN 1986

~~O. R. S. T. O. M. Fonds Documentaire~~

~~N° : 20 326~~

~~Cote : A~~

Si elles échappaient au filet, l'image obtenue de la composition faunistique des eaux de l'aire de prospection serait probablement faussée. En résumé, un bon échantillonnage devrait être représentatif de la faune *in situ* et ne pas opérer de sélection en fonction de la taille au niveau de l'espèce.

Il en résulte que, pour l'étude d'un groupe donné, un vide de maille optimum doit être défini préalablement aux prélèvements planctoniques.

D'après SAVILLE (1958), pour un filet de soie, on observe un échappement au travers d'une gaze donnée pour des spécimens de taille nettement supérieure à celle dont le passage serait théoriquement autorisé par le vide de maille, par suite: d'une part, de la conformation et de la compressibilité des organismes collectés et, d'autre part, du glissement latéral que peuvent subir les fils. *A priori*, le choix d'une catégorie de gaze semble ne pouvoir être qu'un compromis, car des mailles trop grandes ou trop petites entraîneraient soit une fuite trop forte des petites formes, soit un colmatage rapide du filet lors de la rencontre d'eaux à forte densité planctonique. Cependant, le problème peut être abordé par l'étude de la sélectivité de la maille qui semble la plus adaptée aux exigences imposées. Les informations recueillies pourront, soit confirmer le bien fondé du choix effectué, soit guider vers une meilleure estimation du vide de maille recherché.

Une telle étude est menée, au niveau des Amphipodes et des Copépodes, par la détermination de la sélectivité de la gaze N° 000. Les méthodes appliquées sont calquées, d'une manière empirique, sur celles utilisées dans les recherches sur la sélectivité des chaluts de pêche, avec quelques modifications résultant de la nature du matériel biologique considéré.

## ÉTUDE DES MAILLES DES FILETS

La note précédente intitulée "Etude Générale" ne comportant pas de recherches sur la sélectivité des engins, la détermination des mailles n'a pas fait l'objet de mesures spéciales. Celles-ci seront donc réalisées dans le chapitre qui suit.

### DÉTERMINATION DU VIDE DE MAILLE POUR UNE GAZE DE NYLON MONOFIL N° 000

La détermination du vide de maille est faite par des séries d'observations sur deux filets de nylon N° 000 de même fabrication: un filet neuf n'ayant encore jamais été utilisé, et le filet ayant servi aux collectes et qui, ci-dessous, sera nommé "filet usagé".

La gaze de nylon de ces filets est constituée de fils simples, entrelacés, non noués ni collés. La mesure du vide de maille est exécutée en étendant le tissu humide sur la platine d'un microscope stéréoscopique équipé d'un micromètre oculaire. Cinquante mailles sont relevées dans deux directions perpendiculaires en déplaçant, après chaque mesure, le nylon suivant une diagonale. Cette opération est effectuée dans les parties filtrantes antérieure (gueule) et postérieure (cul) du filet.

L'examen du Tableau 1 montre des valeurs moyennes différentes pour le vide de maille selon la zone des mesures et le sens suivant lequel elles ont été prises. Une étude comparative de ces valeurs est donc entreprise par l'intermédiaire de tests de signification.

TABLEAU 1. Dimensions moyennes des mailles pour la gaze de nylon monofil N° 000 (diamètre du fil: 0,324 mm)

Filet	Partie filtrante examinée	Sens	Vide de maille moy. (mm)	Ecart type (mm)	Coefficient de variation %	Erreur Standard (mm)
Neuf	Gueule	Longitudinal ( $L'$ )	0,932	0,027	2,9	0,004
		Transversal ( $L$ )	0,961	0,034	3,5	0,005
	Cul	Longitudinal ( $L'$ )	0,923	0,031	3,3	0,004
		Transversal ( $L$ )	0,939	0,026	2,7	0,004
Usagé	Gueule	Longitudinal ( $L'$ )	0,919	0,033	3,6	0,005
		Transversal ( $L$ )	0,963	0,021	2,2	0,003
	Cul	Longitudinal ( $L'$ )	0,880	0,044	5,0	0,006
		Transversal ( $L$ )	0,929	0,049	5,3	0,007

COMPARAISON DES DEUX CÔTÉS  $L$  ET  $L'$  DE LA MAILLE (Tableau 2)

On considère dans les différents groupes de 50 mailles, les dimensions moyennes  $\bar{L}$  et  $\bar{L}'$  des mailles. Ces valeurs sont portées dans le Tableau 2. Les effectifs de ces échantillons étant statistiquement élevés, les conditions requises pour l'application du test de l'écart-réduit (SCHWARTZ, 1963) se trouvent donc être remplies.

$$\text{On a } \varepsilon = \frac{\bar{L} - \bar{L}'}{\sqrt{\frac{S_L^2}{N_1} + \frac{S_{L'}^2}{N_2}}}$$

$S_L^2$  et  $S_{L'}^2$  est les variances de  $L$  et  $L'$ , et  $N_1 = N_2 = 50$ . D'autre part, on peut également écrire

$$D = \bar{L} - \bar{L}' \text{ et}$$

$$S = \sqrt{\frac{S_L^2}{N_1} + \frac{S_{L'}^2}{N_2}}$$

Ce qui donne  $\varepsilon = D/S$  d'où  $D = \varepsilon.S$ .

Le degré de signification de la différence des moyennes  $D$  est déterminé en donnant à  $\varepsilon$  l'une des deux valeurs limites 2,58 et 1,96 correspondant respectivement aux seuils de probabilité 1% et 5%. Pour  $D \geq \varepsilon.S$ , on aura une différence des moyennes hautement significative (HS) si  $\varepsilon = 2,58$ , ou seulement significative (S) si  $\varepsilon = 1,96$ . Cette différence ne sera pas significative (NS) si  $D < \varepsilon.S$ .

TABLEAU 2. Comparaison des deux côtés  $L$  et  $L'$ 

Filet	Partie filtrante examinée	Moyennes pour 50 mailles		$D$	$\varepsilon.S.$	Degré de signification
		$L$ (mm)	$L'$ (mm)			
Neuf	Gueule	0,961	0,932	0,029	0,016	HS
	Cul	0,939	0,923	0,016	0,015	HS
Usagé	Gueule	0,963	0,919	0,044	0,015	HS
	Cul	0,929	0,880	0,049	0,024	HS

Les valeurs moyennes observées pour les deux dimensions des mailles sont significativement différentes. Les mailles sont donc de petits rectangles dont le plus grand côté est disposé dans le sens transversal au filet.

COMPARAISON DES DIMENSIONS  $G$  ET  $C$  DES MAILLES À LA GUEULE ET AU CUL DU FILET (Tableau 3)

Pour un filet usagé, les mailles de la partie antérieure sont significativement plus grandes que celles de la région postérieure. Dans le cas d'un filet neuf, on ne relève pas de différence significative dans les mesures longitudinales des mailles.

TABLEAU 3. Comparaison des dimensions  $G$  et  $C$ 

Filet	Sens	Moyennes pour 50 mailles		$D$	$s.S.$	Degré de signification
		$\bar{G}$ (mm)	$\bar{C}$ (mm)			
Neuf	Longitudinal	0,932	0,923	0,009	0,011	NS
	Transversal	0,961	0,939	0,022	0,016	HS
Usagé	Longitudinal	0,919	0,880	0,039	0,020	HS
	Transversal	0,963	0,929	0,034	0,020	HS

NS: non significatif au niveau de probabilité 5%.

COMPARAISON DES DIMENSIONS  $N$  ET  $U$  DES MAILLES D'UN FILET NEUF ET D'UN FILET USAGÉ (Tableau 4)

Les différences des moyennes des dimensions des mailles entre un filet neuf et un filet usagé sont significatives dans le sens longitudinal mais non significatives pour le sens transversal au filet. A l'usage, il y aurait donc un rétrécissement des mailles suivant la longueur du filet.

On peut remarquer que ces mesures concernent deux filets de même fabrication, l'un neuf et l'autre usagé. La validité des conclusions aurait été empreinte de moins d'incertitude si les observations avaient pu être menées sur un filet unique: à l'état neuf, puis usagé.

Toutefois, ces différents tests témoignent que pour une étude de sélectivité de mailles, il importe de considérer le filet à plancton avec lequel les collectes ont été faites.

TABLEAU 4. Comparaison des dimensions  $N$  et  $U$ 

Partie filtrante examinée	Sens	Moyennes pour 50 mailles		$D$	$s.S.$	Degré de signification
		$\bar{N}$ (mm)	$\bar{U}$ (mm)			
Gueule	Longitudinal	0,932	0,919	0,013	0,012	S
	Transversal	0,961	0,963	0,002	0,011	NS
Cul	Longitudinal	0,923	0,880	0,043	0,019	HS
	Transversal	0,939	0,929	0,010	0,016	NS

## RECHERCHE DE L'AIRE DE FILTRATION

Lorsqu'un filet à plancton est en pêche, il ne semble pas que la filtration s'effectue d'une manière homogène en tous points de sa surface. Les mesures de mailles devant être exécutées, de préférence, dans l'aire de filtration effective du filet, il est nécessaire de s'assurer de son étendue et de ses limites.

Au cours d'expériences exécutées en bassin, avec un filet comportant une partie cylindrique précédant la région conique (filet NIO 70), CURRIE (1965) constate que la filtration est uniforme dans la région conique, faible dans la zone postéro-cylindrique et nulle dans celle antéro-cylindrique.

TRANTER et HERON (1966) réalisent des mesures de vitesse de filtration en différents points d'un filet placé dans un tunnel où l'écoulement est matérialisé par de la fumée. Les résultats de ces auteurs, concernant un modèle de 12,7 cm de diamètre et d'un vide de maille de 0,26 mm, indiquent une augmentation de la vitesse de passage de l'air au travers des mailles lorsqu'on se déplace de l'entrée vers le cul du filet. Les trois quarts postérieurs de la partie filtrante présentent des vitesses de traversée du même ordre de grandeur, tandis que pour le quart antérieur, la vitesse prend une valeur plus faible d'environ 30%. Par ailleurs, ces auteurs relèvent, dans cette dernière région, extérieurement au filet, une zone de turbulence maximum. Il semble donc qu'on aurait une situation analogue à celle notée par CURRIE dans les parties cylindrique et conique du filet NIO 70.

On peut supposer que la région antérieure de l'engin aurait un effet de canalisation sur les organismes qui seraient alors concentrés dans la portion postérieure où aurait lieu la part la plus importante du tamisage.

En se basant sur ces conclusions, des mesures de mailles sont effectuées dans une région située à une distance de la gueule du filet égale au quart de sa longueur. La dimension moyenne du vide de maille à ce niveau est égale à 0,915 mm. Cette valeur est de très peu supérieure à celle déterminée pour le cul du filet (0,905 mm, d'après les données du Tableau 1) mais s'écarte, par contre, assez fortement de celle observée à la gueule (0,954 mm).

En tenant compte des périmètres du filet au cul et au quart de sa longueur, ainsi que des dimensions de mailles qui y correspondent, on calcule la valeur du vide de maille moyen :

$$\frac{(0,915 \times 260) + (0,905 \times 60)}{260 + 60} = 0,913 \text{ mm.}$$

Cette dernière valeur sera retenue pour l'étude de la sélectivité du filet à l'égard des Amphipodes et des Copépodes.

#### DÉTERMINATION DU VIDE DE MAILLE POUR LA GAZE DE NYLON MONOFIL N° 2

Bien que la valeur du vide de maille de ce filet n'intervienne pas dans les calculs de sélectivité qui vont suivre, il nous a paru intéressant d'en faire une étude succincte.

La gaze du filet utilisé pour les pêches est constituée de fils simples, entrelacés, non noués ni collés.

Les mesures sont faites de la même manière que ci-dessus pour le nylon N° 000. Les lectures sont exécutées au microscope stéréoscopique à 0,006 mm près. Les résultats sont groupés dans le Tableau 5.

TABLEAU 5. Vide de maille de la gaze de nylon monofil N° 2 pour un filet usagé (diamètre du fil: 0,174 mm)

Partie filtrante examinée	Sens	Vide de maille moy. (mm)	Ecart type (mm)	Coefficient de variation %	Erreur standard (mm)
Gueule	Longitudinal	0,3293	0,0157	4,8	0,0022
	Transversal	0,3471	0,0109	3,1	0,0015
Cul	Longitudinal	0,3351	0,0141	3,4	0,0020
	Transversal	0,3327	0,0127	3,1	0,0018

COMPARAISON DES DEUX CÔTÉS *L* ET *L'* D'UNE MAILLE (Tableau 6)

Ce test montre que les mailles de la région antérieure du filet sont de petits rectangles qui, comme observé ci-dessus dans le cas de la maille N° 000, ont le plus grand côté placé dans le sens transversal au filet. Dans le cul du filet, la différence des moyennes est non significative: les mailles sont donc assimilables à des carrés.

TABLEAU 6. Comparaison des deux côtés *L* et *L'* d'une maille

Partie filtrante examinée	Moyennes pour 50 mailles		<i>D</i>	<i>ε.S</i>	Degré de signification]
	$\bar{L}$ (mm)	$\bar{L}'$ (mm)			
Gueule	0,3471	0,3293	0,0178	0,0069	HS
Cul	0,3351	0,3327	0,0024	0,0053	NS

COMPARAISON DES DIMENSIONS *G* ET *C* DES MAILLES À LA GUEULE ET AU CUL DU FILET (Tableau 7)

Comme pour le filet précédent, les mailles sont plus petites au cul qu'à l'entrée. Il semble que les causes de ces différences de dimensions doivent être recherchées dans le montage des nappes de nylon lors de la confection du filet.

TABLEAU 7. Comparaison des dimensions *G* et *C*

Sens	Moyennes pour 50 mailles		<i>D</i>	<i>ε.S</i>	Degré de signification
	$\bar{G}$ (mm)	$\bar{C}$ (mm)			
Longitudinal	0,3351	0,3293	0,0058	0,0058	S
Transversal	0,3471	0,3327	0,0144	0,0059	HS

*Vide de maille moyen pour la gaze N° 2*

La valeur du vide de maille de ce filet n'étant pas considérée sur le plan de la sélectivité de la gaze N° 2 pour les Amphipodes et les Copépodes, on s'est borné à des mesures à la gueule et au cul de l'engin seulement.

En tenant compte des circonférences du filet au niveau de ces deux zones d'observation, on aura :

$$\frac{(0,3382 \times 320) + (0,3339 \times 60)}{320 + 60} = 0,3375 \text{ mm}$$

$$\simeq 0,337 \text{ mm.}$$

AMPHIPODES

TECHNIQUE DES MESURES

Les Amphipodes provenant de 7 traits des deux filets couplés ont été isolés par triage (environ 7 000 spécimens). Cependant, l'importance de certaines collectes du filet de maille N° 2 a exigé un sous-échantillonnage affectant principalement les petites tailles (inférieures à 3 mm), ces individus se trouvant en nombre beaucoup trop élevé pour des examens individuels dans leur totalité. L'appareil utilisé était un diviseur Folsom (MCEWEN, JOHNSON et FOLSOM, 1954).

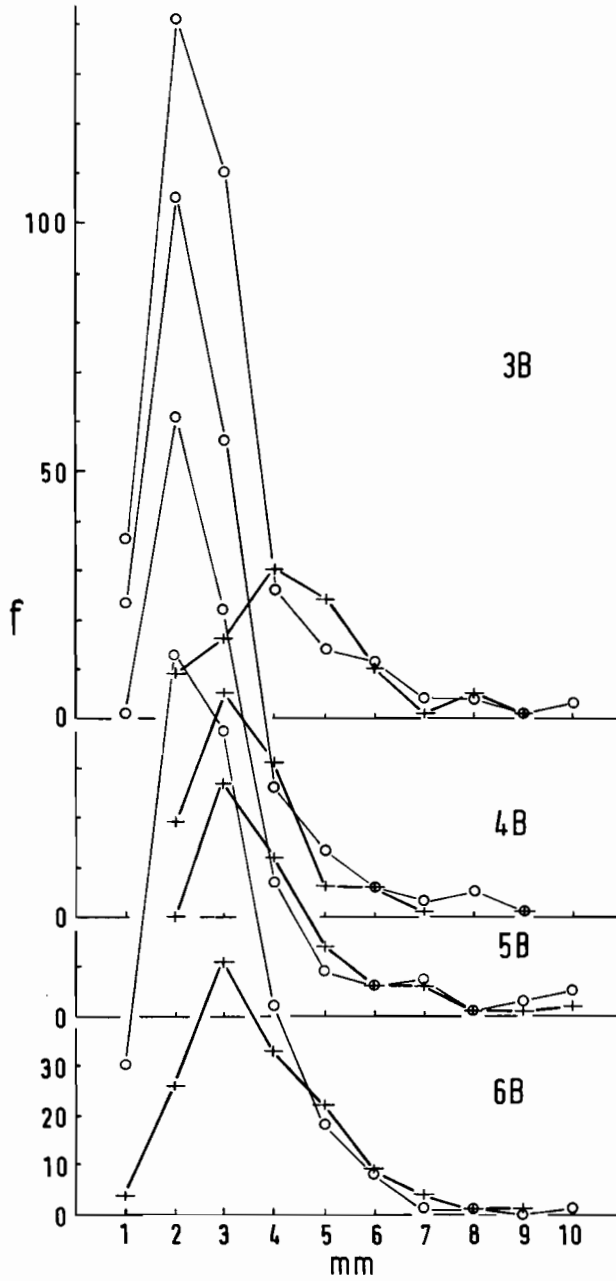


Figure 1. Amphipodes. Distribution des tailles pour les couples d'échantillons 3B à 6B.

○ — maille N° 2  
+ — maille N° 000

Les mensurations ont été effectuées au microscope stéréoscopique pourvu d'un oculaire micrométrique. Afin d'éviter que les organismes ne surnagent à la surface du liquide, le formol à 10% a été remplacé par de l'alcool à 75° qui supprime l'effet antimouillant de la sécrétion des glandes glutinifères.

La longueur des individus était prise entre le rostre et le telson, les antennes et les uropodes n'étant pas considérés. Des mesures transversales ont également été exécutées et portèrent sur la plus grande dimension suivant un axe vertical ou horizontal. Ainsi pour les Phronimidae, on a relevé la hauteur de la tête. Chez les Platyscelidae, dans la hauteur du corps, on a compris également les plaques coxales en raison de leur grand développement.

#### SÉLECTIVITÉ ET TAILLE DES ORGANISMES

##### *Distribution de fréquence*

Pour chacun des 7 couples d'échantillons, un diagramme de fréquence des tailles est établi (Figs. 1 et 2). A ce niveau, plusieurs faits peuvent être mentionnés.

En ce qui concerne la gaze N° 000, la classe 1 mm est généralement inexistante dans les distributions. Le mode se trouve à 3 mm dans tous les cas, excepté pour le trait 3B où l'effectif est relativement faible (mode à 4 mm). La fréquence modale culmine à 258. Sa valeur moyenne s'élève à 92. Au-dessus de 4 mm, les graphiques montrent une chute rapide des fréquences et se superposent assez sensiblement à ceux des récoltes du filet de maille N° 2.

En opposition avec la gaze précédente, les effectifs de la classe 1 mm sont élevés pour la gaze N° 2. Le mode est régulièrement à 2 mm avec des fréquences importantes. La valeur moyenne des fréquences modales atteint 259, soit environ trois fois celle observée pour la gaze N° 000.

On peut remarquer que la distribution de la récolte 16B est bimodale. Le second pic à 4 mm résulte d'un essaim de *Phronima*, absent de l'échantillon 16B du filet N° 000. En conséquence, dans les calculs nécessaires à l'établissement de la courbe de sélection, ce pic sera remplacé par une valeur interpolée (Fig. 2, 16B).

Le graphique de la Figure 3 intègre les données des 7 couples de polygones analysés ci-dessus. On note des différences très fortes dans les fréquences des classes inférieures à 4 mm, ce qui indique un échappement particulièrement élevé au travers de la maille N° 000. Au-dessus de cette dimension, la fuite des organismes se réduit progressivement et on aboutit à un équilibre relatif entre les prises des deux filets. La classe modale pour la grande maille est à 3 mm; elle se trouve déplacée de 1 mm vers les grandes tailles par rapport à la maille N° 2.

##### *Courbe de sélection*

La sélectivité de la gaze N° 000 est déterminée par l'étude du pourcentage différentiel d'échappement au travers des mailles par classe de tailles. Pour chaque catégorie de tailles, on calcule le rapport des prises de chacun des deux filets. Les points graphiques ainsi définis permettent le tracé de la courbe de sélection (Fig. 4). La taille moyenne de sélection à 50% se situe sur l'ogive à 3 mm environ, et une rétention totale, observée à partir de 7 mm, est l'indice d'une efficacité équivalente des deux engins pour les tailles dépassant cette valeur.

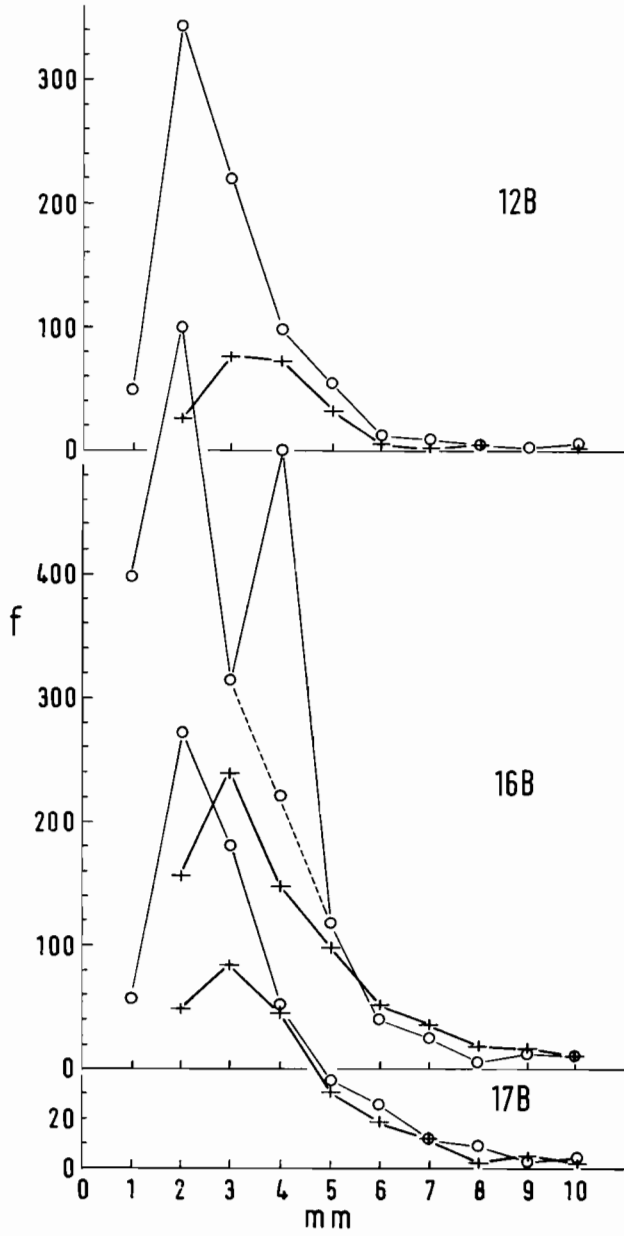


Figure 2. Amphipodes. Distribution des tailles pour les couples d'échantillons 12B, 16B et 17B.

— ○ — maille N 2,  
— + — maille N° 000

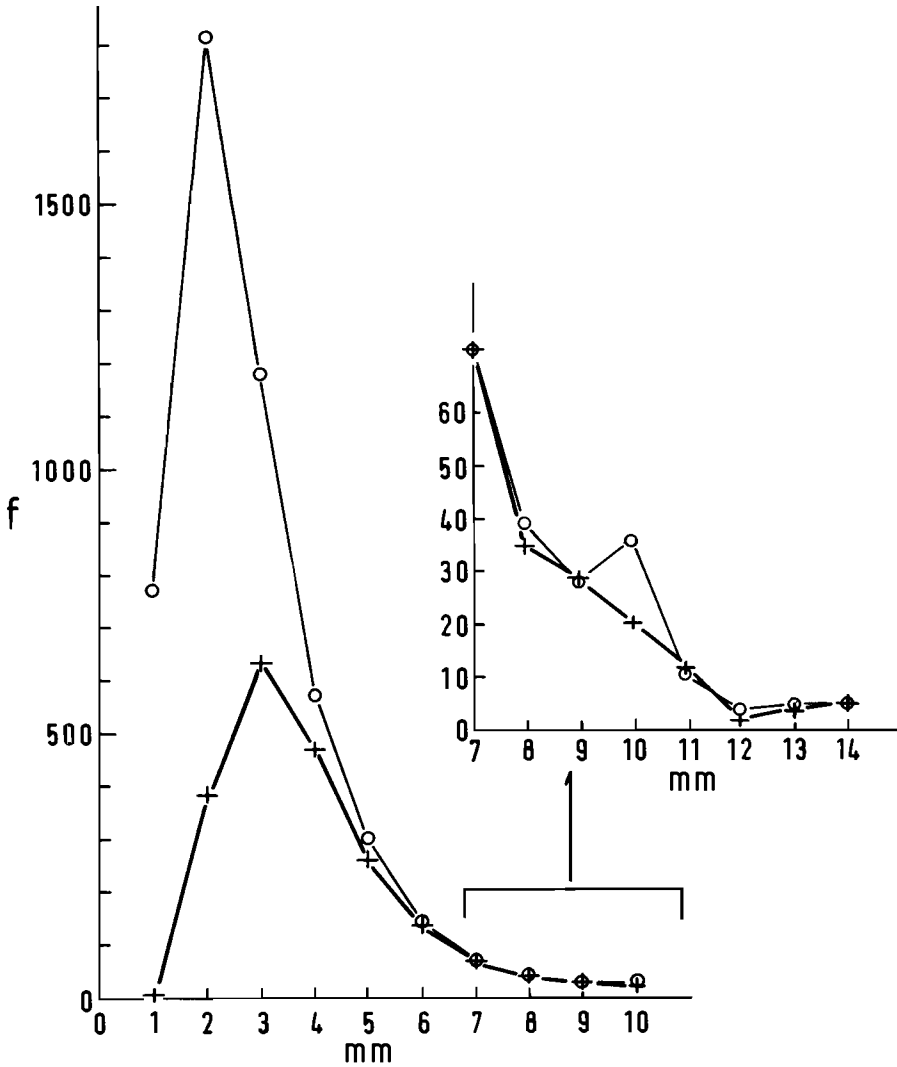


Figure 3. Amphipodes. Distribution des tailles pour l'ensemble des 7 couples d'échantillons.

○ maille N° 2  
+ maille N° 000

*Calcul de la taille moyenne de sélection*

La taille moyenne de sélection peut être déterminée par le calcul à l'aide de la formule suivante:

$$L_{50} = \frac{\sum Lx \cdot dx}{\sum dx} \pm 0,5$$

*Lx*: longueurs ou classes de tailles

*dx*: différence des ordonnées graphiques correspondantes aux valeurs centrales de 2 classes successives.

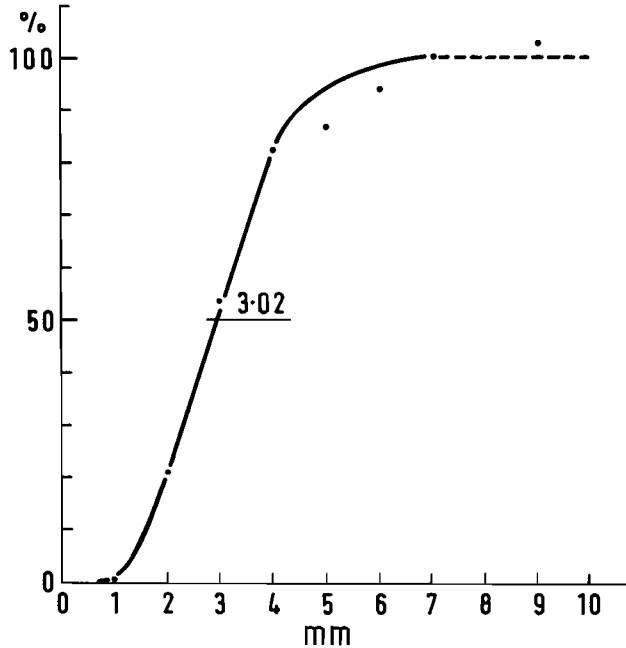


Figure 4. Amphipodes. Courbe de sélection de la maille N° 000.  
Ordonnées = rétention des organismes  
Abscisses = longueurs des organismes

L'intervalle des classes étant de 1 mm, on ajoute ou on retranche 0,5 suivant que  $dx$  est affecté au  $Lx$  inférieur ou supérieur.

$$\text{Dans le cas présent, on a: } L_{50} = \frac{3,52}{100} - 0,5$$

$$L_{50} = 3,02 \text{ mm}$$

$$\text{soit: } L_{50} \simeq 3,0 \text{ mm}$$

Si l'on considère la distribution intégrale de la gaze N° 2 (Fig. 3), on remarque qu'au point où la densité de probabilité de la population atteint son maximum, la rétention de la maille N° 000 n'est que de 21%. La fuite au travers de cette maille est donc particulièrement importante.

La facteur de sélection peut s'écrire:

$$\frac{L_{50}}{M} = \frac{3,02}{0,913} = 3,3$$

$M$ : vide de maille.

#### SÉLECTIVITÉ ET DIMENSION TRANSVERSALE DES ORGANISMES

##### *Distribution de fréquence*

Le polymorphisme chez les Amphipodes étant très accusé, l'étude de la sélectivité à partir des seules longueurs des individus peut présenter un certain biais, car des spécimens très allongés et dont la taille est supérieure à celle de

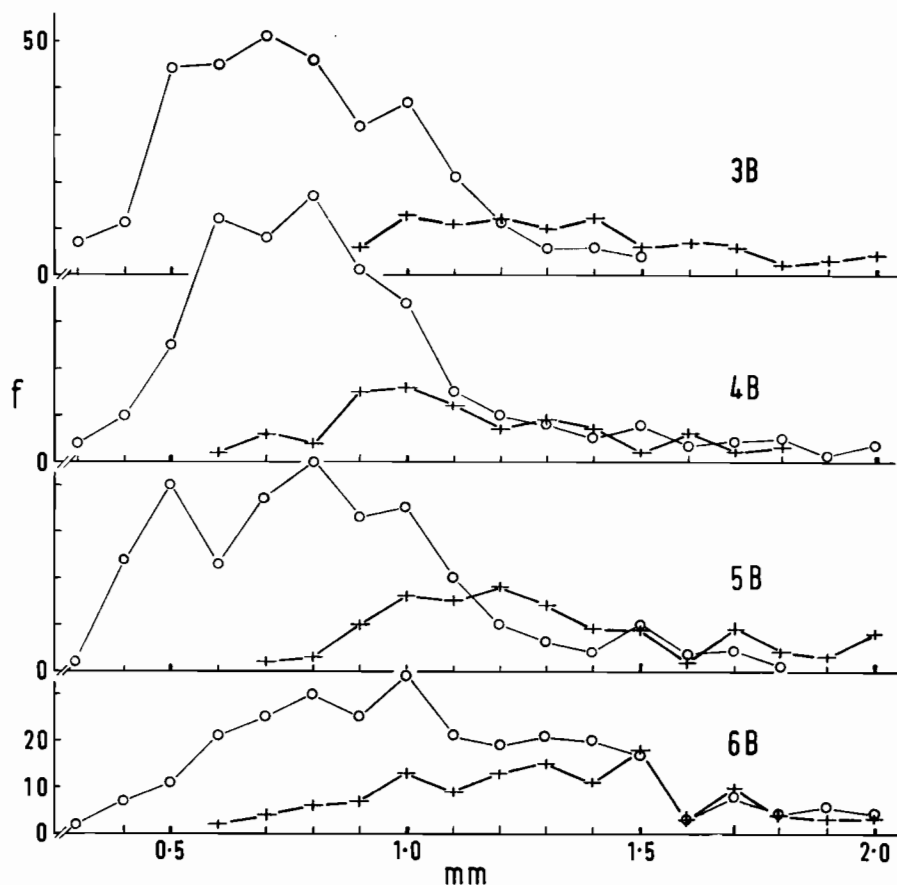


Figure 5. Amphipodes. Distribution des dimensions transversales maximums pour les couples d'échantillons 3B à 6B.

—○— maille N° 2  
 —+— maille N° 000

sélection ont la possibilité de traverser les mailles, tandis que d'autres à allure sphérique mais ne dépassant pas la valeur  $L_{50}$  sont retenus dans leur totalité. Il pourrait en résulter un abaissement des fréquences dans les grandes dimensions et une augmentation de celles-ci dans les petites.

Une vérification est entreprise en considérant la dimension transversale maximum des individus comme critère de sélectivité. Les diagrammes des Figures 5 et 6 donnent les fréquences pour des intervalles de 0,1 mm.

Pour la maille N° 000, la plus petite valeur observée est de 0,5 mm et le mode se situe à environ 1,1 mm. La maille N° 2 échantillonne des individus à partir de 0,3 mm et le mode, suivant les récoltes, se déplace entre 0,7 et 1,0 mm. Comme précédemment, on retrouve sur le graphique de la collecte N° 16B un second pic à 1,5 mm provenant d'un essaim de *Phronima*. Pour cet échantillon, les données, entre 1,3 et 1,5 mm, seront remplacées par des valeurs interpolées.

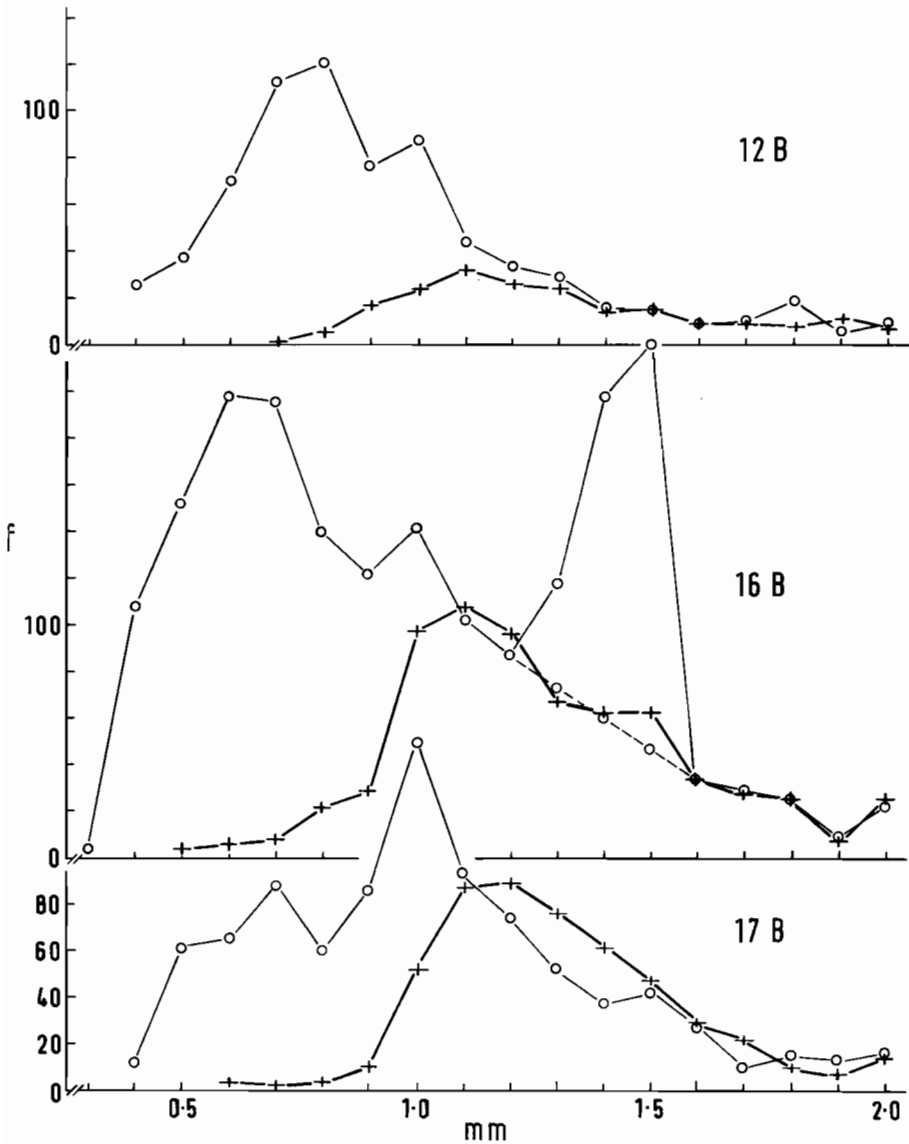


Figure 6. Amphipodes. Distribution des dimensions transversales maximums pour les couples d'échantillons 12B, 16B et 17B.

—○— maille N° 2  
 —+— maille N° 000

Le cumul des 7 couples de répartitions permet d'établir le graphique de la Figure 7. On relève pour la gaze N° 000 une taille modale de 1,1 mm, tandis que pour le nylon N° 2, elle se situe à 0,7 mm. Il y a donc un déplacement du monde de 0,4 mm. Au-dessus de 1,2 mm, les fréquences évoluent de la

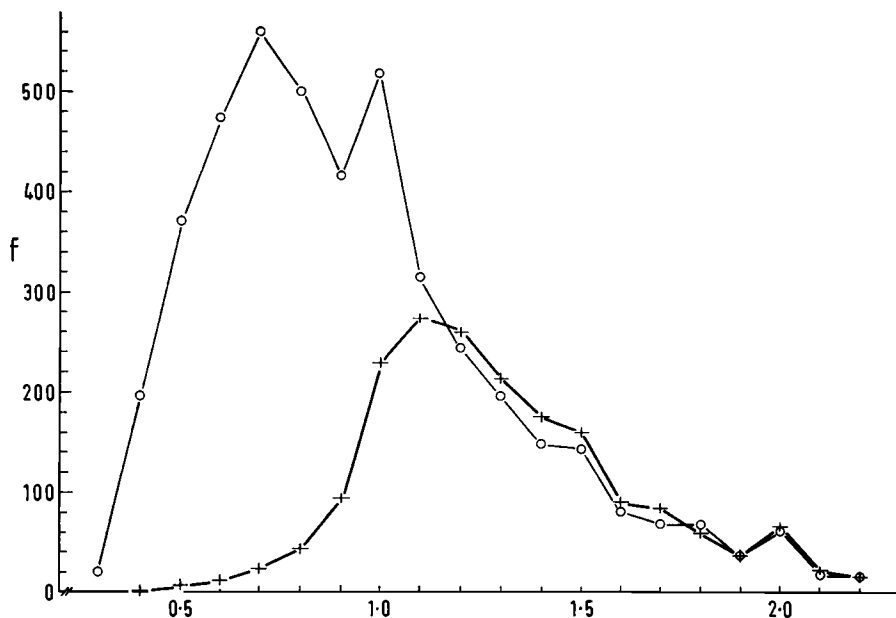


Figure 7. Amphipodes. Distribution des dimensions transversales maximums pour l'ensemble des 7 couples d'échantillons.

○ maille N° 2  
+ maille N° 000

même manière mais celles de la grande maille sont légèrement supérieures à celles de la petite maille.

*Courbe de sélection*

On opère de la même façon que ci-dessus pour les longueurs. On constate que la courbe (en pointillés sur la Fig. 8) se stabilise à environ 110% pour les classes supérieures à 1,3 mm. Il semble que cela résulte du fait que le filet N° 000 ait filtré en moyenne un volume d'eau plus important que celui du filet N° 2.

Si on considère les indications des débit-mètres grésés sur les filets, on observe que les valeurs pour la grande maille sont égales ou supérieures à celles de la petite. Le Tableau 8 fait état du rapport des indications des appareils pour les différents traits. On remarque que ce rapport n'est pas resté constant mais

TABLEAU 8. Comparaisons des filets N° 000 et N° 2

Stations		3B	4B	5B	6B	12B	16B	17B
Rapport des indications des débit-mètres des filets	$\frac{N^{\circ} 000}{N^{\circ} 2}$	1	1	1,1	1,1	1,5	1,6	1,5
Nombre de spécimens	Maille N° 000	99	115	134	157	223	789	558
	Maille N° 2	352	360	328	313	803	2 061	1 064
Durée du trait en min.		58	65	58	62	56	58	65

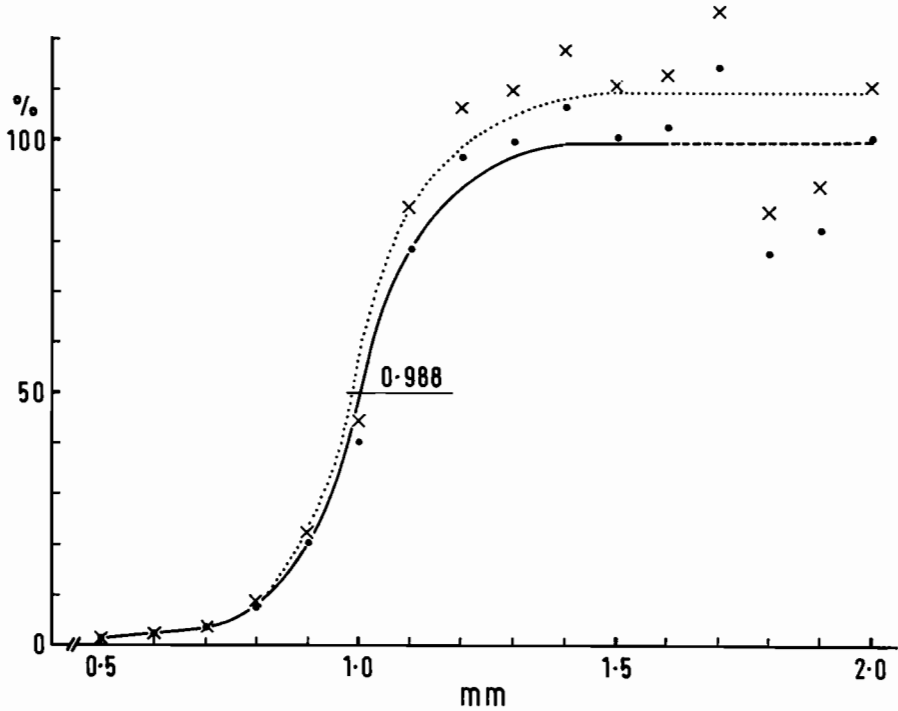


Figure 8. Amphipodes. Courbe de sélection de la maille N° 000.  
 Ordonnées: rétention des organismes  
 Abscisses: dimensions transversales maximum des organismes.  
 ..... x ..... courbe brute  
 —●— courbe ajustée

qu'il a augmenté d'une station à l'autre. Ceci est l'indice que la filtration du filet ne dépend pas uniquement de la dimension de ses mailles.

TRANter et HERON (1965) ont étudié la filtration pour des gazes différentes en menant des expériences en bassin avec un filet Clarke-Bumpus. Ces auteurs définissent le coefficient de filtration d'un engin dans son ensemble comme étant le rapport du volume d'eau ayant traversé l'appareil, par celui de la colonne de liquide de même diamètre et d'une longueur égale à la distance parcourue pendant le trait. Pour des vides de maille de 1,17 mm, 0,66 mm et 0,33 mm, ils constatent que, dans une gamme de vitesses comprises entre 0,6 et 3,6 nœuds, les coefficients de filtration ont des valeurs sensiblement équivalentes (90,3% en moyenne). Ces expériences viennent en confirmation de l'hypothèse de l'indépendance de la filtration pour des mailles de l'ordre de 0,34 à 0,91 mm (vitesse du trait: 2 à 3,3 nœuds). En ce qui concerne les traits 3B à 6B, les rapports des débit-mètres sont en accord avec ces observations.

Par contre, pour les traits 12B, 16B et 17B, les appareils indiquent des volumes d'eau pour la grande maille nettement supérieurs à ceux de la petite. Or les récoltes de ces trois derniers couples de traits sont beaucoup plus abondantes que celles des 4 précédents (Tableau 8) malgré que les caractéristiques des traits aient été maintenues, autant que possible, à des valeurs

constantes (vitesse du trait, durée, profondeur). Cette différence d'abondance provient probablement du contraste des densités planctoniques présenté par les zones tropicale sud et équatoriale du Pacifique où les deux groupes de prélèvements ont eu lieu.

La richesse des eaux de l'upwelling équatorial aurait entraîné un colmatage partiel de la petite maille au cours des collectes et, en conséquence, un abaissement du coefficient de filtration du filet. A ce phénomène, se superpose celui de la variabilité du trait dont les effets sont beaucoup plus difficiles à préciser. On a vu, ci-dessus, qu'au cours d'un même trait, le filet de maille N° 2 avait collecté un essaim de *Phronima* absent de la récolte du filet N° 000. En conséquence, les raisons invoquées à l'égard des différences de filtration ne seront admises qu'en tant que tentative d'explication.

Toutefois, cette situation demande le réajustement de l'ogive de sélection par l'intermédiaire d'un facteur de correction. A cet effet, on calcule le rapport de la somme des prises de chacun des deux filets en considérant seulement les tailles surpassant celles pour lesquelles la rétention de la maille N° 000 a été établie, c'est-à-dire, dans le cas présent, les valeurs comprises entre 1,2 et 2,0 mm. Les données corrigées de la grande maille permettent de déduire le pourcentage de fuite au travers des mailles pour chaque catégorie de tailles par rapport aux prises du filet N° 2. A partir de ces résultats, on peut corriger la courbe de sélection brute. La courbe ajustée (en trait continu sur la Fig. 8) permet d'obtenir la valeur  $l_{50}$ , d'ailleurs très peu différente de celle indiquée par la courbe brute.

#### Taille moyenne de sélection

En opère de la même façon que ci-dessus.

$$l_{50} = \frac{\sum lx \cdot dx}{\sum dx} \pm 0,5$$

L'intervalle de classe étant de 0,1 mm, la valeur du dernier facteur est prise égale à 0,05.

$$l_{50} = \frac{104,85}{100} - 0,05$$

$$l_{50} = 0,998 \text{ mm}$$

$$l_{50} \simeq 1,0 \text{ mm}$$

Il est à noter que cette valeur de la taille moyenne de sélection à 50% est supérieure à celle du vide de maille N° 000. On peut calculer empiriquement un facteur de sélection:

$$\frac{l_{50}}{M} = \frac{0,998}{0,913} = 1,09$$

$l_{50}$ : taille moyenne de sélection à 50%, et  $M$ : vide de maille N° 000.

#### CORRÉLATION LONGUEUR ET DIMENSION TRANSVERSALE DES AMPHIPODES

La sélectivité de la gaze de nylon N° 000 ayant été étudiée pour les Amphipodes en considérant la longueur, puis la dimension transversale maximum des individus, il semble intéressant d'examiner sur un couple d'échantillons appartenant au même trait, si une liaison peut être établie entre ces deux variables.

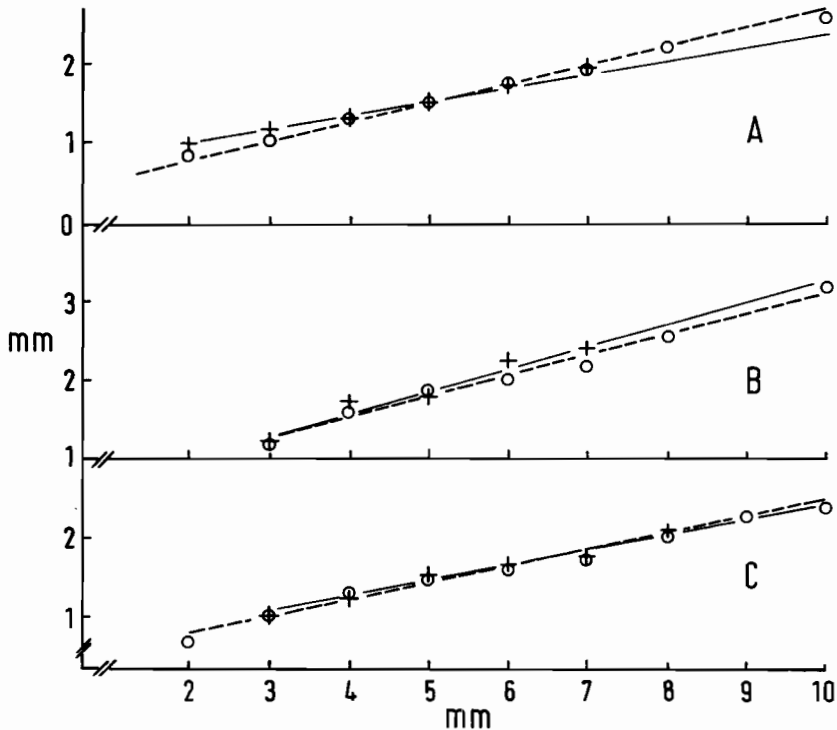


Figure 9. Droites de régression. Dimensions transversales maximums en ordonnées, longueurs des individus en abscisse.

--- ○ --- maille N° 2  
 — + — maille N° 000  
 A. - Amphipodes B. - *Phronima* C. - *Phronimella*

Le couple considéré est le N° 17B, pour lequel les effectifs sont suffisamment élevés et dont les populations ne présentent pas de fortes dissemblances (essaim).

Les séries d'observations sont exécutées au niveau des Amphipodes en général, des *Phronima* et des *Phronimella*. Les Oxycéphalides, en particulier, par suite de leur forme très allongée, ont été triés à part du groupe des Amphipodes et ont fait l'objet de mesures séparées. Pour chaque catégorie d'individus,

TABLEAU 9. Données expérimentales ayant rapport à la mesure de la maille, pêche et forme des Amphipodes, *Phronima* et *Phronimella*

	Maille	Effectif	Longueur moy. (mm) $\bar{L}$	Largeur moy. (mm) $\bar{l}$	r	$l = aL + b$	$S_l$ (mm)
Amphipodes	000	474	3,464	1,255	0,75	$0,175L + 0,649$	0,199
	2	937	2,953	1,031	0,89	$0,240L + 0,322$	0,202
<i>Phronima</i>	000	30	5,233	1,890	0,97	$0,289L + 0,378$	0,157
	2	46	5,500	1,922	0,97	$0,262L + 0,471$	0,172
<i>Phronimella</i>	000	141	4,581	1,412	0,87	$0,185L + 0,565$	0,120
	2	176	4,477	1,342	0,93	$0,199L + 0,451$	0,130

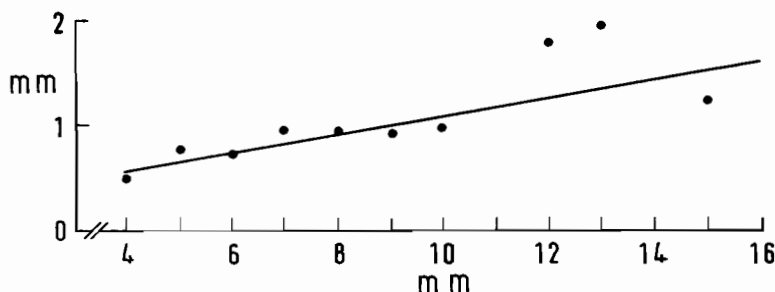


Figure 10. Oxycephalides. Droite de régression. Dimensions transversales maximums en ordonnée, longueurs des individus en abscisse.  $\bar{L} = 8,307$  mm;  $\bar{l} = 0,973$  mm;  $r = 0,74$ ; equation de la droite:  $l = 0,097 L + 0,167$ ;  $S_l = 0,224$  mm.

une droite de régression est calculée par la méthode des moindres carrés. Les résultats figurent au Tableau 9.

Le graphique concernant les Oxycephalides est calculé en tenant compte de la totalité des prises des deux filets. Malgré cela, l'effectif reste faible et la droite de régression est donc donnée à titre indicatif pour mettre en lumière la forme très allongée de ces organismes (Fig. 10).

Dans chacun des groupes ci-dessus, on peut relever une liaison significative entre les deux variables considérées. L'utilisation du critère de la dimension transversale dans l'étude de la sélectivité d'un filet à plancton au niveau des Amphipodes présente donc d'assez bonnes garanties. En contrepartie, les mesures seront beaucoup plus délicates par suite de la plus grande précision exigée. Il est également possible d'invoquer que la variable retenue ne porte pas sur une région déterminée du corps des individus, mais suivant le cas: sur la tête (Phronimidae) ou le mésosome et les plaques coxales (Platyscelidae). Cette technique peut cependant se justifier du fait qu'elle avait pour but de déterminer la dimension sur laquelle la maille exerce son action, donc la dimension la plus importante, quelle qu'elle soit.

## COPÉPODES

### TECHNIQUES DES MESURES

Aux diverses stations, les Copépodes ont été collectés en très grand nombre, ceci nous a donc amené à travailler sur des sous-échantillons obtenus à l'aide d'un diviseur Folsom (McEWEN *et al.*, 1954).

Pour diminuer les causes d'erreur introduites par le sous-échantillonnage, les organismes ont été préalablement séparés en trois groupes par passages successifs sur deux tamis à orifices de 3,4 mm puis de 1 mm de diamètre, ce qui nous a permis d'effectuer le fractionnement sur des ensembles homogènes. Cette répartition offre en outre la possibilité de diviser chaque groupe par un nombre choisi en fonction de son importance numérique.

La longueur ( $L$ ) des organismes est donnée par la distance du front à l'extrémité de l'abdomen, la *furca* n'étant pas comprise. La largeur ( $l$ ) est définie, ici, en considérant la plus grande dimension transversale du *corps antérieur* en vue dorsale, mesuré perpendiculairement au plan sagittal.

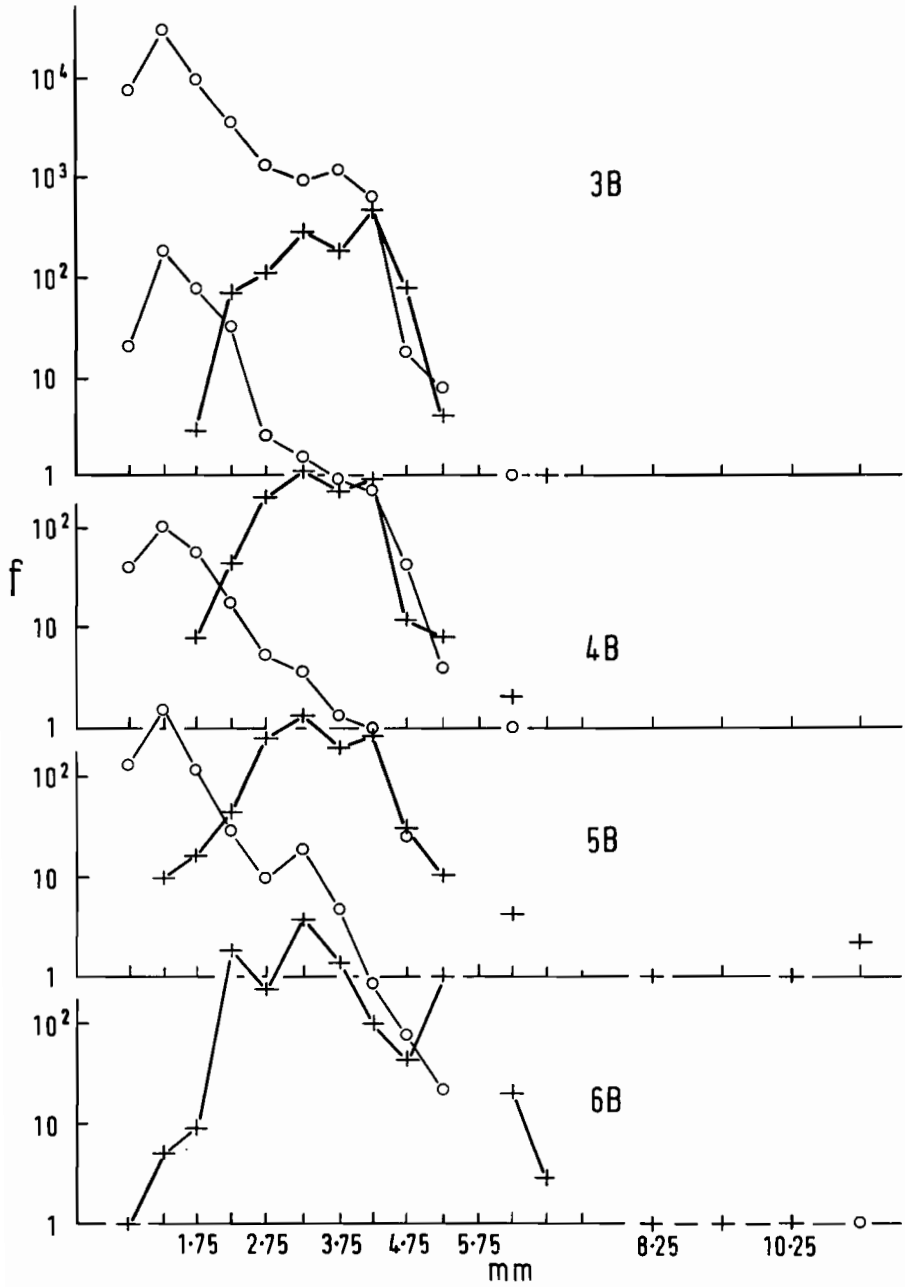


Figure 11. Copépodes. Polygones des fréquences des tailles pour les couples d'échantillons 3B à 6B.

— ○ — maille N° 2  
 — + — maille N° 000

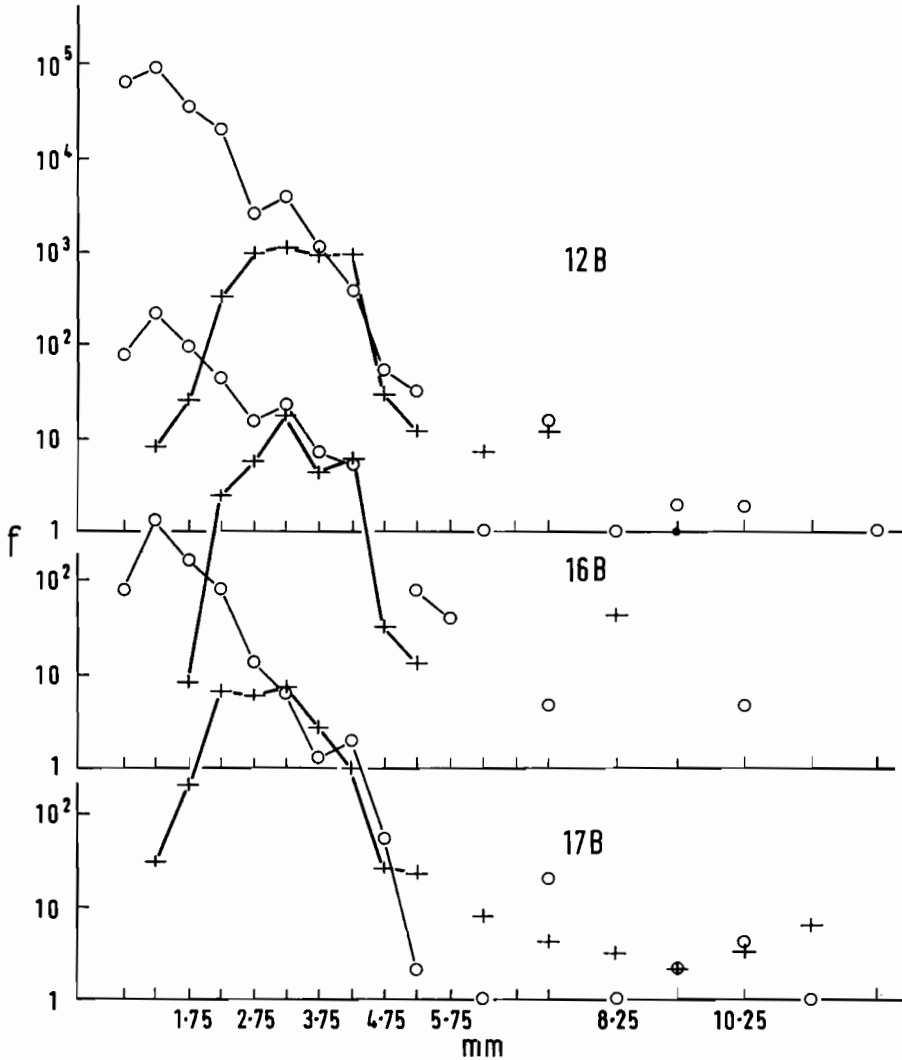


Figure 12. Copépodes. Polygones des fréquences des tailles pour les cuuples d'échantillons 12B, 16B et 17B

○ — maille N° 2  
 + — maille N° 009

SÉLECTIVITÉ ET TAILLE DES ORGANISMES

*Distribution de fréquences*

Les paires de polygones de fréquences (Fig. 11 et 12) représentant les distributions des tailles pour chacune des stations ont été tracés en coordonnées semi-logarithmiques car les fréquences observées sont très différentes pour les diverses classes de tailles et ce, surtout pour les échantillons du filet à mailles N° 2. L'intervalle des classes de tailles adopté est  $i = 0,5$  mm, sauf pour les

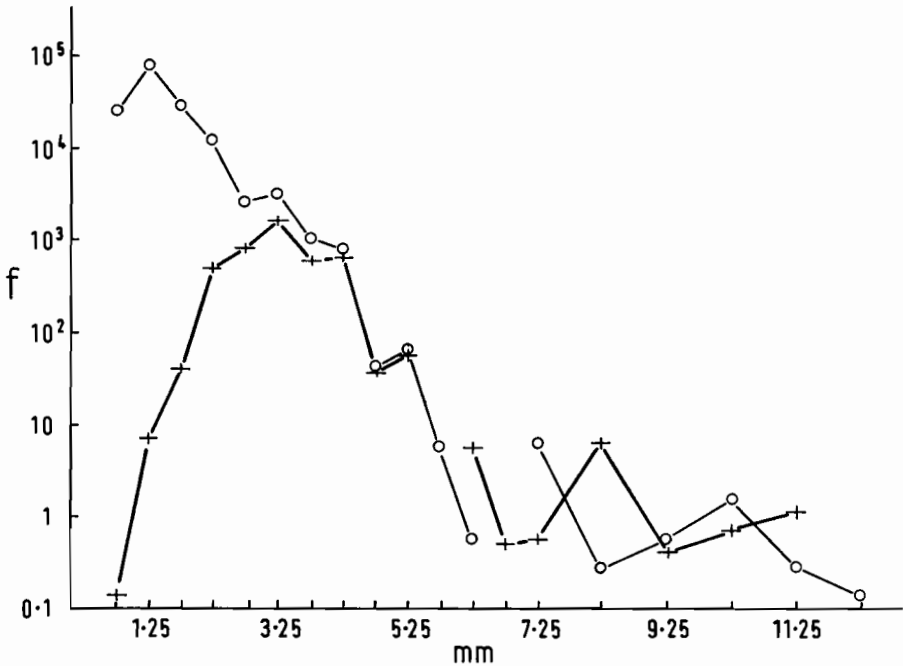


Figure 13. Copépodes. Polygones des fréquences moyennes des tailles pour l'ensemble des 7 couples d'échantillons  
 —○— maille N° 2  
 —+— maille N° 000

quelques individus dépassant 7,25 mm, pour lesquels l'intervalle de 1 mm semble mieux adapté.

L'examen de cette série de courbes montre qu'il existe une grande similitude d'allure entre elles. Pour le filet à mailles N° 000, la classe de point médian 0,75 mm n'est représentée qu'une fois et la classe 1,25 mm que quatre fois, alors que pour le filet à mailles N° 2 les fréquences dans la première classe, comprises entre 6 600 et 67 700, sont presque de l'ordre de grandeur du maximum qui se trouve dans tous les cas dans la classe 1,25 mm et varie de 31 000 à 132 000. Par contre, pour la maille N° 000, le point médian de la classe modale est en général 3,25 mm, sauf pour les stations 3B et 12B où il est égal à 4,25 mm.

Les polygones d'un même couple ont un point d'intersection, ou se confondent presque, pour une abscisse égale ou légèrement supérieure à 3,25 mm.

La forme générale des courbes des 7 couples se retrouve dans celles qui représentent les fréquences moyennes pour chaque classe de taille (Fig. 13). Ce graphique met en évidence l'échappement à travers la maille N° 000 pour les organismes appartenant aux classes de taille inférieure à 5,25 mm.

Dans les eaux tropicales, les Copépodes mésopélagiques dépassant cette taille sont assez rares et leur présence dans nos échantillons est insuffisante pour traduire de façon précise les comportements relatifs des deux filets vis-à-vis des Copépodes de grande taille. Cependant, les prises paraissent en moyenne peu différentes dans les deux filets.

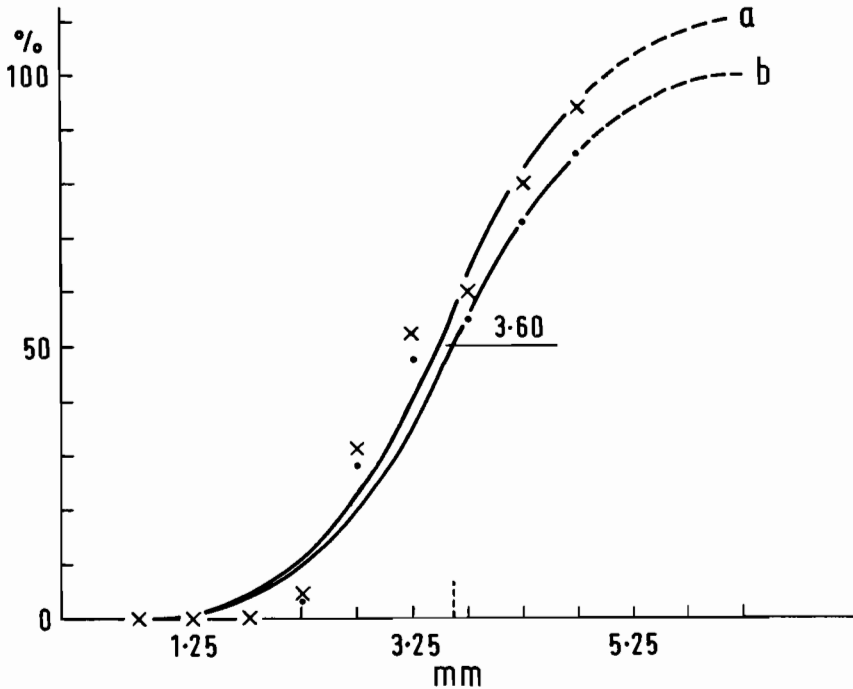


Figure 14. Copépodes. Courbe de sélection de la maille N° 000.  
 En ordonnée: les pourcentages retenus par rapport à la maille N° 2  
 En abscisse: les tailles (les points médians des classes de tailles)

courbe brute  
 courbe ajustée

#### Courbe de sélection

A partir des données des deux polygones des fréquences moyennes de la Figure 13, se calcule pour chaque groupe de tailles le pourcentage des prises entre les mailles N° 000 et N° 2. Les valeurs ainsi obtenues permettent de tracer la courbe de sélection des Copépodes pour la maille N° 000 (Fig. 14a); qui représente l'efficacité comparée de chaque type de maille vis-à-vis des individus de tailles diverses composant une population. Nous y retrouvons les mêmes conclusions que précédemment.

Cependant, pour déterminer la longueur moyenne de sélection ( $L_{50}$ ) et celle de rétention totale de la gaze de maille N° 000, il faut réajuster la courbe afin qu'elle corresponde à des volumes d'eau filtrés égaux pour les deux filets. A cet effet, nous pouvons considérer: soit le rapport des indications des débitmètres des deux filets, soit le rapport des nombres d'individus dépassant la taille approximative de rétention totale de la maille N° 000. Considérant les raisons déjà invoquées, nous retiendrons la seconde méthode et adopterons le rapport trouvé pour les Amphipodes égal à 1,1 et qui ne peut être déterminé de façon satisfaisante pour les Copépodes car les individus de grande taille sont trop peu nombreux dans les échantillons analysés.

Nous obtenons ainsi la courbe de sélection ajustée (Fig. 14b) du filet de mailles N° 000, à partir de laquelle on peut déterminer: soit graphiquement

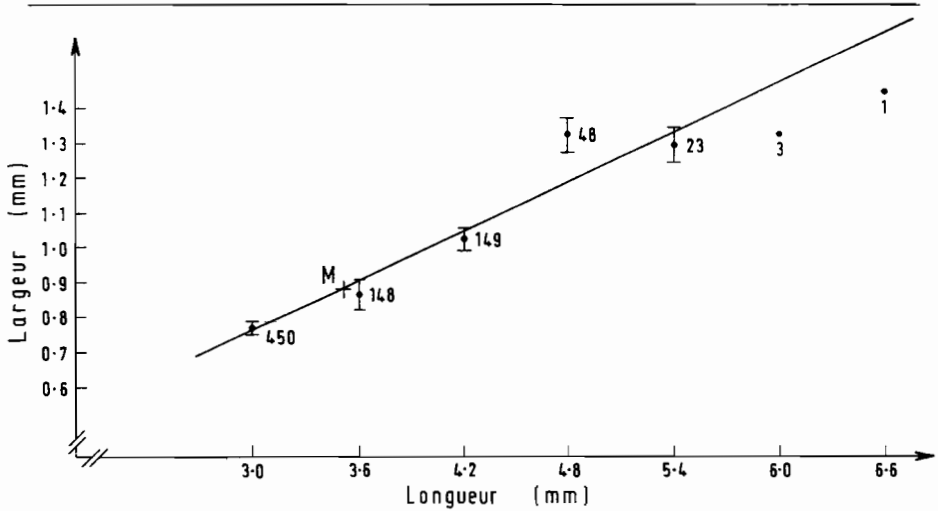


Figure 15. Copépodes. Droite de régression de  $l$  (largeur du corps antérieur) en  $L$  (longueur du corps). Les nombres indiquent l'effectif des classes

la longueur moyenne de sélection  $L_{50} = 3,60$  mm, soit par le calcul l'abscisse du point d'inflexion  $L_{50} = \frac{\sum Lx \cdot dx}{\sum dx} \pm \frac{i}{2}$  d'où:  $L_{50} = 3,576$  mm.

Pour la longueur, le facteur de sélection s'écrit alors:  $\frac{L_{50}}{M} = 3,92$

$M$ : vide de maille moyen du nylon N° 000.

#### CORRÉLATION LONGUEUR ET DIMENSION TRANSVERSALE

Pour les Copépodes, l'étude de l'efficacité comparée des deux filets et celle de la sélectivité de la maille N° 000 a été basée uniquement sur la longueur des individus. Cette dimension, quoique la plus usitée pour définir la taille de ces organismes, n'intervient pas directement pour limiter l'échappement à travers les mailles N° 000. L'étude de la largeur en fonction de la longueur a donc été conduite pour associer à la longueur moyenne de sélection et à la taille de rétention totale les dimensions transversales correspondantes. Dans ce but, nous avons considéré comme population une fraction des individus du couple d'échantillons 17B de taille supérieure à 2,7 mm. Les paramètres de la régression de  $l$  (largeur) en  $L$  (longueur) sont les suivants:

Effectif:  $N = 832$

Longueur moyenne:  $\bar{L} = 3,506$  mm

Largeur moyenne:  $\bar{l} = 0,882$  mm

Coefficient de corrélation:  $r = 0,80$

Equation de la droite:  $l = 0,235L + 0,073$

Erreur standard sur l'estimé:  $S_l = 0,126$  mm.

A cette droite (Fig. 15) sont associés les points du diagramme de régression

de  $l$  en  $L$  et les intervalles de sécurité des largeurs moyennes  $\bar{l}_i$  correspondant au coefficient de sécurité  $\lambda = 0,95$ .

La largeur moyenne de sélection  $l_{50}$  calculée d'après la valeur  $L_{50}$  est:

$$l_{50} = 0,913 \text{ mm et le facteur de sélection devient: } \frac{l_{50}}{M} = \frac{0,913}{0,913} = 1,00.$$

Ce facteur de sélection, relativement faible, indique que la largeur du *corps antérieur* telle que nous l'avons définie n'est pas l'unique paramètre qui conditionne la rétention à l'intérieur du filet à mailles N° 000.

En effet, pour un grand nombre d'espèces, la largeur considérée ici est inférieure à la dimension dorso-ventrale dans le plan sagittal du céphalothorax. Mais la mesure de cette dernière n'a pu être retenue car l'insertion des appendices la rend trop imprécise. Par ailleurs, dans le phénomène de l'échappement, il est difficile d'évaluer quantitativement l'effet des appendices. Sur ce point, SAVILLE (1958) note que dans le genre *Oithona* où les premières antennes sont étendues perpendiculairement au corps, la largeur moyenne de sélection pour un vide de maille de 0,221 mm, est exceptionnellement réduite, c'est-à-dire qu'elle n'atteint que 0,208 mm, alors que pour les autres espèces elle varie de 0,288 à 0,317 mm.

## DISCUSSION

L'étude quantitative d'un groupe planctonique particulier nécessite que l'engin permette le prélèvement d'échantillons, d'une part, représentatifs de la composition faunistique du peuplement considéré et, d'autre part, non sélectifs au niveau des espèces composantes.

La réalisation de ces deux conditions se heurte aux problèmes de l'évitement du filet par les organismes et à celui de leur échappement au travers des mailles. Sans nier l'importance des conséquences de l'évitement, on s'est limité exclusivement dans ce travail au second problème qui a pu être abordé par l'étude de la sélectivité de la maille N° 000 pour les Amphipodes et les Copépodes. Ceci a nécessité la détermination du vide de maille moyen de la gaze du filet, ainsi que la connaissance des distributions de tailles des populations échantillonnées. Les séries de mesures menées sur la partie filtrante du filet et sur le matériel biologique ont conduit à une estimation de la maille optimum pour une rétention satisfaisante des formes intéressées. Il est évident que ces résultats présentent un certain degré d'imprécision dont les causes peuvent se classer comme suit:

### a) INCERTITUDE RELATIVE À LA CONSTRUCTION DE LA GAZE

Elle provient des irrégularités dans la texture du nylon, de la déformation des mailles par glissement ou écartement latéral des fils entrelacés et non noués au moment du passage des organismes, de l'allongement linéaire du filet sous l'action de la résistance de l'eau et des erreurs systématiques dans la mesure de la maille consécutives à la différence de tension de la gaze *in situ* et placée sous le microscope. Le facteur vieillissement intervient également. Il a été constaté, ci-dessus, un rétrécissement non négligeable suivant le sens longitudinal entre un filet neuf et un autre identique mais usagé.

## b) INCERTITUDE RELATIVE AUX ORGANISMES

On peut relever le polymorphisme très prononcé des Amphipodes, ainsi que la disposition particulière des antennes de certaines espèces de Copépodes. En conséquence, des individus de grande taille mais très allongés peuvent traverser les mailles, tandis que d'autres beaucoup plus petits sont retenus par leurs appendices. Un échappement peu soupçonnable et difficile à évaluer est dû à la compressibilité de certaines formes délicates. Les erreurs systématiques ne sont pas non plus exclues; les mensurations des spécimens étant effectuées sur du matériel conservé en milieu formolé, des transformations *post mortem* peuvent apparaître: rigidité accrue, rétraction par perte en eau. Par suite, les facteurs de sélection réels, pour les Amphipodes et les Copépodes vivants, sont certainement différents de ceux déterminés ci-dessus, lesquels ne constituent qu'une approche du problème.

## CONCLUSION

Les résultats de cette étude mettent en évidence une sélectivité de la maille N° 000 aussi bien pour les Amphipodes que pour les Copépodes. Elle se traduit par une largeur de sélection de 1,0 mm pour les Amphipodes et de 0,9 mm pour les Copépodes. Un échappement particulièrement important affecte les prélèvements de la gaze N° 000, qui ne sont pas représentatifs des populations d'Amphipodes et de Copépodes. Cette maille ne peut donc convenir à une étude quantitative de ces deux groupes en général. *A priori*, ce fait paraissait évident pour les Copépodes et les petites espèces d'Amphipodes, mais il était intéressant d'apporter plus de précision sur ce point et de définir les limites de sécurité relatives aux tailles échantillonnées.

La maille N° 2, avec un vide de 0,337 mm, peut être considérée comme présentant un degré de rétention acceptable vis-à-vis des Amphipodes. Les Copépodes ayant des dimensions beaucoup plus réduites, on peut admettre les effets d'une certaine sélectivité et rechercher une maille plus fine (0,28 mm, par exemple). Toutefois, pour les Copépodes calanoïdes, la gaze N° 2 semble utilisable pour la prospection des couches mésopélagiques.

En dernier lieu, on peut remarquer que la mise en service de telles mailles dans des zones à forte densité planctonique s'accompagne assez souvent d'un colmatage pouvant réduire le coefficient de filtration et l'efficacité du filet, ce qui, en particulier, s'observe dans une certaine mesure dans les eaux équatoriales du Pacifique.

## RÉSUMÉ

Une étude comparative, au niveau des Amphipodes et des Copépodes du Pacifique intertropical, est faite sur des collectes jumelées d'un engin constitué par deux filets à plancton identiques mais pourvus de gazes de nylon N° 000 (0,91 mm) et N° 2 (0,34 mm).

Les tailles de sélection pour ces organismes sont déterminées pour la maille N° 000. L'échappement des petites formes au travers de la partie filtrante du filet est élevé et les prélèvements ne répondent plus aux conditions de représentativité et de non sélectivité.

L'examen des récoltes de la maille N° 2 indique une rétention suffisante des Amphipodes et un échantillonnage acceptable des Copépodes calanoïdes. Toutefois, une gaze plus fine (0,28 mm) est suggérée pour les Copépodes dans leur ensemble.

## REFERENCES

- BARKLEY, R. A., 1964. "The theoretical effectiveness of towed-net samplers as related to sampler size and to swimming speed of organisms". *J. Cons. perm. int. Explor. Mer*, **29**: 146-57.
- BARNES, H., 1949. "A statistical study of the variation in vertical plankton hauls with special reference to the loss of the catch with divided hauls". *J. mar. biol. Ass. U.K.*, **38**: 429-46.
- BARNES, H. & MARSHALL, S. M., 1951. "On the variability of replicate plankton samples and some applications of "contagious" series to the statistical distribution of catches over restricted periods". *J. mar. biol. Ass. U.K.*, **30**: 233-63.
- BEVERTON, J. H. & HOLT, S. J., 1957. "On the dynamics of exploited fish populations". *Fish. Invest., Lond., Ser. 2*, **19**: 533 pp.
- CURRIE, R. I., 1963. "The Indian Ocean Standard Net". *Deep Sea Res.*, **10**: 27-32.
- FLEMINGER, A. & CLUTTER, R. I., 1965. "Avoidance of towed nets by zooplankton". *Limnol Oceanogr.*, **10**: 96-104.
- GRANDPERRIN, R. & MICHEL, A., 1969. "Efficences comparées de filets à plancton coniques de mêmes dimensions et de mailles différentes. I. Etude générale". *J. Cons. int. Explor. Mer*, **33**: 53-66.
- GULLAND, J. A., 1964. "Variations in selection factor and mesh differentials". *J. Cons. perm. int. Explor. Mer*, **29**: 158-65.
- GULLAND, J. A., 1965. "Manual of methods for fish stock assesment. Part I. Fish. population analysis". F.A.O. Fish. Biol. tech. Pap., (40) Rev. 1, (unpaginated).
- GULLAND, J. A., 1967. "Statistical aspects of comparative fishing trials". Rep. F.A.O., U.N.D.P., (TA 2277-II) 349-54.
- HODDER, V. H. & MAY, A. W., 1965. "Otter-trawl selectivity and girth-length relationships for cod in ICNAF subarea N° 2". *Res. Bull. int. Commn NW. Atlant. Fish.* (2) 8-18.
- MCEWEN, G. F., JOHNSON, M. W. & FOLSOM, TH. R., 1964. "A statistical analysis of the performance of the Folsom plankton sample splitter based upon test observations". *Arch. Met. Geophys. Bioklim., Ser. A*, **7**: 502-627.
- MCGOWAN, J. A. & FRAUNDORF, V. J., 1966. "The relationship between size of net used and estimates of zooplankton diversity". *Limnol. Oceanogr.*, **11**: 456-69.
- MAHNKEN, C. V. W. & JOSSI, J. W., 1967. "Flume experiments on the hydrodynamics of plankton nets". *J. Cons. perm. int. Explor. Mer*, **31**: 38-45.
- OMORI, M., MARUMO, R. & AIZAWA, Y., 1965. "A 160 cm opening closing plankton net. II. Some notes on the towing behavior of the net". *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **21**: 245-52.
- ROUNSEFELL, G. A. & EVERHART, W. H., 1953. "*Fishery science. Its methods and applications*". Wiley, N.Y., 444 pp.
- SAVILLE, A., 1958. "Mesh selection in plankton nets". *J. Cons. perm. int. Explor. Mer*, **13**: 192-201.
- SCHWARTZ, D., 1963. *Methodes statistiques a l'usage des medecins et des biologistes*. Flammarion, Paris. 290 pp.
- SILLIMAN, R. P., 1946. "A study of variability in plankton tow-net catches of Pacific pilchard (*Sardinops caerulea*) eggs". *J. mar. Res.*, **6**: 74-83.
- TRANter, D. J. & HERON, A. C., 1965. "Filtration characteristics of Clarke-Bumpus samplers". *Aust. J. mar. Freshwat. Res.*, **16**: 281-91.
- TRANter, D. J. & HERON, A. C., 1967. "Experiments on filtration in plankton nets". *Aust. J. Mar. Freshwat. Res.*, **18**: 89-111.
- TRANter, D. J., 1967. "A formula for the filtration coefficient of a plankton net". *Aust. J. mar. Freshwat. Res.*, **18**: 113-21.
- VIBERT, R. & LAGLER, K. F., 1961. "*Pêches continentales*". Dunod, Paris. xxiv + 720 pp.
- WINSOR, C. P. & WALFORD, L. A., 1936. "Sampling variations in the use of plankton nets". *J. Cons. perm. int. Explor. Mer*, **11**: 190-204.
- WINSOR, C. P. & CLARKE, G. L., 1940. "A statistical study of variation in the catch of plankton nets". *J. mar. Res.*, **3**: 1-34.



## Sélection du chalut pélagique Isaacs-Kidd 10 pieds

A. MICHEL et R. GRANDPERRIN

Centre O.R.S.T.O.M. de Nouméa; Nouméa, New Caledonia

26 JUIN 1986

~~O. R. S. T. O. M. Fonds Documentaire~~

~~N° : 20 327~~

~~Cote : A~~

### Abstract

#### *Selection of the 10-foot Isaacs-Kidd midwater trawl*

This paper deals with the selection of the 10-foot Isaacs-Kidd midwater trawl, 4 mm in mesh size, which terminates in a fine-mesh section of 1 mm mesh aperture. It is emphasized that this finer mesh adds a large fraction of small animals to the main catch. This fraction has been estimated from comparisons between catches collected (1) with the above gear, (2) with the above gear terminating in a 4 mm mesh cod-end, (3) with the 1 mm mesh cod-end used alone as a net. It is demonstrated that escape through 4 mm meshes is a function both of hauling duration and of vertical distribution of organisms. The experimental part of this work has been carried out on crustaceans.

### Introduction

Les organismes planctoniques et micronectoniques ont un spectre de tailles large, de quelques dizaines de microns à 20 ou 30 cm. A l'exception des plus petits pour lesquels des méthodes de pompage et d'emprisonnement d'un volume d'eau peuvent être envisagées, le seul moyen de capture utilisé actuellement pour des études quantitatives de distribution ou de biologie est la filtration d'eau *in situ* par des filets de caractéristiques variées. L'emploi de ces filets a pour objectif l'obtention d'un échantillon représentatif des populations en place. Or, l'échantillonnage peut être faussé par l'évitement et par l'échappement, phénomènes distincts fonction des caractéristiques du filet. Ils aboutissent l'un et l'autre au même résultat, une sous-estimation, voire même une disparition, dans les récoltes, des tailles extrêmes. Pour chaque filet utilisé, et pour chaque espèce, il faudra donc définir les tailles valablement échantillonnées et celles dont l'abondance est sous-estimée et auxquelles il faudrait appliquer un facteur correctif pour parvenir à une évaluation globale des populations en place.

Le choix d'un filet dépend de la largeur du spectre de tailles des espèces ou groupes d'espèces que l'on désire échantillonner. Si, en théorie, on peut concevoir le filet idéal adapté aux besoins de chaque type d'études, on se trouve en pratique limité, surtout pour les espèces micronectoniques, par des facteurs technologiques tels que dimensions des engins, manipulation à bord, possibilités de traction par les navires de

recherche classiques, et aussi par un facteur logistique, la rentabilité du temps de travail bateau. Ce dernier facteur conduit à essayer d'obtenir, avec un seul filet, des récoltes intéressant le plus grand nombre d'espèces.

Pour les organismes purement planctoniques qui ont, par définition, des capacités de déplacement faibles, les ouvertures des filets à mettre en oeuvre pour que l'évitement soit négligeable sont tout à fait compatibles avec les possibilités d'emploi à bord d'un bateau; la maille sera alors choisie en fonction des plus petites tailles que l'on veut échantillonner et la longueur du filet calculée de telle sorte que le coefficient de filtration soit le plus élevé possible (TRANter et HERON, 1967; TRANter et SMITH, 1968).

Par contre, pour les organismes micronectoniques caractérisés en général par de grandes capacités de déplacement et des spectres de tailles plus larges, il faut, pour réduire l'évitement, concevoir des filets de grande ouverture qui, pour des raisons de tension sur les câbles tracteurs et sur les treuils, ne peuvent supporter la maille fine qui serait compatible avec un bon échantillonnage des petites tailles. Une solution consisterait à échantillonner l'ensemble du spectre d'une espèce avec plusieurs filets d'ouvertures et de vides de maille décroissants puis d'isoler ensuite, dans chaque récolte, la fraction la plus représentative de la population réelle, la juxtaposition des fractions ainsi obtenues fournissant alors un échantillon valable. Cette méthode entraîne des complications techniques qui n'ont pas encore été résolues: obligation de fixer les filets le plus près possible les uns des autres pour éviter les variations dues à la surdispersion des organismes et surtout difficulté d'isoler au laboratoire des fractions se raccordant sans solution de continuité. Aussi, la plupart des études sur le micronecton reposent elles sur un échantillonnage effectué par des filets qui sont des compromis. Ils fournissent des récoltes faussées par les phénomènes d'évitement et d'échappement mais sont, à l'heure actuelle, les seuls utilisables en routine à bord.

Dans l'optique des études sur le micronecton poursuivies au Centre O.R.S.T.O.M. de Nouméa, le choix des caractéristiques du filet reposait sur les critères suivants: (1) capture des plus grandes tailles, d'où grande ouverture réduisant l'évitement et maille

assez large pour que le coefficient de filtration soit élevé et qu'une vitesse de trait suffisante puisse être utilisée sans tension excessive sur le câble tracteur; (2) capture conjointe des petites tailles, d'où utilisation comme cul d'un filet conique à mailles fines.

Conformément aux recommandations de la WORKING PARTY 4 (Zooplankton Sampling 1968) sur le micronecton, l'engin retenu a été le chalut pélagique Isaacs-Kidd 10 pieds<sup>1</sup> (ISAACS et KIDD, 1953), d'ouverture 7,870 m<sup>2</sup>. Il a été gréé avec une maille de 4 mm et son cul est constitué par un filet conique ordinaire de 50 cm de diamètre<sup>1</sup> d'ouverture 0,196 m<sup>2</sup> et de maille 000 (vide de maille compris entre 900 et 1000  $\mu$ ) terminé par un collecteur en plastique transparent de 15 cm de diamètre avec 4 séries d'ouvertures circulaires filtrantes de même maille que le cul. Il est bon de remarquer ici que la maille 000 n'est qu'exceptionnellement sujette au colmatage dans les eaux du Pacifique Equatorial Central et Occidental et dans les eaux oligotrophes du Pacifique Sud tropical où ce filet est utilisé en routine.

#### Considérations théoriques sur la sélection

Il convient de noter que le type de filet utilisé avait été conçu primitivement pour des études qualitatives. Le présent travail se propose d'étudier ce que l'on peut en attendre du point de vue quantitatif, chaque récolte globale étant la résultante des sélections des 2 mailles.

— La sélection de la maille de 4 mm porte, sur la fraction de la population qui a pénétré dans la gueule du filet.

— La sélection de la maille 000 du cul porte parmi les organismes issus de la sélection précédente, sur ceux théoriquement capables de s'échapper au cours du trait si le filet était entièrement constitué de maille de 4 mm. La sélection de la maille 000 s'effectue donc sur une population modifiée, dans l'abondance relative des groupes de tailles, par son passage dans la partie avant du filet, une fraction des organismes ayant échappé à travers la maille de 4 mm tandis que l'autre est drainée jusqu'à l'ouverture du fco 50.

#### Sélection de la maille 000 et de la maille 4 mm

Pour schématiser les phénomènes, toutes les courbes de sélection de cette partie théorique ont été dessinées pour des populations imaginaires dont l'allure générale est représentée par une fraction d'hyperbole.

L'échappement à travers la maille 000 intéresse les organismes les plus petits. Pour un filet maille 000 d'ouverture importante, leur évitement peut être considéré comme insignifiant. Les phénomènes d'évitement et d'échappement sont donc indépendants, les

organismes capables d'éviter ne pouvant échapper et vice versa (Fig. 1). La partie moyenne de la récolte sera donc indépendante de ces deux causes de sous-estimation et pourra être considérée comme représentative. Ceci est réalisé dans le cas des filets à plancton classiques dont on détermine les caractéristiques de

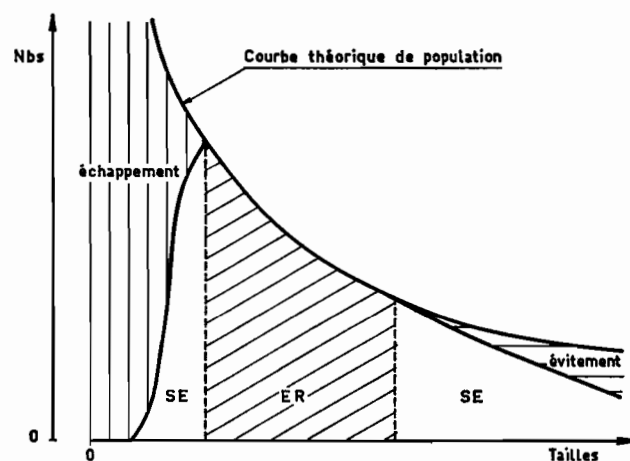


Fig. 1. Sélection théorique de la maille 000. ER Echantillonnage représentatif; SE sous-estimation

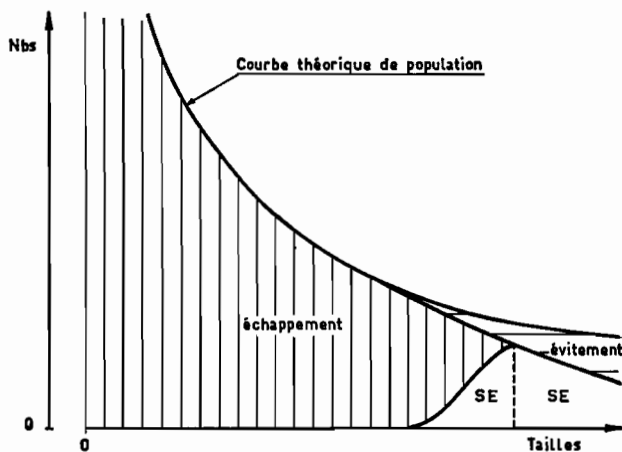


Fig. 2. Sélection théorique de la maille 4 mm. SE Sous-estimation

manière à ce que les espèces à étudier se trouvent comprises dans cette zone moyenne.

Par contre, pour un filet gréé entièrement avec de la maille 4 mm, l'échappement joue pour des organismes dont la taille est importante et dont les capacités d'évitement peuvent être fortes, ce qui fait qu'évitement et échappement risquent d'intéresser simultanément les classes de tailles moyennes (Fig. 2). Ce chevauchement varie suivant l'importance des 2 phénomènes et, pour certaines espèces, aucune classe de tailles ne peut alors être jugée échantillonnée de façon représentative.

<sup>1</sup> Dans la suite du texte, ces filets seront respectivement désignés par IKMT 10 et par fco 50.

### Évitement et échappement

L'évitement, phénomène actif propre à chaque individu ne dépend, pour un coefficient de filtration donné, que de la surface d'ouverture et de la vitesse du filet. Si ces 2 caractéristiques restent constantes, il sera possible de comparer quantitativement les traits entre eux, même pour les fractions soumises à la sous-estimation de la population à laquelle l'évitement conduit. Le passage à la population réelle impliquera ensuite une connaissance de cet évitement.

Il semble par contre que le phénomène d'échappement soit beaucoup plus complexe, le facteur temps pouvant intervenir. En effet, il dépend non seulement de la taille de l'individu par rapport à la taille de la maille, mais aussi du nombre de fois où l'organisme

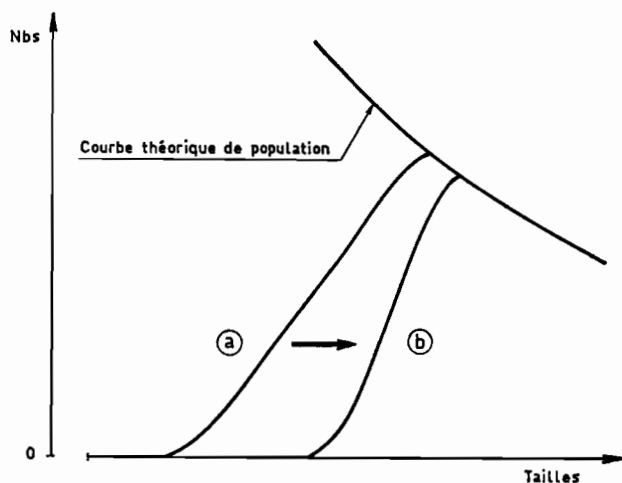


Fig. 3. Déplacement apparent de la courbe de sélection d'une maille donnée en fonction de la durée du trait. a début de trait; b fin de trait

touche les parois du filet. Ces contacts dépendent de ses capacités de déplacement face à l'écoulement de l'eau. Ces capacités peuvent varier suivant les espèces et les individus mais aussi suivant le temps passé dans le filet. Notons en effet, que les récoltes présentent simultanément, pour une même espèce et pour un même groupe de tailles, tous les intermédiaires entre des individus encore vivants en parfait état et d'autres très détériorés. Ces différences de conditions sont très certainement le reflet du nombre de contacts avec les parois, conséquence directe du temps de séjour. Ceci a été bien mis en évidence par LEGAND (communication personnelle) dans une étude sur *Cyclothone pallida*. Les individus d'une classe de tailles donnée récoltés au cours de trait à 1000 m de nuit ont été comparés aux individus de même taille récoltés au cours de trait à 1000 m de jour. De nuit, les individus détériorés représentent 19% de l'effectif alors qu'ils représentent 53% de jour. Cette différence serait due à une différence

de durée de séjour dans le filet, conséquence des changements dans la distribution verticale, les poissons se situant de jour plus en profondeur que de nuit. Les facultés de résister à l'entraînement des filets d'eau, de rechercher ou de fuir le contact des parois ne semblent pas constantes. L'échappement risque donc de varier en fonction du temps pour un même organisme. Il existe une certaine analogie entre ce phénomène et un tamisage. En effet, au début d'un tamisage, les éléments fins, capables de passer à travers les mailles, sont très nombreux. Lorsqu'on poursuit l'opération, le nombre de ces éléments décroît en fonction du temps. Il s'annule si ce dernier est assez long. Pour obtenir des résultats reproductibles, il conviendra donc de tamiser assez longtemps. L'analogie s'arrête là car, pour une population planctonique ou micronectonique, le tamisage, appelé sélection, s'accompagne en permanence d'un apport de matériel nouveau, de telle sorte qu'il ne peut pas être instantanément reproductible. À taille égale, les individus qui sont rentrés les derniers ont beaucoup moins de chance de s'échapper que les premiers. À la limite, un trait très court ramènera une récolte proportionnellement plus abondante qu'un trait long, la différence jouant sur les tailles susceptibles d'échapper. Ainsi, le facteur durée de trait risque de modifier l'échantillon. Tout se passe dans ce cas comme si la courbe de la maille se déplaçait vers la droite en fonction du temps, le déplacement étant plus important pour les petites tailles que pour les grandes tailles (Fig. 3). Même en les ramenant au même volume d'eau filtrée ou à une longueur standard, il n'est ainsi théoriquement pas possible de comparer entre eux des traits d'inégales durées. L'importance de ce phénomène variera suivant le type de mailles.

### Sélection du chalut

L'examen d'une récolte effectuée à l'aide d'un filet quelconque montre, pour une espèce donnée, que l'échappement n'a pas lieu pour une taille définie mais qu'il s'étale sur un intervalle de largeur variable (SAVILLE, 1958). Cet étalement est dû à la plasticité des organismes qui peut permettre à ceux dont la taille est légèrement supérieure à celle de la maille, de se forcer un passage par leurs mouvements propres et à la rétention d'organismes légèrement plus petits que la maille, qui n'avaient pas encore réussi à s'échapper au moment où le filet sortait de l'eau.

Pour la maille 000, les organismes susceptibles de la traverser ont, nous l'avons vu, une capacité de nage faible par rapport aux vitesses de traits habituels: ils seront donc plaqués sur les parois, et l'échappement éventuel se fera alors rapidement. Par ailleurs, les mailles 000 en fibres monofilament synthétique rigides ont une dimension relativement constante, peu modifiée par la pression des filets d'eau. La courbe de sélection sera donc très verticale dans sa partie échappement,

portant sur un intervalle de tailles étroit (SAVILLE, 1958, et Fig. 4a). Dans ce cas, l'influence du facteur temps sera donc relativement faible, exception faite peut être pour des traits de très courte durée à vitesse lente (traits verticaux).

Pour la maille 4 mm, le phénomène est sensiblement différent car les organismes intéressés sont susceptibles d'avoir un comportement actif vis-à-vis des parois. Cette maille, en fibres synthétiques souples tressées, présente une ouverture qui est loin d'être régulière, variant en fonction des tensions exercées sur les pans du filet: se formeront ainsi, tous les intermédiaires entre des mailles carrées et des mailles complètement étirées susceptibles de retenir de très petits organismes. Ceci ralentira l'échappement et on peut s'attendre à obtenir une courbe de sélection portant sur un large intervalle de tailles (Fig. 4b).

Les considérations précédentes concernent les 2 sélections prises séparément. Celle du chalut sera en fait différente de leur simple juxtaposition car elles vont réagir l'une sur l'autre. Pour les gros organismes entrés dans le filet et retenus à 100% par la maille de 4 mm, l'action du fco 50 n'apportera aucune modification. Les autres ont tous la possibilité d'échapper à travers la maille de 4 mm pendant le parcours de la gueule du chalut jusqu'à la gueule du fco 50. Cependant, une partie, canalisée par les filets d'eau ou refusant le contact des parois se présentera néanmoins devant la gueule du fco 50. On a donc à ce niveau une population modifiée dans l'abondance relative de ses groupes de taille par l'échappement différentiel le long des parois de maille 4 mm. La réduction des mailles due à la présence du fco 50 intervient alors, perturbant l'écoulement des filets d'eau et ralentissant l'entrée des organismes dans le cul. Ce ralentissement s'accompagne probablement d'une certaine turbulence (CLUTTER et ANRAKU, 1968) donne aux organismes une nouvelle possibilité de s'échapper avant d'être entraînés dans le fco 50 où ils y subiront sa sélection. Certains auteurs (ISAACS et BROWN, 1966; CLARKE,

1969; KINZER, 1969) ont d'ailleurs souligné qu'en utilisant des filets terminés par des collecteurs multiples (FOXTON, 1963; LONGHURST et al., 1966) ou par

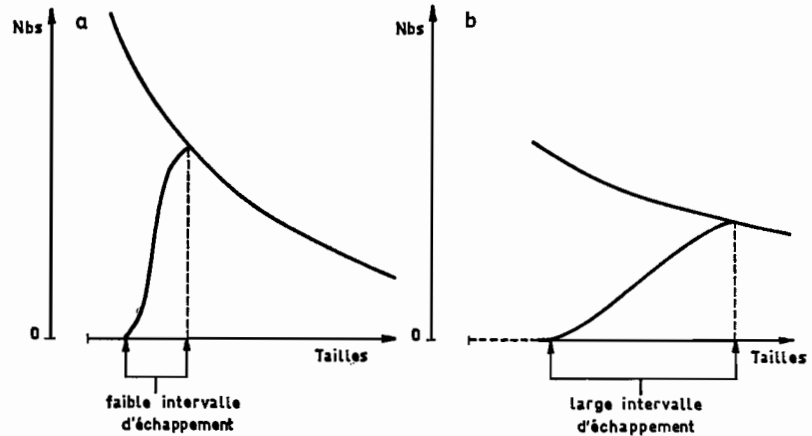


Fig. 4. Différentes formes de la partie échappement de la courbe de sélection. (a) Maille 000; (b) maille 4 mm

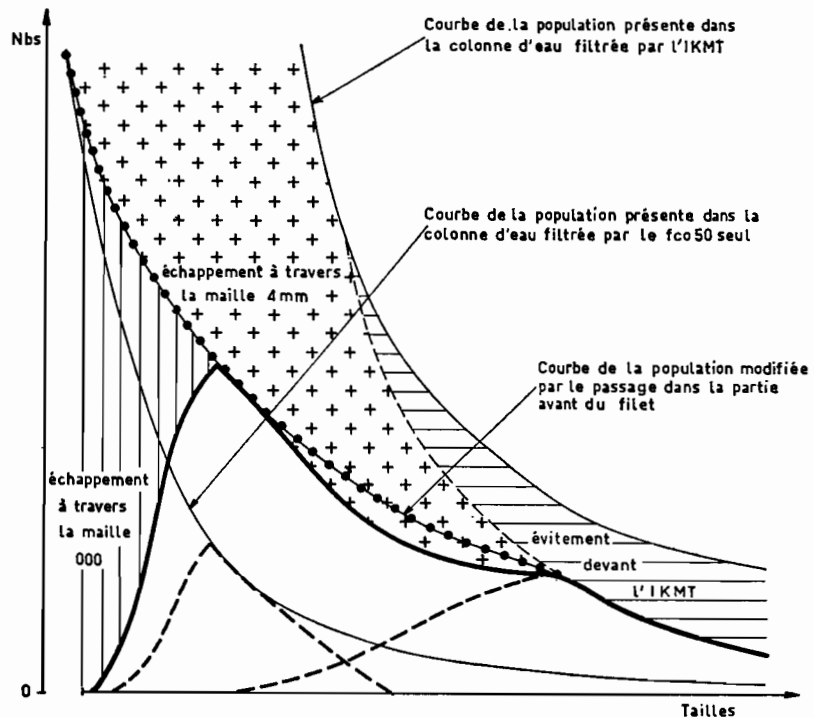


Fig. 5. Courbe théorique de sélection du chalut pélagique Isaacs-Kidd 10 pieds. ..... Courbe de sélection de la maille 4 mm prise isolément; ..... courbe de sélection de la maille 000 prise isolément; ——— courbe résultante de l'action conjointe des 2 mailles

des filets ouvrant-fermant de maille plus fine (BE, 1962; PEARCY et HUBBARD, 1964) on observait une contamination importante entre les récoltes des

différents niveaux. Ceci prouve que les organismes ne sont pas entraînés immédiatement dans la partie terminale du filet et sont susceptibles de rester en contact avec les mailles de la partie antérieure.

La courbe de sélection du chalut (Fig. 5) est donc une courbe très différente de la courbe théorique de la population à échantillonner. Sa forme pourra varier suivant les importances respectives des phénomènes d'échappement et d'évitement. Les facteurs influençant ces phénomènes sont, la vitesse du filet pour l'évitement, la durée du trait pour l'échappement. S'il est en théorie relativement facile d'employer une méthodologie pour laquelle les vitesses de traits sont constantes, il est bien évident que des traits à différentes profondeurs vont avoir des durées différentes et risquent de ramener des échantillons dont la représentativité sera variable.

D'après ces considérations théoriques, il apparaît donc que le chalut pélagique Isaacs-Kidd 10 pieds est mal adapté à l'étude quantitative absolue des populations. Par contre, il permet la comparaison quantitative entre traits à condition que la méthodologie employée soit la même, en particulier, vitesse et durée des traits. En outre ce type de filet est le plus utilisé en routine pour les études portant sur la micronecton car il collecte des organismes pour lesquels les filets classiques sont souvent inefficients en raison d'un évitement important.

#### Etude pratique de la sélection

Pour préciser l'allure de la courbe de sélection, tenter d'évaluer les domaines respectifs de l'évitement

et de l'échappement et étudier l'importance du facteur temps dans l'échappement, on a choisi d'étudier les crustacés récoltés par l'IKMT 10. Ces crustacés sont nombreux et couvrent un spectre de tailles très large. D'autre part, la méthode de ROGER et WAUTHY (1968), pour les euphausiacés permet, par tamisages successifs sur tamis à baguettes de verre, d'obtenir des groupes de tailles suffisamment étroits pour l'étude recherchée (0,7 — 0,9 — 1,2 — 1,6 — 2,0 — 2,5 — 3,0 — 3,5 — 4,0 — 5,0 et 6,0 mm). Les limites des groupes de tailles correspondant à l'écartement des baguettes de verre, la mesure est donc celle du diamètre thoracique. On a travaillé sur une population comprenant des mysides, des sergestides, des carides, mais surtout des euphausiacés. Les valeurs obtenues représentent des valeurs moyennes pour l'ensemble de ces groupes, valeurs qui pourront s'écarter sensiblement des valeurs réelles pour chaque espèce.

#### Comparaison des récoltes d'un chalut à cul de maille 000 à celles d'un chalut à cul de maille 4 mm

Cette comparaison a été réalisée en septembre 1969 sur l'équateur par 140° W durant la croisière « Caride V » du « N.O. Coriolis ». 7 couples de traits 0 à 150 m ont été effectués de nuit. Chaque couple comprenait un trait d'IKMT 10 avec cul de maille 000 suivi immédiatement d'un trait de même caractéristique en utilisant cette fois un cul de maille 4 mm. Cette étude permet d'observer la sélection de la maille 4 mm seule et de la comparer à la sélection modifiée par la présence du cul fco 50 de maille 000. Les histogrammes des groupes de taille obtenues après tamisage sont repré-

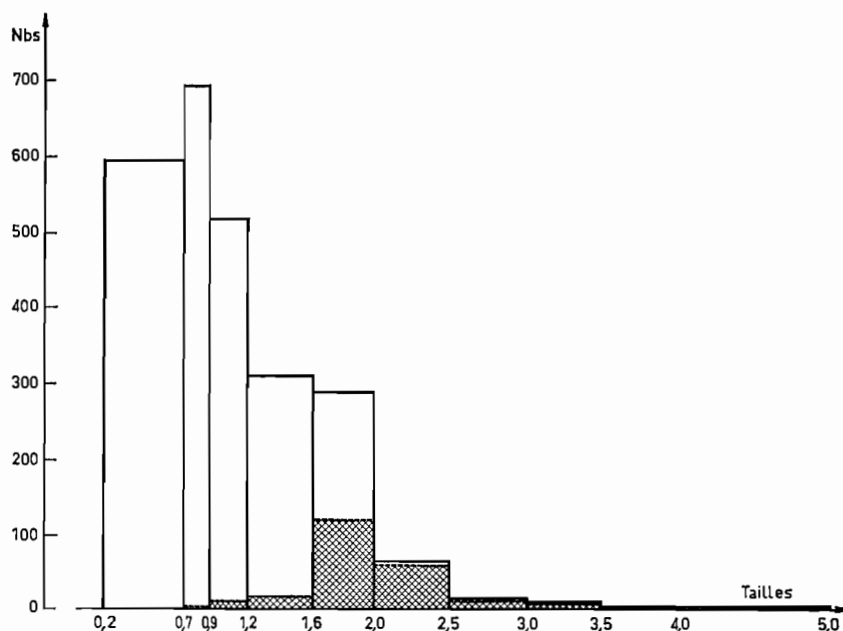


Fig. 6. Comparaison des récoltes d'un chalut à cul de maille 000 à celles d'un chalut à cul de maille 4 mm. — Chalut à cul de maille 000; ..... chalut à cul de maille 4 mm

sentés Fig. 6 (abondance de chaque groupe proportionnelle à la surface de chaque rectangle). Ils sont pratiquement confondus à partir du groupe de tailles 2,0 à 2,5. Pour les tailles inférieures à ce groupe, on constate une diminution importante des récoltes de l'IKMT 10 avec cul de maille 4 mm. Il collecte cependant des organismes dont les tailles s'étalent jusqu'à 0,7. L'intervalle où joue l'échappement est donc large, en accord avec les considérations théoriques de la Fig. 4 b, ce qui s'explique, au moins partiellement, rappelons-le, par un manque d'uniformité des mailles de 4 mm plus ou moins étirées suivant les tractions exercées.

Pour les tailles supérieures à 2,5 - 3,0, tout l'échantillon récolté est dû à l'action de la maille de 4 mm et ne doit rien au fco 50. Il est donc à rapporter à l'ouverture du chalut et ne diffère de la population en place que par la part due à l'évitement.

Pour les tailles comprises entre 2,0 et 2,5, nous l'avons vu, l'apport du fco 50 est faible.

Pour les tailles comprises entre 1,6 et 2,0, 42% proviennent de la sélection de la maille 4 mm seule et 58% de la présence du fco 50.

Pour les tailles inférieures à 1,6, la quasi totalité de la récolte est due à la présence du cul fco 50 maille 000. Parmi ces tailles, pour celles qui sont supérieures à 0,7, on est en droit de supposer que l'échappement à travers la maille 000 est nul, bien que le n° 000 corresponde à un vide de maille de 1 mm. En effet, la forme allongée rigide de ces crustacés et la présence de longs appendices augmentent leur section effective de rétention (GRANDPERRIN et MICHEL, 1969). En dessous de

la taille 0,7, l'échappement à travers la maille 000 commence à jouer.

En conclusion, il ressort de cette comparaison que la présence d'un cul fco 50 de maille 000 sur un chalut IKMT 10 modifie profondément la physionomie de l'échantillon. L'échappement à travers la maille de 4 mm intéresse au moins toutes les tailles inférieures à une valeur comprise entre 2,0 et 2,5 mm. Pour les tailles supérieures, les récoltes de plusieurs traits seront quantitativement comparables à condition que l'évitement ait été le même (même vitesse de trait). Pour les tailles inférieures les récoltes de plusieurs traits ne sont plus rigoureusement comparables, celles qui ne sont pas entraînées directement dans le cul du fco 50 pouvant être sujettes à un échappement variable avec leur taille et la durée de séjour dans la partie à mailles 4 mm du filet.

#### *Comparaison des récoltes de l'IKMT 10 aux récoltes d'un fco 50 maille 000*

Au cours de l'expérimentation précédente, un fco 50 maille 000 avait été couplé à l'IKMT 10, quelques mètres au dessus. L'étude qui suit porte donc sur la comparaison quantitative des récoltes de crustacés effectuées par ces deux engins explorant en même temps les mêmes couches d'eau (Fig. 7).

On constate, que les tailles supérieures à 2,5 sont retenues uniquement par l'IKMT 10 et qu'elles évitent totalement de fco 50. Pour les tailles inférieures, chaque filet ramène des organismes, mais les récoltes de l'IKMT 10 sont toujours plus abondantes.

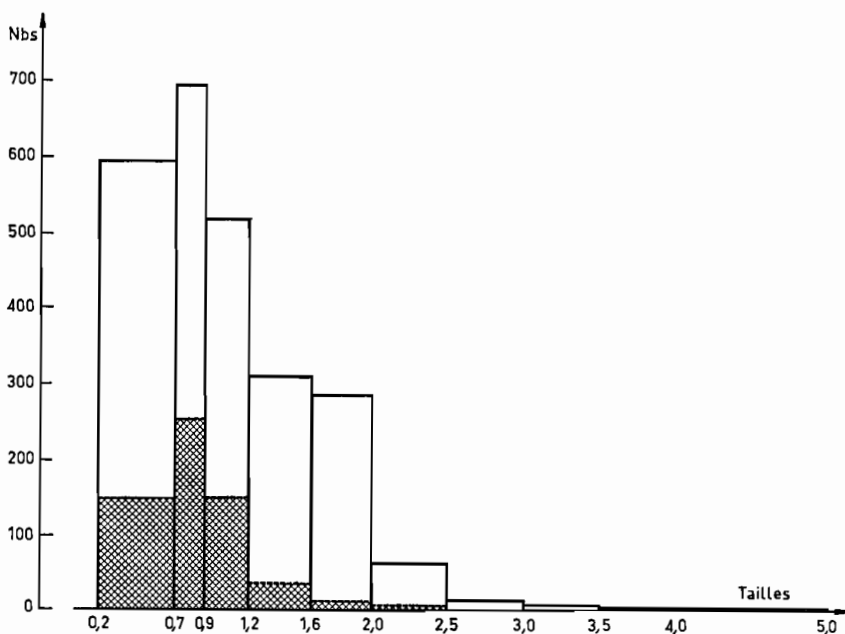


Fig. 7: Comparaison des récoltes d'un chalut à cul de maille 000 à celles d'un fco 50 maille 000 isolé. — Chalut à cul de maille 000; ..... fco 50 maille 000

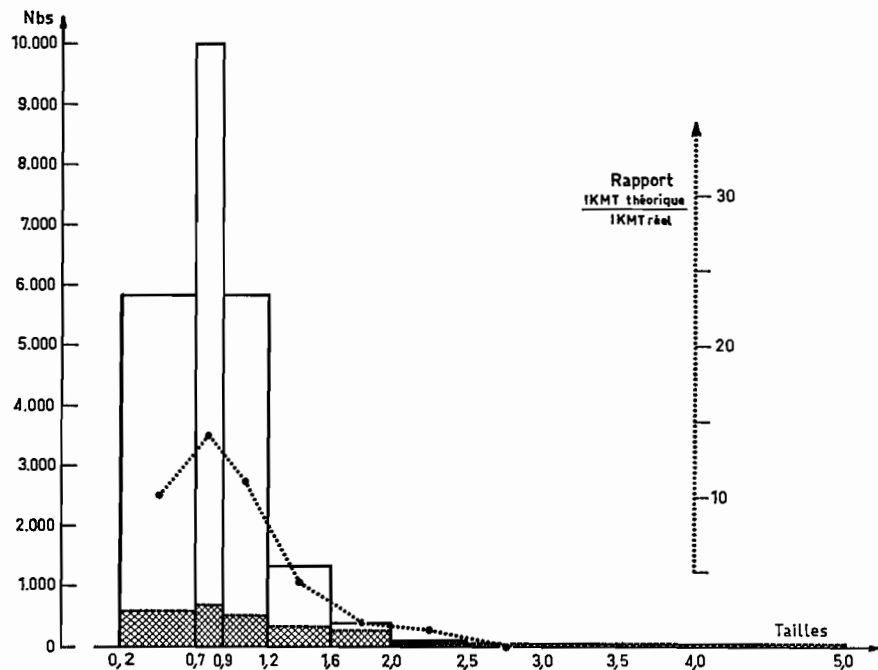


Fig. 8. Comparaison des récoltes d'un chalut à cul de maille 000 à celles d'un chalut théorique à maille unique 000 (récolte déduite du fco 50 maille 000 par multiplication par 40, rapport des surfaces d'ouvertures des 2 filets). — Chalut théorique maille 000; ..... chalut 4 mm à cul de maille 000

Pour les plus petites tailles, on aurait pu supposer que l'action du chalut serait peu différente de celle de son cul de maille 000 et qu'il ramènerait ainsi une récolte égale à celle du fco 50 isolé. Or, les tailles inférieures à 0,7 sont 4 fois plus abondantes dans le chalut. L'action de sa partie avant est donc sensible même pour les organismes dont les possibilités d'échappement à travers la maille de 4 mm sont théoriquement totales. Les différences d'ouvertures et de mailles de ces 2 filets rendent difficile une comparaison directe, les phénomènes respectifs d'évitement et d'échappement étant susceptibles d'intéresser les mêmes groupes de tailles. Pour s'affranchir du fait que les ouvertures sont différentes, on a multiplié par 40 (rapport des surfaces d'ouvertures) la récolte du fco 50 isolé. On obtient ainsi la récolte théorique d'un chalut entièrement gréé avec de la maille 000 que les organismes éviteraient comme ils évitent un fco 50 isolé. Les valeurs de l'histogramme ainsi obtenu (Fig. 8) sont de toute évidence sous estimées par rapport aux valeurs de l'histogramme qu'on aurait construit à partir des récoltes d'un chalut de maille 000 que les organismes éviteraient comme ils évitent un chalut normal. Malgré cette sous-estimation qui devrait provoquer une récolte plus abondante de l'IKMT réel, on constate, au contraire, que pour les tailles inférieures à 2,5, l'IKMT réel collecte moins que l'IKMT théorique. Seule la différence de mailles peut être invoquée pour expliquer cette diminution; une partie des organismes

inférieurs à 2,5 ont donc échappé à travers la maille de 4 mm. On retrouve là une confirmation du résultat du paragraphe précédent.

On constate, en outre un accroissement du rapport IKMT théorique à IKMT réel des tailles 2,5 jusqu'aux tailles 0,7, l'échappement augmentant à travers la maille de 4 mm en fonction de la diminution des tailles. Pour les tailles inférieures à 0,7, le rapport des abondances décroît car, à ce niveau, entre en jeu un autre phénomène qui est l'échappement à travers la maille 000.

#### Contribution de chaque type de maille

Des comparaisons précédentes, il ressort que la récolte du filet étudié est très différente de la somme des récoltes d'un chalut entièrement gréé avec de la maille 4 mm et de celle d'un fco 50 maille 000 isolé, la juxtaposition de ces 2 mailles provoquant un important accroissement des effectifs de certains groupes de tailles.

On a tracé la Fig. 9, dans laquelle, pour chaque groupe de taille, 100 % correspond à la récolte observée de l'IKMT 10 gréé avec un cul de maille 000. On a représenté en % les contributions de la maille 4 mm seule et de la maille 000 seule, déduites respectivement des récoltes effectives de l'IKMT gréé entièrement en maille de 4 mm et du fco 50 isolé couplé. Le complément à 100 représente donc l'apport additif dans la

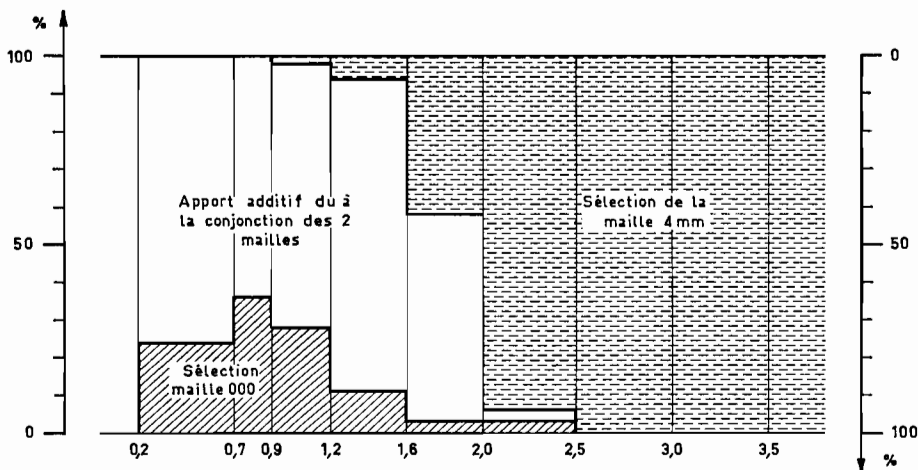


Fig. 9. Contributions respectives de la maille de 4 mm et de la maille de 000 prises isolément à la récolte effective d'un chalut: mise en évidence d'une sélection supplémentaire due à la conjonction des 2 mailles

récolte dû à la conjonction des 2 mailles. Cet apport n'a d'importance que pour les tailles inférieures à 2,5 - 3,0. Remarquons qu'il n'a pas la même valeur tout le long de cet intervalle. Pour les tailles comprises entre 1,2 et 2,5 à 3,0, il porte en grande partie sur des organismes sélectionnés par la maille de 4 mm, organismes actifs pouvant lutter un certain temps contre l'entraînement vers le fond du filet et pour lesquels l'échappement risque d'être fonction de la durée du séjour dans l'engin. Pour les tailles inférieures à 1,2, il porte sur des organismes retenus presque uniquement par la maille 000 pour lesquels l'échappement variera peu en fonction du temps.

*Echappement en fonction du temps*

Une partie des organismes qui ont pénétré dans le filet sont, nous l'avons vu, de formes et de tailles telles qu'ils échapperaient totalement à travers la maille de 4 mm si l'action du cul de maille 000 ne se faisait pas sentir et si le trait était suffisamment long. Dans un trait réel, le % d'échappement de ces organismes

dépendra de la durée de séjour dans la partie avant du filet. Cette durée est fonction de la durée du trait et de l'instant de la capture qui varie suivant la distribution spatiale des organismes. En particulier, la distribution verticale aura une influence directe sur les pertes possibles par échappement. La Fig. 10 schématise le phénomène pour une espèce théorique qui serait répartie uniformément dans la couche 0 à 300 m pendant la nuit et qui serait répartie uniformément cette fois, dans la couche 300 à 600 m, pendant le jour. En admettant qu'au cours d'un trait oblique symétrique le filet capture un nombre A d'organismes capables de s'échapper pendant qu'il s'enfonce ou qu'il remonte de 300 m et que le coefficient d'échappement de ces A organismes soit  $\times$  pour chaque tranche de 300 m, le calcul montre que, de nuit, le filet collectera  $A(1-\times)^3 + A$  organismes et qu'il collectera  $A(1-\times)^2 + A(1-\times)$  organismes de jour. On démontre aisément que  $(1-\times)^3 + 1$  est toujours supérieur à  $(1-\times)^2 + (1-\times)$  quelque soit  $\times$  inférieur à 1. Sur 2 traits méthodologiquement comparables une variation de distribution verticale se

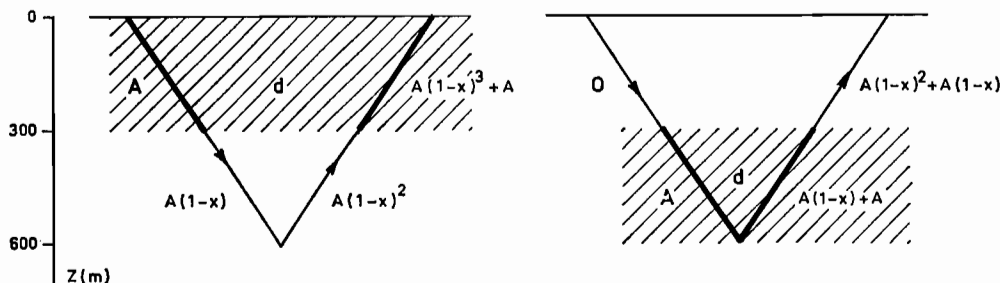


Fig. 10. Influence de la distribution verticale des organismes sur leurs possibilités d'échappement. Couches d'organismes à densité d uniforme; A nombre d'organismes récoltés lors de chacun des passages du filet dans la couche;  $\times$  coefficient d'échappement inférieur à 1 supposé constant durant tout le trait

traduira donc sur l'échantillon, par une variation analogue à celle qu'on pourrait observer pour des traits de durées différentes sur des organismes ayant la même distribution. Pour tester l'importance du facteur temps on a utilisé dans un premier exemple, les variations de distribution verticale et, dans un second, les variations de la durée des traits.

#### Variations des distributions verticales

Les caractéristiques des traits, vitesse, durée et profondeurs notamment, sont maintenues constantes. On a utilisé les résultats obtenus durant les croisières

0,9 à 1,2 et pour les tailles supérieures à 2,5. Les études précédentes ont montré que l'échappement en fonction du temps portait, s'il existait, sur les tailles 1,2 à 2,5. Or les résultats montrent précisément les plus grandes différences pour ces groupes, alors que les minimums portent sur les tailles supérieures à 3,0 peu intéressées par l'échappement, et sur les tailles inférieures à 0,9 - 1,2 pour lesquelles seule joue pratiquement la sélection du fco 50, peu influencée, nous l'avons vu, par le facteur temps (cf. partie théorique). Il apparaît donc que la différence jour-nuit reflète bien une différence d'échappement en fonction du temps de séjour dans le filet.

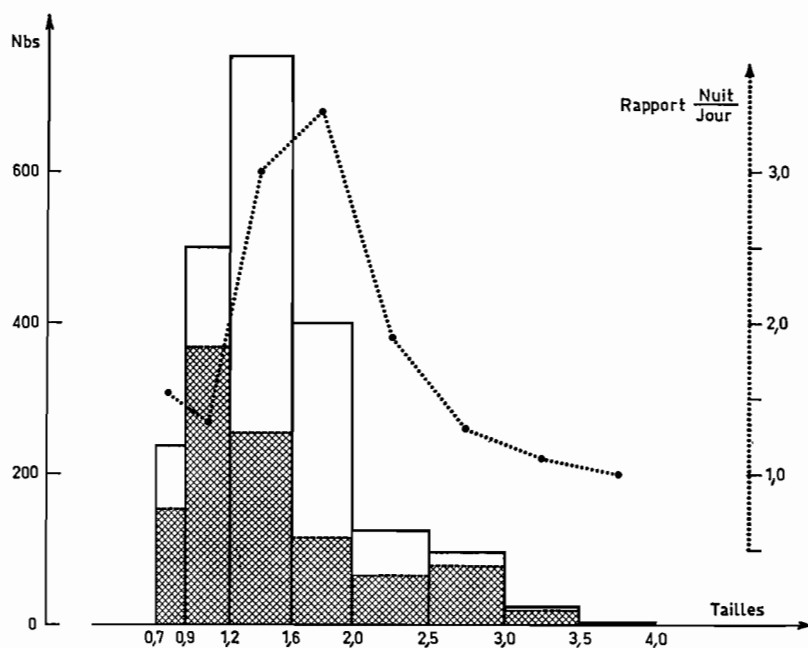


Fig. 11. Echappement en fonction du temps dans le cas de variations dans les distributions verticales pour *Euphausia diomedae* et *Thysanopoda tricuspidata*. Traits de nuit et de jour 0 - 1200 m. — Histogramme des fréquences de nuit; ..... histogramme des fréquences de jour; ..... rapport nuit à jour

«Cyclone» de jour et de nuit lors des traits obliques 0 à 1200 m pour 2 espèces d'euphausiacés: *Euphausia diomedae* et *Thysanopoda tricuspidata* (ROGER, communication personnelle). Les 2 espèces ont une distribution verticale connue qui ne dépasse pas 700 m. Pratiquement absentes de jour de la couche 0 à 300 m, elles remontent la nuit jusqu'en surface. Les histogrammes jour et nuit par groupes de tailles sont reportés sur la Fig. 11, ainsi que le rapport nuit/jour. On constate que les récoltes de nuit sont toujours supérieures à celles de jour alors que le filet, ayant pêché jusqu'à 1200 m, aurait dû théoriquement en ramener la même quantité. De plus la différence jour-nuit varie en fonction des groupes de tailles: maximale pour les tailles 1,2 à 2,5, elle est minimale pour les tailles

On pourrait cependant expliquer autrement cette différence jour-nuit en faisant intervenir des modifications dans la grégarisation ou le comportement, mais ce phénomène intéresserait alors les tailles les plus grandes et jouerait peu sur les tailles à faible évitement. Il est cependant possible que ces 2 phénomènes coexistent.

#### Variations des durées de traits

Les exigences de cette expérimentation imposaient que les traits soient effectués sur une même population, au même endroit, à la même profondeur et théoriquement à la même heure. Etant donné l'impossibilité, avec un seul bateau, de respecter scrupuleusement la dernière condition, on s'est efforcé

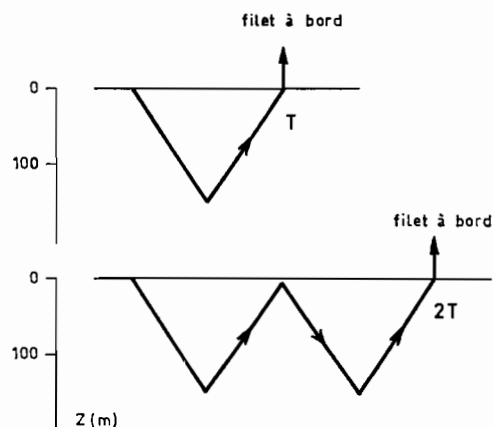


Fig. 12. Profil schématique des couples de traits de durées respectives T et 2T. T durée du premier trait; 2T durée du deuxième trait, Z (m) profondeur (mètres)

d'effectuer des traits courts et rapprochés dans le temps afin de minimiser au maximum les variations de distributions verticales en fonction de l'heure de prélèvement. On a effectué des traits obliques de durées T et 2T (Fig. 12), les traits de durée 2T consistant en 2 traits T s'enchaînant dans le temps sans que le filet soit hissé à bord. Les comparaisons ont

porté sur chaque couple (T, 2T) afin de diminuer l'influence des variations de distribution en fonction de l'heure. Au total, 6 couples ont été effectués de nuit, de 0 à 110 m de profondeur, sur l'équateur, lors de la croisière «Caride III». La grosse difficulté, au cours de cette expérimentation, consistait à se dégager de la variabilité propre des traits qui, d'après BRINTON (1962) varie pour les euphausiacés de 25 à 500%. Il semblait dans ces conditions, difficile de pouvoir mettre en évidence une variation due à l'échappement en fonction du temps qui aurait été de toute évidence d'un ordre de grandeur beaucoup plus faible que la variabilité des traits et n'aurait intéressé qu'une partie de la récolte. Il a donc paru illusoire de s'attacher aux valeurs absolues des chiffres obtenus. Par contre les différences relevées pour un groupe de tailles par rapport aux autres peuvent fournir des indications sur le phénomène. Sur la Fig. 13, la fréquence observée pour chaque groupe de tailles de la récolte du trait de durée T doublée a été assimilée au nombre 100. Les fréquences observées pour ces mêmes groupes dans la récolte du trait de durée 2T sont exprimées en % de cette valeur.

S'il n'existait aucune variation d'échantillonnage en fonction de la durée du trait et si les organismes étaient distribués au hasard, on devrait trouver, pour chaque classe de tailles, la même valeur pour le trait

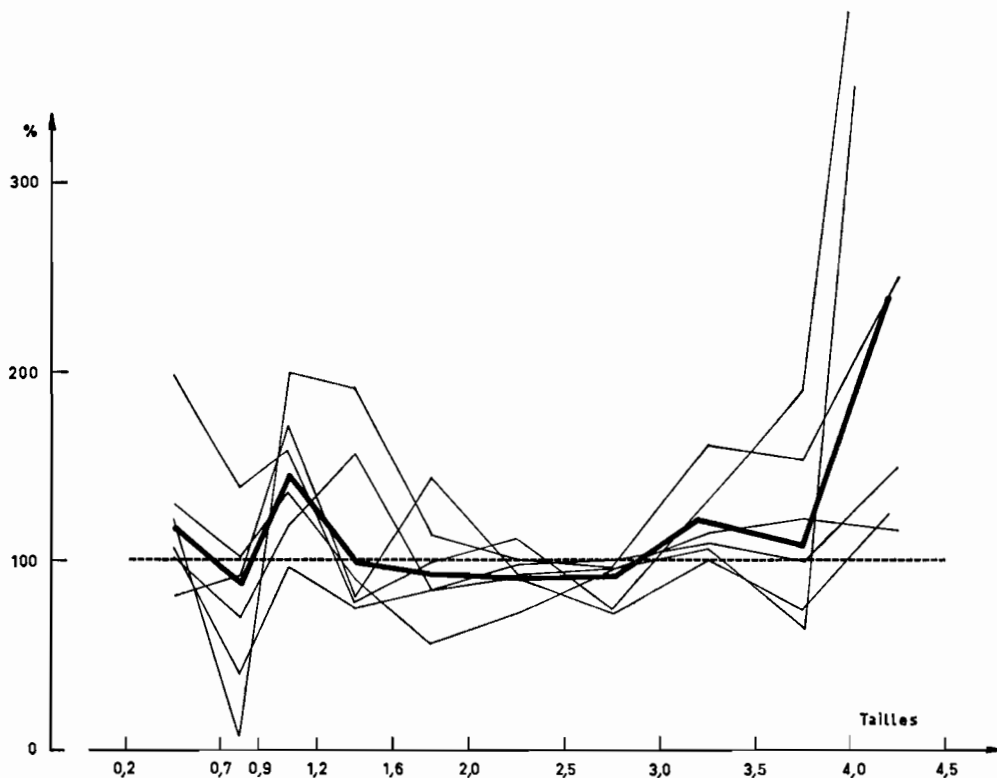


Fig. 13. Echappement en fonction du temps pour des traits de durée T et 2T. La fréquence, dans chaque groupe de tailles pour le trait double est exprimée en % de la fréquence correspondante pour le trait simple doublé

simple doublé. On constate qu'il n'en est rien: les courbes déduites des 6 couples (T, 2T) présentent toutes la même allure générale et on observe sur la courbe moyenne 2 maximums correspondant aux tailles 0,9 à 1,2 et 3,0 à 4,0 encadrant un minimum correspondant aux tailles 1,2 à 3,0. Un minimum secondaire se situe au niveau 0,7 à 0,9. Or, ces minimums et maximums correspondent exactement aux minimums et maximums observés pour la comparaison jour nuit portant sur les euphausiacés. Etant donné qu'il est peu probable qu'un changement de comportement des organismes explique ces variations (la durée totale des 2 traits T et 2T n'ayant jamais excédé 1 h), on est amené à envisager l'action du temps. Cette action se ferait sentir, là aussi, pour les groupes de tailles 1,2 à 3,0, c'est-à-dire pour les organismes susceptibles de s'échapper à travers la maille de 4 mm. Les variations dues à l'hétérogénéité de la distribution du macroplancton et du micronecton ne permettent malheureusement pas de la chiffrer.

Le fait troublant que l'on trouve plus du double pour certains groupes de tailles pourrait s'expliquer par la surdispersion des Crustacés, le trait double ayant plus de chances de rencontrer davantage d'essaims, suivant leur diamètre et leur distance, que le trait simple.

### Conclusions

Le but de l'échantillonnage quantitatif avec des filets en général et le chalut pélagique Isaacs-Kidd 10 pieds en particulier, est d'aboutir à une estimation, ou à une comparaison des populations en place. Il ressort de cette étude que l'utilisation, comme cul de chalut, d'un fco 50, maille 000, dont la surface d'ouverture est 40 fois plus faible que celle de l'IKMT 10 conduit à un échantillonnage profondément différent de celui d'un chalut entièrement grée avec de la maille 4 mm. D'autre part, les courbes de sélection obtenues

expérimentalement laissent supposer que cet échantillonnage est loin d'être représentatif de la population en place et qu'il varie, de plus, suivant les groupes de tailles. Pour obtenir une estimation satisfaisante de cette population, il conviendra donc d'appliquer des facteurs de correction aux fréquences correspondant aux différents groupes de tailles. On a tenté de préciser, pour les crustacés, l'ordre de grandeur de ces facteurs.

Pour les tailles inférieures à 0,7, il y a échappement à travers la maille 000. Ces tailles ne sont pas bien échantillonnées. Il conviendra d'utiliser un filet à mailles plus fines.

Pour les tailles comprises entre 0,7 et 1,2, l'échappement à travers la maille 000 devient négligeable et le facteur temps n'influe pas sur l'échappement à travers la maille 4 mm. Le fco 50 seul retient environ 3 fois moins d'organismes que l'IKMT 10. Le facteur de correction à appliquer est égal à 13, soit le tiers de 40, rapport des surfaces d'ouvertures des 2 filets.

Pour les tailles comprises entre 1,2 et 3,0, l'échappement à travers les mailles de 4 mm est en partie compensé par la présence du fco 50. La sélection est néanmoins essentiellement le fait de la maille 4 mm et l'échappement dépendra donc des durées de séjours des organismes au contact de cette maille. Pour ces tailles, il semble impossible, en toute logique, d'estimer la population réelle d'une manière précise. Seules les méthodes d'approche minimisantes pourront être envisagées (ROGER, 1968).

Pour les tailles supérieures à 2,5 - 3,0, il n'y a pas d'échappement à travers la maille 4 mm; le seul facteur correctif correspondrait à l'évitement, qui peut être très important pour certaines espèces mais qu'on ne pourrait estimer que par comparaison avec des filets d'ouverture beaucoup plus grande, ce qui est envisagé dans un stade ultérieur. Ces résultats ont été résumés dans le Tableau 1, mais il est bien évident que pour d'autres groupes, les valeurs trouvées pourront différer sensiblement.

Tableau 1. Résumé de l'étude (facteurs de correction à appliquer aux effectifs dans chaque groupe de tailles pour avoir une estimation de la population en place rencontrée par le filet)

Tailles inférieures à 0,7 mm	Tailles comprises entre 0,7 et 1,2 mm	Tailles comprises entre 1,2 et 2,5 mm	Tailles supérieures à 2,5 mm
Echappement à travers la maille de 4 mm	Echappement à travers la maille de 4 mm	Echappement à travers la maille de 4 mm	Pas d'échappement à travers la maille de 4 mm
Echappement à travers la maille 000	Pas d'échappement à travers la maille 000	Pas d'échappement à travers la maille 000	Pas d'échappement à travers la maille 000
Sous estimation due à l'échappement	Bon échantillonnage	Échantillonnage pouvant varier en fonction du temps	Sous estimation due à l'évitement
Organismes à échantillonner avec un autre engin	Facteur de correction $\frac{40}{3}$ 13	Facteur de correction fonction — de la durée du trait — de la distribution	Facteur de correction fonction de l'évitement

L'estimation, par ce filet, des populations en place, sera toujours difficile. Par contre, la comparaison entre traits reste possible pour une partie du spectre de taille. Encore faudra-t-il, au moment des interprétations, ne pas perdre de vue une sous-estimation toujours possible pour certains groupes de tailles due à la durée des traits, et indirectement, à la distribution des organismes. Celle-ci, dans le cas du micronecton, est soumise à des variations nyctémérales rapides et importantes.

Malgré ces inconvénients, le chalut pélagique Isaacs-Kidd demeure actuellement l'un des moyens les plus utilisés pour l'étude du micronecton. Il est en effet facile à mettre en oeuvre et ramène, en quantités suffisantes pour des études biologiques, des organismes que les filets classiques collectent en trop faibles nombres. Néanmoins, pour des prélèvements ultérieurs, il semble qu'il faille le gréer uniformément de la gueule au collecteur avec un seul type de maille et ne travailler alors quantitativement que sur les organismes de tailles supérieures à la limite d'échappement (FOXTON, 1969).

### Résumé

1. En vue de travaux quantitatifs sur les populations micronectoniques, on a étudié la sélection d'un chalut pélagique Isaacs-Kidd 10 pieds (IKMT 10) de vide de maille 4 mm dont le cul est constitué par un filet conique de 50 cm de diamètre (fco 50) de vide de maille 1 mm. Les considérations théoriques laissent supposer que la récolte d'un tel filet n'est pas la simple somme des récoltes d'un fco 50 maille 000 isolé et d'un IKMT 10 entièrement gréé en mailles 4 mm. Il y aurait un apport supplémentaire dû à l'influence du fco 50 maille 000 sur les organismes capables d'échapper à travers la maille de 4 mm. L'importance de cet échappement dépendrait de leur durée de séjour dans la partie avant du filet. Pour préciser cette sélection, on a travaillé sur les crustacés séparés en groupes de tailles d'après leur diamètre thoracique.

2. Par comparaison avec un chalut gréé entièrement en maille de 4 mm, on constate que la présence du fco 50 modifie profondément la physionomie de l'échantillon et que l'échappement à travers la maille de 4 mm intéresse les organismes dont le diamètre thoracique est inférieur à 2,5 mm.

3. Par comparaison avec un fco 50 isolé maille 000, on constate que l'IKMT 10 collecte toujours plus d'organismes que le fco 50, même pour les tailles inférieures à 0,7 mm qui sont en partie canalisées vers le cul par la partie avant du filet. On retrouve par ailleurs la même limite 2,5 mm d'échappement à travers la maille 4 mm.

4. La comparaison de la somme des 2 récoltes du fco 50 isolé et du chalut de maille 4 mm à la récolte du chalut étudié permet, par différence, de chiffrer l'apport dû à la conjonction des 2 mailles. Cet apport

est important. Il concerne uniquement les groupes de tailles inférieurs à 2,5 — 3,0. Entre les tailles 1,2 et 2,5 à 3,0, il porte principalement sur des organismes actifs sélectionnés par la maille de 4 mm et pouvant lutter un certain temps contre l'entraînement vers le fond du filet. Pour ceux-ci, l'échappement risque d'être fonction de la durée de leur séjour dans l'engin.

5. Cette durée de séjour dans le filet dépend de la durée du trait et du moment de capture. Des variations dans la distribution verticale auront donc sur l'échantillon un effet du même type que celui que provoquent des durées de traits différentes. La comparaison des récoltes de jour à celles de nuit pour 2 espèces d'Euphausiacés à distributions verticales variables montre que les récoltes de nuit (distribution superficielle) sont toujours plus abondantes que celles de jour (distribution profonde). La différence varie suivant les groupes de tailles: elle est maximale pour les tailles comprises entre 1,2 et 2,5 mm. D'autre part, la comparaison des récoltes de traits de durée T aux récoltes de traits de durée 2T fait ressortir une différence du même type pour les groupes de tailles compris entre 1,2 et 3,0 mm.

6. Il ressort de ces comparaisons: (1) que la présence du fco 50, qui est de faible ouverture par rapport à celle du chalut, modifie néanmoins profondément la récolte; (2) que l'estimation quantitative absolue des populations micronectoniques en place est difficile; (3) que, par contre, la comparaison entre traits est possible pour une partie du spectre de taille à condition de tenir compte des sous-estimations éventuelles dues à des différences de durées des traits ou à des variations de distributions verticales.

7. Malgré tout, le chalut pélagique Isaacs-Kidd reste encore le moyen d'étude le plus utilisé en routine pour le micronecton car sa mise en oeuvre est aisée et parce qu'il capture des organismes de grandes tailles pour lesquels les filets classiques se révèlent inefficients.

### Littérature citée

- BE, A.: Quantitative multiple opening and closing plankton samplers. *Deep Sea Res.* 9, 144—151 (1962).
- BRINTON, E.: Variable factors affecting the apparent range and estimated concentration of euphausiids in the North Pacific. *Pacif. Sci.* 16 (4), 373—408 (1962).
- CLARKE, M. R.: A new midwater trawl for sampling discrete depth horizons. *J. mar. biol. Ass. U.K.* 49 (4), 945—960 (1969).
- CLUTTER, R. I. and M. ANRAKU: Avoidance of samplers. In: *Zooplankton sampling. Monogr. oceanogr. Meth.* 2, 57—76 (1968).
- FOXTON, P.: An automatic opening-closing device for large plankton nets and mid-water trawls. *J. mar. biol. Ass. U.K.* 43 (2), 295—308 (1963).
- SOND Cruise 1965. Biological sampling methods and procedures. *J. mar. biol. Ass. U.K.* 49 (3), 603—620 (1969).
- GRANDPERRIN, R. et A. MICHEL: Efficacités comparées de filets à plancton coniques de mêmes dimensions et de mailles différentes. *J. Cons. perm. int. Explor. Mer* 33 (1), 53—66 (1969).

- ISAACS, J. D. and D. M. BROWN: Isaacs-Brown opening-closing trawl. University of California. Scripps Institution of Oceanography. Unpubl. Rep. Ref. 66-18, 1—36 (1966).
- and L. W. KIDD: Isaacs-Kidd midwater trawl. In: Final report. Scripps Inst. Oceanogr. Ref. 53-3, 1—18 (1953).
- KINZER, J.: On the quantitative distribution of zooplankton in deep scattering layers. Deep Sea Res. 16, 117—125 (1969).
- LONGHURST, A. R., A. D. REITH, R. E. BOWER and D. L. R. SEIBERT: A new system for the collection of multiple serial plankton samples. Deep Sea Res. 13 (2), 213—222 (1966).
- PEARCY, W. G. and L. HUBBARD: A modification of the Isaacs-Kidd midwater trawl for sampling at different depth intervals. Deep Sea Res. 11 (2), 263—265 (1964).
- ROGER, C.: Evaluation d'une population planctonique. Mar. Biol. 2, 66—70 (1968).
- et B. WAUTHY: Sur une technique de détermination de groupes de tailles applicable à l'étude de certains organismes planctoniques. J. Cons. perm. int. Explor. Mer 32 (2), 216—225 (1968).
- SAVILLE, A.: Mesh selection in plankton nets J. Cons. perm. int. Explor. Mer 23 (2), 192—201 (1958).
- TRANTER, D. J. and A. C. HERON: Experiments on filtration in plankton nets. Aust. J. mar. Freshwat. Res. 18, 89—111 (1967).
- and P. E. SMITH: Filtration performance. In: zooplankton sampling. Monogr. oceanogr. Meth. 2, 27—56 (1968).

First author's address: Monsieur A. MICHEL  
Centre O.R.S.T.O.M. de Nouméa  
B.P. 4  
Nouméa, New Caledonia

Date of final manuscript acceptance: April 2, 1970. Communicated by J. M. PEES, Marseille



# *The Equatorial Undercurrent at 170° E in March and April 1967<sup>1</sup>*

Philippe Hisard, Jacques Merle,  
and Bruno Voituriez

*Centre O.R.S.T.O.M.*  
*B.P. 4*  
*Noumea, New Caledonia*

---

## ABSTRACT

In 1967 the R. V. CORIOLIS undertook five cruises along the 170°E meridian in order to investigate the relationships between the sea-surface conditions and the occurrence of the Equatorial Undercurrent; this paper deals primarily with the March and April cruises. The Equatorial Undercurrent was observed as a double-cell structure. The upper Undercurrent ( $V$  max.: 40 cm/sec at 120 m) was located in the homogeneous surface layer above the top of the thermocline, embedded in the Equatorial Current; its flow was not in geostrophic balance and it disappeared when the surface equatorial flow became eastward. The lower Undercurrent ( $V$  max.: 50 cm/sec at 220 m) was located in the discontinuity layer, under the thermocline top; it was connected to the North Equatorial Countercurrent by a continuous layer of eastward flow. Its flow, in geostrophic balance, appears to be a permanent structure, independent of changes in the upper layer. The upper Undercurrent agrees very well with most of the theoretical models (Fofonoff and Montgomery 1955, Stommel 1960, Charney 1960). Its area of formation is probably around the 160°E meridian at the very limit of permanent trade winds throughout the year. The lower Undercurrent belongs to the equatorial countercurrent system, which originates north of New Guinea.

26 JUN 1986

1. Accepted for publication and submitted to press 12 March 1970.

Northern winter observations have revealed a strong westward core: under an eastward surface current in the western Pacific at the equator; and in the Indian Ocean during the southwestern monsoon (Taft and Knauss 1967). These observations suggest the possibility that the mechanism that produces the upper Undercurrent might be reversible.

*Introduction.* The Equatorial Undercurrent, discovered in 1952, has not been postulated by theory; it still remains one of the major problems of the equatorial circulation. Following direct measurements of the Equatorial Undercurrent by Knauss (1960) in April 1958, several theoretical models have been suggested to explain its dynamical structure. Considerable importance has been attached to (i) the zonal pressure gradient and (ii) an equatorial upwelling consistent with an equatorial divergence at the surface and with a convergence at the top of the discontinuity layer in the Undercurrent core.

(i) The zonal pressure gradient requires the existence of a westward surface current that, under the action of the trade winds, piles up water in the western Pacific.

(ii) An equatorial upwelling can be detected only through the cooling and nutrient enrichment of surface waters. Unfortunately, these criteria do not uniquely identify upwelling, because they could also result from advective transport in the Equatorial Current<sup>2</sup> of cold and nutrient-rich waters of eastern origin and/or result from a strong vertical mixing without an effective vertical transport.

In brief, the Equatorial Undercurrent should exist only if a westward surface current is present at the equator, with a steady trade wind that is strong enough to maintain a sea-surface slope, and if a cooling of the surface waters is consistent with effective upwelling.

This hypothesis, based upon Knauss' observations (1960) at 140°W, led Knauss to question the existence of the Equatorial Undercurrent west of 160°E in the Pacific, where no upwelling could be detected (Austin and Rinkel 1957) and where no sea-surface slope was evident (Tsuchiya 1961) due to the lack of a steady east wind (Hidaka 1958). Wyrtki and Bennett (1963), from energy considerations, have suggested that the Equatorial Undercurrent begins at 160°E. However, as Knauss (1960) noted, current measurements by Yosida et al. (1959) have suggested the presence of the Undercurrent at 150°E; furthermore, current measurements by Kort et al. (1966) have identified a subsurface eastward current as far west as 130°E in spite of an eastward current at the surface. Moreover, Tsuchiya (1961) has pointed out that this western Undercurrent is connected to the North Equatorial Countercurrent; this feature has been confirmed at 140°E by Burkov and Ovchinnikov (1960). It is logical, therefore, to question, with Knauss (1960), (i) the nature of the

2. This Current is related to the existence of a South Equatorial Countercurrent, discovered by Reid (1959); it is clearly evident from the COROLUS cruise data at 170°E (Jarrige 1968, Merle et al. 1969). So, the Equatorial Current referred to here is the westward equatorial surface current named the South Equatorial Current by Sverdrup et al. (1942).

Equatorial Undercurrent and (ii) the continuity of its structure all along the equator.

To answer these questions, an intensive study was pursued in 1967 along the 170°E meridian, between 20°S and 4°N, aboard the R. V. CORIOLIS (Centre O.R.S.T.O.M. de Noumea); the primary purpose of this study was to investigate the exact relationship between upwelling and the Equatorial Undercurrent from March through August, in an area where strong and opposite variations could be expected.

During four of the five cruises, significant upwelling was associated with a westward equatorial surface current. During the fifth cruise (CYCLONE 3, in April), however, an eastward equatorial surface current was observed, and there was no evidence of upwelling at the equator.

This paper reports our investigation into the relationships between the reversed surface conditions and the equatorial current system—especially the Equatorial Undercurrent. Since observations have shown that the current structure was similar during four cruises but was different during the April cruise, we have limited our study to a comparison of two consecutive CYCLONE cruises—that in March 1967, when the more common westward equatorial surface current was evident, and that in April 1967, when an eastward equatorial surface current was present.

*Cruise Plan and Methods.* During the five cruises in 1967, we followed exactly the same pattern from 20°S to 4°N along 170°E (Fig. 1). The equatorial portion of these cruises, 4°S–4°N, was carried out on March 20–24 (C2), April 24–28 (C3), June 4–8 (C4), July 10–14 (C5), and August 23–27 (C6). The 17 hydrographic stations were occupied every 30 nautical miles. At the end of the equatorial portions, two 24-hour stations, at 0°, 170°E and at 0°, 169°E, were occupied to investigate short-term variations and, if possible, to determine zonal gradients.

Hydrographic casts were made with 24 T.S.K. Nansen-type bottles. The depths to which the bottles were lowered were determined by the bathy-thermal structure. Between 0 and 200 m, two protected reversing thermometers were mounted on each bottle; between 200 and 500 m, we alternated the thermometer pattern so that every other bottle carried either two protected and one unprotected thermometers or two unprotected and one protected thermometers. Determination of the bottle depths was accurate to about 5 m.

Salinity was determined with an inductive salinometer ( $\pm 0.005\text{‰}$ ). The oxygen content was measured with an automatic titrator coupled with an electric burette, after the method of Winkler ( $\pm 0.06$  ml/l). Nutrient salts (phosphate, nitrate, nitrite) were determined according to the methods described by Strickland and Parsons (1965); the precision level was  $\pm 0.02$   $\mu\text{g}$  at/l for  $\text{PO}_4$  and  $\text{NO}_2$  and  $\pm 0.2$   $\mu\text{g}$  at/l for  $\text{NO}_3$ . All analyses were carried out on board.

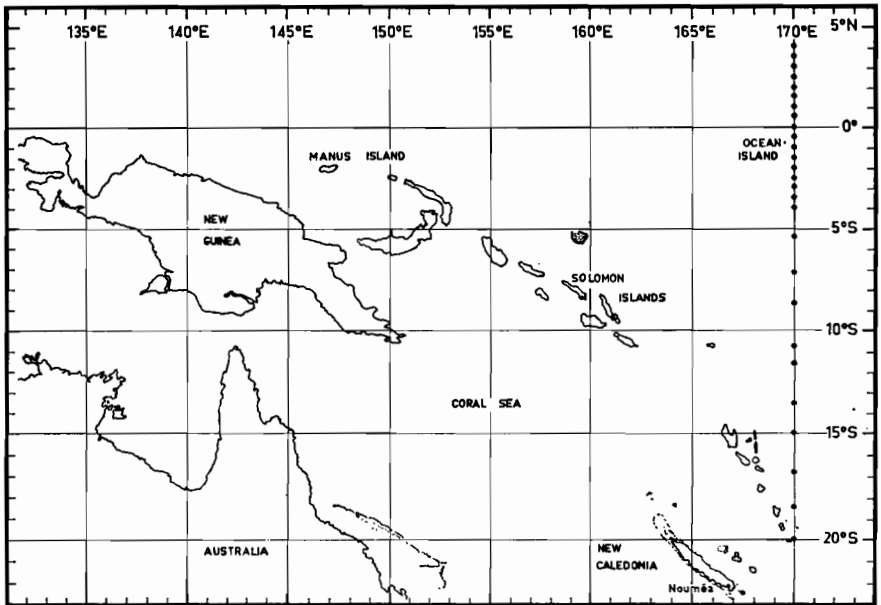


Figure 1. The western equatorial Pacific Ocean. Positions of the hydrographic stations and of Manus and Ocean islands, where meteorological stations are located.

The cruise data have been published in the scientific reports of the Centre O.R.S.T.O.M. of Noumea.

Current measurements were carried out with two Hydro-Products current meters following the method described in detail by Magnier et al. (unpublished). To keep the 1 000-m hydrographic wire vertical, the ship was brought to a position of equilibrium against the action of the wind and surface current. The R. V. CORIOLIS is equipped with a variable-pitch propeller, which allows very precise speed adjustment. When the equilibrium position was achieved, the ship changed neither its direction nor speed during the current measurements. The reading of the meter at its deepest level (500 or 1 000 m), where we assumed the water to be stationary, was used as a basis for measuring the amount of drift at the surface. Assuming optimal conditions, the current direction was determined to  $\pm 10^\circ$  and the current speed to  $\pm 10$  cm/sec.

*Wind and Currents.* In March 1967, at the equator, the surface current flowed westward; in April it flowed eastward. This difference can be accounted for by variations in the meteorological conditions in the western Pacific (Fig. 2). According to Wyrski (1961), during July-August the trade-wind convergence area in the Pacific is farthest north; thus, during the northern summer the southeast trade wind crosses the equator, as does the Equatorial Current, and

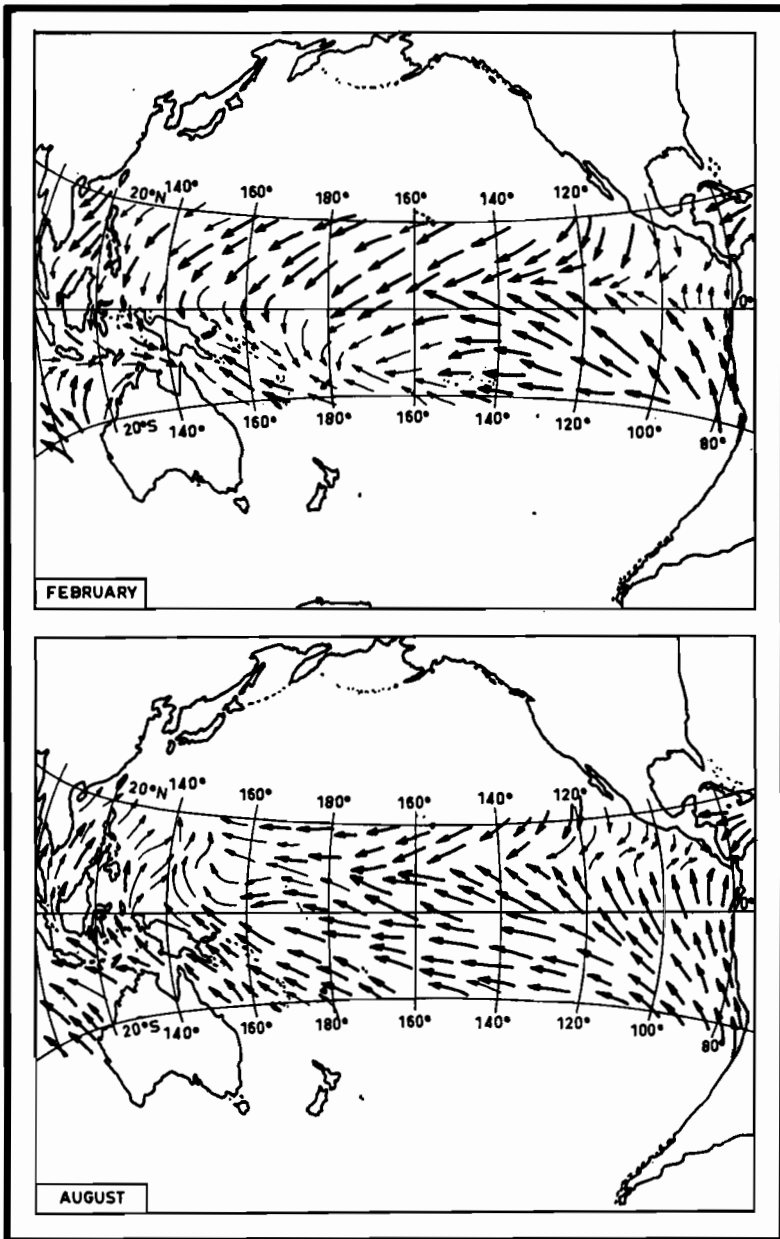


Figure 2. Prevailing wind direction in the 20°S–20°N area in February and August (From Morskoi Atlas, USSR, 1950). A thickened arrow indicates that this direction has been observed with a statistical level of at least 60%.

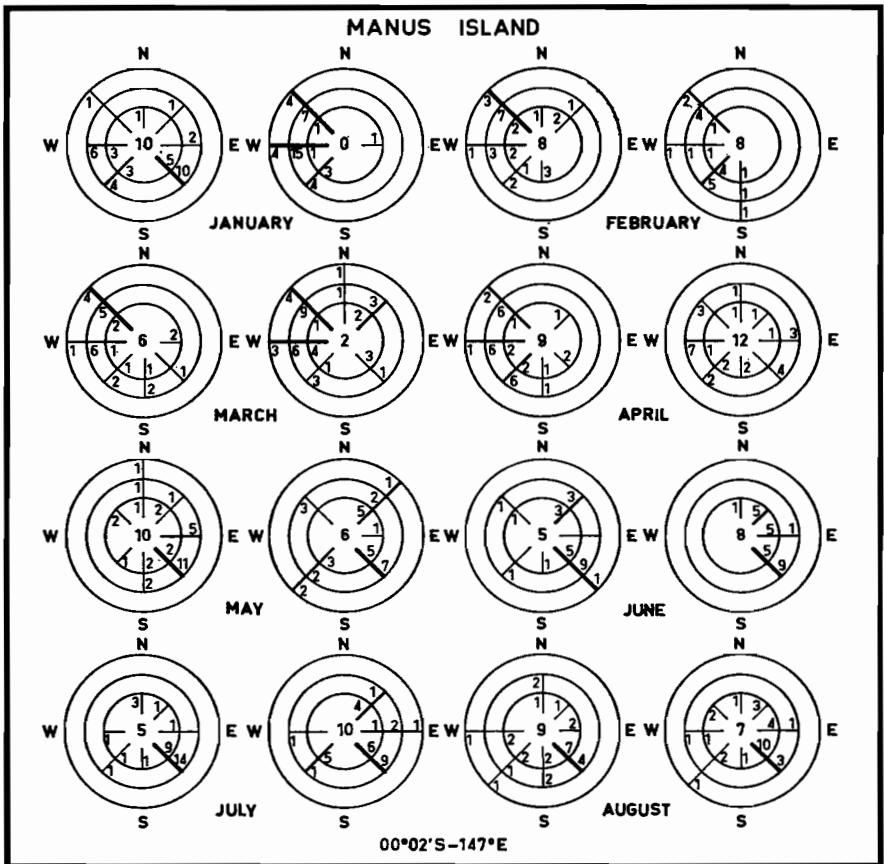


Figure 3a. Fortnightly wind observations at Manus island in 1967. The velocity is indicated with a circle (each circle equals 5 knots). The point whence the wind blew is indicated by the radius position in the compass card. The numbers above each radius show the number of like observations during the fortnight. In the center is the number of calm observations. A ticked radius indicates that there were more than ten observations with identical characteristics; there were, on an average, three or four observations during each 24 hours.

the Current flows along the northern coast of New Guinea. In February, however, the trade-wind convergence area is farthest south, and north of New Guinea a west wind blows from  $130^{\circ}\text{E}$  to  $160^{\circ}\text{E}$  (Ramage 1968); at this time the eastward New Guinean coastal current develops. During the northern winter, an eastward equatorial flow occurs along the equator in the western Pacific; this was encountered by Masuzawa (1967) from December to April at  $137^{\circ}\text{E}$ , by Kort et al. (1966) from  $138^{\circ}\text{E}$  to  $152^{\circ}\text{E}$ , and by Yosida et al. (1959) from  $147^{\circ}\text{E}$  to  $153^{\circ}\text{E}$ . It seems that the eastern limit of this winter flow is about  $160^{\circ}\text{E}$ .

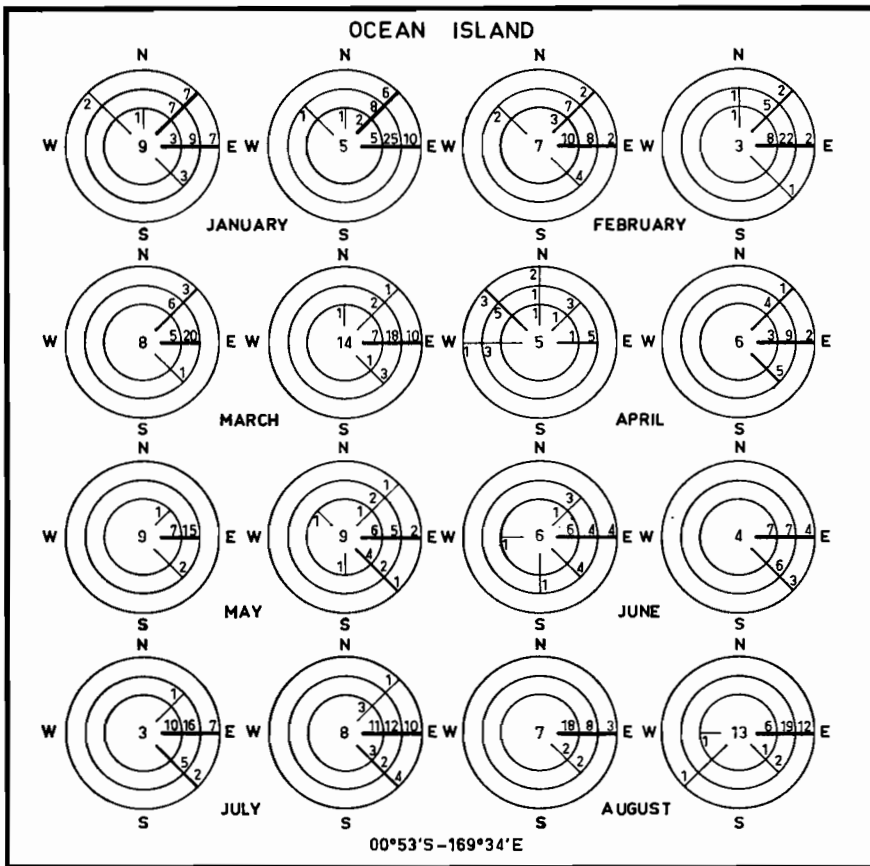


Figure 3b. Fortnightly wind observations at Ocean island in 1967. See Fig. 3a for explanation.

In 1967, at Manus Island (Momote:  $0^{\circ}02'S$ ,  $147^{\circ}E$ ), the wind reversal occurred in April-May (Fig. 3a); thus it could be assumed that there was an eastward equatorial surface current opposing the westward Equatorial Current until April of that year. Similarly, at Ocean Island ( $0^{\circ}53'S$ ,  $169^{\circ}34'E$ ), fairly close to our  $4^{\circ}S-4^{\circ}N$  transect, the wind reversal was also apparent in April-May—an increase in the southeast trade wind (Fig. 3b) following a northeast trade-wind regime; moreover, during the first half of April a west or northwest wind blew continuously for eight days with an intensity ranging up to 15 knots. This westerly wind could be the cause of the eastward current observed in April during the CYCLONE 3 cruise, in spite of a re-established southeast trade wind. We can assume that this westerly wind was an extension of the steady west wind north of New Guinea.

With these meteorological data it is possible to consider the area around the 160°E meridian as the northern-winter time limit of the Equatorial Current—the limit between convergent and divergent processes at the equator (Cromwell 1953). Moreover, this meridian is in agreement with the Wyrki and Bennett (1963) hypothesis on the origin of the Equatorial Undercurrent.

Since the vertical circulation at the equator is different, whether there is an east wind that induces divergence or a west wind that induces convergence, and since an east wind with an induced divergence is the only phenomenon that is compatible with the existence of the Equatorial Undercurrent (according to the theoretical model), it is essential to detail the equatorial structure during the two pertinent cruises: CYCLONE 2 in March (when there was an equatorial westward surface current) and CYCLONE 3 in April (when there was an eastward surface current).

*Equatorial Westward Surface Current, March 1967. ZONAL FLOW.* The Equatorial Current, clearly evident between 4°S and 4°N, has a velocity maximum of 100 cm/sec at 2°30'S. Its thickness is about 200 m, except around the equator, where its depth is only 50 m (Fig. 4b). At 4°N, the southern edge of the North Equatorial Countercurrent is present and has a maximum velocity of 50 cm/sec at 100 m.

The dual structure of the Equatorial Undercurrent at 170°E was first observed by Noël and Merle (1969) in November 1966 during a six-day station near the equator within radar range of Ocean Island. They related it to a southward rotation of the current vector. During the 1967 cruises, this dual structure was observed in March, June, July, and August; and in April 1968 it was present along three transects between 4°N–4°S at 170°E. It has been well illustrated by Magnier et al. (unpublished), who have discussed the current measurements of the CYCLONE cruises. During CYCLONE 2, there were two cells: an upper eastward cell, between 50 and 160 m, with a maximum velocity of 40 cm/sec, and a lower eastward cell, between 180 and 300 m, with a maximum velocity of 50 cm/sec at 200 m. The upper cell is embedded in the Equatorial Current while the lower cell appears to be connected with the North Equatorial Countercurrent by a continuous layer of eastward flow; also, the flow of the lower cell deepens symmetrically to 500 m at 2°30'S and 2°30'N; thus it surrounds an equatorial "deep" westward flow lying just under the lower cell. Fig. 4 illustrates also the hydrological properties that are related to the currents.

*MERIDIONAL CIRCULATION.* Because the circulation is basically zonal at the equator, the north-south components are relatively small. In Fig. 5, these components are shown parallel to the isanosteric lines. During CYCLONE 2, an equatorial divergence was associated with convergences at 3°N and 3°S; the divergence has been located at 0°30'N by means of the PO<sub>4</sub> maximum at the surface (Fig. 6). Under the surface, at the level of the upper cell, an equator-

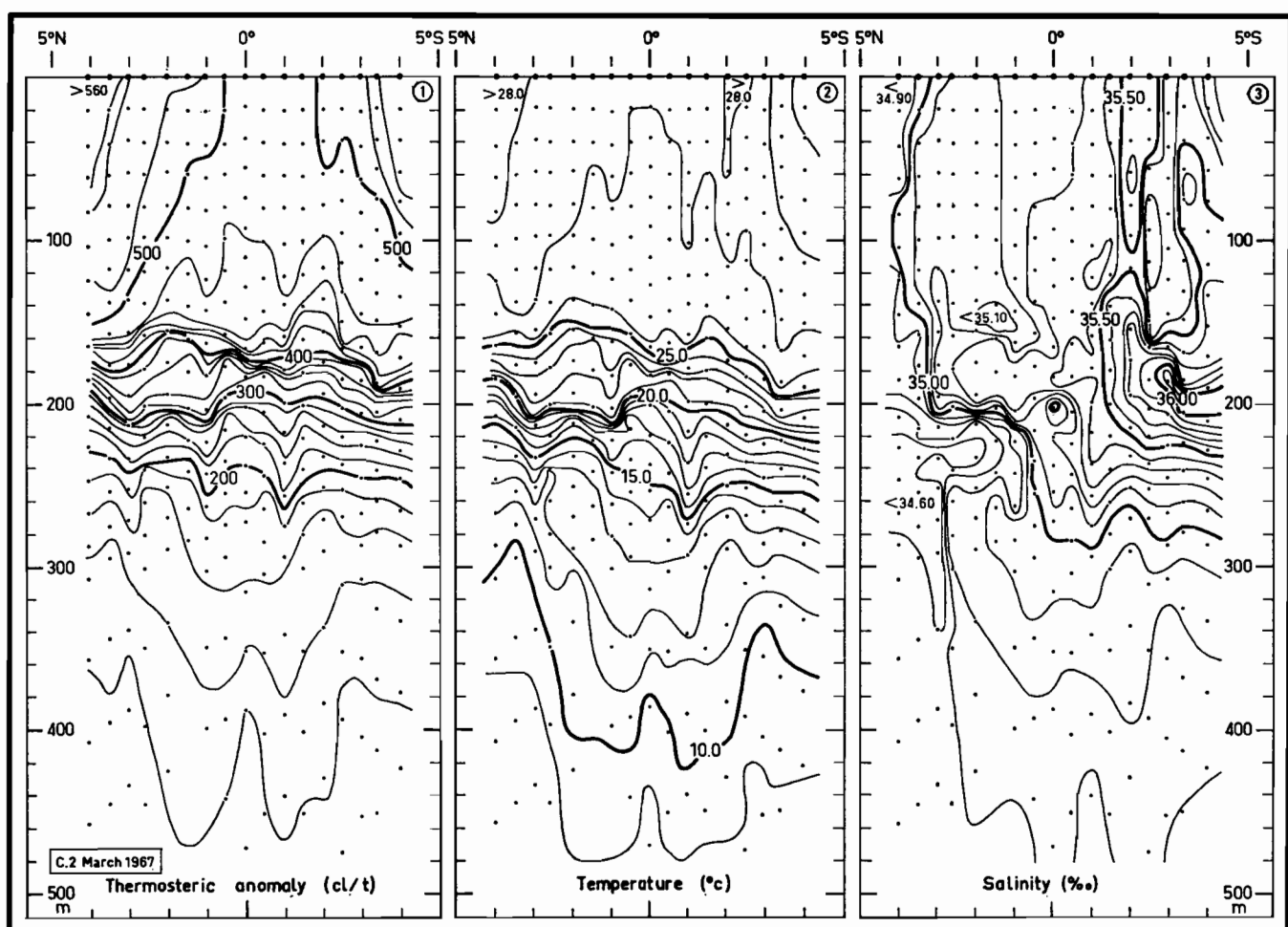


Figure 4a. Thermocline anomaly, temperature, and salinity in March 1967 at 170°E between 4°S and 4°N.

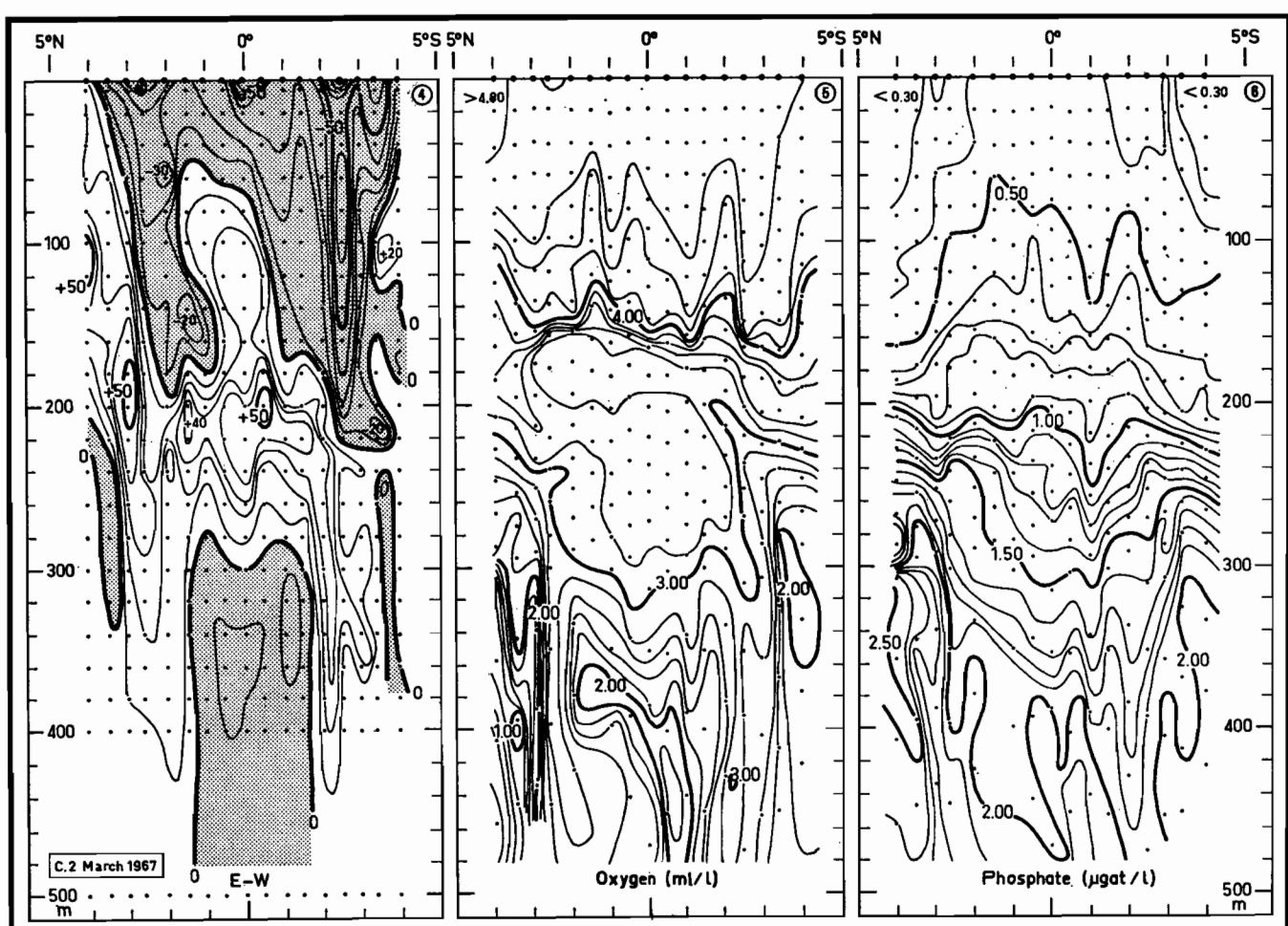


Figure 4b. Eastward component (+) of velocity (cm/sec) relative to 500 m (with shaded areas indicating westward flow), oxygen, and phosphate in March 1967 at 170°E between 4°S and 4°N.

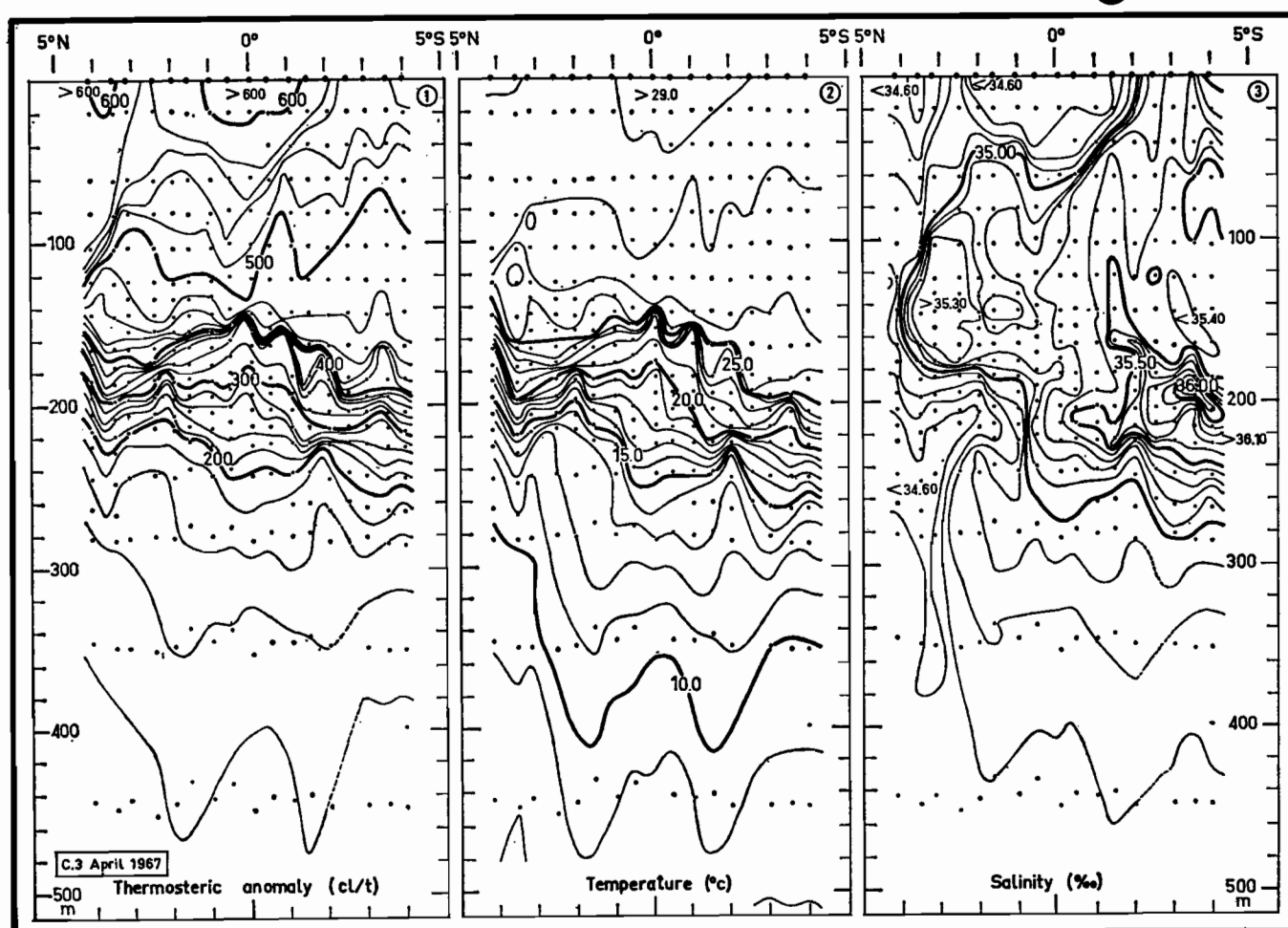


Figure 4c. Thermocline anomaly, temperature, and salinity in April 1967 at 170°E between 4°S and 4°N.

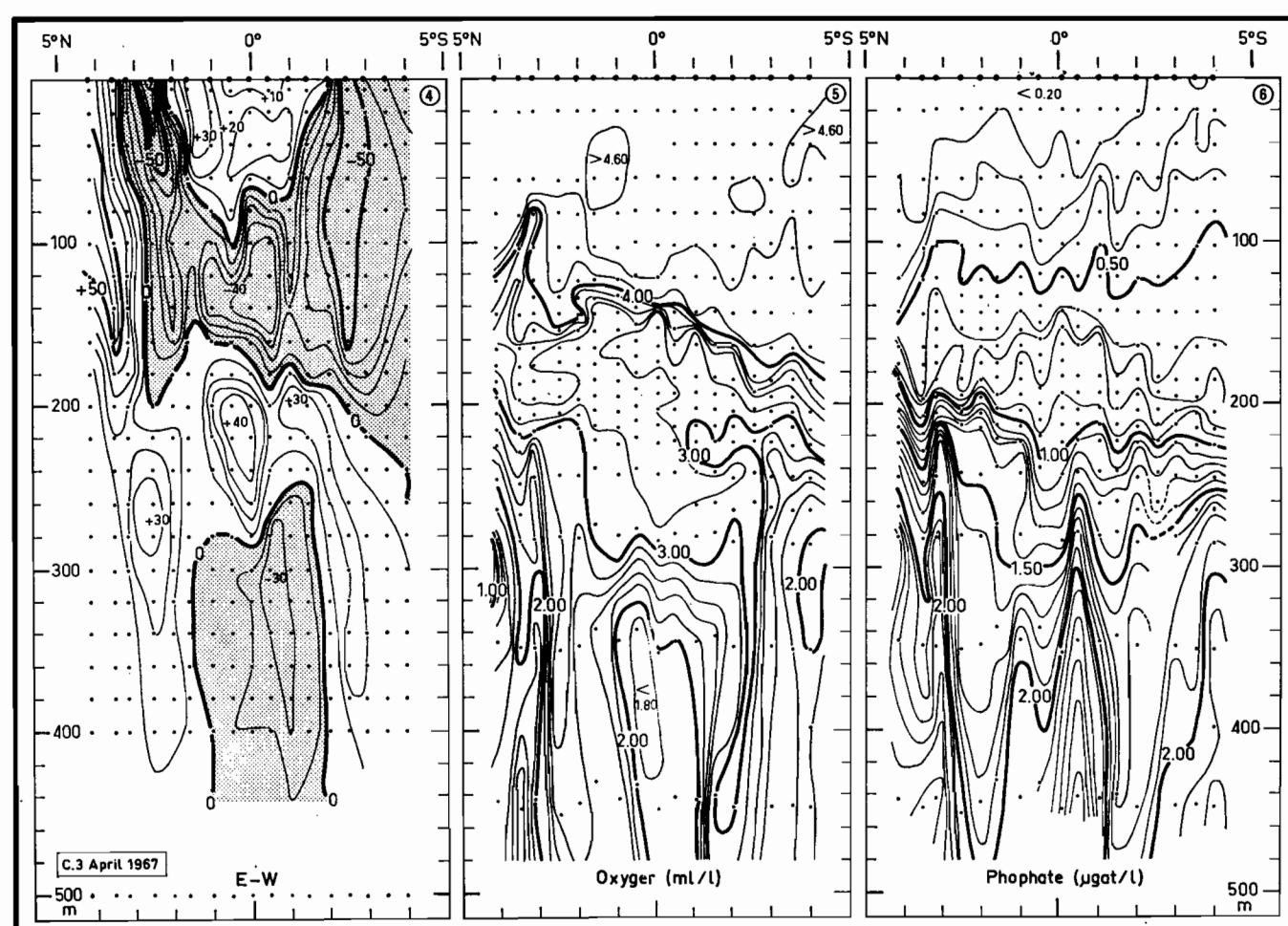


Figure 4d. Eastward component (+) of velocity (cm/sec) relative to 500 m (with shaded areas indicating westward flow), oxygen, and phosphate in April 1967 at 170°E between 4°S and 4°N.



ward transport is obvious in the northern hemisphere. Although an equatorward transport in the southern hemisphere is not clearly apparent from the CYCLONE 2 data, an equatorward transport at the level of the upper cell is suggested in the data from the other four cruises (Magnier et al., unpublished). If this is so, then the observed structure would be in agreement with the Fofonoff and Montgomery (1955) model. Moreover, this circulation scheme is supported by the presence of two thermal fronts (Rotschi et al. 1968)—consistent with subsurface equatorward transport at the top of the discontinuity layer (see also Cromwell 1953).

The existence of a well-developed homogeneous layer might be explained by vertical mixing, which would lead to cooling and enrichment of the surface waters. However, a surface divergence at the equator and two convergences at two observed thermal fronts suggest the existence in the homogeneous layer of a vertical circulation for which the upper cell is an important link.

The meridional velocity components at the stations on both sides of the equator ( $1^{\circ}\text{N}$  and  $1^{\circ}\text{S}$ ; Fig. 7) suggest that there is a divergence in the upper part of the homogeneous layer and a convergence in the lower part. The northward flow approximately balances the southward flow. However, the poleward flow is slightly stronger than the equatorward flow. This difference might suggest a vertical ascent of water through the thermocline. Such an ascent would be consistent with the nutrient enrichment of the surface waters and with the occurrence of thermal fronts at  $3^{\circ}\text{N}$  and  $3^{\circ}\text{S}$  (Rotschi et al. 1968).

On the basis of our present data (a single set of data plus those from the 24-hour equatorial stations), we can say only that there is an equatorward flow all around the upper cell of the Equatorial Undercurrent. This equatorward flow is reinforced north of the equator at the bottom of the homogeneous layer. Also, this flow is related to a southward-moving intrusion of water that has a relatively low salinity (Fig. 4a) and is frequently associated with temperature inversions. In February 1969, such a structure was observed along the equator between  $155^{\circ}\text{W}$  and  $147^{\circ}\text{W}$  during a cruise of the R. V. CORIOLIS (CARIDE 3).

*Equatorial Eastward Surface Current, April 1967.* ZONAL FLOW. At  $170^{\circ}\text{E}$ , on April 24–28, we observed a well-defined eastward equatorial surface current that was nearly 100 m thick at  $0^{\circ}30'\text{N}$ . Its low salinity,  $34.60\text{‰}$  during CYCLONE 3 compared with  $35.20\text{‰}$  during CYCLONE 2, identified it as an eastward extension of New Guinea coastal waters. This extension was aided in its development by a west wind that had been blowing some days before in that region (observed at Ocean and Manus islands).

The Equatorial Current was present on both sides of this eastward surface current (Fig. 4d). At the equator its two branches were linked under the surface current by an intensified westward core, which was at the level usually occupied by the upper cell of the Undercurrent; its maximum velocity was 40 cm/sec at about 120 m. It was flowing above the top of the thermocline.

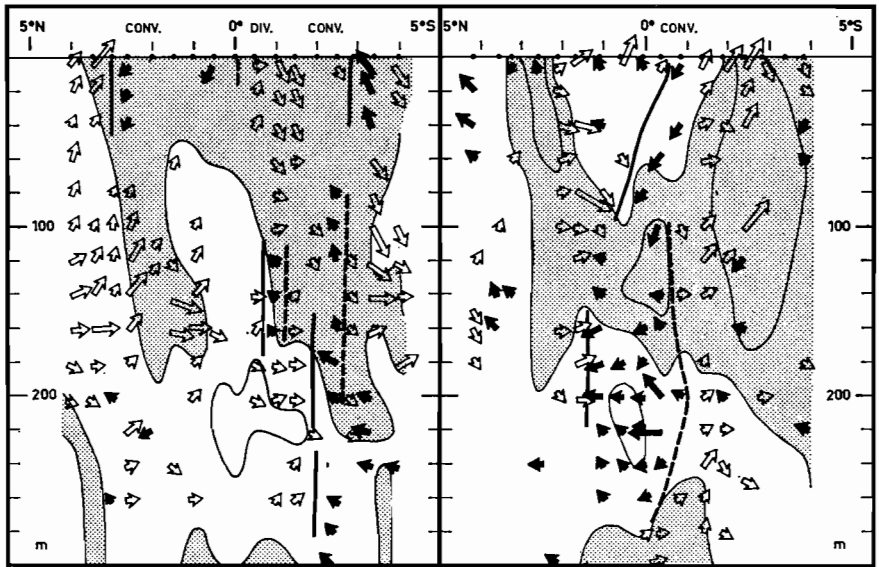


Figure 5. Meridional components of velocity in March 1967 (left) and April 1967 (right) along  $170^{\circ}\text{E}$  between  $4^{\circ}\text{S}$  and  $4^{\circ}\text{N}$ . The current vectors are drawn parallel to the isanosteric lines. Open arrows show south components. Solid arrows show north components. The short arrows represent meridional speeds of 10 to 25 cm/sec; the long arrows represent speeds faster than 25 cm/sec. The thick solid lines indicate convergence; the thick dotted lines indicate divergence. The light solid lines indicate the 50-cm/sec zonal-velocity contour. The shading shows areas of westward flow.

We can assume, therefore, that this westward-flowing core is a continuation of the Equatorial Current that sinks in the western Pacific under the less-dense eastward surface current of New Guinean origin. The hydrological properties of this westward core, at the equator, were the same in April as those of the Equatorial Current in March (in March at  $0^{\circ}$ :  $T = 27.05^{\circ}\text{C}$ ,  $S = 35.29\text{‰}$ ,  $\Delta\text{st} = 493\text{ cl/t}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P} = 0.49\text{ }\mu\text{g at/l}$ ; in April at 120 m:  $T = 27.40^{\circ}\text{C}$ ,  $S = 35.21\text{‰}$ ,  $\Delta\text{st} = 500\text{ cl/t}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P} = 0.48\text{ }\mu\text{g at/l}$ ).

In spite of the equatorial convergence that was induced by the west wind and by the lack of upwelling, the Equatorial Undercurrent was still present in April, but only the lower cell was present under the thermocline top. This lower cell appears to be the permanent one; its velocity core in April was 40 cm/sec at 200 m. It was always connected to the North Equatorial Countercurrent by a continuous layer of eastward flow. The observed westward "deep" current under the lower cell and the two deepening extensions of this cell are apparently permanent.

This zonal structure in April at  $170^{\circ}\text{E}$  is the same structure that was observed between  $140^{\circ}\text{E}$  and  $150^{\circ}\text{E}$  in January-April 1966 (Fig. 8) during cruise 38 of the *VITYAZ* (Kort et al. 1966). We can therefore assume that this

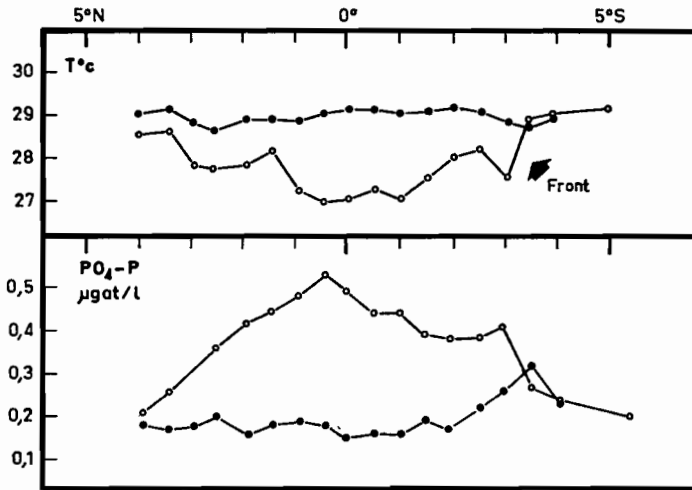


Figure 6. Temperature and phosphate distributions at the surface along 170°E between 4°S and 4°N in March (open circles) and April (solid dots).

structure is permanent during the northern winter in the western equatorial Pacific.

**MERIDIONAL CIRCULATION.** The meridional circulation in April (Fig. 5) is complex because of a transition regime. The eastward surface current, which resulted from a west wind some days before, was now flowing opposite to an east wind; and it might be assumed that this current could not persist any longer. However, an equatorial convergence at the surface at the equator was indicated by the observed north-south components and by the warm and nutrient-depleted surface waters; this suggests the lack of a vertical ascent.

A comparison of the conditions in March and April shows that the influence of the wind variations is limited to a depth of about 180 m. The replacement of a northeast trade wind by a west wind at the equator may explain: (i) the change in surface current, (ii) the cessation of upwelling processes, and (iii) the replacement of the upper cell of the Equatorial Undercurrent by a westward-flowing core (the Equatorial Current). Further, the lower cell of the Equatorial Undercurrent is permanent and is not directly under the influence of the surface circulation. In fact, according to Hisard et al. (1969), the lower cell is associated with variations that influence the North Equatorial Countercurrent. The suggestion of a close association of the upper cell of the Equatorial Undercurrent with the Equatorial Current is of particular interest.

Thus it seems that the two parts of the Undercurrent are created by different mechanisms, one being associated with the homogeneous-layer circulation, the other with the discontinuity layer—probably related to the Countercurrent system. This is not the case in the central Pacific at 140°W. The theoretical

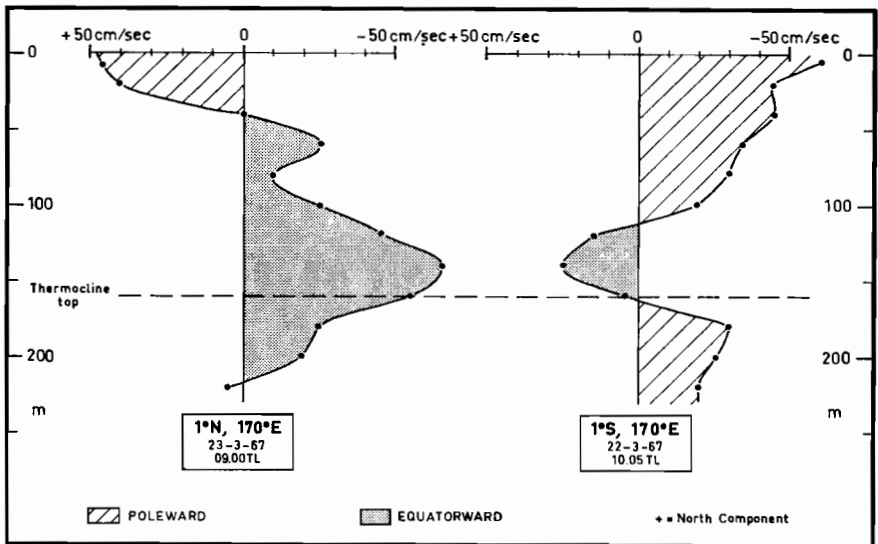


Figure 7. Meridional components of velocity at  $1^{\circ}\text{N}$  and  $1^{\circ}\text{S}$  at  $170^{\circ}\text{E}$ . Hatched areas show poleward flow; shaded areas show equatorward flow.

model that explains the Equatorial Undercurrent in the central Pacific seems to agree best with the concept of an upper cell in the west. Moreover, we must keep in mind the model proposed by Wyrki and Bennett (1963), who predicted that the Equatorial Undercurrent originates near  $160^{\circ}\text{E}$ .

**Geostrophic Balance. THE THERMOCLINE.** Following the observations of Knauss at  $140^{\circ}\text{W}$ , the Equatorial Undercurrent has always been associated with the thermocline, and most of the theoretical models have stressed the role played by the thermocline as a discontinuity layer. According to Stommel (1956, 1957), the frictional layer of the ocean can be limited to the region where the horizontal currents are approximated geostrophic. Stommel's (1960) hypothesis of a homogeneous ocean bounded below by the thermocline depth is in good agreement with the scheme of Fofonoff and Montgomery (1955). Both of these schemes are in accord with the concept of meridional circulation proposed by Cromwell (1953) and both lead to the view that there is an Undercurrent at the bottom of the homogeneous surface layer. Charney (1960) has introduced inertial terms and has assumed that "the high gravitational stability of the thermocline inhibits the transmission of pressure forces and momentum to such an extent that the thermocline may be expressed by a rigid boundary".

The observations at the 24-hour equatorial stations during CYCLONE 2 and 3 (March 26 and April 30, respectively) relate the positions of the thermocline and the currents (Fig. 9). Two eastward-moving cells of the Undercurrent were

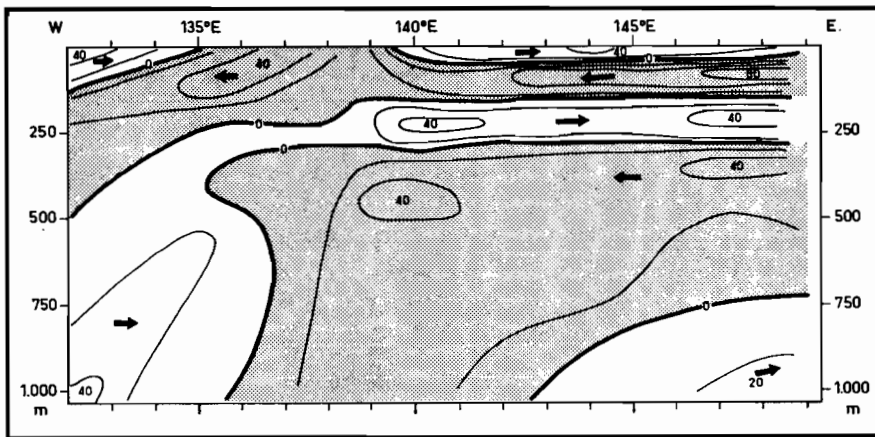


Figure 8. Average distribution of the zonal components of velocity along the equator in the western Pacific from January–April 1966, after Kort et al. (1966); 38th cruise of the R. V. VITYAZ. Velocity contours: 0, 20, 40, 60 cm/sec. Shaded areas show westward flow.

clearly evident during the CYCLONE 2 observations (Fig. 9a); the upper cell was at the bottom of the homogeneous layer and the lower cell was in the thermocline. It appears that the velocity minimum between the two cells coincided with the maximum vertical temperature gradient; that is, the two cells were separated by a thin layer where the stability was maximal. During CYCLONE 3 (Fig. 9b), however, we observed a westward subsurface flow (instead of an upper eastward-moving cell) that was also in the homogeneous layer; the lower cell was still in the thermocline layer. The discontinuity layer again played the role of a boundary.

The role of the thermocline as a boundary is important in the double eastward circulations at the equator. Thus the upper eastward cell is part of the surface circulation—that is, the Equatorial Current system—whereas the lower cell, isolated from the upper circulation, is part of a deeper circulation that is partly linked to the North Equatorial Countercurrent system.

**THERMOCLINE STRUCTURE.** In close association with the Equatorial Undercurrent there was a vertical spreading of the thermocline at the equator. According to Knauss (1960), this results from vertical mixing and can be regarded as an index of the geostrophic balance in the Undercurrent. In geostrophy, according to Montgomery (1962), the distribution of the temperature is parallel to that of the specific volume, the trough in the isothermal surface represents an upward increase in the eastward component of the geostrophic current, the geostrophic current is maximal at the depth where the isothermal surfaces become level, and above this depth the ridge in the isothermal surface represents an upward decrease in the eastward component of the geostrophic current. Furthermore, if there are two opposite flows in a homogeneous layer,

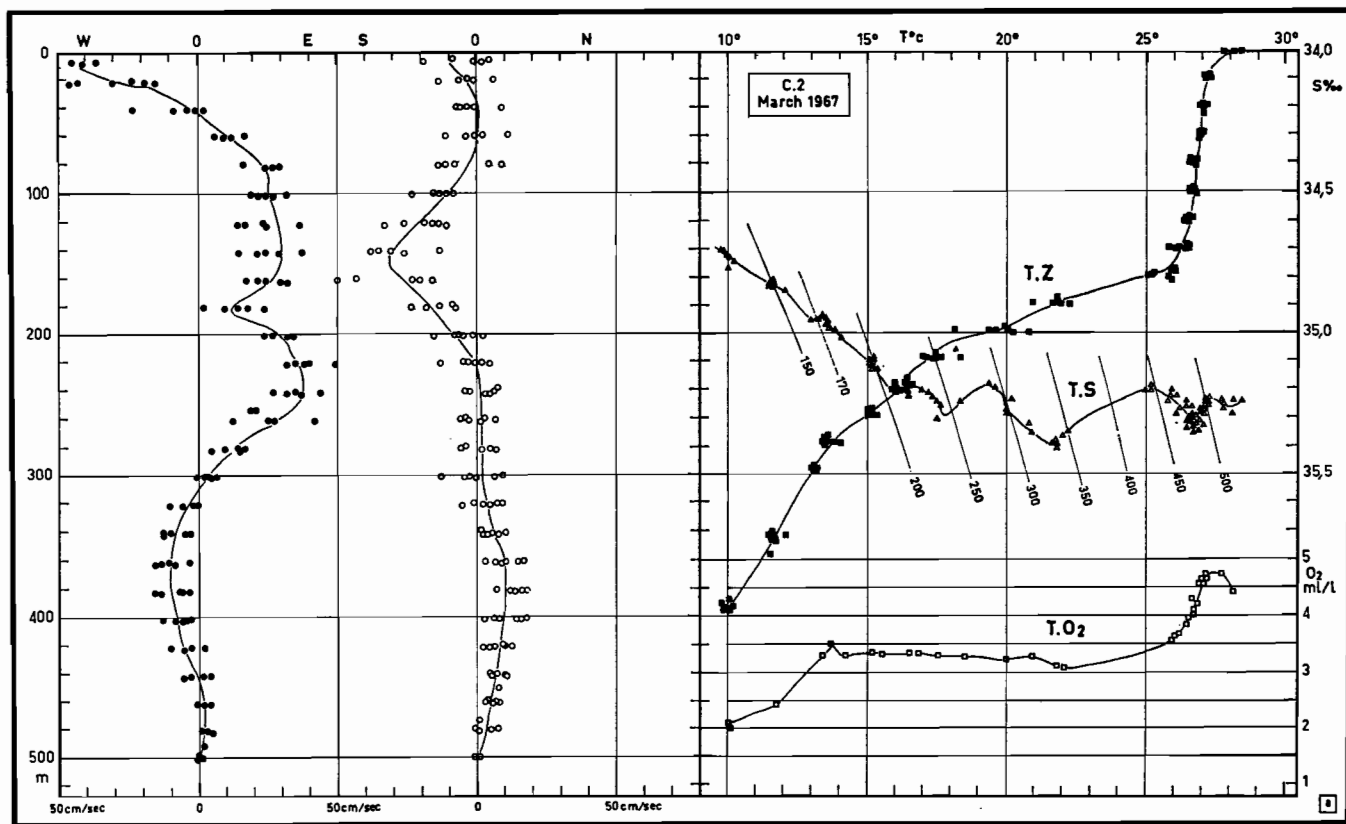


Figure 9a. Distribution curves for the 24-hour station at 0°, 170°E on March 25-26, 1967, showing zonal components of velocity (left), meridional components of velocity (middle), and T-Z, T-S, and T-O<sub>2</sub> curves. Thin lines represent rough profiles.

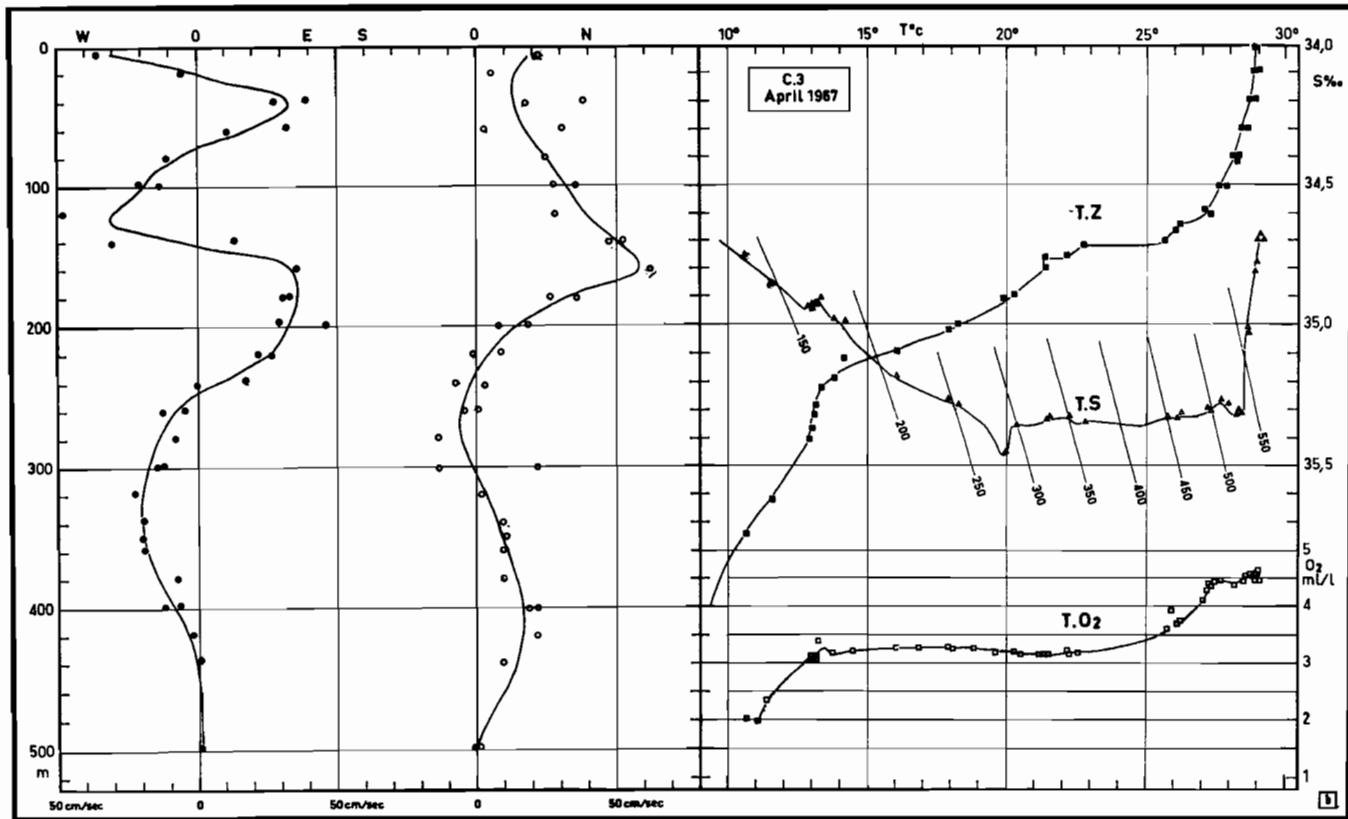


Figure 9b. Distribution curves for the 24-hour station at  $0^{\circ}$ ,  $170^{\circ}$ E on April 29-30, 1967, showing zonal components of velocity (left), meridional components of velocity (middle), and T-Z, T-S, and T-O<sub>2</sub> curves. Thin lines represent rough profiles.

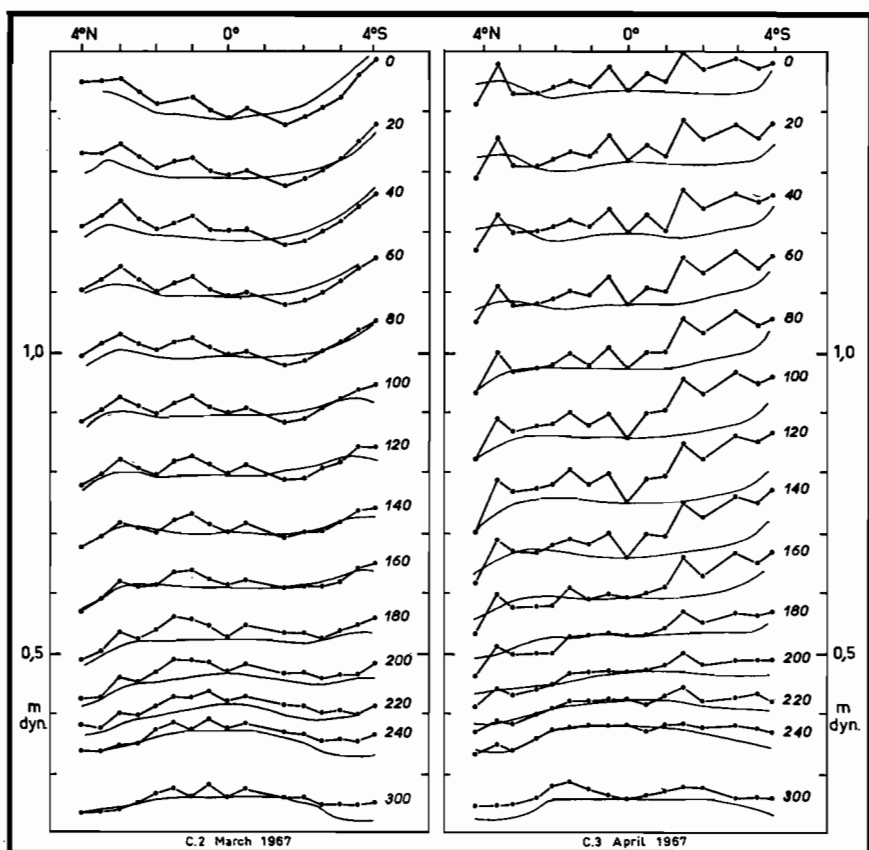


Figure 10. Observed pressure gradients at different levels relative to the 500-db surface for March 1967 (left) and April 1967 (right) at  $170^{\circ}\text{E}$ . The smooth curves represent the required pressure gradient that would obtain if the observed velocity were in geostrophic balance. The positions of the two curves were adjusted for agreement at the equator. After a scheme devised by Knauss (1966).

only one can be in geostrophic balance. This was obtained in the cruises of CYCLONE 2 and 3; two opposite flows were identified in the homogeneous layer.

The thickness of the thermocline can be expressed by the depth difference between two isotherms—the  $25^{\circ}\text{C}$  isotherm, which was located at the top of the thermocline, the  $13^{\circ}\text{C}$  isotherm, which coincided with a marked change in the temperature curve. The  $25^{\circ}\text{C}$  isotherm approximates the top of the lower cell while the  $13^{\circ}\text{C}$  isotherm separates the lower cell from the westward 'deep' flow. Moreover, the  $13^{\circ}\text{C}$  isotherm coincides with an homogeneous layer that has been commented upon by Stroup (1961). The spreading of the thermocline

in the western Pacific, as indicated by these two isotherms, was not as marked as in the eastern Pacific. However, the depth difference at CYCLONE 2 was 90 m at 2°N and at 2°S and 126 m at the equator; this depth difference at CYCLONE 3 was 85 m at 2°S, 60 m at 2°N, and 140 m at the equator. This seems to be good evidence of geostrophic balance.

If the observed velocities are in geostrophic balance, it is possible to compare the observed north-south pressure gradient relative to 500 db with the required pressure gradient (Fig. 10). The time variations in dynamic height at 0 db relative to 500 db at the 24-hour stations were 3 dyn cm at CYCLONE 2, and 6 dyn cm at CYCLONE 3. Below 200 m, the eastward lower cell appears to have been in good geostrophic balance during both cruises. At the surface, the current during CYCLONE 3 was not in geostrophic balance; because of the transitional character of the situation, this might be expected. During CYCLONE 2, the Equatorial Current seems to have been in geostrophic balance, but the eastward upper cell, at 140 m, appears to have been less so.

In September 1961, at 140°W, Knauss (1966) found that the Equatorial Undercurrent was not in geostrophic balance, as it was in April 1958; in 1961, the Equatorial Current was present, surrounding the Undercurrent, but in 1958, the Equatorial Current was weak and did not cross the equator. Thus we may think that these two situations were different and we may ask (i) whether the Undercurrent in 1958 was similar to our lower cell, (ii) whether it was similar in 1961 to our upper cell, and (iii) whether it might be a combination of the two.

Table I. Volume transport (in  $10^6 \text{ m}^3/\text{sec}$ ) of each zonal flow relative to the 500-m level.

Flow*	March	April	June	July	August
a	-22	-34	-14	-20	-26
g	-8	-9	-8	-7	-6
Westward	-30	-43	-22	-27	-32
b	3	4**	3	9	3
c	8	3	12	10	4
d	3	2	3	7	3
e + f	14	16	15	16	14
Eastward	+28	+25	+33	+42	+24

\* Flows a: The Equatorial Current volume transport.

b: The upper cell flow of the Equatorial Undercurrent.

c: The part of the lower cell flow that originates in the Subtropical South Pacific water mass.

d: The part of the lower cell flow that originates in the North Equatorial Countercurrent.

e + f: The eastward flow of Coral Sea water in the Equatorial Undercurrent.

g: The westward "deep" current under the Equatorial Undercurrent.

Flow c is separated from flow d by the  $35\text{‰}$  isohaline.

Flows c and d are separated from flow e + f by the  $240 \text{ cl/t}$  isanosteric line in the south and by a marked bend in the T-S line in the north.

\*\* Eastward surface current.

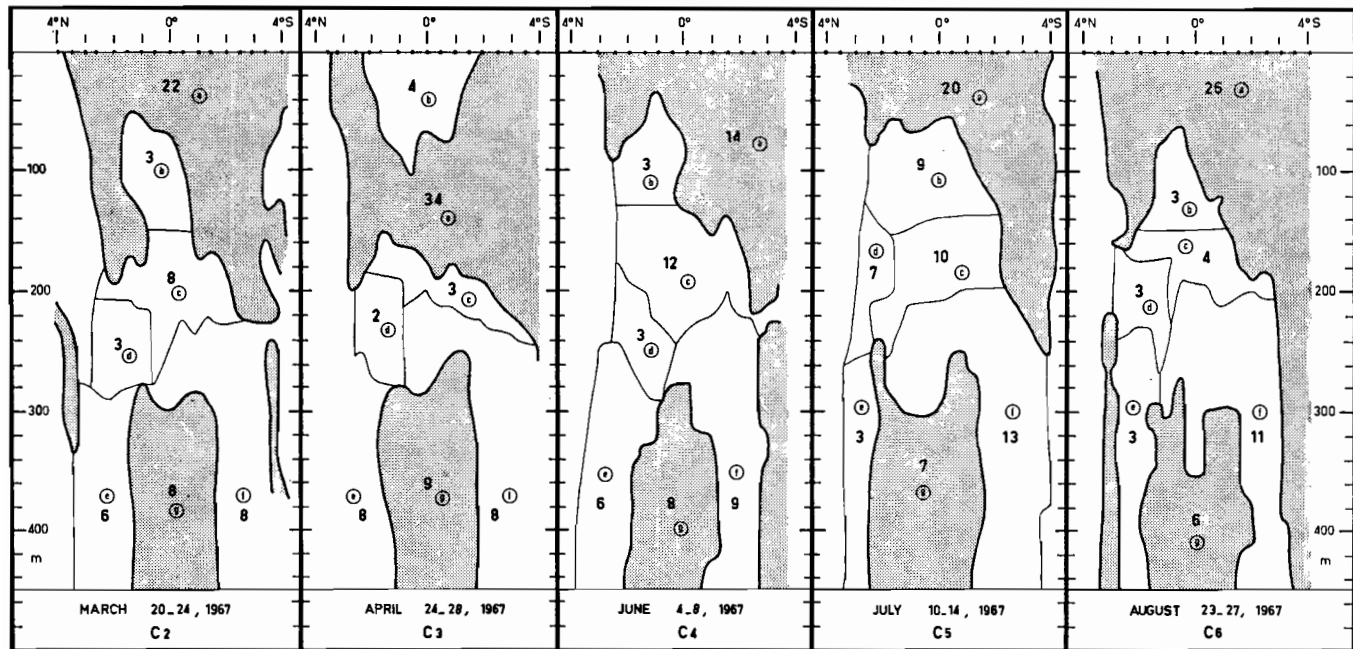


Figure 11. Schematic representation of zonal flows ( $10^6\text{m}^3/\text{sec}$ ) along  $170^\circ\text{E}$  between  $4^\circ\text{S}$  and  $4^\circ\text{N}$  for the five CYCLONE cruises. The encircled letters identify different hydrological structures referred to in the text. The thick line separates eastward flows from westward flows (shaded areas).

*Volume Transport.* The volume transport of each zonal flow has been computed relative to the 500-m level. These transports are listed in Table 1 and shown in Fig. 11. The various flows are identified in footnotes to Table 1.

The fact that the maximum transport of the Equatorial Current occurred in April is surprising, since it happened when an eastward equatorial surface current was present. In fact, the westward flow that linked the two branches of the Equatorial Current (Fig. 4d) is a curious structure, since it appeared to be a separate core. Kort et al. (1966), between 150°E and 130°E, and Yosida et al. (1959), at 153°E, have observed a westward flow under an eastward surface current, at the equator during the northern winter. Taft and Knauss (1967) have observed "a thin layer of very strong west current" in the subsurface layer, at the equator in the Indian Ocean when the surface current was eastward due to the southwest monsoon. Thus we may ask whether the mechanism that produces an upper eastward Undercurrent, when there is at the equator a westward surface current, could produce a westward-moving subsurface core when there is an eastward surface current at the equator.

*Conclusions.* At 170°E, the Equatorial Undercurrent has a double-cell structure, and each cell belongs to a different circulation system. The upper Undercurrent is embedded in the Equatorial Current and the lower Undercurrent is related to the Countercurrent system.

To have an upper Undercurrent there must be an Equatorial Current and a westward trade wind that is strong enough to maintain a horizontal pressure gradient and produce an upwelling. The upper Undercurrent and the Equatorial Current do form a structure that agrees with the theoretical model of Fofonoff and Montgomery (1955); this structure is consistent with an equatorial divergence and a subsurface convergence into the eastward-moving cell that contribute to a vertical surfaceward transport and provide the upwelling effect of cooling and nutrient enrichment. When a west wind blows north of New Guinea during the northern winter, this upper cell can no longer persist along the equator, because the vertical circulation above the thermocline is destroyed; at this time, a core of westward flow is present under the eastward equatorial surface current.

The lower Undercurrent is permanent and in geostrophic balance. Since it is related to the North Equatorial Countercurrent, is situated in the thermocline, and has a velocity maximum at 200 m, we can assume that it is the same Equatorial Undercurrent as that described for the region west of 170°E by the Japanese and Russian investigators. Since it could be observed without recourse to the surface conditions (east wind or west wind) and especially without recourse to the existence of upwelling, it is not consistent with the theoretical model that tries to explain the Equatorial Undercurrent found at 140°W. However, although the lower Undercurrent seems to be an important part of

the whole Equatorial Undercurrent, we think it must be clearly distinguished from the phenomenon that occurs in the Equatorial Current above the thermocline and creates an eastward undercurrent flow whose dynamic properties are very special.

## REFERENCES

- AUSTIN, T. S., and M. O. RINKEL  
1957. Variations in upwelling in the Equatorial Pacific. 9th Proc. Pacific Sci. Congr., Bangkok, 16 *Oceanography*:67-71.
- BURKOV, V. A., and I. M. OVCHINNIKOV  
1960. Investigations of equatorial currents to the north of New Guinea. *Trud. Inst. Okeanol. Akad. Nauk SSSR*, 40:121-134 (Russian).
- CHARNEY, J. G.  
1960. Non-linear theory of a wind-driven homogeneous layer near the equator. *Deep-sea Res.*, 6 (4):303-310.
- CROMWELL, TOWNSEND  
1953. Circulation in a meridional plane in the central equatorial Pacific. *J. mar. Res.*, 12 (2):196-213.
- FOFONOFF, N. P., and R. B. MONTGOMERY  
1955. The Equatorial Undercurrent in the light of the vorticity equation. *Tellus*, 7: 518-521.
- HIDAKA, KOJI  
1958. Computation of the wind stresses over the oceans. *Rec. Oceanogr. Works Japan*, 4:77-123.
- HISARD, PHILIPPE, YVES MAGNIER, and BRUNO WAUTHY  
1969. Comparison of the hydrographic structure of equatorial waters north of New Guinea and at 170°E. *J. mar. Res.*, 27 (2):191-205.
- JARRIGE, FRANÇOIS  
1968. On the eastward flow of water in the western Pacific south of the equator. *J. mar. Res.*, 26 (3):286-289.
- KNAUSS, J. A.  
1960. Measurements of the Cromwell Current. *Deep-sea Res.*, 6 (4):265-286.  
1966. Further measurements and observations on the Cromwell Current. *J. mar. Res.*, 24 (2):205-240.
- KORT, V. G., V. A. BURKOV, and K. A. TCHEKOTILLO  
1966. Nouvelles données sur les courants équatoriaux dans la partie occidentale de l'Océan Pacifique. *Dokl. Akad. Nauk. SSSR*, 171 (2):337-339 (Russian).
- MASUZAWA, JOTARO  
1967. An oceanographic section from Japan to New Guinea at 137°E in January 1967. *Oceanogr. Mag.*, 19 (2):95-118.
- MERLE, JACQUES, HENRI ROTSCHI, and BRUNO VOITURIEZ  
1969. Zonal circulation in the tropical western South Pacific. *Bull. Jap. Soc. sci. Fish.*, Spec. No. (Prof. Uda's Com. Papers):91-98.

MONTGOMERY, R. B.

1962. Equatorial Undercurrent observations in review, *J. oceanogr. Soc. Japan*, 20th Ann. Vol.:29-40.

NOEL, JACQUES, and JACQUES MERLE

1969. Analyse des courants superficiels et sub-superficiels à l'équateur durant une période de 6 jours à 170°E. *Cah. Oceanogr.*, 7:663-671.

RAMAGE, C. S.

1968. Meteorology of the South Pacific. *Proc. 9th Gen. Meet. SCOR*; pp. 1-17.

REID, J. L., JR.

1959. Evidence of a South Equatorial Countercurrent in the Pacific Ocean. *Nature*, London, 184:209-210.

ROTSCHI, HENRI, PHILIPPE HISARD, and PIERRE RUAL

1968. Observation de deux fronts thermiques dans le Pacifique équatorial occidental. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 266:1465-1468.

STOMMEL, HENRY

1956. On the determination of the depth of no meridional motion. *Deep-sea Res.*, 3 (4): 273-278.

1957. A survey of ocean theory. *Deep-sea Res.*, 4 (3):149-184.

1960. Wind-drift near the equator. *Deep-sea Res.*, 6 (4):298-302.

STRICKLAND, J. D. H., and T. R. PARSONS

1965. A manual of sea water analysis. *Bull. Fish. Res. Bd. Can.*, 125; 203 pp. 2nd edition.

STROUP, E. D.

1961. Lecture given at the 10th Pacific Sci. Cong. (unpublished).

SVERDRUP, H. U., M. W. JOHNSON, and R. H. FLEMMING

1942. *The Oceans*, Prentice-Hall, N.Y. 1087 pp.

TAFT, B. A., and J. A. KNAUSS

1967. The Equatorial Undercurrent of the Indian Ocean as observed by the LUSIAD Expedition. *Bull. Scripps Inst. Oceanogr.*, 9; 163 pp.

Tsuchiya, MIZUKI

1961. An oceanographical description of the Equatorial Current system of the western Pacific. *Oceanogr. Mag.*, 13 (1):1-30.

WYRTKI, KLAUS

1961. Physical oceanography of the south-east Asian waters. Scientific results of marine investigations of the South China Sea and the Gulf of Thailand, 1959-1961. *Naga Rep.*, 2; 195 pp.

WYRTKI, KLAUS, and E. B. BENNETT

1963. Vertical eddy viscosity in the Pacific Equatorial Undercurrent. *Deep-sea Res.*, 10 (4):449-455.

YOSIDA, S., H. NITANI, and N. SUZUKI

1959. Report of multiple ship survey in the equatorial region (I.G.Y.) Jan.-Feb. 1958. *Hydrogr. Bull.*, Tokyo, 59:1-30.

Printed in Denmark for the Sears Foundation for Marine Research,  
Yale University, New Haven, Connecticut, U. S. A.  
Bianco Lunos Bogtrykkeri A/S, Copenhagen, Denmark



VARIATIONS OF THE EQUATORIAL CIRCULATION IN THE  
WESTERN PACIFIC (Abstract)

---

H. ROTSCHE

---

(IV° Congreso Nacional de Oceanografía - Mexico 1969 - Resúmenes p. 4-5)

During six months, the R.V. CORIOLIS from the Centre ORSTOM of NOUMEA (New-Caledonia) made monthly direct measurements of the currents at 170° E, between 4° S and 4° N. All the measurements were made relative to a reference level of 500 m. They indicate an extreme variability of the equatorial circulation, both in short terms variations of less than an hour, and in long terms variations of the order of a month. Moreover, there seems to be an approximative semi-diurnal perturbation.

There is a remarkable permanence of the general structure of the equatorial currents. The Cromwell Current or Equatorial Undercurrent at 170° E has always been observed with two cores, one at 100 m and the second at 200 m, whereas, in the Central Pacific, it has only one. The Equatorial Current which is a surface current and flows to the west is also composed of at least two cores. The Equatorial Undercurrent is completed at 2°30 S and 2°30 N by deep eastward fluxes with cores at about 200-300 m which seem to reach at least a depth of 100 m. Besides, there is a continuity of eastward fluxes between the North Equatorial Countercurrent, the Equatorial Undercurrent and these two deep eastward currents at 2°30 N and 2°30 S. The southern deep eastward current is extremely stable and could be assimilated to the eastward current described by REID (1965) on the 125 cl/t isanosteric surface. But, between the North Equatorial Countercurrent and the Equatorial Undercurrent, there is a permanent divergence of the eastward fluxes; this may imply that the two currents which have the same origin north of New Guinea, tend to separate on their way to the east; east of 170° E, in the central Pacific they seem to be completely separated.

Finally, below the Equatorial Undercurrent, there is a weak westward flow deeper than 1000 m.

The volume transports are highly variable : for the Equatorial Undercurrent, one has measured a minimum of  $12 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{sec}$  and a maximum of  $43 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{sec}$ . The Equatorial Current varies in a similar manner so that the algebraic difference between the two transports is almost constant so that the strongest the Equatorial Current the weakest the Undercurrent and vice versa, the volume transport of one current relative to the other being constant.



SOME CONSIDERATIONS ON THE ZONAL CIRCULATION IN THE TROPICAL

WESTERN SOUTH PACIFIC (Abstract)

---

H. ROTSCI

---

(IV° Congreso Nacional de Oceanografía - Mexico 1969 - Resúmenes p. 6-7).

From 1965 to 1968 the R.V. CORIOLIS, made 10 cruises devoted to the study of the hydrology and of the dynamic of the waters of the western south Pacific between 20°S and the equator and along 170°E. Geostrophic currents were evaluated and direct currents were measured.

All these cruises indicate that between 20°S and 5°S there are two permanent eastward currents. The northernmost is centered at about 9°S and is the South Equatorial Countercurrent identified by REID. In its swiftest part, it transports low salinity, low oxygen and nutrient rich water. The southernmost eastward current is centered near 17°30'S. It is shallower than the former. At its core the water has also a low salinity, but its oxygen content is high and the nutrient concentration is low. The westward flow between these two countercurrents is composed of high salinity, highly oxygenated water. It is a branch of the South Equatorial Current with a core at about 13°30'S. It has not been possible to point out any apparent seasonal variation of the intensity, of the volume transport, of the meridional extension or of the thickness of the various zonal currents.

This surface and subsurface circulation is quite distinct from the circulation which has been observed on the 125 cl/t isanosteric surface (REID 1961, WOOSTER 1961, TSUCHIYA 1968). Besides, it induces vertical displacements of water which have an effect on the vertical distribution of nutrients. At the northern border of each countercurrent, there is a convergence, and at its southern border, there is a divergence. Thus between 9°S and 14°S on one hand, and near 20°S on the other hand, there is a more or less permanent enrichment of the deepest layer of the euphotic zone, with a possible increase of the productivity of the upper layer. Preliminary studies of the distribution of the zooplankton and micronekton biomass seem to confirm the existence, near these latitudes, of a mechanism of enrichment.

It is proposed to call the southernmost eastward countercurrent the South Tropical countercurrent.



VARIATIONS OF EQUATORIAL CURRENTS (Abstract).

---

H. ROTSCHI

---

(in : " Scientific Exploration of the South Pacific". Proceedings SCOR Symposium 1968 - La Jolla - Standard Book n° 309-01755-6-National Academy of Sciences. Washington D.C. 1970 - pp. 75-83).

The flux of the equatorial undercurrent measured from March to August 1967 showed considerable variations : over a 3 month period, it increased about four fold from April to July and it decreased by about half in 1 month period from March to April or from July to August. With east winds, there are two velocity cores at the equator and the salinity maximum is slightly above the lower velocity core. The most stable part of the flux is the deepest. As it flows to the east, the equatorial undercurrent is getting heavier.

With westward winds in the equatorial region, there is an equatorial divergence with enrichment of the upper layer in nutrient salts. The reversal of the winds induces an equatorial convergence and the disappearance of the upper core of the equatorial undercurrent.

Close to 10°S there is, at 170°E, a countercurrent with a highly variable flux of a low salinity water.

The hydrological homogeneity of the water in the core of the equatorial undercurrent could be due to the peculiar characteristics of the water masses entering in the formation of this current more than to a vertical mixing.

~~26 JUIN 1986  
O. R. S. T. O. M. Fonds Documentaire  
N° : 20 332  
Cote : A~~



A PRELIMINARY STUDY OF SOME MICRONEKTONIC FISHES IN THE  
EQUATORIAL AND TROPICAL WESTERN PACIFIC (Abstract).

---

M. LEGAND, P. BOURRET, R. GRANDPERRIN and J. RIVATON

---

(in : "Scientific Exploration of the South Pacific". Proceeding SCOR Symposium 1968 - La Jolla - Standard Book n° 309-01755-6-National Academy of Sciences. Washington D.C. 1970 - p. 226-235).

The study of the larger organisms of the food chain in the open ocean is important to understanding the biocenosis in which tunas live. The ORSTOM Oceanographic Department of Noumea has established some general features of the composition of the samples collected with an Isaacs-Kidd midwater trawl in the Equatorial Currents and surrounding area of the western Pacific. Because of the characteristics of the gear, several restrictions have to be kept in mind about its catching efficiency: (1) the escapement through the net is dependent not only on the mesh aperture but also on the shape of the species considered (2) the conditions of sampling are not constant during the whole hauls and irregularities might also arise from variations in speed and direction of the currents crossed by the net (3) the replicability of hauls varies according to the species.

The composition of the ichthyofauna of the Western Equatorial Pacific shows three species are dominant. Cyclothone pallida constitutes more than one half of the main number. Vinciguerrria nimbaria and Sternoptyx diaphana represent together from 11 to 14 percent of the total number. The poor influence of the Myctophids is noticed in the whole 0 - 1200 m column. C. pallida and S. diaphana have a great seasonal stability while the variability of V. nimbaria is quite noticeable. As south-north variations in the tropical and equatorial area are concerned, there are generally two marked peaks at the two ends and a minimum between 14° and 4°S. However, differentiations between the main species are noticed. Vertical distributions of C. pallida and S. diaphana in the equatorial region show a clear trend for the bigger adults and also for the youngest juveniles to remain in the middle and deeper levels while medium-sized fishes were found in appreciable quantities shallower than 300 meters. V. nimbaria appears to be restricted to the westward South Equatorial Current and eastward Cromwell undercurrent. As a conclusion, relationships of stocks of these three main species with different parts of the meso and epipelagic faunas have to be studied as they could be an important source of food for the bigger epipelagic species but could also have an important predatory effect on the available plankton.

26 JUN 1986

O. R. S. T. O. M. Fonds Documentaire

N° : 20 332

Date : A