

# RECUEIL de TRAVAUX

*COLLECTED REPRINTS*

N° 6

**Adresse :** CENTRE ORSTOM - B.P. A 5 - NOUMÉA - Nlle-Calédonie (NEW-CALEDONIA)

## O.R.S.T.O.M. - NOUMEA - OCEANOGR. - Rec. Trav. 6 - 1975

## SOMMAIRE

## Contents

(\* Contributions with English Abstract)

- Informations sur l'activité du laboratoire (1973 à 1975). (*Progress Report for 1973-1975*).
- Carte des croisières effectuées (1973-1975). (*Cruises carried out 1973-1975*).
- 147. RANCUREL, P. - *Mastigoteuthis hjorti* Chun, 1913. Description de trois échantillons provenant du Golfe de Guinée (Cephalopoda, Oegopsida). (*Mastigoteuthis hjorti*, Chun 1913. *Description of three specimens from the Gulf of Guinea*).
- 148. FOURMANOIR, P. - Notes ichthyologiques, V. (*Ichthyological notes, V*).
- 149. JARRIGE, F. - Temperature inversions in the Equatorial Pacific. (*In English*).
- 150. ROTSCHI, H. - *Hydrology at 170°E. in the South Pacific*. (*In English*).
- 151. PAGES, J. - *An attempt to determine the time of death of the catches during long-line fishing*. (*In English*).
- 152. ROGER, C. - *Biological investigations on some important species of Euphausiacea (Crustacea) from the Equatorial and South Tropical Pacific*. (*In English*).
- 153. MANNING, R.B. and A. MICHEL. - *Harpiosquilla intermedia, a new stomatopod crustacean from New Caledonia*. (*In English*).
- 154. RANCUREL, P. - Note sur quelques becs de Céphalopodes trouvés dans l'estomac d'un requin-tigre. (*Note about some Cephalopod beaks found in a tiger shark stomach*).
- 155. RANCUREL, P. - Quelques échouages de Cétacés survenus dans le sud-ouest Pacifique en 1972. (*This paper has been translated in English under the title : The stranding of sea mammals in the Southwest Pacific in 1972. South Pacific Bulletin, Fourth quarter 1973, p. 18-21*).
- 156. RANCUREL, P. - Les Calmars géants existent-ils en Nouvelle-Calédonie ? (*This paper has been translated in English under the title : Giant Squids : do they exist in New Caledonia ? South Pacific Bulletin, Third quarter 1974, p. 9-12*).
- 157. GUEREDRAT, J.A. - Variations saisonnières de la diversité spécifique des Copépodes de l'océan Indien le long du 110°E. (*Seasonal variations of specific diversity of Copepods in the Indian Ocean along the 110°E*).
- 158. DONGUY, J.R. et C. HENIN - Salinités de surface caractéristiques du courant équatorial et du contre-courant équatorial nord à 150°-160°E. (*Surface Salinities observed in the Equatorial current and in the North Equatorial counter current at 150°-160°E. The English abstract of this paper also appears in : IAPSO first special Assembly at Melbourne, January 1974 : Procès Verbaux n° 13 : 143-144*).
- 159. DONGUY, J.R., C. HENIN et F. ROUGERIE. Les principaux aspects de la dessalure des eaux superficielles du Pacifique tropical sud-ouest. (*Some aspects of the freshening of surface waters in the Tropical South West Pacific*).
- 160. ROTSCHI, H. et B. WAUTHY - Hydrologie et dynamique dans le Pacifique occidental tropical, en relation avec les mécanismes de fertilisation. (*Hydrology and dynamics in the tropical occidental Pacific, in relation with fertilisation mechanisms*).
- 161. ROGER, C. - Influence de la phase et de l'éclairement lunaire sur les répartitions verticales superficielles de crustacés macroplanctoniques (Euphausiacea). (*Effects of Moon Phasis and Moon Light upon the Vertical Distributions of Macroplanktonic Crustacea (Euphausiacea)*).

162. ROGER, C. - Répartition bathymétrique et migrations verticales des euphausiacés (crustacés) dans les zones de pêche au thon du Pacifique Sud tropical. (*Bathymetric distributions and vertical migrations of Euphausiid crustaceans in the Tuna fishing grounds of the Tropical South Pacific*).
163. MAGNIER, Y. et R. PITON - Les particularités de la couche 0-600m. dans l'ouest de l'océan Indien sud-équatorial. (*On the peculiarities of the 0-600m. layer in the Western South Equatorial Indian Ocean*).
164. DONGUY, J.R. and HENIN, C. - *Surface waters in the North of the Coral Sea. (In English)*.
165. DONGUY, J.R., HENIN, C., JARRIGE, F., ROUGERIE, F. - Esquisse dynamique et hydrologique du Pacifique central sud. (*Dynamic and hydrologic outline of the South Central Pacific*).

## ABSTRACTS

(In English)

- \* 166. MAGNIER, Y., H. ROTSCHI, P. RUAL and C. COLIN - *Equatorial Circulation in the Western Pacific (170°E)*.
- \* 167. HENIN, C., F. JARRIGE, H. ROTSCHI and P. RUAL - *Currents at the Equator in the Western Pacific : lacunae and problems*.
- \* 168. DONGUY, J.R. and C. HENIN - *Hydrological interpretation of the surface circulation in the South Tropical Pacific based on eighteen years of surface sampling*.
- \* 169. COLIN, C., C. HENIN and F. JARRIGE - *Short period variations of equatorial currents at 170°E*.
- \* 170. WAUTHY, B. - *Equatorial upwelling originality (Pacific Ocean)*.
- \* 171. DONGUY, J.R. and C. HENIN - *Relation between rainfall and sea surface salinity in the Southwest Tropical Pacific based on 1956-1973 sampling*.
- \* 172. DONGUY, J.R., C. HENIN and P. ROUGERIE - *The counter-currents in the South Tropical Pacific*.
- \* 173. JARRIGE, F., R. RADOK, G. KRAUSE and P. RUAL - *Currents in the lagoon off Noumea*.
- \* 174. RANCUREL, P. - *Marine Turtles of New Caledonia*.
- \* 175. RANCUREL, P. - *Fur Seals of the Isle of Pines*.
- \* 176. RANCUREL, P. - *A mass stranding of the porpoise *Peponocephala electra* in the New Hebrides*.
- \* 177. ROGER, C. - *Charts or bathymetric distributions and vertical migrations of Euphausiid crustaceans in the Tuna fishing grounds of the South Tropical Pacific*.
- \* 178. ROGER, C. - *Feeding rhythms and trophic organization of a population of pelagic crustacea (Euphausiacea)*.
- \* 179. ROGER, C. and R. GRANDPERRIN - *Importance of bathymetric distributions of macroplanktonic organisms upon the structure of pelagic food webs*.
- \* 180. FOURMANOIR, P. - *Deep-fishing in some Southwest Pacific Islands*.
- \* 181. FOURMANOIR, P., J.M. GRIESSINGER and Y. PLESSIS - *Ichthyological fauna of Gambier Islands*.
- \* 182. GUEREDRAT, J.A. and H. VELAYOUDON - *Space-time relationships between planktonic communities and equatorial currents system in the Western Pacific*.
- \* 183. GUEREDRAT, J.A. - *Ecology of pelagic Copepods in the Tropical Indo-Pacific (Evolution and structure of the community in the Eastern Indian Ocean)*.
- \* 184. WAUTHY, B. - *Phytoplankton and circulation North of New Guinea in summer 1971*.
- \* 185. COLIN, C., B.V. HAMON, C. HENIN and F. JARRIGE - *Preliminary report on the Swallow floats experiment at 0°, 170°E in November-December 1973*.

# INFORMATIONS SUR L'ACTIVITE DU LABORATOIRE D'OCEANOGRAPHIE DU CENTRE ORSTOM DE NOUMEA EN 1973-1975

## 1. Travail à la mer

En 1973, 120 jours ont été consacrés aux opérations en mer, dont 42 pour la biologie et 78 pour la physique. En biologie, on a poursuivi le programme « DIAPHUS », consacré à la description de l'environnement biologique des germons (DIAPHUS 11 et 12) : traits en continu, au chalut pélagique, entre 50 m et 750 m de profondeur, et pêche du thon à la longue ligne verticale. En physique, la croisière MINEPO, de 38 jours, a étudié la minéralisation de la matière organique à l'équateur, ainsi que la répartition zonale du phytoplancton tropical. La croisière VATE de 34 jours fut consacrée à l'étude, avec deux navires, des variations temporelles à l'équateur des courants absolus et des propriétés hydrologiques qui leur sont associées.

En 1974, 100 jours ont été consacrés aux études au large, dont 67 à l'analyse des réseaux tropiques pélagiques lors de l'achèvement du programme DIAPHUS, et au démarrage des opérations MOLA (étude de l'influence du cycle lunaire sur les déplacements nyctéméraux des organismes du micronecton). Les 33 jours restants ont été dévolus à la croisière MINEPO II : mesure en temps réel des modifications physiques, chimiques et biologiques d'une masse d'eau issue récemment de l'upwelling équatorial et se déplaçant en direction des pôles. Par ailleurs, à cheval sur 1974 et 1975, une étude des courants et du renouvellement des eaux du lagon a été entreprise.

En 1975, on a étudié les gradients zonaux en zone équatoriale, au cours de la croisière ALIOPE de 44 jours.

## 2. Recherches au laboratoire

Le dépouillement des observations a conduit à préciser la limite inférieure de la distribution des thons de longue ligne, ainsi que la répartition bathymétrique et la nutrition de différents maillons des niveaux trophiques sur lesquels ils s'alimentent ; ont été inclus dans ces études les céphalopodes, les poissons micronectoniques, les euphausiacés et les copépodes.

Dans le domaine de l'océanographie physique les observations faites au cours des croisières MINEPO ont conduit à l'élaboration d'un modèle de circulation méridienne et verticale expliquant les traits caractéristiques des distributions hydrologiques ainsi que la présence d'un maximum subsuperficiel de nitrite. La croisière VATE a confirmé par ses résultats la circulation zonale décrite antérieurement sur le plan qualitatif, mais elle a montré une grande complexité des composantes méridiennes. En surface et subsurface, le système est turbulent, proche de la turbulence isotrope. Enfin, une exploitation de données de surface recueillies par des navires marchands permet de préciser l'hydroclimatologie du Pacifique sud-ouest.

## 3. Prévisions

Les programmes en cours au large seront achevés et on développera l'étude des eaux côtières et lagonaires au plan de leur productivité mais aussi de leur protection. L'accent sera en particulier mis sur les ressources lagonaires en appâts vivants (pour la pêche à la bonite) et sur les stocks pélagiques de bonites, encore peu exploitées, et des poissons démersaux tels que les *Etelis*, totalement inexploités.

## 4. Personnel ayant participé aux recherches en 1973-1975

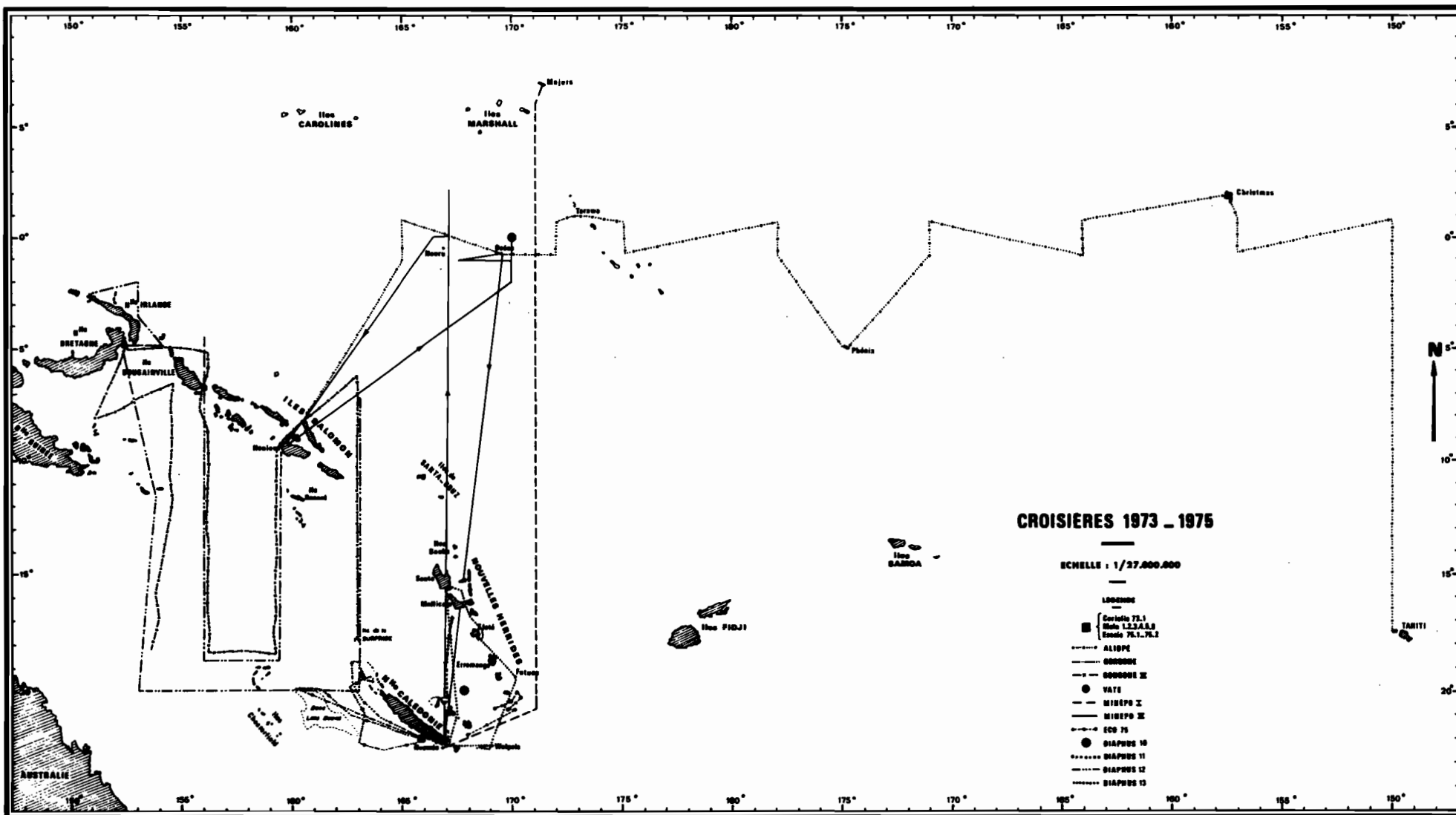
*Océanographes physiciens* : H. ROTSCHI (Responsabilité du programme), C. COLIN, J.R. DONGUY, C. HENIN, F. JARRIGE, C. OUDOT, F. ROUGERIE, P. RUAL.

*Océanographes biologistes* : M. LEGAND, P. BOURRET, R. DESROSIERES, P. FOURMANOIR, R. GRANDPERRIN, J.A. GUEREDRAT, G. LOUBENS, P. RANCU-REL, C. ROGER, B. WAUTHY.

*Techniciens* : G. CHARRIERE, B. DE GEOFFROY, H. FERRER, J. GARBE, C. HOFFSCHIR, P. LABOUTE, J. RIVATON, M. SICARD (Mme), B. SUPRIN, H. VELAYOUDON (Mme).

## 5. Publications

Le présent recueil rassemble toutes les publications du laboratoire parues depuis la sortie du précédent volume, soit sous forme de tirés à part, soit (notamment dans le cas de communications à des Congrès) sous forme de résumés en langue anglaise (Abstract).





**MASTIGOTEUTHIS HJORTI CHUN 1913**  
**DESCRIPTION DE TROIS ÉCHANTILLONS**  
**PROVENANT DU GOLFE DE GUINÉE**

(CEPHALOPODA - OEGOPSIDA)

P. RANCUREL

*Océanographe de l'O.R.S.T.O.M., Nouméa*  
(Nouvelle-Calédonie)

RÉSUMÉ

*Mastigoteuthis hjorti est un représentant de la famille des Mastigoteuthidae qui n'a plus été signalé depuis la description par Chun en 1913, basée sur cinq spécimens en plus ou moins bon état; trois nouveaux spécimens sont décrits du Golfe de Guinée, leur état assez satisfaisant permet de préciser les caractères morphologiques et de réfuter la présence d'« écailles dermiques ».*

ABSTRACT

*Mastigoteuthis hjorti is a few known species of the Mastigoteuthidae family. It is only known by the type described by Chun (1913), from five badly preserved animals. Three new specimens are described from the Gulf of Guinea. Their enough good conditions give the possibility to state precisely some morphological characters and refute the « dermic scales » formation on the body.*

Parmi les échantillons recueillis par la North Atlantic Deep Sea Expedition du « MICHAEL SARS », CHUN (1913) décrit une nouvelle espèce de *Mastigoteuthis* présentant des caractères très particuliers qui la différencient nettement de toutes les autres espèces de ce genre et à laquelle il donne le nom de *M. hjorti*. Le caractère le plus frappant de cette espèce réside en la possession d'une énorme nageoire recouvrant entièrement la face dorsale du manteau; cette nageoire, ainsi que la face ventrale de la tête sont ornées de figures rhombiques en relief. CHUN rapproche ces formations des pseudo-écailles rencontrées chez *Lepidoteuthis*. En outre, il signale deux gros organes lumineux sur chacun

des globes oculaires. Cinq spécimens ont été récoltés, qui tous présentaient, sur les parties de leur corps non enlevées par la friction du filet, soit ventralement, soit dorsalement, les ornements en relief caractéristiques. Le doute subsiste tout de même sur leur présence réelle sur des spécimens en bon état, ces marques faisant songer immédiatement à des empreintes laissées par les mailles du filet dans le corps gélatineux des Céphalopodes; le fait que les cinq spécimens soient marqués pourrait seulement prouver qu'ils ont été comprimés contre les mailles en des positions différentes, la partie de leur corps opposée au filet subissant un raclage des téguments, les différentes marques des différents

animaux pouvant alors être interprétées comme complémentaires.

Quoiqu'il en soit, en dehors des cinq spécimens originaux capturés par 36° N-40° W; 32° N-33° W; 36°5 N-43°58 W, aucune nouvelle capture n'a été signalée depuis 1913.

Parmi les récoltes de la « REINE POKOU », se trouvent trois *Mastigoteuthis* dont les divers caractères morphologiques ne pourraient s'appliquer qu'à la description de *M. hjorti* : ils possèdent une très grande nageoire, deux organes lumineux oculaires, des ventouses aux cercles cornés garnis de dents obtuses. Malheureusement, l'état très précaire du revêtement cutané de nos échantillons, ne permet aucune comparaison de ce caractère avec la description de CHUN, soit que l'ornementation décrite existe vraiment, soit qu'il ne s'agisse que d'un artéfact. Tous les détails des structures mentionnés par CHUN correspondent avec ceux de nos spécimens, par contre certains points particuliers apparaissent sur les exemplaires du Golfe de Guinée et n'ont pas été mentionnés par l'auteur allemand. C'est donc avec un léger doute que j'identifie les trois échantillons de la « REINE POKOU » avec l'espèce Nord-Atlantique. La description qui suit est basée sur l'échantillon de 44 mm de longueur palléale dorsale et pourra éventuellement servir de complément à celle de CHUN.

#### Description de *Mastigoteuthis hjorti* Chun 1913, du Golfe de Guinée

ORIGINE DU MATÉRIEL : (Essais), 25 milles sud Vridi, LM 44; 700 m; (FP 6219), 30 milles sud Vridi, LM 25 mm, 700 m; (GTS, Raf, 6/8) LM 40 mm, 600 m. Corps conique, en forme de cornet, renflé vers le milieu; ventralement, la pointe du corps se prolonge par le cône du gladius sur près du tiers de sa longueur. Le manteau est relié à la face inférieure de la nageoire, à partir du tiers distal, par une bande muqueuse hyaline et relativement comprimée.

Dorsalement, le manteau est recouvert presque entièrement par une très grande nageoire, dont les points de fixation avec le manteau se reconnaissent à 3 mm du bord palléal antérieur. Musculeuse dans sa partie médiane, la nageoire possède des bords minces, qui se sont frangés par dilacération et friction, mais dont le contour peut être très facilement reconstitué. La partie postérieure devait se terminer par une petite pointe, comme en témoignent la section nette des muscles et de la pointe du gladius. Antérieurement, la nageoire est liée au manteau par une attache musculaire sinueuse. Le bord palléal antérieur est droit dorsalement et ventralement.

Le siphon est de taille moyenne, fixé à la tête par du tissu gélatineux, et ne repose pas dans un sillon bien marqué. L'organe muqueux du siphon (fig. 7), en forme de  $\Lambda$ , est très échancré au centre où se loge le rectum, tandis que les extrémités des branches s'élargissent considérablement; un processus digitiforme prolonge la pointe antérieure de l'organe. Les taches ventrales, ovales, légèrement pointues vers l'avant, sont très développées et presque jointives à la tache dorsale.

Les cartilages de fixation sont arrondis, prolongés assez fortement en une cavité postérieure dans laquelle vient plonger l'extrémité libre du bouton de fixation palléal (fig. 9). La tête est en très mauvais état, et les globes oculaires reposent dans des orbites dépourvues de paupières. Elle est courte et étroite, presque entièrement occupée par les très grandes cavités orbitaires.

Les yeux, très volumineux ont un iris aplati entourant un cristallin proéminent. Ils apparaissent de couleur gris ardoise, mais des traces de tissu doré autour du cristallin permettent de leur supposer une couleur mordorée, cuivrée, sur le vivant. Deux gros organes lumineux (fig. 3), ovales et bombés se remarquent sur le bord du globe, légèrement situés sur la face interne. Leur couleur, jaunâtre légèrement rosé les fait immédiatement apercevoir, l'un situé au niveau de l'extrémité du siphon, l'autre en arrière du moignon tentaculaire. Face à l'organe lumineux ventral se trouve un repli de l'orbite qui vient s'appliquer contre lui.

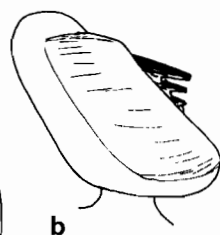
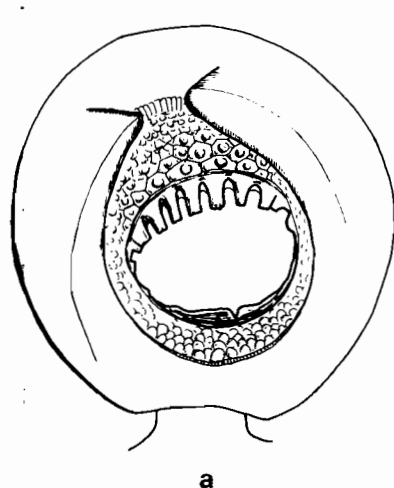
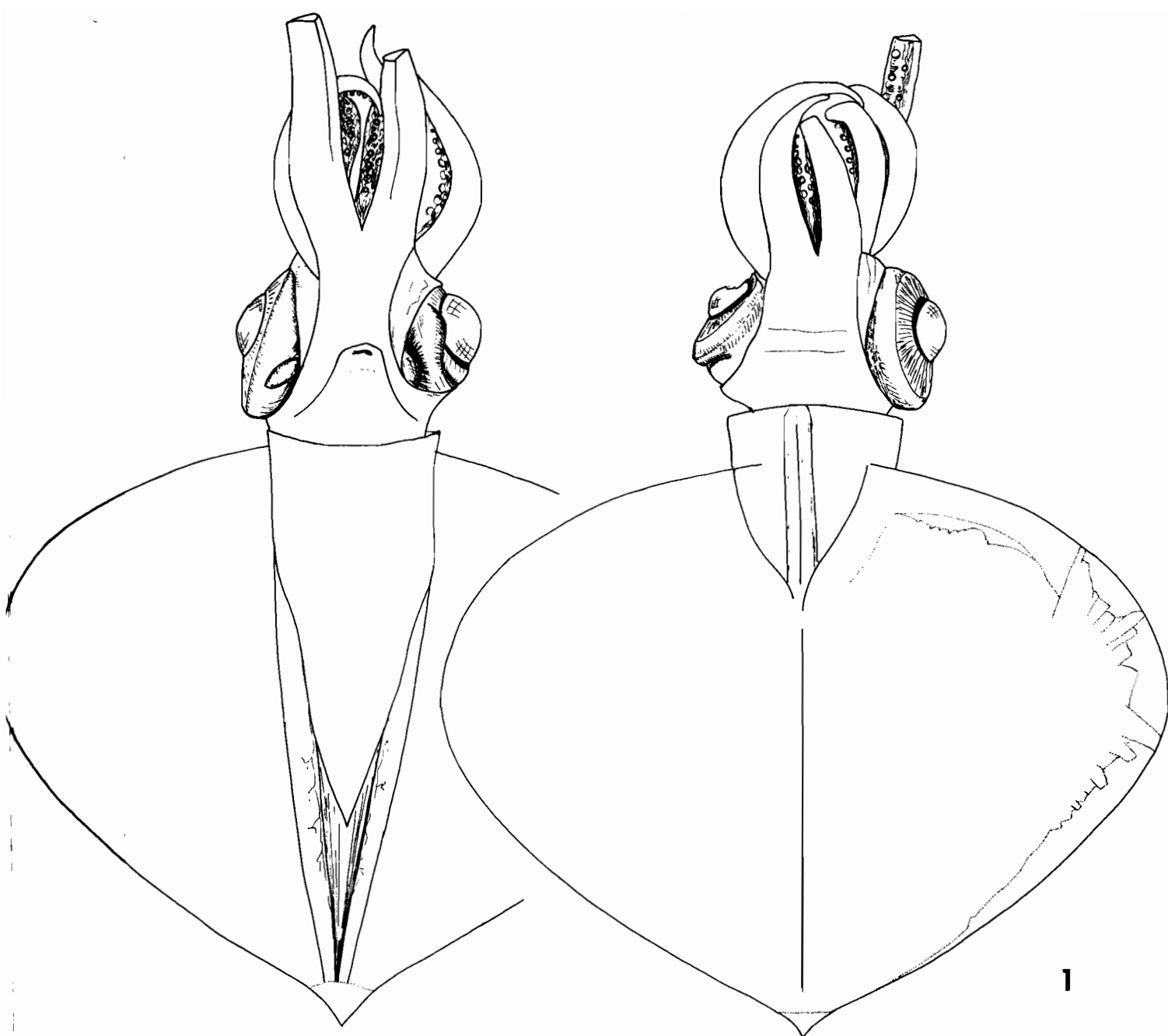
Mensurations des échantillons du Golfe de Guinée

|            |       |    |      |
|------------|-------|----|------|
| LM.....    | 44    | 40 | 25   |
| IM.....    | 11    | 12 | 7.75 |
| LN.....    | 39    | 36 | 21   |
| IN.....    | 51    | 51 | 27   |
| I.....     | 17    | 13 | —    |
| II.....    | +20   | 19 | —    |
| III.....   | +14   | 14 | —    |
| IV.....    | +15,5 | —  | —    |
| Ø œil..... | 10    | 9  | 5.5  |

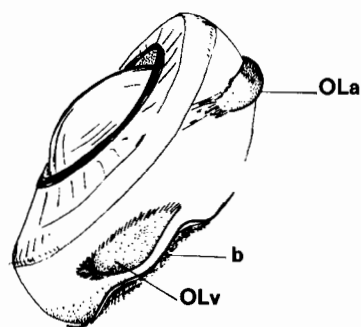
L'appareil brachial est faible, les bras, arqués autour du bulbe buccal, ont en général leur pointe sectionnée, mais un recoupement effectué sur les trois spécimens permet de leur donner comme dimensions respectives : 4-2-3-1.

Aucune trace de carène ou de membrane natatoire ne subsiste, et l'on ne retrouve que de faibles membranes de protection turgescents, bordant la face orale des bras.





2



3

**Fig. 1.** — *Mastigoteuthis hjarli*. — Golfe de Guinée, 25 milles Sud Vridi — LM 44 mm. Le contour des bords de la nageoire et de la pointe du corps a été reconstitué d'après les fragments encore en place et figurés en pointillés. La tête n'a pas été modifiée.

**Fig. 2.** — Ventouse brachiale, a : de face, b : de profil. Diamètre 0,5 mm (bras latéraux).

**Fig. 3.** — Globe oculaire droit, vu de sa face ventrale. OLv : organe lumineux ventral sous oculaire ; OLa : organe lumineux antérieur ; b : bourrelet ondulé orbitaire.

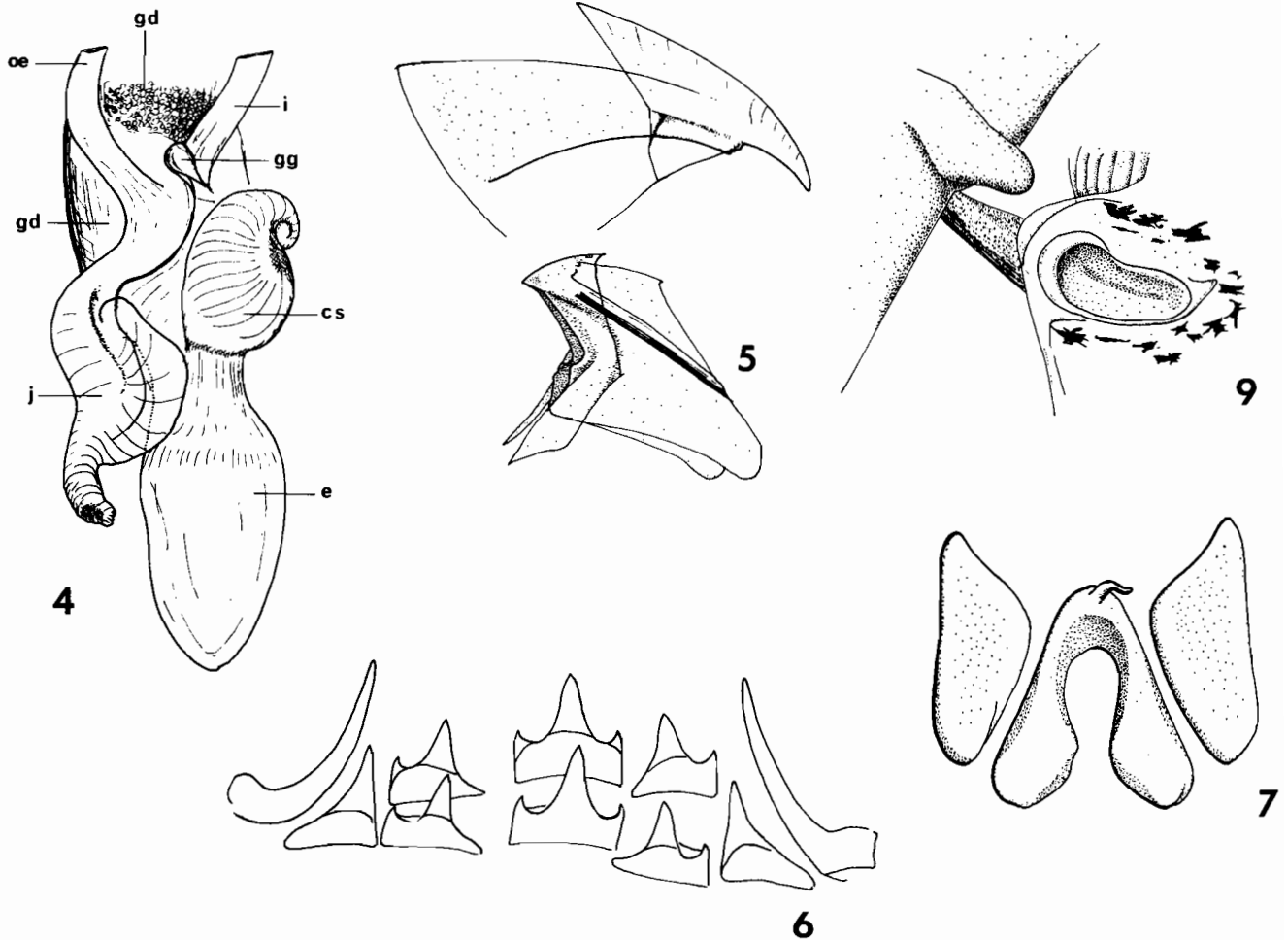


Fig. 4. — Appareil digestif : CS : coecum spirale ; e : estomac ; gd : glande digestive ; gg : ganglion gastrique ; i : intestin ; j : jabot ; oe : œsophage.

Fig. 5. — Bec, échantillon GTS, LM = 40 mm.

Fig. 6. — Radula, échantillon GTS, LM = 40 mm.

Fig. 7. — Glande siphonale.

Fig. 9. — Fossette siphonale face au cartilage palléal ; le bord du manteau a été retourné pour pouvoir faire figurer les deux parties face à face.

Les ventouses, globuleuses, légèrement aplaties, sont réparties d'abord par paires assez proches, puis très rapprochées, faisant songer à des triades, sur le tiers apical des bras, où leur succession se termine en s'épandant, les organes de succion diminuant de taille et devenant minuscules.

Sur l'exemplaire de 40 mm de LM, on peut ainsi compter :

|        |   |                                         |
|--------|---|-----------------------------------------|
| Bras I | — | longueur 13 mm ; 27 paires de ventouses |
| II     | — | 19 ; 40                                 |
| III    | — | 14 ; 29                                 |
| IV     | — | — ; —                                   |

Les ventouses des deuxième ou troisième rang proximaux sont les plus grosses et ont un diamètre de 0,5 mm. Entouré par deux lèvres largement séparées distalement, l'anneau corné porte 8 à 10 dents bien développées, franchement tronquées à leur extrémité et diminuant vers les côtés, pour se poursuivre par une membrane ondulée et légèrement encochée au milieu du bord basal. L'anneau corné est entouré d'une bande de plaquettes, composée de boutons sériés, portés sur une base hexagonale distalement, mais simplement juxtaposés sur les côtés et la partie inférieure de la ventouse.



Fig. 8. — Gladius ; échantillon GTS, LM = 40 mm.

Le pédoncule est très court et plus ou moins lié à la membrane de protection (fig. 2).

Les tentacules sont absents; seuls les moignons nettement sectionnés au ras de la poche tentaculaire représentent les traces d'autotomisation habituelle.

La masse buccale est en protrusion au centre des bras, entourée d'une membrane rouge à 7 pointes, liées de façon normale aux bras, dorsalement aux bras I et II, ventralement aux bras III et IV.

Le bec, foncé, est étroit; sa partie inférieure porte une forte côte transverse sur les ailes, ainsi que des processus aux angles des mâchoires (fig. 5).

La radula est normale, la dent rachidienne moyenne est flanquée de deux petites cuspidés : la première, latérale, est munie d'un ectocone seulement; la seconde, latérale, est triangulaire; il n'y a pas de plaque basale (fig. 6).

Appareil digestif : L'œsophage, après avoir contourné la glande digestive par sa droite, débouche dans la première branche de l'estomac, constituée par une poche musculaire, enflée en son milieu, et se terminant par un processus vermiculaire. Sur la gauche de cette première poche, s'étend le caecum spiral, à spire fortement marquée antérieurement; il est prolongé vers l'arrière par la poche stomacale à paroi très fine, papyracée, qui s'étend bien au-delà du niveau de la poche musculaire droite. L'intestin naît au voisinage du ganglion gastrique — qui le sépare de l'œsophage. La forme de ces poches, bien que variant certainement avec leur réplétion, diffère sensiblement de celles figurées par CHUN pour *M. cordiformis* (fig. 4).

Le gladius (fig. 8) a un cône assez longuement fermé par le repli des ailes latérales (25 % de LM). Il ressemble à celui figuré pour *M. cordiformis*.

Le tégument, presque entièrement enlevé, ne subsiste que dans les régions protégées des abrasions : face orale des bras, collier siphonal, bord interne du manteau, face interne des nageoires (en partie), face inférieure de la tête. Ces lambeaux ont une couleur claire parsemée de chromatophores couleur lie-de-vin. Aucun organe lumineux cutané n'a été trouvé.

DISCUSSION : On peut grouper, dans le genre *Mastigoteuthis* d'une part, des espèces à nageoires relativement petites (inférieures à 75 % de LM) et d'un autre côté des espèces à nageoires énormes recouvrant la presque totalité du manteau. Trois espèces relèvent de ce groupe : *M. cordiformis*, *M. hjorti*, *M. latipinna*. La dernière espèce à ventouses lisses est à éliminer immédiatement; les cercles cornés des ventouses des deux autres espèces portent des denticules. Ces derniers, bas et faibles ont été figurés dans le cas de *M. cordiformis* (SASAKI M. 1929, pl. 24, fig. 19; CHUN C. 1910, pl. 25, fig. 13-14), tandis qu'ils ne sont que sommairement décrits pour *M. hjorti* (1). De plus, *M. cordiformis* ne possède aucun organe lumineux oculaire, alors que chez *M. hjorti* deux gros organes ont été décrits de la face interne du globe oculaire. Nos

(1) « The suckers are characterised by 9 or 10 tack-shaped little teeth fringing the dorsal edge; the teeth are not pointed, and continuously decrease in size towards the sides » (CHUN 1913, p. 7).

exemplaires auraient donc en commun avec *M. hjorti* : la grande nageoire dorsale, les denticules mousses aux cercles cornés des ventouses, les organes lumineux oculaires. Malheureusement la presque totale disparition de la peau de nos échantillons, ne permet aucune tentative de comparaison ou d'interprétation des losanges cutanés de *hjorti*. Pourtant, le plus petit de nos échantillons a conservé l'épiderme de la moitié interne de la nageoire, et il n'y est vu

aucun pli, ni amorce de pli pouvant faire penser à une formation pseudo-écailleuse. Je pense donc que l'on puisse envisager favorablement l'hypothèse des marques accidentelles par le filet collecteur sur les syntypes de *M. hjorti*, accident que bien des biologistes de terrain ont pu constater eux-mêmes sur leurs propres captures.

*Manuscrit reçu au S.C.D. le 30 juin 1972.*

### BIBLIOGRAPHIE

CHUN (C.), 1910. — Die Cephalopoden. 1 — Ægopsida. *Wiss. Ergeb. Deutsche Tiefsee Exp. Dan. « Valdivia » 1898-1899* — Jena. 18. 222-238, pl. 34-37.

CHUN (C.), 1913. — Cephalopoda from the « Michael Sars ». North Atlantic deep sea expedition 1910. *Rep. Michael Sars N. Atl. Deep sea Exp. 1910* — 3. 6-8 fig. 1.

SASAKI (M.), 1929. — A monograph of the Dibranchiate Cephalopods of the Japanese and adjacent waters. *Journ. Coll. Agr. Hokkaido Imp. Univ. Sapporo. Suppl. to vol 20. 310-314 fig. 143-pl. 24 figs. 15-20.*

SASAKI (M.), 1916. — Notes on Oegopsid Cephalopods found in Japan, *Annot. Zool. Jap. IX: 108-pl. 3.*



## NOTES ICHTHYOLOGIQUES (V)

P. FOURMANOIR

Océanographe de l'O.R.S.T.O.M., Nouméa  
(Nouvelle Calédonie)

### RÉSUMÉ

Une espèce nouvelle corallienne, *Apogon catalai* est décrite dans ce dernier numéro de notes ichthyologiques. Les poissons pris au chalut pélagique sont les jeunes de *Tetragonurus pacificus* (espèce qui complète l'inventaire des *Stromatoidei* des numéros précédents), les postlarves de *Cyprinocirrhites polyactis*, *Symphysanodon maunaloae*, *Champsodon* sp. et d'une espèce indéterminée d'*Anthiide*.

Deux exemplaires *Eumegistus illustris* ont été pris à la ligne japonaise à Tahiti et aux Marquises, ils sont comparés à *Taratichthys longipinnis*.

### SUMMARY

One new species, *Apogon catalai* is described in this terminal ichthyological notes (V). Juveniles *Tetragonurus pacificus* are found to be common near the Equator. Postlarva *Cyprinocirrhites polyactis*, *Symphysanodon maunaloae*, *Champsodon* sp., *Selenanthias* sp., have been collected in IKMT, their characteristic features are figured.

Two specimens *Eumegistus illustris* are compared to *Taratichthys longipinnis*.

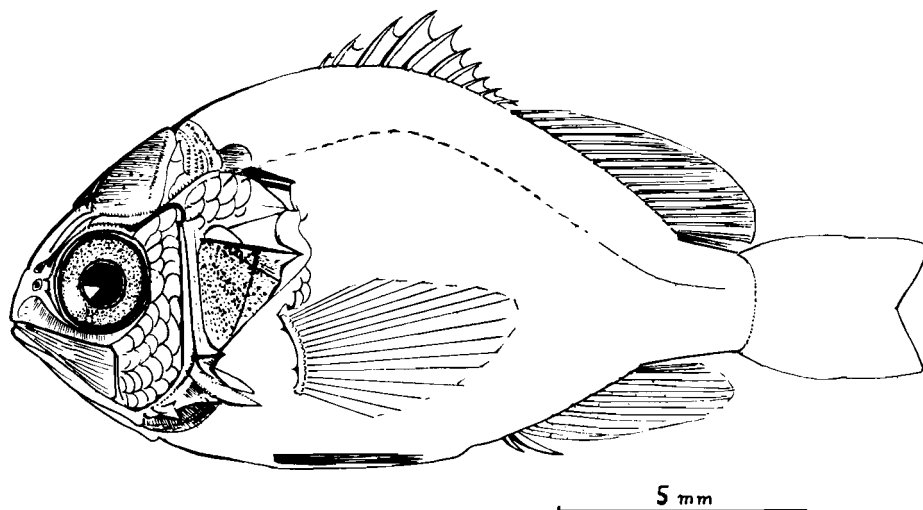


Fig. 1. — *Selenanthias* sp., post-larve, L.S. 13 mm.

**Selenanthias** sp. **Anthiidae** (fig. 1)

PROVENANCE : 1°05' S-169°54' E, IKMT, L.S. 10 et 13 mm. 1°48' S-169°43' E, IKMT, L.S. 14,3 mm.

## DESCRIPTION :

D X, 16 A III, 7 P 15 L. 1. 43(+2 caud.), 3 sér. éc. au-dessus L. 1., L/H 1,7.

Ces exemplaires ont une tête sphérique (inter-orbitaire plus grand que l'œil), une dorsale aux dernières épines très courtes.

traîne dans la passe de Poum (région nord de Nouvelle-Calédonie), L.S. 37 mm.

## DESCRIPTION :

D X, 15-16 A III, 5-6 Br 4+1+10 P 14 L/H 3,1-3,2

Le bord du préopercule a une dizaine d'épines espacées. Le maxillaire porte une dizaine de dents très fines. On distingue quelques dents antérieures à la mâchoire inférieure.

Le plus long rayon de la pectorale (le 5<sup>e</sup> à partir du bas) atteint le niveau de la 2<sup>e</sup> épine anale.

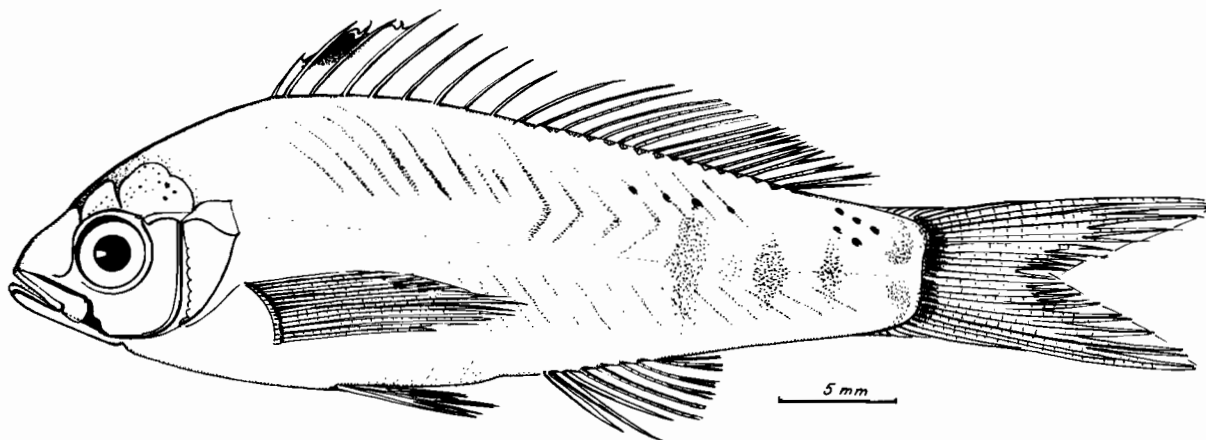


Fig. 2. — *Cyprinocirrhites polyactis* (Bleeker), L.S. 31 mm.

Beaucoup de caractères à l'exception de la sphéricité de la tête sont retrouvés chez de très jeunes *Anthias squamipinnis*, *Selenanthias analis* auxquels nos trois spécimens ont été comparés.

Les exemplaires pris à la première station ont été trouvés avec deux post-larves de *Chiasmodon*. Celui de 14,3 mm était accompagné de deux *Grammatonotus laysanus* de 19 mm.

**Cirrhitidae**

*Cyprinocirrhites polyactis* (Bleeker 1875) fig. 2

PROVENANCE : 22°02' S-165°57' E, 28.4.71 entre 2 h et 4 h, IKMT 0-130 m, 2 ex. L.S. 31 et 35 mm.

La position correspond à 5 milles au large de la passe Saint-Vincent (Nouvelle-Calédonie).

Contenu stomacal de *Thunnus albacares* pris à la

La coloration a été observée chez l'exemplaire pris au chalut. Sur fond clair se distinguent 5 bandes transverses, étroites, rouge-orangé. La première est placée sous le milieu de D1, la dernière correspond à la base de la caudale. Il y a en plus une pigmentation rouge sur la tête associée à quelques points noirs et la plupart des myosepta apparaissent comme des chevrons ponctués de rouge vif.

La couleur s'efface rapidement dans l'alcool.

Les exemplaires mesurant 30 mm (I.K.M.T.) et 37 mm (contenu stomacal de thon jaune) n'ont que 5 rayons à l'anale. Signalons que l'exemplaire de 37 mm a été pris par le thon en même temps que cinq *Oxycirrhites* de 28 mm. Les tendances pélagiques des deux genres *Cyprinocirrhites* et *Oxycirrhites* sont démontrées une nouvelle fois par ces récentes captures (Conf. Fourmanoir Notes ichthyol. III).

## Apogonidae

*Apogon (Nectamia) catalai* n. sp. (fig. 3 a et b)

PROVENANCE : 15 m, passe du grand récif ouest de Nouvelle-Calédonie. Récolté par le Dr. CATALA.

## DESCRIPTION :

D VIII, I 9 A II, 8 P 15 L1.22 (+5 caud.)  
Br (2 r.)+2+1+7+(4 r.) L/II 2.4

Forme élevée, tête robuste comprise 2.5 fois dans la longueur standard. Bouche oblique, la mâchoire inférieure est la plus longue, le maxillaire dépasse le bord postérieur de la pupille. Dents villiformes, 7 séries à la mâchoire supérieure, 4 à l'inférieure, 3 séries vomériennes, 2 palatines.

Épines III et IV de la dorsale égales à la hauteur du pédoncule caudal.

Deuxième épine anale un peu plus longue que la première épine de D2.

Rayons de l'anale un peu plus larges que ceux de la deuxième dorsale. Bord caudal faiblement arrondi.

Dans l'alcool la coloration générale est gris-brun, plus foncé sur la tête. Le bord préoperculaire est suivi d'une ponctuation brun foncé régulière comme chez *elliotti*, le dessous de la tête est également pigmenté. Deux traits bruns partent du bord de l'œil; le supérieur vers l'origine de D1, l'inférieur passe sur l'extrémité du maxillaire avant de s'arrêter



Fig. 3 a. — *Apogon catalai* n. sp., L.S. 45 mm, vivant.  
(photo Catala)

sur le bord inférieur du préopercule. La première dorsale, les ventrales, l'anale sont presque noires. D2, un peu plus claire, laisse apparaître une large bande brune bien contrastée à la base. Il y a une bande transverse claire à la base de la caudale dont la partie postérieure gris foncé a un mince pourtour blanc. La pectorale est claire.

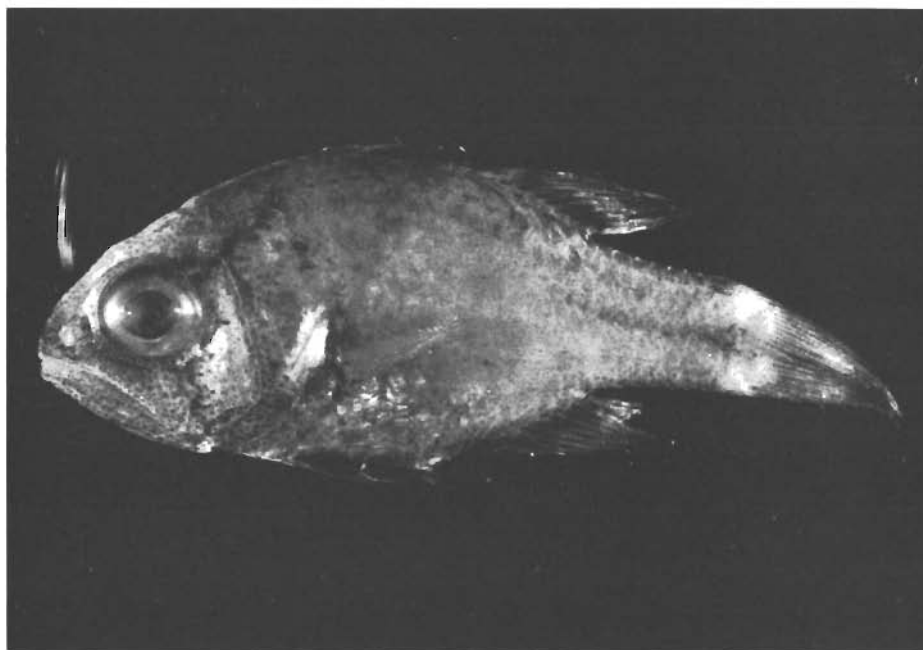


Fig. 3 b. — *Apogon catalai* n. sp.,  
L.S. 45 mm, formolè.



Sur le vivant, la coloration est brun rosé assez claire avec superposition de taches blanches et de pigmentation brune. La coloration la plus foncée est sur les ventrales, principalement à la face inférieure. Les rayons de la caudale montrent une alternance égale de couleur brun rouge et de couleur blanche.

L'holotype mesure 45 mm, il a été déposé au Mus. Nat. Hist. Nat. Paris, deux autres exemplaires ont été observés à l'aquarium de Nouméa mais ils n'ont pas été conservés. R. H. FRASER qui a bien voulu examiner le type formolé m'a signalé son appartenance au sous genre *Nectamia* et sa parenté avec le groupe *laenialus*, *fraxineus*. Nommé en l'honneur du Dr. CATALA, directeur de la station biologique de Nouméa.

### Lutjanidae

Post-larve de *Symphysanodon maunaloae* Anderson 1970 (fig. 4)

PROVENANCE : 12°33' S-170°02' E, 18.11.66 à 4 h. IKMT 0-165 m, L.S. 20 mm.

#### DESCRIPTION :

D IX, 10 A III, 7 P 16 L.1.45 Br. inf. 25.

On remarque chez cette forme jeune la diminution de longueur des épines VI à IX de la dorsale et la

pigmentation noire distale de cette nageoire, caractéristiques de *maunaloae*.

L'épine supraoculaire doit être présente chez les quatre autres espèces du genre. Les épines préoperculaires sont très longues, pendant la croissance elles restent plus grandes chez *maunaloae* que chez les autres espèces.

Anderson a montré que le groupe des Etelinae (Lutjanidae) était, dans la famille, le plus proche du *Symphysanodon*. Nous avons aussi remarqué la similitude de *Symphysanodon* avec les très jeunes *Pristipomoides* trouvés dans les C.S. de Thons. On peut cependant se demander si le genre ne mérite pas d'appartenir à une famille spéciale à cause de l'épine supraoculaire juvénile.

### Champsodontidae

Post-larve de *Champsodon* sp. (fig. 5)

PROVENANCE : 17°04' S-169°58' E, 16.11.66 à 16 h., IKMT 0-183 m, 2 ex., L.S. 13 et 27 mm.

#### DESCRIPTION :

DV, I 19 A I, 17 P 14

Les formules de la dorsale et de l'anale, la forme et la dimension des épines préoperculaires sont celles de *Champsodon quentheri*. La pectorale a davantage de rayons chez notre espèce.

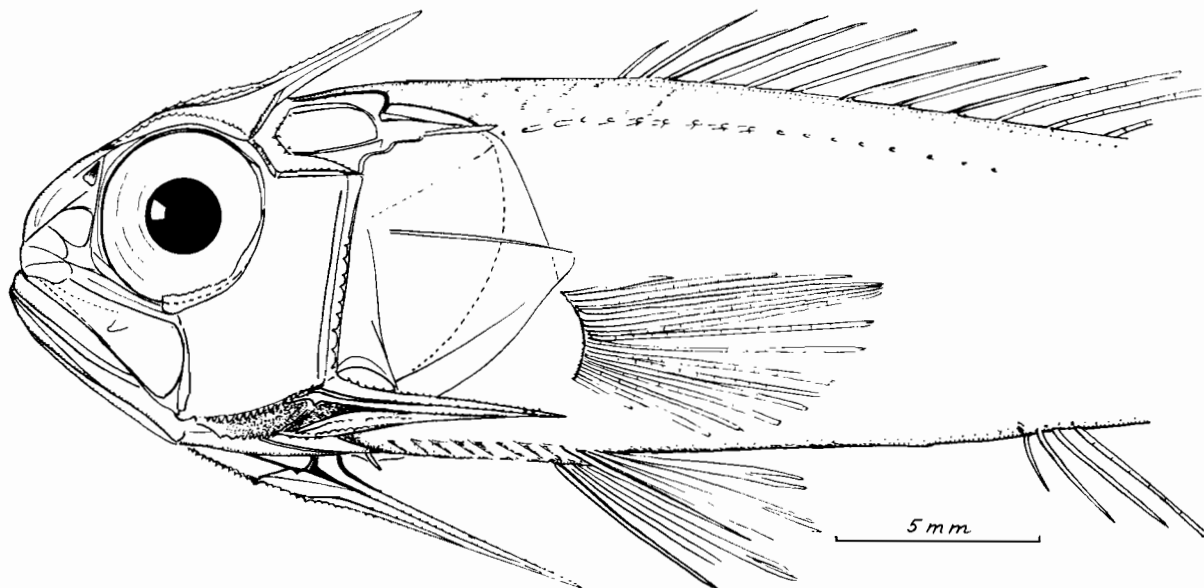
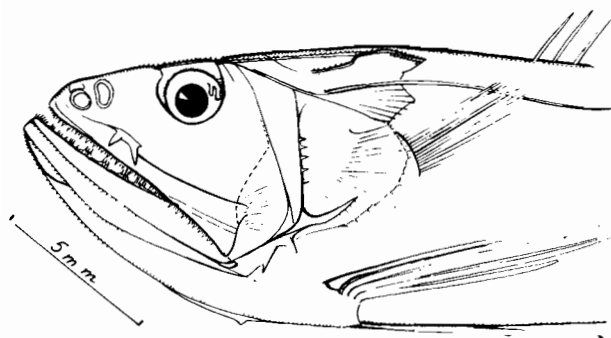


Fig. 4. — *Symphysanodon maunaloae* Anderson, post-larve, L.S. 20 mm.

Fig. 5. — *Champsodon* sp., L.S. 27 mm.

### Bramidae

*Eumegistus illustris* Jordan et Jordan 1922 fig. 6 (a et b)

PROVENANCE : Capturé à la ligne japonaise profonde à 12 milles au nord de Tahiti (L.S. 56,5 cm) et près des Marquises (L.S. 43,6 cm). Exemplaires confiés par le Dr. Millon chef du Service mixte de contrôle biologique de Tahiti.

Les deux *Eumegistus* ont la caudale brisée, la méconnaissance de la forme de cette nageoire complice la détermination. Le grand exemplaire (56,5 cm) diffère du petit (43,8 cm) par sa forme très élevée, sa très longue pectorale, l'absence de crêtes sur le bord inférieur du préopercule et de carène sur les écailles, sa coloration plus claire.

Le petit a des séries d'écailles un peu carénées, des stries sur le préopercule, des pectorales et ventrales relativement courtes.

Les caractères qui unissent nos deux exemplaires sont la dentition (environ 6 séries de dents villiformes à la mâchoire inférieure, d'importance égale), la disposition identique des nageoires dorsale et anale, l'identité de la plupart des comptes méristiques, la présence d'une ligne latérale, la forme des écailles axillaires des nageoires ventrale et pectorale.

Ils ont été pris avec des lignes à *Thunnus alalunga* profondes, l'habitat de l'espèce doit être plus profond que celui de *Taratichthys longipinnis* (fig. 7), le Bramidé habituel des lignes à Yellowfin.

### Mesures de *Eumegistus illustris* et de *Taratichthys longipinnis* (Lowe)

| Dimensions                 | <i>Eumegistus illustris</i> |                          | <i>T. longipinnis</i> |         |
|----------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------|---------|
| longueur standard.....     | 56,5                        | 43,8                     | 62                    | 59      |
| hauteur.....               | 25,3                        | 19                       | 29,5                  | 30,4    |
| longueur de la tête.....   | 17,2                        | 12                       | 16,5                  |         |
| œil.....                   | 4,8 (v)                     | 3,4 (v)                  | 4,7 (v)               | 4,3 (v) |
|                            | 3,9 (h)                     | 2,9 (h)                  |                       |         |
| interorbitaire..           | 6,4                         | 4,5                      | 7                     |         |
| narine postérieure.....    | 1,8                         | 1                        | 1,3                   | 1,2     |
| pectorale.....             | 20                          | 14,7                     | 25                    | 24,4    |
| ventrale.....              | 9,4                         | 6,1                      | 4,7                   | 4,3     |
| base de la dorsale.....    | 29,5                        | 22,4                     |                       |         |
| base de l'anale.           | 18                          |                          |                       |         |
| <i>Comptes méristiques</i> |                             |                          |                       |         |
| D.....                     | 33                          | 33                       | 34                    | 34      |
| A.....                     | 23                          | 24                       | 25                    | 26      |
| P.....                     | 20                          | 21                       | 21                    |         |
| L.I.....                   | 49                          | 50                       | 36                    |         |
|                            | (+ 2caud)                   | (+ 2 caud)               | (+ 6 caud)            |         |
| écailles devant            |                             |                          |                       |         |
| D.....                     | 33                          | 34                       |                       |         |
| Br. (arc inférieur).....   | 7+5 rud                     | branchies non conservées | 9+2 rud               | 8+2 rud |
| Couleur en formol.....     | brun-orangé                 | brun-noir                | brun-violacé          |         |

### Tetragonuridae

*Tetragonurus pacificus* Abe. 1953.

PROVENANCE : 0°25' S 169°84' E, 19.7.67 à 17 h 14, 2 ex. 5 et 7,5 mm — 1°23' S 169°54' E, 20.7.67 à 5 h 18, 17 mm — 4°22' S 169°58' E, 21.7.67. à 17 h 14, 4 mm — 0°18' S 169°5' E, 2.9.67 à 5 h 41, 22 mm — 1°14' S 169°49' E, 2.9.67 à 17 h 36, 25 mm — Tous les traits IKMT ont été faits entre 0-1200 m.

### DESCRIPTION :

D XI, 11 A I, 11 P 16 L.1.74 Br. 4+1+9.

L'exemplaire de 22 mm a été pris avec quatre *Amarsipus carlsbergi*, celui de 25 mm avec plusieurs *Psenes*.

Manuscrit reçu au S.C.D. le 18 juillet 1972.

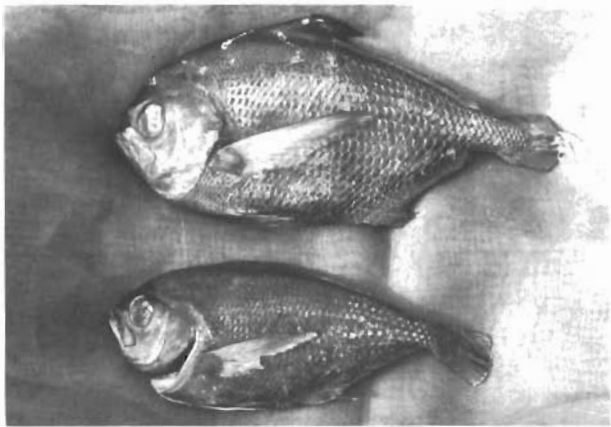


Fig. 6. — *Eumegistus illustris* J. et J. L.S. 56,5 et 43,8 cm.

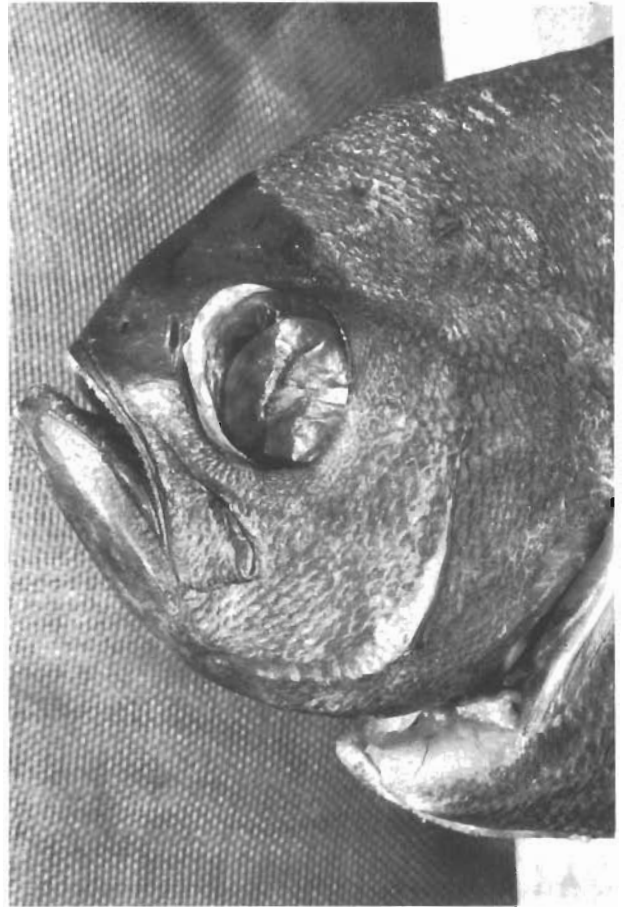


Fig. 6 b. — *Eumegistus illustris*, L.S. 43,8 cm, détail de tête.



Fig. 6 a. — *Eumegistus illustris*, L.S. 56,5 cm, détail de tête.

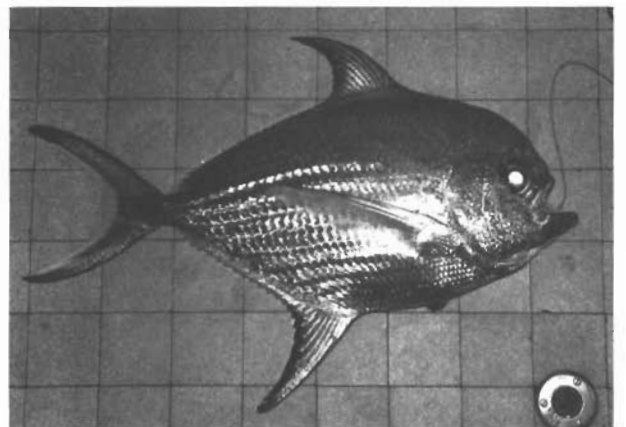


Fig. 7. — *Tarates longipinnis* (Lowe), L.S. 65 cm, provenant de Lifou (Loyauté). (photo Rancurel).

## BIBLIOGRAPHIE

- ANDERSON (W.), 1970. -- Revision of the genus *Symphysanodon* [Pisces : Lutjanidae] with descriptions of four new species. *Fishery Bull.* 68, 2 : 325-346, 5 figs. U.S. Fish and wildlife service.
- GILBERT (C. H.), 1903. -- The deep-sea fishes of the Hawaiian islands. U.S. Fish. Com. Bull. 23 : 578-713.
- GREY (M.), 1955. -- The fishes of the genus *Tetragonurus* Risso. Dana Report 41 : 75 pp., 16 figs and charts.
- MATSUBARA, KANDAI, 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 Univ. 6 : 1-20, 3 pl., 6 figs.
- MEAD (G. W.), 1957. -- On the bramid fishes of the Gulf of Mexico, *Zoologica*, 42 2 : 51-61, pls 1-111.
- MEAD (G. W.), 1972. -- Bramidae Dana Report 81.
- MEAD (G. W.) and MAUL (G. E.), 1958. -- *Taracles asper* and the systematic relationships of the Steinegeriidae, Trachyberycidae. *Bull. Mus. Comp. Zool. Harvard Coll.* 119 (6) : 393-417, 1 pl.
- RANDALL (J. E.), 1963. -- Review of the hawffishes (family Cirrhitidae). *Proc. U.S.N.M.* 114 : 389-451, pl. 1-16.
- SMITH (J. L. B.), 1961. -- Fishes of the family Anthiidae. *Ichthyological Bull.* n° 21 : 359-369, 5 figs., pl. 31-35.
- SMITH (J. L. B.), 1965. -- New records and new species of fishes from South Africa, chiefly from Natal. Occasional paper 4 : 27-42, pl. 6-11.
- UENO (T.), 1970. -- Record of a rare bramid fish, *Taracles raschi* (Esmark) from northern Japan Sea. *Jap. Journ. of Ichthyol.* 17 (3) : 105-109, figs. 1-2.



# Temperature Inversions in the Equatorial Pacific

F. JARRIGE

Centre ORSTOM de Nouméa, New Caledonia

## Abstract

The study of the temperature inversions which have been observed in the Equatorial Western Pacific suggests that they are essentially derived from the structure in laminae of the waters in the thermocline layer. Some temperature inversions are bound to the northern boundary of the subtropical water of the South Pacific and are due to the isentropic penetration in this water of colder and less saline waters of northern origin; others are the manifestation of a convergence towards the equator of the meridional component of the velocity, in the core of the Equatorial Undercurrent.

## INTRODUCTION

During the year 1967, from March to July, the r.v. *Coriolis* from the centre ORSTOM in Nouméa, performed four cruises (Cyclone 2, 3, 4, 5) along the meridian 170° E from 20° S to 4° N. In the equatorial region (4° S-4° N), hydrological casts were made each 30 nautical miles. Bathythermal profiles were taken each 10 nautical miles with a bathythermograph, except during cruise Cyclone 5. Temperature inversions were noticed on several of these BT records within the thermocline layer, in the equatorial region where the latter has a large depth extension (150-200 m). Austin (1954) had already observed temperature inversions close to the equator at depths between 150 and 200 m. Montgomery and Stroup (1962) have noticed that these inversions, at the level of which no inversion of the thermosteric anomaly is observed, are bound to strong meridional gradients of the salt content. Similarly, Stroup (1954) has pointed out

temperature inversions bound to vertical salinity gradients.

The inversions which are considered in this paper concern layers thinner than 15 m where the temperature increase with depth does not exceed 1°C. Moreover, these inversions are stable with respect to the gravity forces, as it has been shown by hydrographic samples (see fig. 1).

Fig. 2 gives the distributions of inversions in a meridional plane during cruises Cyclone 2, 3, and 4. Two kinds of inversions can be distinguished: one corresponding to inversions bound to a real increase of the salinity versus depth, another corresponding to inversions located in the core of the Equatorial Undercurrent. All the temperature inversions do not belong to these types, but the existence of these two types can help to understand the inversions and their meaning in terms of the meridional circulation.

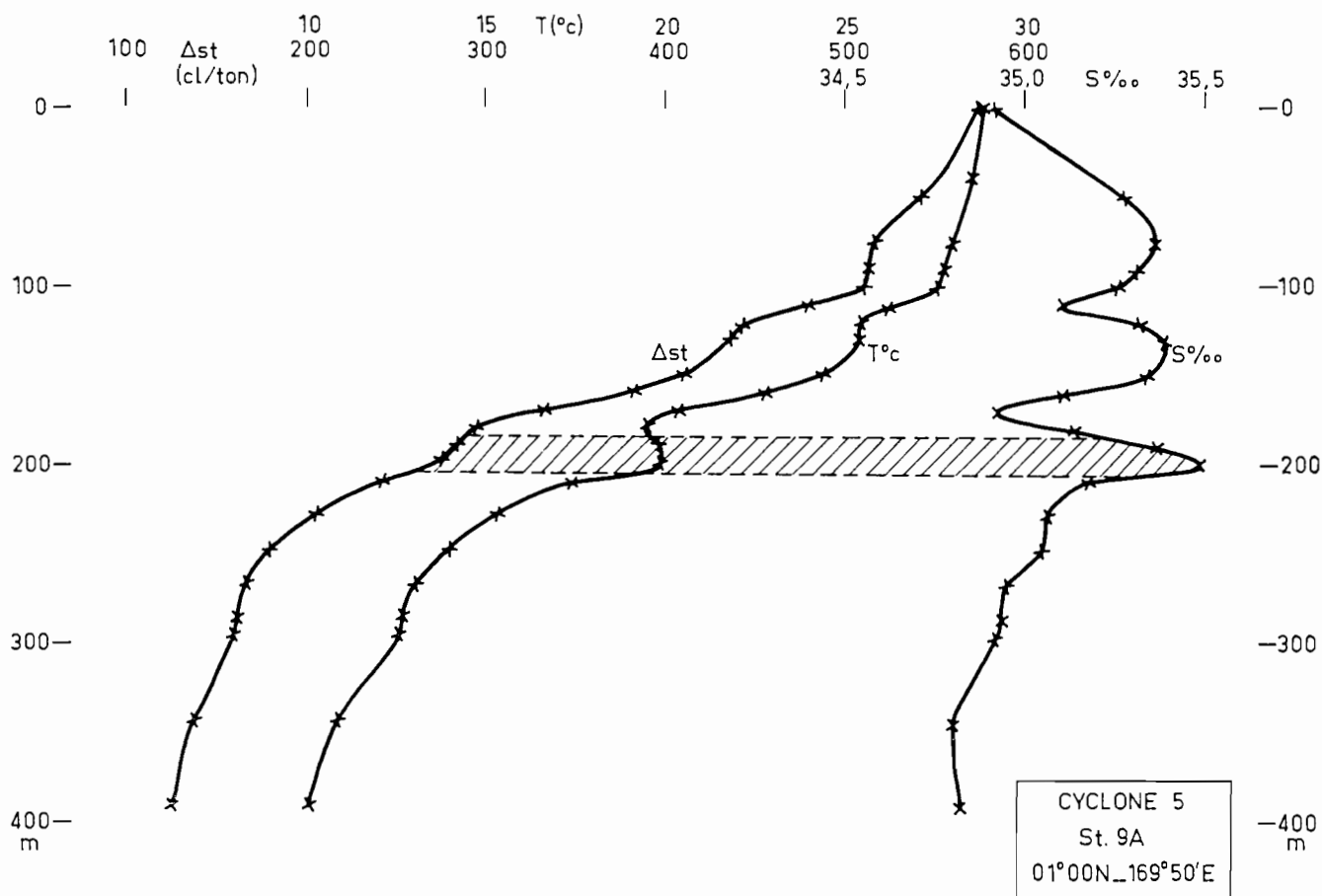


FIG. 1. Vertical profiles of temperature, salinity, and thermocline anomaly.

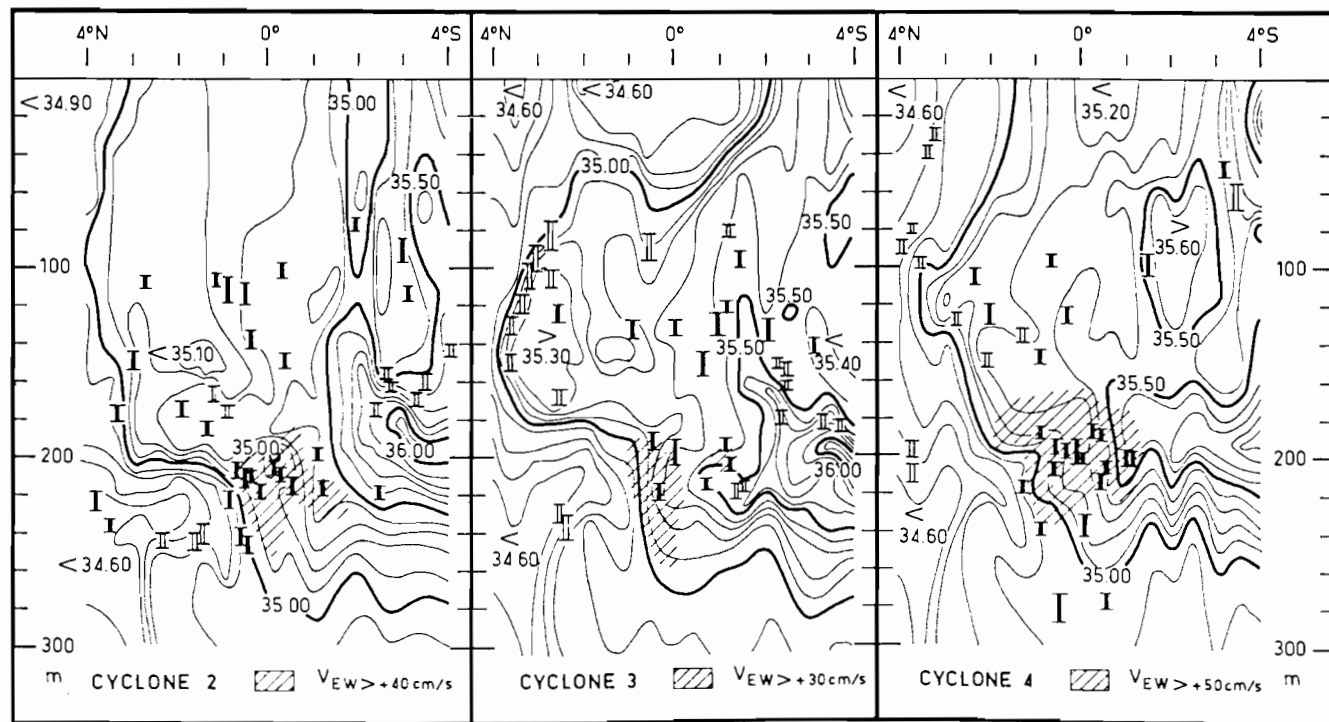


FIG. 2. Meridional distribution of salinity from 4°S to 4°N along the meridian 170°E during cruises Cyclone 2 (March 1967), Cyclone 3 (April 1967), and Cyclone 4 (June 1967). Hatched areas indicate the core of the eastward Equatorial Undercurrent. Heavy full dashes indicate temperature inversions, and the open ones inversions bound to salinity increase versus depth.

In any water mass, the thermosteric anomaly is a function of the temperature and the salinity, so one can write:

$$\vec{\text{grad}} \Delta ST = \frac{\partial \Delta ST}{\partial S} \vec{\text{grad}} S + \frac{\partial \Delta ST}{\partial T} \vec{\text{grad}} T \quad (1)$$

$$\text{where } \frac{\partial \Delta ST}{\partial S} < 0, \frac{\partial \Delta ST}{\partial T} > 0.$$

$$\text{Setting } K_s = -\frac{\partial \Delta ST}{\partial T} \text{ and } K_T = \frac{\partial \Delta ST}{\partial S},$$

then (1) can thus be written as follows:

$$\vec{\text{grad}} \Delta ST = -K_s \vec{\text{grad}} S + K_T \vec{\text{grad}} T \quad (2)$$

If one considers stable temperature inversion between two homogeneous particles, with positive sense from the cold particle to the warm one,  $\vec{\text{grad}} T$  is positive and  $\vec{\text{grad}} \Delta ST$  is negative. As the gradient vectors are collinear, the following condition can be obtained from equation (2):

$$\vec{\text{grad}} S \geq \frac{K_T}{K_s} \vec{\text{grad}} T > 0 \quad (3)$$

that is to say, with depth positive downwards, the vertical salinity gradient is positive.

## HYPOTHESIS ON INVERSION FORMATION

### INVERSIONS BOUND TO SALINITY GRADIENTS

Let us consider a thin isohaline layer of high salt content coming through an isohaline water mass of low salinity. This penetration is supposed to be isentropic, in such a way that the specific volume would be a strictly decreasing function of the depth for any value of the temperature (on fig. 3A, the distribution of these two water masses, on fig. 3B their T-S diagrams). A temperature inversion is observed on the T-S diagram at the very end of the tongue (on fig. 3C, the T-S diagram along the vertical line I-II). This inversion may not be observed elsewhere because vertical gradients, smoothed by turbulent diffusion, would not be strong enough. Likewise if we consider a low salinity water tongue coming through a water mass of higher salt content, temperature inversion can be observed. In both cases, temperature is found to be bound to a strong positive gradient of salinity if depth is taken positive downwards.

$K_T = 30 \text{ cl/ton/}^\circ\text{C}$  and  $K_s = 72 \text{ cl/ton/}^\circ\text{‰}$  for  $S = 35.000^\circ\text{‰}$  and  $T = 25.0^\circ\text{C}$  which are values close to the ones measured in the front regions observed during the cruises Cyclone. For these values and a temperature inversion of  $0.5^\circ\text{C}$  in 10 m, we find:

$$\frac{\partial S}{\partial z} \geq \frac{K_T}{K_s} \frac{\partial T}{\partial z} = 2.10^{-2} \frac{^\circ\text{‰}}{\text{m}}$$

that is to say an increase of the salinity at least equal to  $0.20^\circ\text{‰}$  for 10 m, which represents a relatively important vertical gradient of salinity.

Observed inversions satisfying these conditions are numerous. They seem to be due to the meeting of northern water mass with the South Subtropical Water mass of the salinity maximum.

### INVERSIONS BOUND TO ADVECTION REGION

Stommel and Fedorov (1967) have pointed out the existence of very thin horizontal laminae, isothermal, and isohaline, extending from 2 to 20 nautical miles horizontally, and from 2 to 40 m vertically. They have studied their movements, the probable time scale and dissipation time: they have shown how temperature inversions can be formed with such a structure. They have suggested that with four of these thin laminae located in two different horizontal planes and superposed in pairs, a temperature inversion can be formed when the space distribution of their specific volume brings out a new disposal of these laminae along the same vertical line. Figs 4A and 4B adapted from their study give two examples of the proposed mechanism by which temperature inversions are formed.

But obviously, a temperature inversion is not obtained from any original arrangement of temperature and salinity: there are necessary conditions given by inequality (3). In the meridional plane where data have been collected during cruises Cyclone, the meridional salinity gradient must have the same sign as the meridional temperature gradient, and the latter must be the inverse of the meridional thermosteric anomaly gradient.

Such a process can be applied to the formation of temperature inversions located in the core of the Equatorial Undercurrent.

Actually, the formation of an inversion when there is meeting of two water masses of very different salt content, is only a particular aspect of the general hypothesis of Stommel and Fedorov (1967). In fact if we consider four laminae with the initial properties and set as shown on fig. 5, their final disposal along a vertical line will give a temperature inversion by the penetration of a saline water mass, the T-S diagram of which is figured by dots 2-4, in a less saline water mass with T-S diagram pointed by dots 1-3.

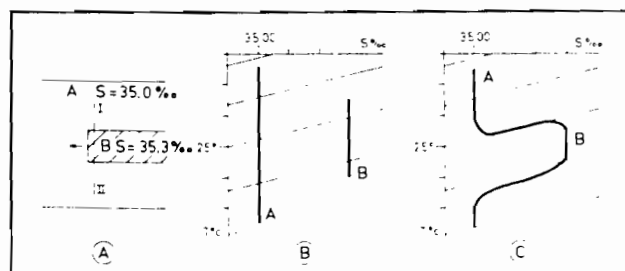


FIG. 3. Simplified schema of formation of temperature inversion.



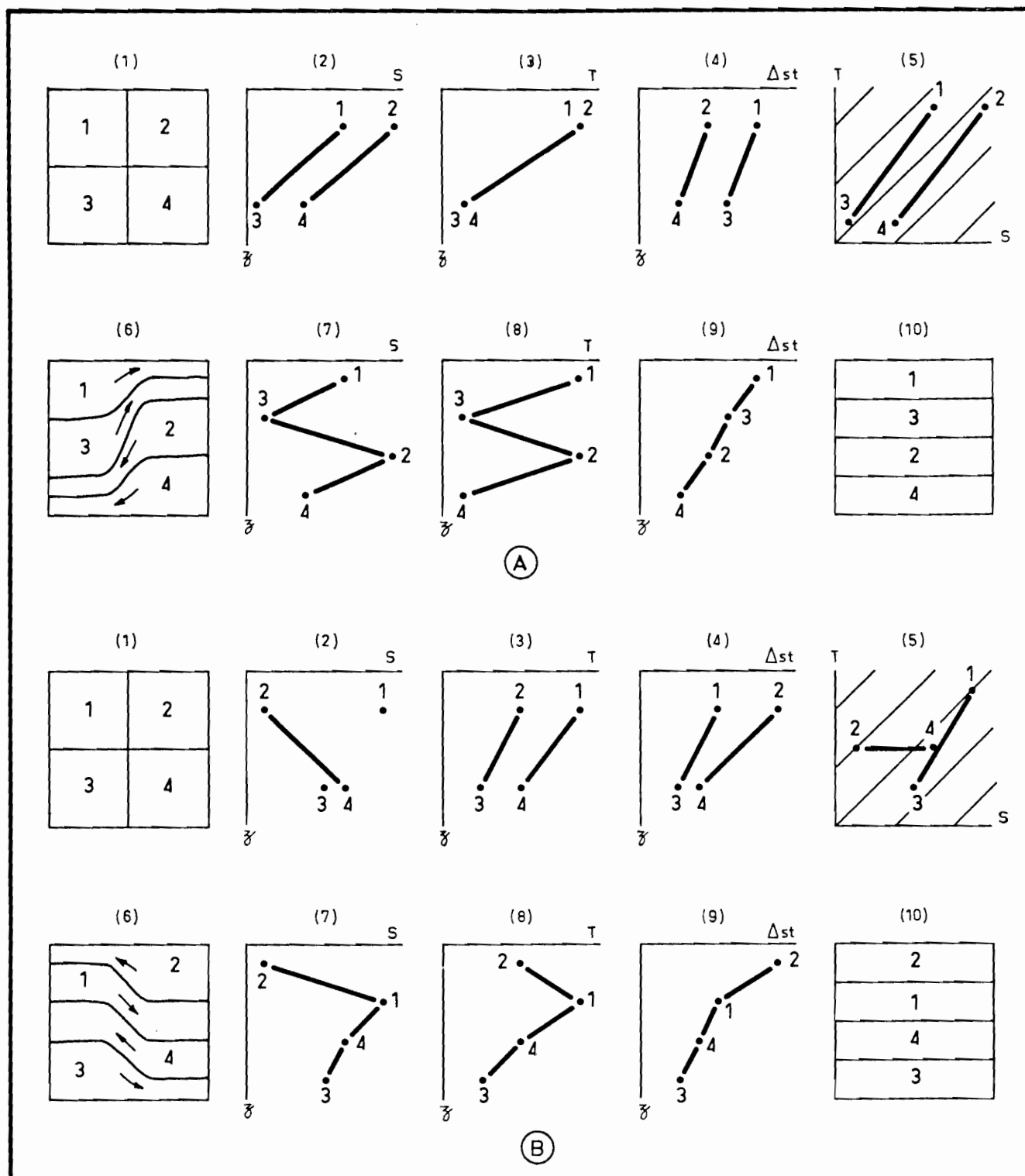


FIG. 4. Simplified schema of formation of temperature inversion according to Stommel and Fedorov (1967). (1) initial disposal of the laminae. (2), (3), and (4) respectively values of temperature salinity and thermosteric anomaly. (5) T.S. diagram with isanosteric lines. (6) movements of the four laminae. (7), (8), and (9) respectively vertical temperature, salinity, and thermosteric anomaly profiles. (10) final disposal. In (2), (3), (4), (5), (7), (8), and (9) the lines joining the points do not correspond to real values as the laminae are supposed homogeneous.

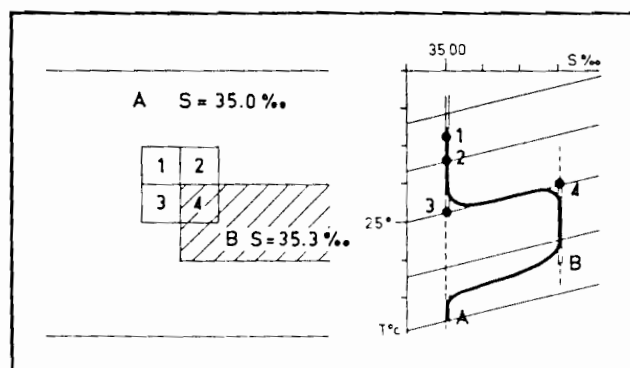


FIG. 5. The hypothesis of Stommel and Fedorov (1967) applied to the isentropic penetration of a salted water mass in a less salted water mass.

## DISCUSSION

The data from cruises Cyclone 2, 3, and 4 have been used to check the reality of the mechanism proposed above. For each couple of hydrographic stations framing a temperature inversion, temperature and salinity values have been interpolated at two depths, 20 m spaced, one above and the other below the mean depth of the selected inversion. The corresponding computed values of the thermosteric anomaly define the properties of the four laminae in the initial disposal. The initial state and the final state are confused in this method, the aim of which is to see whether the inversion corresponds to a proper laminae structure at the hydrological stations which frame it. The interpolated values of temperature and salinity do not represent the initial situation since the inversion is already observed. But, as the observed temperature inversions do not in practice seem to spread out more than 20 nautical miles, one may think that the situation does not change at about 15 nautical miles from each side of the inversion and that only the very ends of the laminae are combined in order to give an inversion.

The final disposal on a vertical line is obtained by putting the thermosteric anomaly values in decreasing order. With this new arrangement, a vertical temperature profile can be drawn, and a temperature inversion is found or not. For the inversions found in such a way, meridional gradients of temperature, salinity, and thermosteric anomaly have been estimated in order to verify that the conditions of formation are fulfilled. The results are given in table 1. For all the cases, the meridional gradients of salinity and temperature,

respectively  $\frac{\partial S}{\partial y}$  and  $\frac{\partial T}{\partial y}$ , have the same sign and the meridional gradient of thermosteric anomaly has the opposite sign.

In table 1, values of  $\frac{\Delta S}{\Delta z}$ , which is an estimation of the vertical salinity gradient close to an inversion, are given. Actually,  $\Delta S$  is the salinity difference between the two interpolated values of one of the two stations located on each side of the inversion,  $\Delta z = 10$  m.

Although  $\frac{\Delta S}{\Delta z}$  is not the vertical salinity gradient at the depth and the latitude of the inversion, it is supposed to be an acceptable approximation, usable as an element of the formation of an inversion and also giving indications on the meridional circulation.

As shown on fig. 6, the meridional gradient of the northward component of the velocity  $\frac{\partial v}{\partial y}$  and the vertical salinity gradient,  $\frac{\Delta S}{\Delta z}$  are correlated. Positive

values of  $\frac{\partial v}{\partial y}$  correspond to a local acceleration of the northward component and consequently represent a tendency for the water to diverge, and they are associated with positive values of  $\frac{\Delta S}{\Delta z}$ . On the contrary,

negative values of  $\frac{\Delta S}{\Delta z}$  are associated with negative values of  $\frac{\partial v}{\partial y}$ , which implies a convergence.

Consequently, when  $\frac{\Delta S}{\Delta z}$  is positive, temperature inversions are possible because the necessary con-

TABLE 1

| Cruise    | Latitude | Depth | $\frac{\partial S}{\partial y}$     | $\frac{\partial T}{\partial y}$      | $\frac{\partial \Delta T}{\partial y}$ | $\frac{\Delta S}{\Delta z}$         | $\frac{\partial v}{\partial y}$          |
|-----------|----------|-------|-------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------|
|           |          |       | $10^{-6} \frac{\text{‰}}{\text{m}}$ | $10^{-6} \frac{\text{°C}}{\text{m}}$ | $10^{-3} \frac{\text{cl}}{\text{t m}}$ | $10^{-6} \frac{\text{‰}}{\text{m}}$ | $10^{-6} \frac{\text{S}}{\text{s}^{-1}}$ |
| Cyclone 2 | 0° 11' S | 155   | - 0,51                              | + 0,61                               | - 0,017                                | + 2,9                               | + 0,2                                    |
|           | 0° 22' N | 220   | - 1,74                              | - 2,52                               | - 0,074                                | + 2,9                               | + 0,2                                    |
|           | 0° 52' N | 240   | - 5,40                              | + 5,57                               | - 0,276                                | - 4,2                               | - 1,7                                    |
|           | 0° 52' N | 250   | - 4,80                              | + 3,24                               | - 0,284                                | - 4,2                               | - 1,7                                    |
|           | 1° 41' N | 245   | - 2,07                              | + 4,32                               | - 0,069                                | + 10,8                              | + 1,8                                    |
|           | 3° 11' N | 145   | - 3,10                              | - 1,26                               | - 0,184                                | - 11,6                              | - 2,7                                    |
| Cyclone 3 | 3° 11' N | 155   | - 4,25                              | - 6,48                               | - 0,112                                | - 11,6                              | - 2,7                                    |
|           | 3° 48' S | 180   | - 5,94                              | - 5,60                               | - 0,260                                | - 32,2                              | + 4,8                                    |
|           | 3° 48' S | 190   | - 6,74                              | - 2,60                               | - 0,408                                | - 32,2                              | + 4,8                                    |
|           | 1° 40' S | 205   | - 2,75                              | - 7,20                               | - 0,005                                | - 3,0                               | - 3,8                                    |
|           | 0° 16' N | 210   | - 2,34                              | - 3,80                               | - 0,080                                | - 2,0                               | - 0,8                                    |
|           | 0° 16' N | 220   | - 2,74                              | - 9,20                               | - 0,02                                 | - 2,0                               | - 0,8                                    |
| Cyclone 4 | 2° 23' N | 225   | - 6,03                              | - 3,67                               | - 0,045                                | - 14,5                              | - 0,3                                    |
|           | 3° 21' N | 105   | - 10,05                             | - 12,67                              | - 0,334                                | - 14,9                              | - 1,5                                    |
|           | 0° 23' S | 215   | - 4,30                              | - 7,40                               | - 0,140                                | - 8,0                               | - 1,5                                    |
| Cyclone 4 | 0° 09' N | 200   | - 3,09                              | - 8,00                               | - 0,025                                | - 4,2                               | - 2,1                                    |
|           | 0° 32' N | 205   | - 4,65                              | - 0,10                               | - 0,312                                | - 8,3                               | - 1,4                                    |
|           | 0° 42' N | 205   | - 3,60                              | - 9,62                               | - 0,029                                | - 5,2                               | - 0,8                                    |
|           | 2° 04' N | 150   | - 0,83                              | - 6,30                               | - 0,139                                | - 2,3                               | - 3,0                                    |

dition from inequality (3) is filled, but when  $\frac{\Delta S}{\Delta z}$  is negative and a temperature inversion is observed there are clues for a convergence. This seems to be the case of temperature inversions observed in the core of the Equatorial Undercurrent.

However, among the temperature inversions which have been considered only half have been found to be associated with the proper hydrological structure of adjacent waters. This low proportion can be explained by the fact that hydrological stations are distant by 30 nautical miles from each other, and because the salinity values are not vertically continuous, though samples have been taken every 20 m and sometimes every 10 m. Temperature, salinity, and thermocline anomaly values at the four selected points around an inversion may not, in every case, represent the system of four homogeneous water masses giving a temperature inversion, because, according to Stommel and Fedorov (1967), the dimensions of these particles are 2 to 20 nautical miles horizontally and 2 to 40 m vertically.

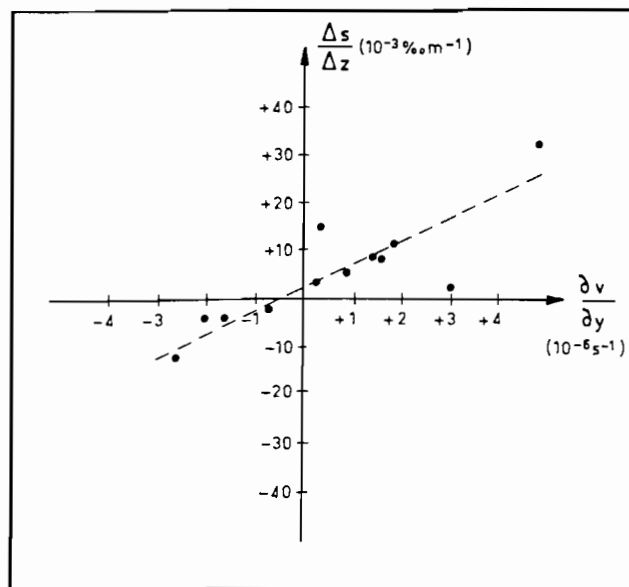


FIG. 6. Vertical gradient of salinity plotted against northward component of the velocity.

## CONCLUSION

The temperature inversions found close the boundary between two water masses of very different salinity, can be considered as fairly good clues of the reality of the hypothesis of Stommel and Fedorov (1967) on a possible mixing process: isothermal and isohaline laminae escape from the two water masses and combine, this combination can then produce temperature inversions. Such a mixing process has been observed by Turner (1967) during laboratory experiments.

Temperature inversions located in the core of the Equatorial Undercurrent do not seem to be bound to salinity increase versus depth. From what has been shown before, it is possible to think that they are manifestations of convergence of waters in the zone of maximum eastward flow. Such a result agrees to the scheme of meridional circulation which has been proposed by Fofonoff and Montgomery (1955) or by Yosida, Nitani, and Susuki (1959) (see fig. 7).

As far as the meridional circulation at 170° E is concerned, some elements of it can be found in data collected during Cyclone cruises: the equatorial upwelling and surface divergence (Rotschi, 1968), the two superficial convergences, on both sides of the equator, bound to thermal fronts (Rotschi, Hisard, Rual, 1968), the subsurface divergence in the eastward flow linking the North Equatorial Counter Current and the Equatorial Undercurrent (Oudot, Hisard, Voituriez, 1969).

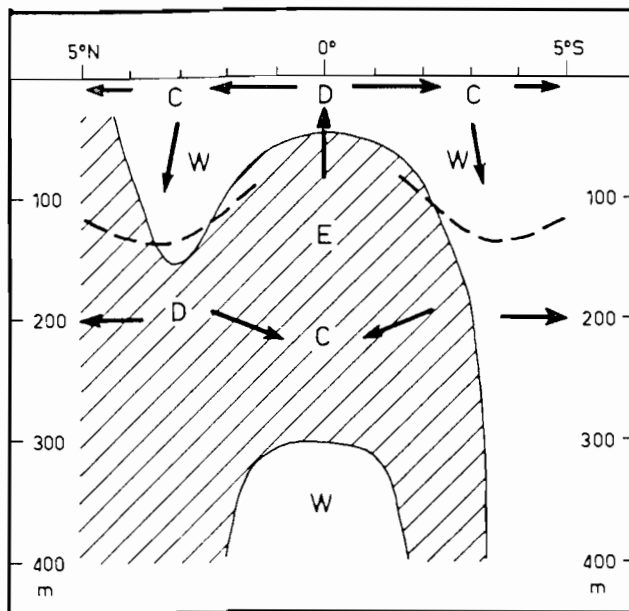


FIG. 7. Schematic meridional circulation at 170° E. Hatched area indicate eastward flow. C and D respectively indicate convergence and divergence. Dashed line represent the upper limit of the thermocline.

## ACKNOWLEDGMENTS

The author is very grateful to Professor G. L. Pickard from University of British Columbia, whose suggestions were very useful in carrying out this study.

MM. Magnier, Rual, and Rotschi have taken an active part in discussions of the material of this paper.

## REFERENCES

- AUSTIN, T. S. 1954: Mid-Pacific Oceanography. Part V. Transequatorial waters. May-June 1952. *Spec. Scient. Rep. U.S. Fish Wildl. Serv.*, 136, 86 p.
- FOFONOFF, N. P.; MONTGOMERY, R. B. 1955: The equatorial undercurrent in the light of the vorticity equation. *Tellus*, 7: 518-521.
- MONTGOMERY, R. B.; STROUP, E. D. 1962: Equatorial Waters and Currents at 150° W in July-August 1952. The John Hopkins Press, Baltimore: *Oceanogr. Stud.*, 1, 68 p.
- ODOT, C.; HISARD, PH.; VOITURIEZ, B. 1969: Nitrate et circulation méridienne à l'équateur dans l'Océan Pacifique occidental. *Cah. O.R.S.T.O.M., ser. Océanogr.*, 7: 67-82.
- ROTSCHI, H. 1968: Remontée d'eau froide et convergence à l'équateur dans le Pacifique occidental. *C.R. Acad. Sci. Paris*. 267: 1459-1462.
- ROTSCHI, H.; HISARD, PH.; RUAL, P. 1968: Observation de deux fronts thermiques dans le Pacifique équatorial occidental. *C.R. Acad. Sci. Paris*. 266: 1465-1468.
- STOMMEL, H.; FEDEROV, K. N. 1967: Small scale structure in temperature and salinity near Timor and Mindanao. *Tellus*, 19: 306-325.
- STROUP, E. D. 1954: Mid-Pacific Oceanography Part IV. Trans equatorial waters. January-March 1952. *Spec. Scient. Rep. U.S. Fish Wildl. Serv.*, 135, 52 p.
- TURNER, J. S. 1967: Salt fingers across a density interface. *Deep Sea Res.*, 14: 599-611.
- YOSIDA, S.; NITANI, H.; SUSUKI, N. 1959: Report of multiple ship survey in the equatorial region (I.G.Y.). *Hydrogr. Bull., Tokyo*. 59: 1-30.



# Hydrology at 170° E. in the South Pacific

H. ROTSCHI

Centre ORSTOM de Nouméa, New Caledonia

## Abstract

Direct current measurements and hydrological studies were made during 11 oceanographic cruises along the meridian 170° E, between 20° S and 4° N. Two hydrological situations are discussed: in the Southern Hemisphere winter, when the trade wind dominates, the equatorial current is westward, and in summer, when the surface wind reverses the current is eastwards. Below the surface westward current in winter there is an eastward current which is the upper core of a two-core Cromwell Current system. In summer the situation is reversed. In and below the thermocline, the currents are not affected by surface conditions. These systems are the second core of the Cromwell Current at about 200 m and from 300 m downwards the westward Equatorial Intermediate Current embedded in an eastward flow. The zonal surface circulation is characterised by the South Equatorial Countercurrent at about 10° S and the South Tropical Countercurrent near 20° S, with little seasonal variation.

In winter, the vertical temperature distribution shows spreading of the isotherms in the thermocline associated with the Cromwell Current, an upward slope of the isotherms near the surface indicating upwelling and in the tropical region, a reversal of the slope of the upper isotherms in the thermocline bound to the two geostrophic countercurrents. In the equatorial region isolated masses of low and high salinity indicate that the Cromwell Current originates west of 170° E. The isohalines suggest convergence in the upper part of the thermocline. There are also indications of upwelling in the upper layers and of downwelling in the lower layers of the thermocline.

In summer, low salinity water from the north of New Guinea flows along the Equator and the equatorial upwelling is replaced by a surface convergence.

## INTRODUCTION

For nearly 3 years (November 1965–May 1968), the cruises of the r.v. *Coriolis*, the research vessel of the "Centre ORSTOM de Nouméa" were devoted to the study of the hydrology and dynamics of the western South Pacific. The measurements, concentrated along the meridian 170° E, between 20° S and 4° N, gave a good coverage of the oceanographic conditions in the equatorial and south tropical waters north of New Caledonia. Ten cross sections in tropical waters and 12 in equatorial waters were made at 3-monthly intervals for the first part of the programme (cruises *Bora*) and then at monthly intervals (cruises *Cyclone*), the last three cross sections in the equatorial waters (4° S–4° N) having been made at weekly intervals. Twenty-four samples were taken in the upper 1000 m at stations 60 to 90 miles apart, in the tropical waters (20° S–4° S), and in the upper 500 m at stations 30 miles apart, in the equatorial waters (4° S–4° N). The closer spacing of the reversing bottles in the later

region was aimed at a detailed description of the hydrological and dynamical structure of the Equatorial Current system. At every station, classical hydrological studies have been conducted together with determination of nutrient concentration, phosphate, nitrate, nitrite, and oxygen. Direct current measurements from the drifting ship were made only during the cruises *Cyclone*, from 4° S to 4° N, at 20 m intervals from the surface to 300 m and at 50 m or 100 m intervals deeper. Thus, eight cross sections of the currents relative to 500 m have been obtained together with 12 vertical sections of the hydrological properties in equatorial waters.

The purpose of this study, based on the work of the *Coriolis*, is a presentation of the hydrology at 170° E in relation to the general features of the zonal circulation between 20° S and 4° N. Certain features of the equatorial distributions which can be indicators of the meridional circulation will also be discussed in greater detail.

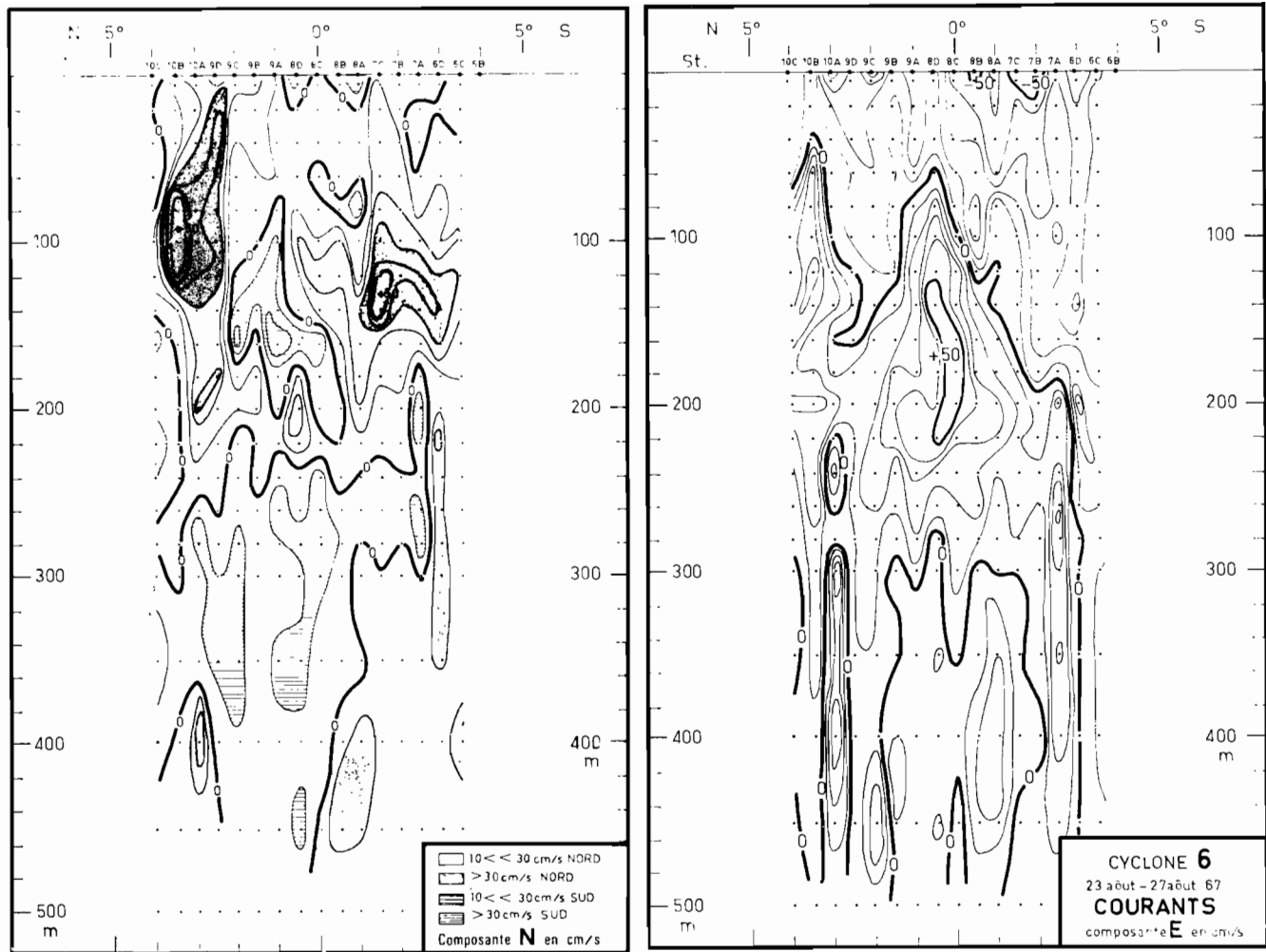


FIG. 1. Currents measured at the Equator. EW and NS components in cm/s, cruise *Cyclone 6*, August 1967. Spacing of the isotachs 10 cm/sec. (After Magnier *et al.*, in press.)

## GENERAL FEATURES OF THE CIRCULATION AT 170° E

The method and main results of direct monitoring of the currents have been discussed in detail by Magnier *et al.* (in press), while Merle *et al.* (1969) have described the zonal circulation in tropical waters, 4° S – 20° S, from geostrophic computation.

The detailed features of the equatorial currents and their east-west variations are discussed by Colin *et al.*, (this volume) 1973, so that it is only necessary to recall the principal features of the flows which are wind driven in the upper homogeneous layer and those which belong to the thermohaline circulation in and below the thermocline. In the southern hemisphere winter, when the dominant surface wind is the trade wind, the surface current is westward and occupies, at the equator, only the upper part of the homogeneous layer (fig. 1). In the lower part, there is an eastward current, the upper core of a generally two-core Cromwell Current system, where the two cores are separated at about 150 m by a strong southward component. In and below the thermocline, the thermohaline currents are the lower core of the Cromwell Current at about 200 m, and from 300 m downwards, a westward intermediate current which is embedded in an eastward flow (Hisard and

Rual, 1970). In the southern hemisphere summer (December-April) the surface wind blows mainly from the north-west and the surface circulation is reversed. The surface current becomes eastward and the upper core of the Cromwell Current is replaced by a westward flow. The lower core of the Cromwell Current

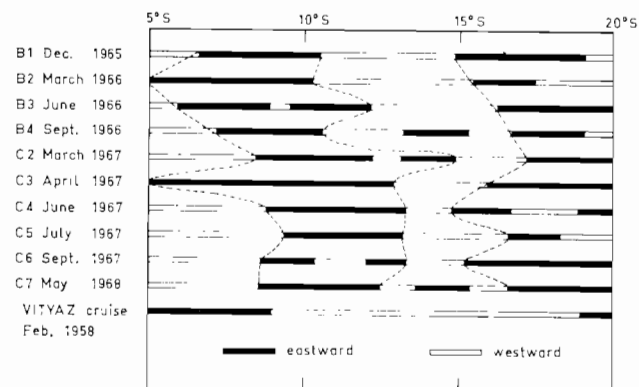


Fig. 2. Geostrophic currents at 170° E, between 20° S and 5° S, during the various cruises of the R.V. *Coriolis* and cruise 25 of R.V. *Vityaz*.

and the Intermediate Equatorial Current are unchanged.

From the geostrophic circulation in the tropical waters ( $20^{\circ}\text{S} - 4^{\circ}\text{S}$ ), Merle *et al.* (1969) have shown that in a general westward circulation, there are two counter-currents flowing eastward (fig. 2). The South Equatorial Countercurrent has a core near  $10^{\circ}\text{S}$  and the South Tropical Countercurrent is situated close to  $20^{\circ}\text{S}$ . Both transport water mainly from the homogeneous wind-mixed layer. The latter corresponds to a similar

current in the northern hemisphere at  $20-25^{\circ}\text{N}$ , the Subtropical Countercurrent (Yoshida and Kidokoro, 1967). The South Equatorial Countercurrent is bound to the atmospheric tropical convergence, which in the western Pacific is close to  $10^{\circ}\text{S}$ . It is very similar to the Equatorial Countercurrent, but its extension eastward is smaller. The existence of both has been confirmed by direct current measurements and by GEK measurements.

## GENERAL HYDROLOGICAL FEATURES

The vertical distributions of all the properties which have been studied show a direct dependence upon the movements of the water masses and reflect the principal features of the zonal circulation outlined above. They also suggest some aspects of the meridional and vertical displacements which agree with what is known of these movements as well as with the continuity requirements.

In the Southern Hemisphere winter (April-December) the vertical temperature distribution (fig. 3) shows the typical equatorial spreading of the isotherms of the thermocline associated in the eastern Pacific by Knauss (1960) with the Cromwell Current or Equatorial

Undercurrent. However, this feature is broader, thicker and covers a greater range of temperatures at  $170^{\circ}\text{E}$  than at  $140^{\circ}\text{W}$ . This suggests that the equatorial undercurrent is also broader and thicker, which is the case, as shown by the current measurements (fig. 1). Further, the upward slope of the isotherms near the surface, the  $28^{\circ}\text{C}$  isotherm in the case of the cruise *Cyclone 6*, indicates clearly an equatorial upwelling bringing to the surface water from the lower part of the wind-mixed layer. During this cruise, the upwelling indicated by the vertical temperature structure seemed to be displaced towards the north. Such a situation corresponds to a dominant wind with a northerly

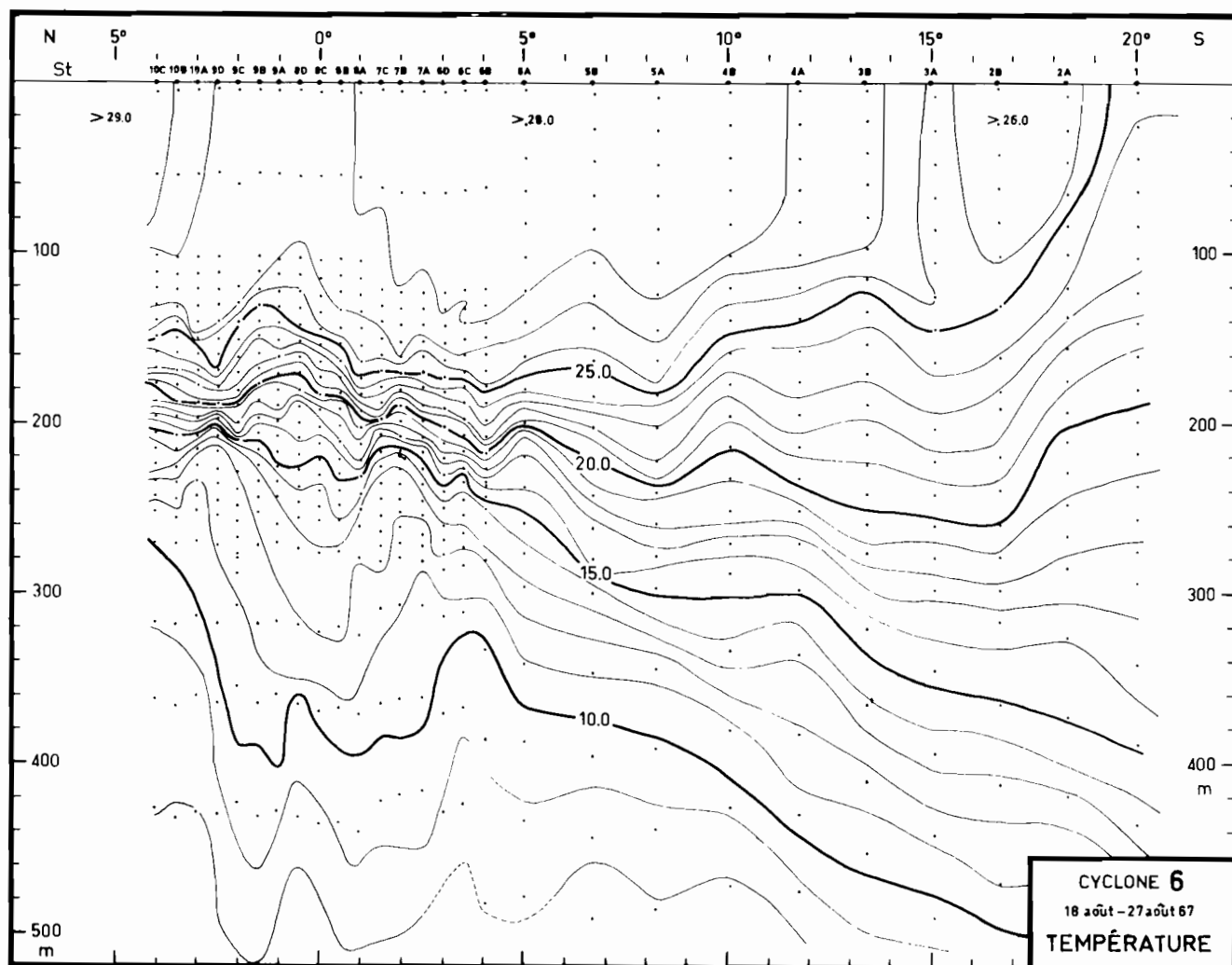


FIG. 3. Vertical distribution of the temperature, in the upper 500 m, at  $170^{\circ}\text{E}$ , between  $20^{\circ}\text{S}$  and  $4^{\circ}\text{N}$ , cruise *Cyclone 6*, August 1967. Spacing of the isotherms  $1^{\circ}\text{C}$ .



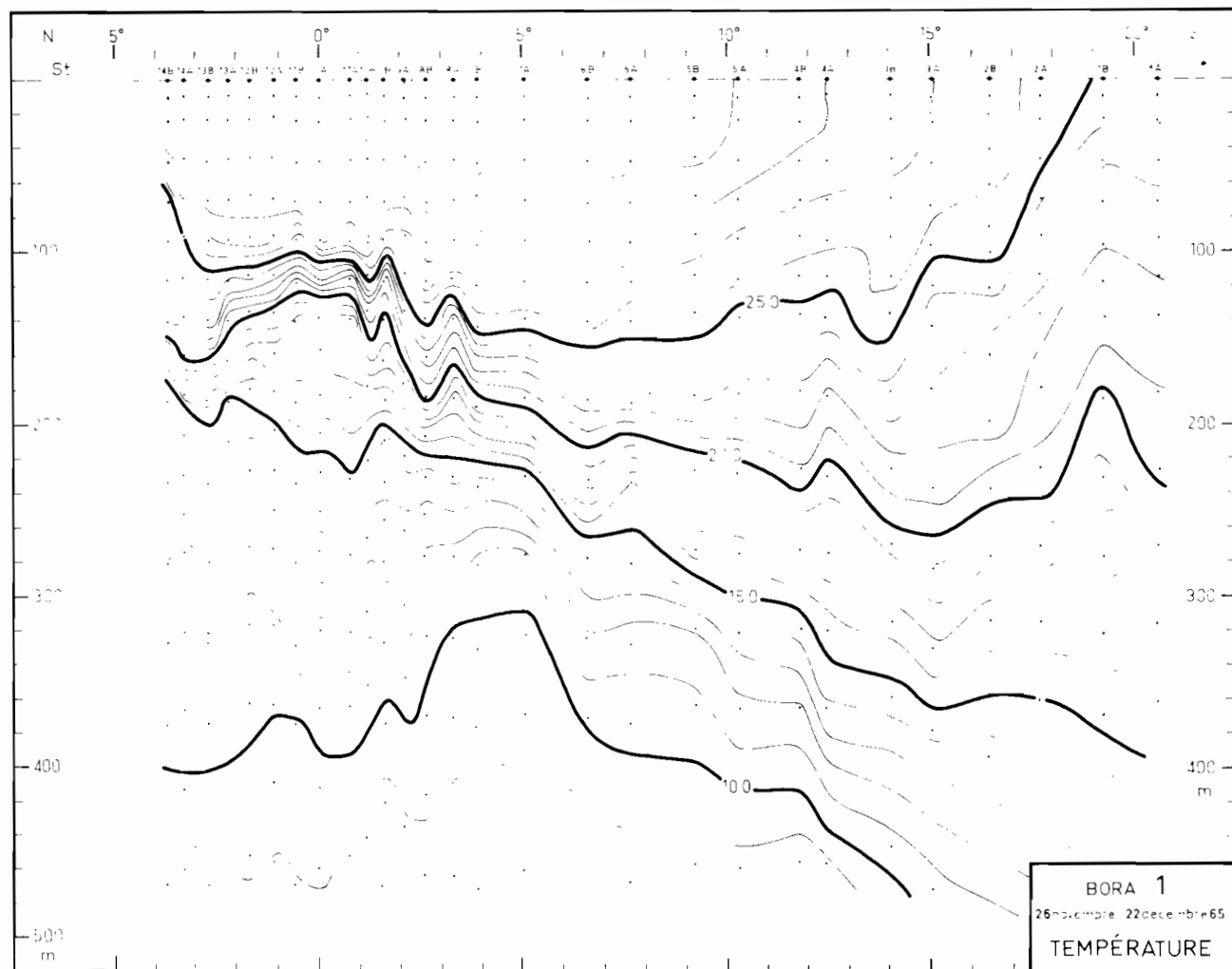


FIG. 4. Vertical distribution of the temperature, in the upper 500 m, at 170° E, between 20° S and 4° N, cruise *Bora 1*, November-December 1965. Spacing of the isotherms 1°C.

component (Cromwell, 1953); and in fact, during the first part of the equatorial studies of the cruise *Cyclone 6*, the wind was ENE. In the deeper water, below the Cromwell Current, whose lower limit is near 300 m (fig. 1), the equatorward slope of the isotherms reverses. In terms of geostrophy, this corresponds to a westward current embedded, on both sides of the Equator, in an eastward flow. Measurements (Magnier *et al.*, in press) and computations (Colin and Rotschi, 1970) show that this is exactly the case. Finally, in the tropical zone south of 5° S, the discontinuity layer becomes thicker and more diffuse southwards. The deeper isotherms slope downwards southwards, whereas the upper ones have clear changes of slope. In the Northern Hemisphere such changes are associated either with the North Equatorial Countercurrent (Kendall, 1966, 1970), or to the North Tropical Countercurrent (Robinson, 1969) which are

both eastward geostrophic currents. In the Southern Hemisphere they correspond respectively, near 10° S to the South Equatorial Countercurrent and south of 15° S to the South Tropical Countercurrent, which are also geostrophic and the existence of which, as mentioned above, has been instrumentally verified (Merle *et al.*, 1969).

In the Southern Hemisphere summer, when the equatorial wind is blowing from the northwest, and when the westward current is replaced by an eastward flow, the equatorial divergence which induces the upwelling is replaced by a convergence accompanied by a descending movement of the surface water (fig. 4). The isothermal surface layer becomes thicker and there is no upward spreading of the upper isotherms of the thermocline. But the meteorological conditions affect only the upper layer. The downward spreading of the lower isotherms of the thermocline

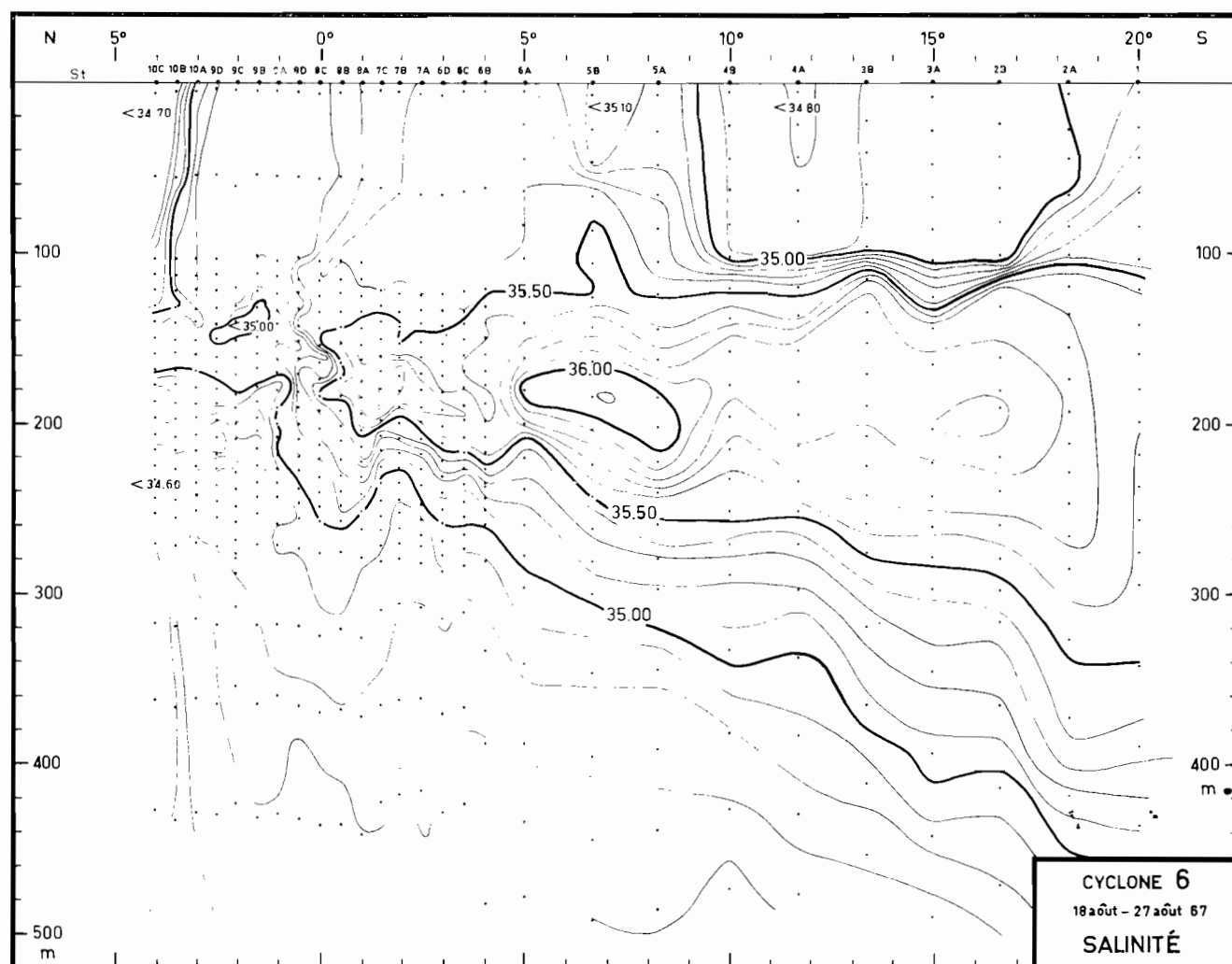


FIG. 5. Vertical distribution of the salinity, in the upper 500 m, at 170° E, between 20° S and 4° N, cruise *Cyclone 6*, August 1967. Spacing of the isohalines 0, 10‰.

is unchanged, as well as the thermal structure associated to the intermediate equatorial current. Similarly, the geostrophic countercurrents show weakly between 5° S and 10° S and more strongly south of 15° S.

The more complicated salinity structure gives some other details on the circulation. According to Wyrtki (1967a) the water with a salinity lower than 35‰ entrained in the central and eastern Pacific by the southern part of the North Equatorial Countercurrent and the northern part of the Equatorial Current, and which he observed at 156° W (Wyrtki, 1967b), is equatorial water formed mostly by the advection of the upwelled Peru and equatorial water. At 170° E (fig. 5) this water appears north of 3° N, very near the northern limit of the westward Equatorial Current and is very likely to be bound to the North Equatorial Countercurrent. The surface salinity distribution north of New Guinea (Panfilova, 1968) shows that this water

comes from the extreme western end of the equatorial Pacific where the annual average rainfall is very high. The subtropical surface water of the South Pacific with a salinity greater than 35‰ (Wyrtki, 1967a) extends from 3° N to about 10° S; it is separated from the equatorial surface water by a well marked salinity front. The isohalines 35.20‰ and 35.30‰ suggest an equatorial upwelling slightly north of the Equator. South of 10° S, entrained partly by the South Equatorial Countercurrent, there is another low salinity water mass, the origin of which is also in the western equatorial Pacific, near New Guinea. At about 9° S a salinity front separates it from the subtropical water of the South Pacific and is quite close to the northern limit of the South Equatorial Countercurrent. These salinity fronts are bound to the meridional circulation and mark the probable location of surface convergences.

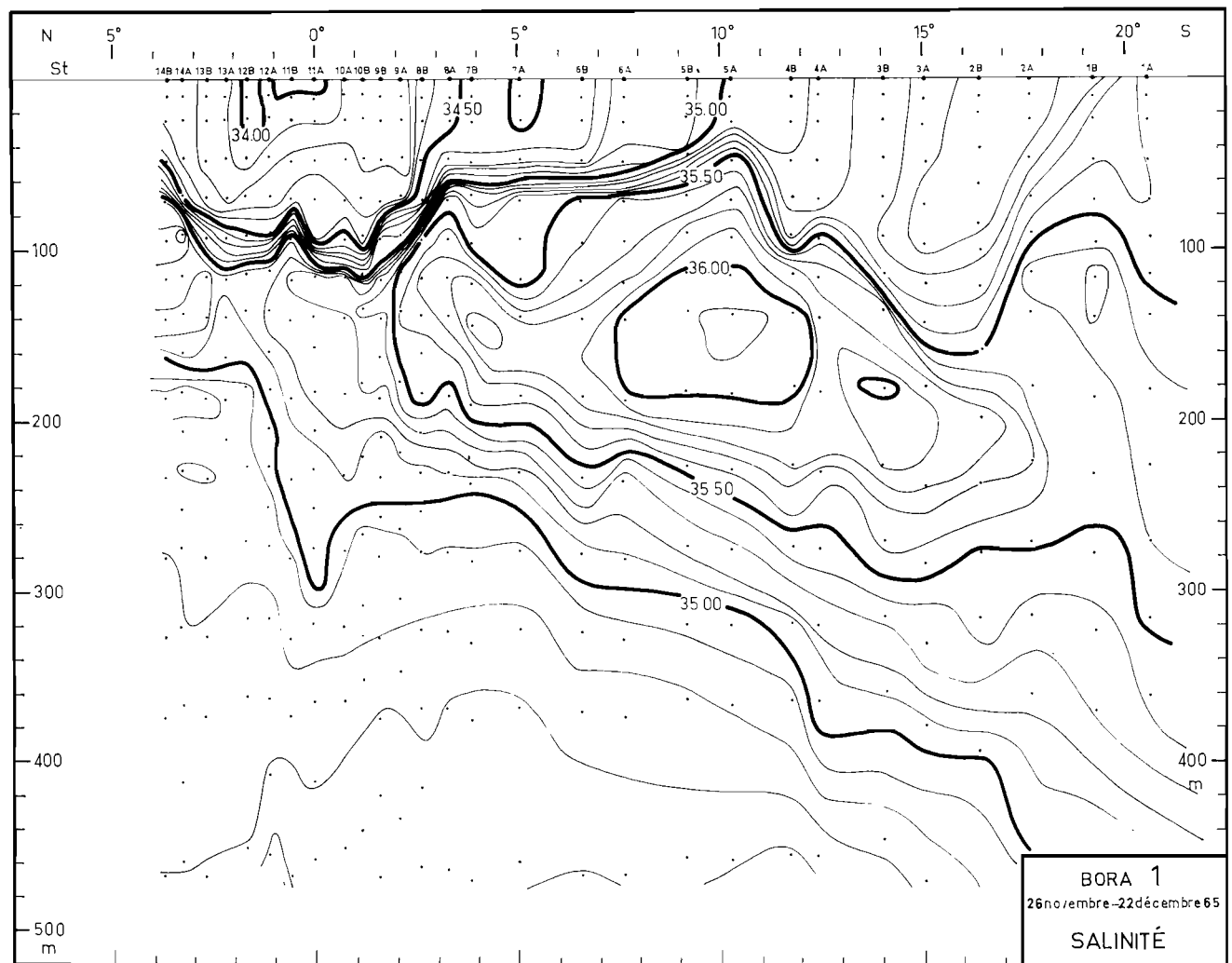


FIG. 6. Vertical distribution of the salinity in the upper 500 m, at 170° E, between 20° S and 4° N, cruise *Bora I*, November-December 1965. Spacing of the isohaline 0, 10‰.

Below the surface, the most interesting feature of the salinity distribution is the saline subtropical water of the South Pacific with a core near 7° S, at a depth of about 200 m. This water is formed in the central Pacific, south of 20° S, between 110° W and 140° W and extends westwards and northwards, following several paths as indicated by the secondary maximum at 16° S. This highly saline water crosses the Equator in the western Pacific resulting in a core of high salinity isolated near the Equator but south of it in the central and eastern Pacific (Montgomery and Stroup 1962, Knauss 1966, Wyrtki 1967b). The core at 1° 30' S-2° S (fig. 5) could be the result of such a mechanism or the trace of another path of the subtropical South Pacific water. The salinity distribution in December 1965 (fig. 6) indicates that it is more likely the northernmost extension of a highly saline tongue. At the Equator (fig. 5) the core of the high

salinity water is slightly above the velocity core of the Cromwell Current and it is clear that the subtropical South Pacific water participates in the formation of its southern upper part. Thus, the longitude of 170° E is near the eastern limit of the direct participation of water of southern origin in the Cromwell Current. North of the Equator, at 200 m depth, there is low salinity water, salinity less than 34.60‰, which is the North Pacific intermediate water; it extends southwards and almost reaches the Equator where it forms, with the saline water of southern origin, a well-marked salinity front. Thus, there is at the Equator strong indication of a convergence of the subsurface water masses and of weak horizontal mixing. The isolated core at 2° N, salinity below 35.00‰, could result from strong turbulence north of New Guinea, having isolated either some surface equatorial water or some North Pacific intermediate water. The distribution of

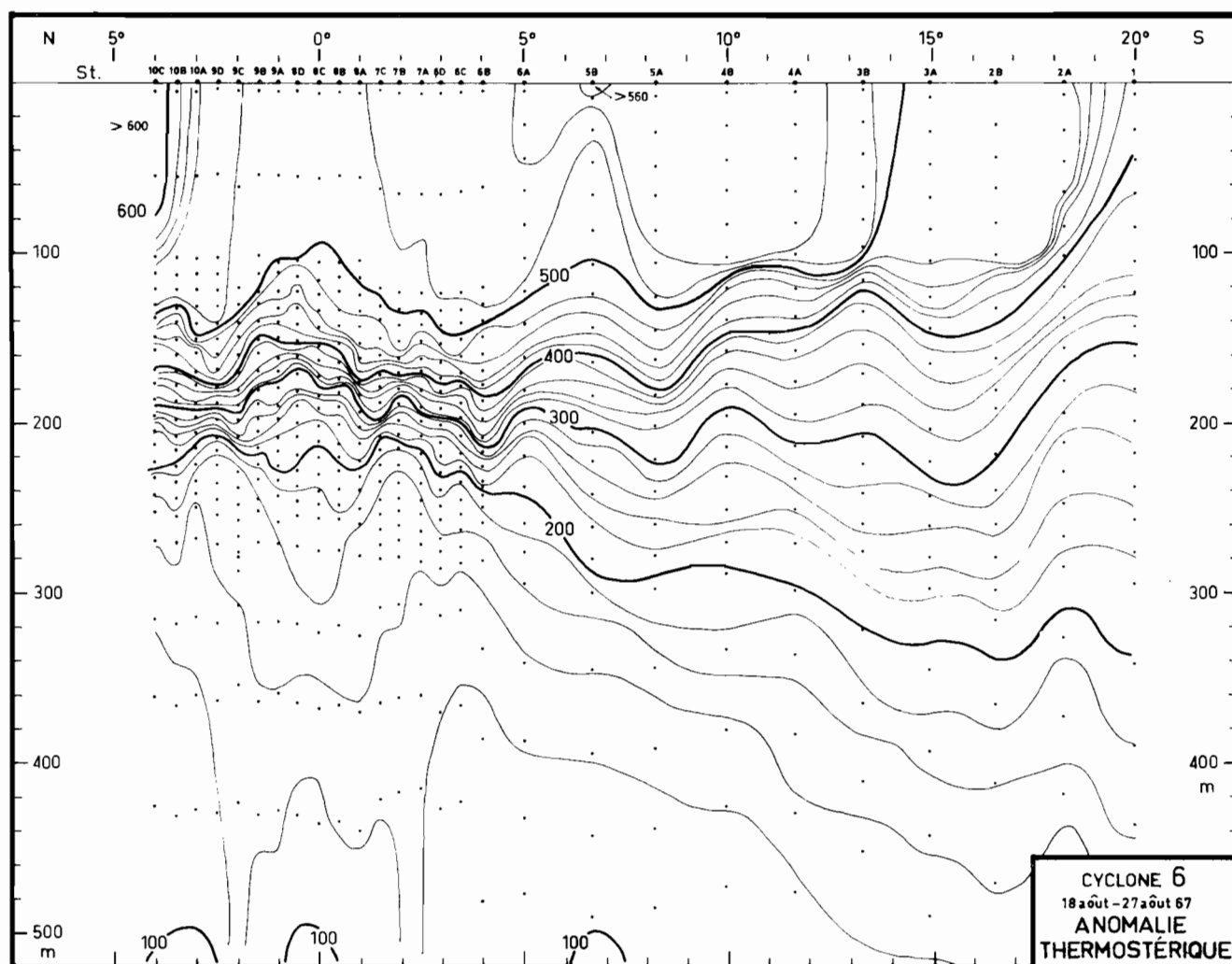


FIG. 7. Vertical distribution of the thermosteric anomaly, in the upper 500 m, at 170° E, between 20° S and 4° N, cruise *Cyclone 6*, August 1967. Spacing of the isanosteres 20 cl/t.

phosphate shows that it is likely to be equatorial surface water. Masuzawa (1967) has observed at 137° E, north of New Guinea, such low salinity cores isolated in water of southern origin and has shown that they can derive from the southern part of the North Equatorial Current.

The salinity distribution in summer (fig. 6) differs mainly in the surface conditions. The wind-driven equatorial surface current is eastward and the equatorial winter surface divergence is replaced by a convergence. The eastward current entrains low salinity water from the New Guinean region, and the upper homogeneous layer covers a vast region. This low salinity water extends south of 10° S, and since it flows above a westward subsurface current entraining subtropical surface water with a salinity higher than 35‰, a well-marked halocline develops in the equatorial region. Between 15° S and 20° S, the low salinity water

associated with the South Tropical Countercurrent is also easy to identify. The salinity maximum of the subtropical water of the South Pacific appears with three cores and does not extend as far north as in winter. Similarly, the low salinity north Pacific intermediate water does not extend as far south. The convergence towards the Equator at intermediate depth of water masses of both hemispheres is weaker, and results in a weak meridional salinity gradient at the Equator and an apparently more homogeneous Cromwell Current. The weakening of the southward extension of the Northern Hemisphere water is bound to the weakening of the North Equatorial Countercurrent which, during this season, is composed mostly of North Equatorial Current Water.

The density distribution (fig. 7) represented by the thermosteric anomaly (Montgomery and Wooster, 1954) reflects that of the temperature (fig. 3). The

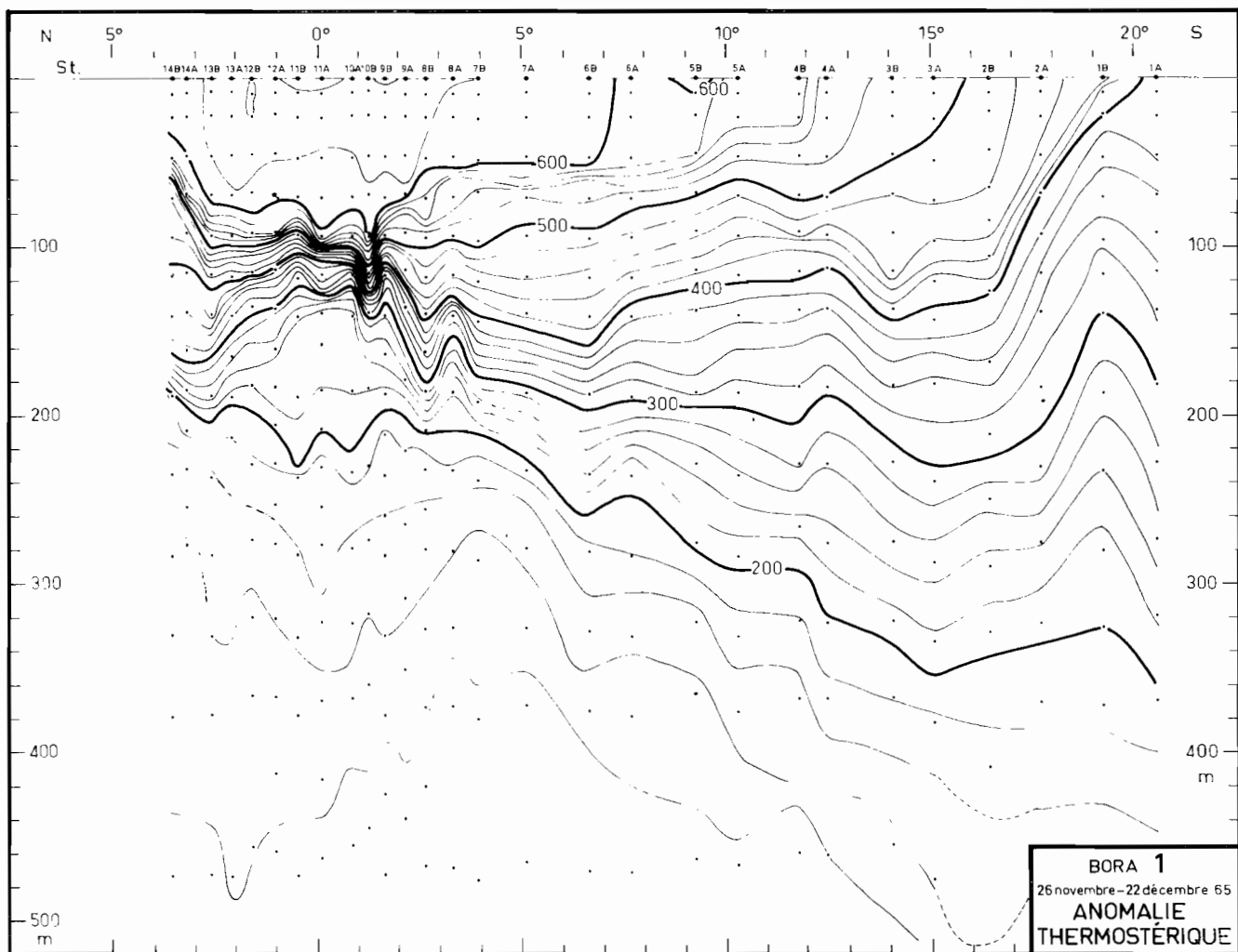


FIG. 8. Vertical distribution of the thermosteric anomaly in the upper 500 m, at 170° E. between 20° S and 4° N, cruise *Bora I*, November-December 1965. Spacing of the isanosteres 20 cl/t.

vertical spreading of the isanosteres locates the Cromwell Current, and confirms that it is wider and thicker at 170° E than at 140° W. For the hypothesis of a geostrophic current, the vertical shear of the zonal current both sides of the equator is given by

$$f \frac{\partial u}{\partial z} = - \rho g \frac{\partial \delta}{\partial y} \quad (1)$$

whereas at the Equator it is given by

$$\frac{\partial u}{\partial z} = - \rho g \frac{\partial^2 \delta}{\partial y^2} / \beta \quad (2)$$

in which  $g$  is gravity,  $\delta$  anomaly of specific volume,  $f$  Coriolis force and  $\beta = df/dy$ . Both equations indicate that the zonal component of the current is a maximum at the level where an isanosteric surface is horizontal (Montgomery and Stroup, 1962). During

the cruise *Cyclone 6* the horizontal isanostere was located close to 200 m, with a thermosteric anomaly of the order of 200 cl/t. Since at 150° W the core of the current is close to the 300 cl/t isanostere at a depth of 125 m (Montgomery and Stroup, 1962) it is obvious that, flowing eastward, the Cromwell Current gets lighter and closer to the surface. Its lower limit is close to 300 m since on the 140 cl/t isanostere surface there is a reversal of the equatorward slope of the isanostere. This reversal is due to the westward Equatorial Intermediate Current flowing below the Cromwell Current (Hisard and Rual, 1970). The upper limit of the latter is not clear, but the density distribution below the surface indicates an equatorial upwelling displaced slightly northwards. Similarly the spreading of the isanosteres is not quite symmetrical about the equator, which confirms the direct current measurements. In the tropical region the upward slope

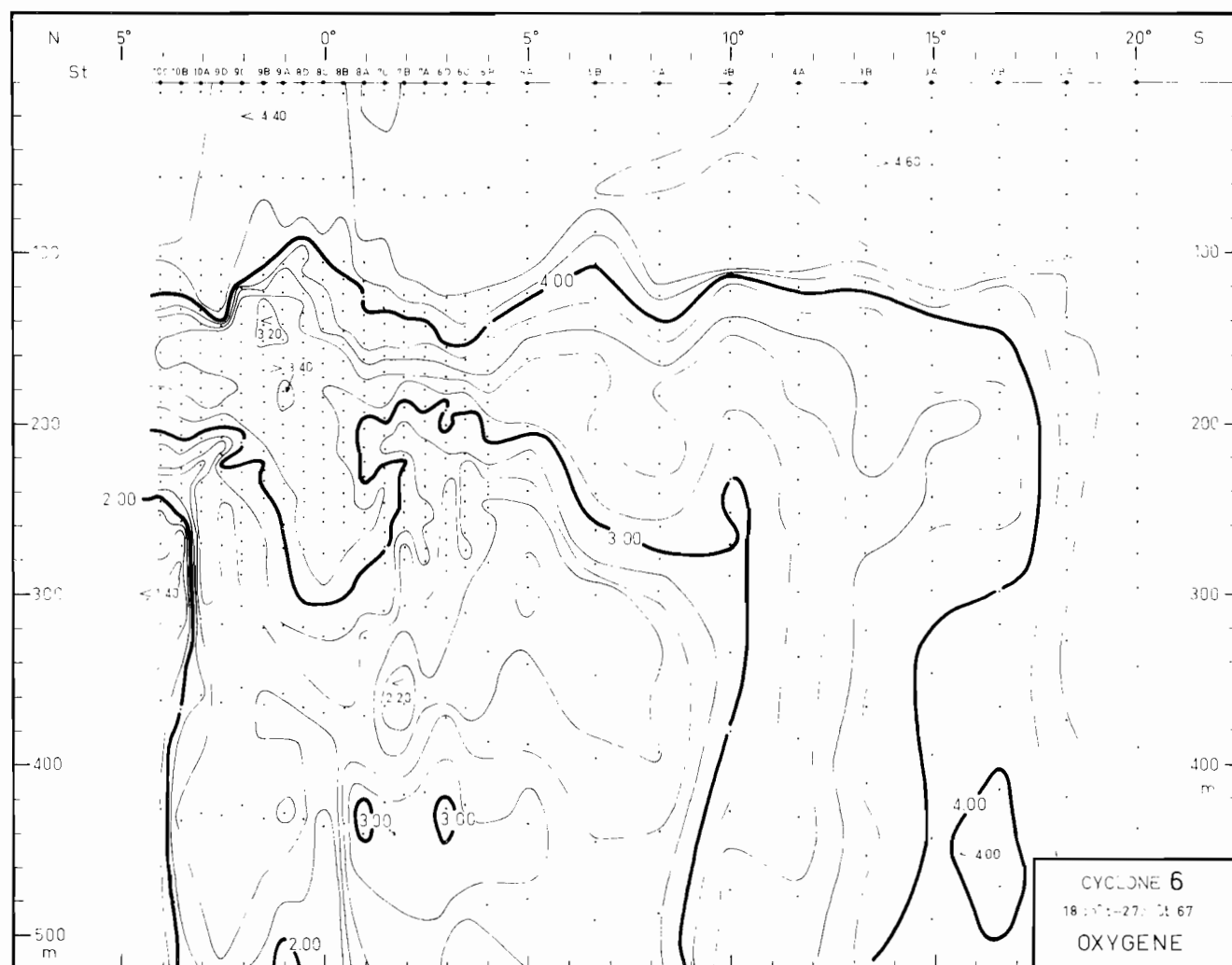


FIG. 9. Vertical distribution of the concentration of oxygen in the upper 500 m, at 170° E, between 20° S and 4° N, cruise *Cyclone 6*, August 1967. Spacing of the isolines 0, 20 ml/l.

polewards of the upper isanosteres of the pycnocline points to the geostrophic South Equatorial Countercurrent between 8° S and 13° S and the South Tropical Countercurrent south of 15° S.

In summer (Fig. 8) the equatorial spreading of the isanosteric surfaces is limited, because of the surface convergence induced by an eastward surface current, to the lower part of the pycnocline. Here the level isanostere is again found at a depth of 200 m and corresponds to a thermosteric anomaly close to 200 cl/t. The lower limit of the Cromwell Current does not show as clearly as in August, but its location is between 300 m and 400 m. At the surface, because of the convergence, the equatorial water is lighter than that found to the north and south. In the tropical zone, the slope of the isanosteres implies a very weak eastward current between 5° S and 12° S and a stronger one south of 15° S.

The tropical surface waters are oversaturated in oxygen and homogeneous over a great thickness (fig. 9). At the equator, there is an upwelling displaced slightly northwards. The core of the Cromwell Current is homogeneous as in the central Pacific (Knauss, 1960), but as has been shown previously (Rotschi and Wauthy, 1969), this homogeneity is not the result of an intense vertical mixing within the swiftest part of the current, but of the superposition of different water masses having very similar oxygen content. The upper water is a mixture of subtropical water of the South Pacific and water of the North Equatorial Countercurrent. The lower water is from the Coral Sea. Within the core of the Cromwell Current the slight isolated maximum is the trace of Coral Sea water integrated into the eastward flow further west and not entirely mixed with the surrounding waters. The small minimum, associated

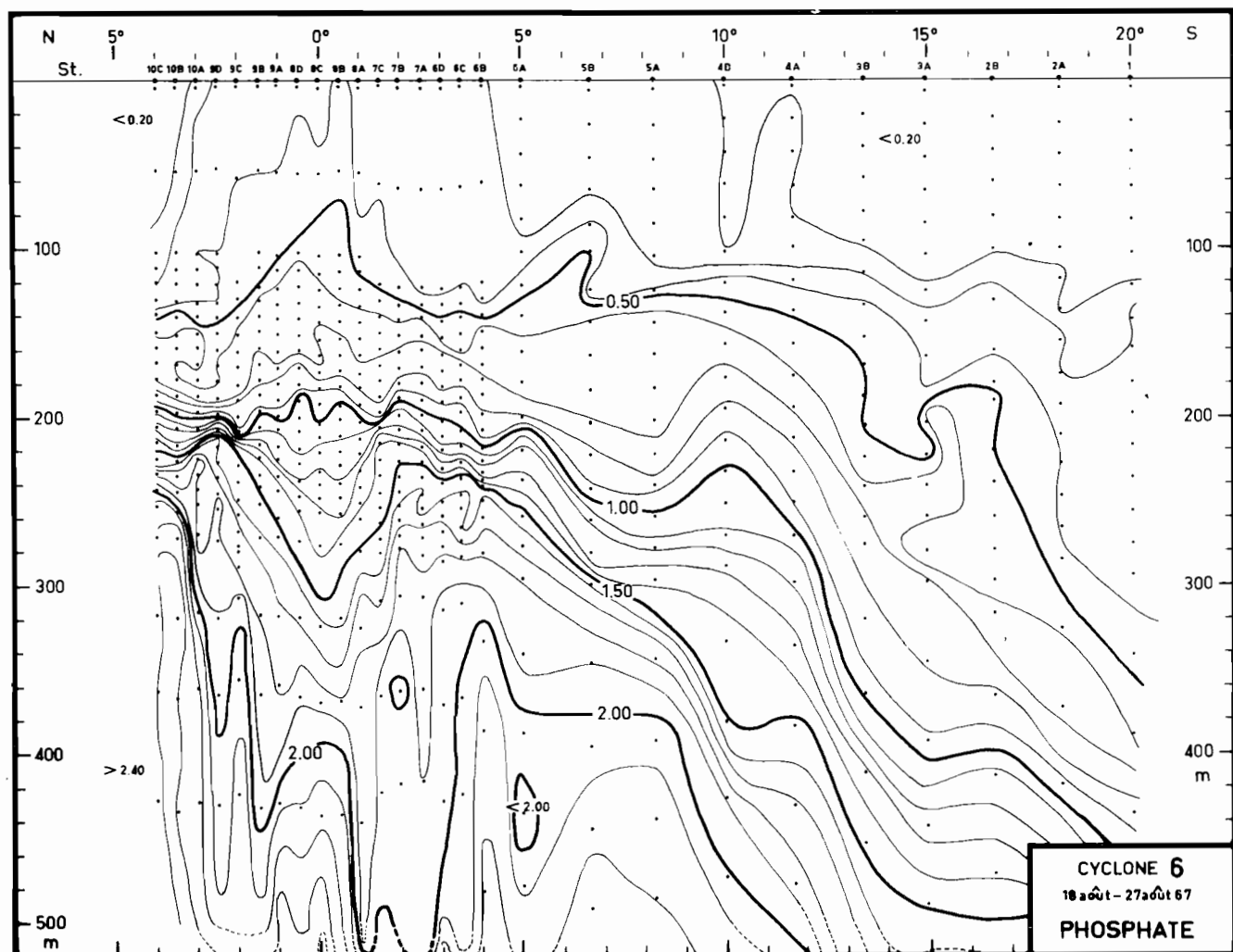


FIG. 10. Vertical distribution of the concentration of phosphate in the upper 500 m, at 170°E, between 20°S and 4°N, cruise *Cyclone 6*, August 1967. Spacing of the isolines 0, 10 mat.g/m<sup>3</sup>.

with a low salinity, is the trace of water of the North Equatorial Countercurrent. Below the Cromwell Current the equatorial intermediate flow transports water with a relatively small concentration of oxygen reflecting the oxygen minimum formed along the coast of Peru. On both sides of this oxygen minimum, deeper than 400 m, there is oxygenated water which, south of the equator, is from the Coral Sea (Hisard and Rual, 1970). Further poleward another oxygen minimum is the trace, south of the equator, of the Peru minimum, and north of the equator of the Central America minimum (Reid, 1965). At 10°S–15°S the subsurface water of the intertropical zone is a transition between the Antarctic Intermediate Water with a high oxygen content and the poorly oxygenated equatorial system.

The distribution in December has the same general features. It must be pointed out nevertheless that at

the equator there is no trace of upwelling. Further, the low oxygen content from the Central American coast does not appear at 4°N. This confirms the indication, from the salinity, of a lesser equatorward subsurface extension of the northern hemisphere water. Similarly, the low oxygen water of Peruvian origin does not extend as far north. Finally, the Antarctic Intermediate Water with an oxygen content higher than 4 ml/l is barely observable at 20°S.

The phosphate distribution is similar in many aspects to that of the oxygen. In the equatorial region it is easy to identify (fig. 10) an equatorial upwelling, which contrary to what is observed with all the other properties, is displaced southwards. The Cromwell Current is associated with a spreading of the isolines and within its core the vertical gradient of the phosphate concentration is not negligible, the phosphate increasing downwards whereas the oxygen

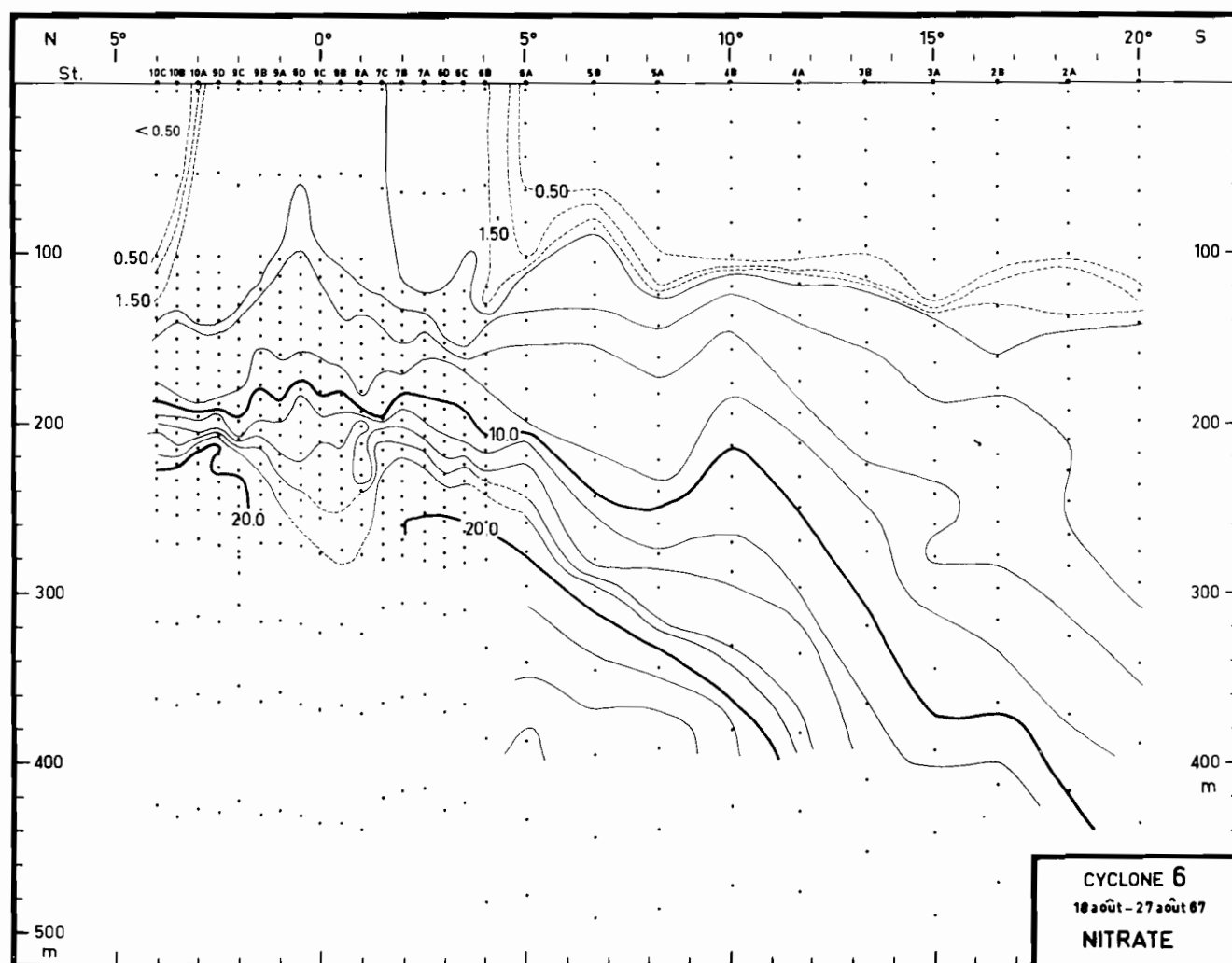


FIG. 11. Vertical distribution of the concentration of nitrate in the upper 500 m, at 170° E, between 20° S and 4° N, cruise *Cyclone 6*, August 1967. Spacing of the isolines 2 mat.g/m<sup>3</sup>.

is constant. This confirms that the homogeneity of the oxygen concentration is not due to an intense vertical mixing. Just below the Cromwell Current, the Equatorial Intermediate Current is associated with a phosphate maximum. The water which surrounds it is relatively rich in oxygen and poor in phosphate; this shows very clearly in the Coral Sea water where the oxygen content is higher than 2.80 ml/l and where the phosphate concentration is minimum and smaller than 2.00 mat. g/m<sup>3</sup>. The oxygen minima of the Central American coast and of the coast of Peru correspond to high phosphate concentration. In the tropical region, between 10° S and 15° S, there is, at middle depth a strong meridional phosphate gradient having the same significance as the corresponding oxygen gradient and marking the limit of the direct northward extension of the Antarctic Intermediate Water. The ridge of the discontinuity layer at 6° 30' S is at the southern

limit of an eastward current. In permanent zonal currents with no space acceleration the continuity equation implies, in the southern hemisphere, an ascending motion at the southern limit of an eastward current. The phosphate distribution confirms this hypothesis. The upward movement of the upper layer of the thermocline enriches the lower water of homogeneous layer.

The nitrate distribution (fig. 11) has similar characteristics: in particular the equatorial upwelling displaced slightly northwards, the spreading of the isolines in the Cromwell Current confirming the absence of intense vertical turbulence within its core, the strong horizontal gradient at intermediate depth south of 10° S and the ridge of the discontinuity layer at 6° 30' S. In summer, the fundamental difference is the absence of equatorial upwelling (fig. 12). The two ridges in the discontinuity layer



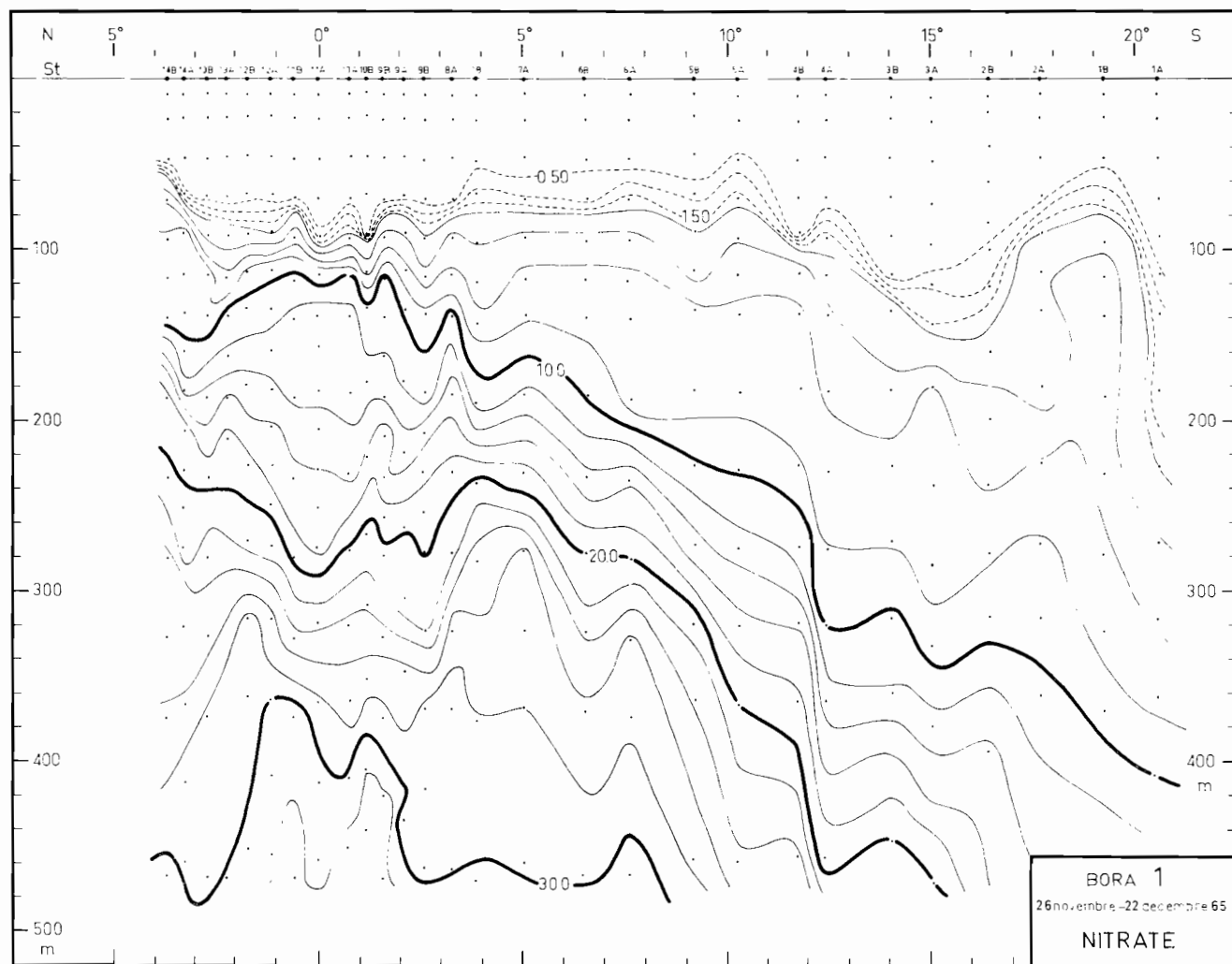


FIG. 12. Vertical distribution of the concentration of nitrate in the upper 500 m, at 170° E, between 20° S and 4° N, cruise *Bora 1*, November-December 1965. Spacing of the isolines 2 mat.g/m<sup>3</sup>.

at 10° S and 19° S are located at the southern limit of an eastward countercurrent. They confirm that in the tropical waters the zonal circulation can induce an enrichment of the base of the wind-mixed homogeneous layer. This mechanism has been called ridging by Cromwell (1958).

#### CONCLUSIONS

Taking into account the currents both measured and computed, the study of the hydrology at 170° E, between 20° S and 4° N shows that the circulation strongly determines the various properties of the water masses. On the vertical distributions, it is easy to identify:

- an equatorial upwelling the axis of which seems to depend on the meridional component of the wind. It disappears when the surface current reverses;
- the Cromwell current broader and thicker than in the central Pacific and with a lower limit clear enough to be located near 300 m depth;
- the Westward Equatorial Intermediate Current embedded in the deep northern and southern extensions of the Cromwell Current;

- the South Equatorial and South Tropical Countercurrents;
- the subtropical water mass of the South Pacific, which converges equatorwards from the south, whereas the North Pacific intermediate water flows southwards;
- the northward direct extension of the Antarctic Intermediate Water limited at about 15° S;
- the water with an oxygen minimum formed along the Peruvian coast in the southern hemisphere and along the Central American coast in the northern hemisphere.

The vertical distributions also show that:

- some hydrological characteristics of the Cromwell Current are gained further to the West, north of New Guinea;
- the core of the Cromwell Current is homogeneous in oxygen because of its formation by the superposition of different water masses with the same original oxygen content and not by vertical mixing;
- there is an upward movement of the upper water in the discontinuity layer at the southern limit of the eastward countercurrents.

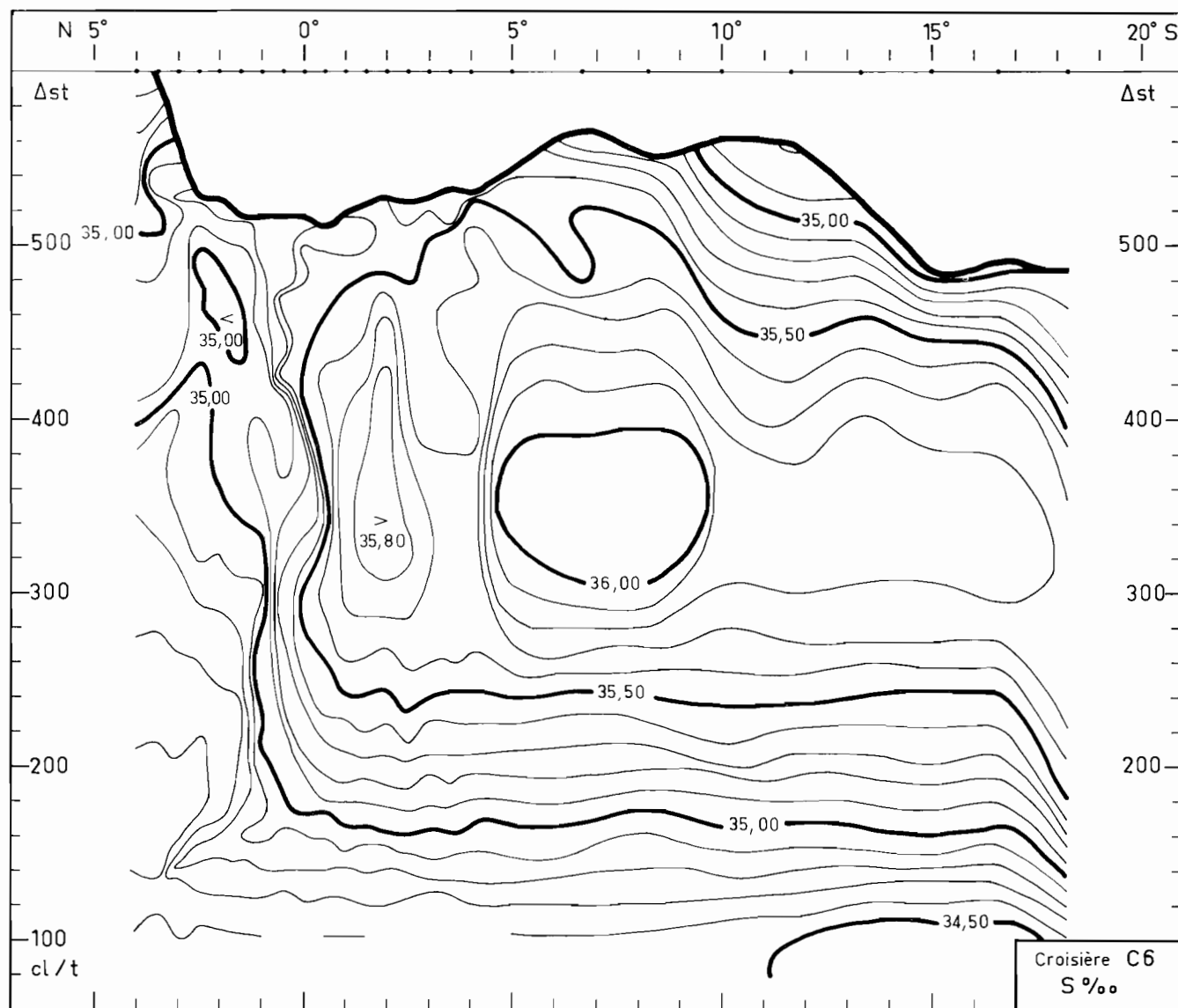


FIG. 13. Distribution with thermosteric anomaly of the salinity at 170° E, between 20° S and 4° N, cruise *Cyclone 6*, August 1967. Spacing of the isohalines 0,10‰.

## EQUATORIAL DISTRIBUTIONS

Most of the models of meridional circulation which take into account the Cromwell Current (Cromwell, 1953; Fofonoff and Montgomery, 1955) include a divergence at the surface at the equator with ascending water from the core of the Cromwell Current. Thus, in the surface layer there is a flow away from the equator and within the thermocline the flow is towards the equator, from both sides. The question can be raised whether this converging water towards the equator only ascends or whether part of it descends, and in case of a descending motion whether there is at some depth a flow away from the equator.

All the vertical distributions (fig. 3–fig. 12) show a typical bulging downwards of the lower isolines of the discontinuity layer. Interpreted in the same manner

as the bulging upwards of the upper isolines, it means a descending motion of part of the water converging equatorwards within the thermocline which, at the equator covers a range of thermosteric anomaly from 500 cl/t to 200 cl/t. Colin and Rotschi (1970) have shown that below the surface layer the flow is likely to be isentropic, consequently a study of the distribution of the properties with density could give good indications of the converging and diverging movements at intermediate depth.

The salinity distribution versus thermosteric anomaly (fig. 13) suggests a northward movement, away from the equator, from 1° N to 3° 30' N, at the thermosteric anomaly level 160–140 cl/t. There are also clues for an equatorward convergence from 3° N to the

equator in the layer 500–300 cl/t and south of the equator on the 420 cl/t isanosteric surface. The oxygen distribution shows water which could move away from the equator between 2° N and 3° N on one side and between 1° S and 2° 30' S on the other side, at the thermocline level 160 cl/t. The phosphate distribution confirms these features.

Since Hisard and Rual (1970) have shown that the limit between the Cromwell Current and the Equatorial Intermediate Current is at 160 cl/t, a movement away from the equator on the 160 cl/t isanosteric surface and slightly below is in perfect agreement with a vertical circulation which includes an equatorward convergence in the thermocline, a descending movement in its lower part and a poleward divergence below the thermocline.

The direct current measurements (fig. 14) confirm the equatorward divergence with a northward component between 2° N and 3° 30' N on the 180–140 cl/t isanosteric surfaces and a southward component, south of the equator on the 160 cl/t isanosteric surface. In the layer 500–300 cl/t, there is an equatorward component both sides of the equator. Nevertheless, the southward movement does not show north of 2° N, where there is a northward movement.

A detailed study of the variation with latitude of the T-S characteristics illustrates in another manner

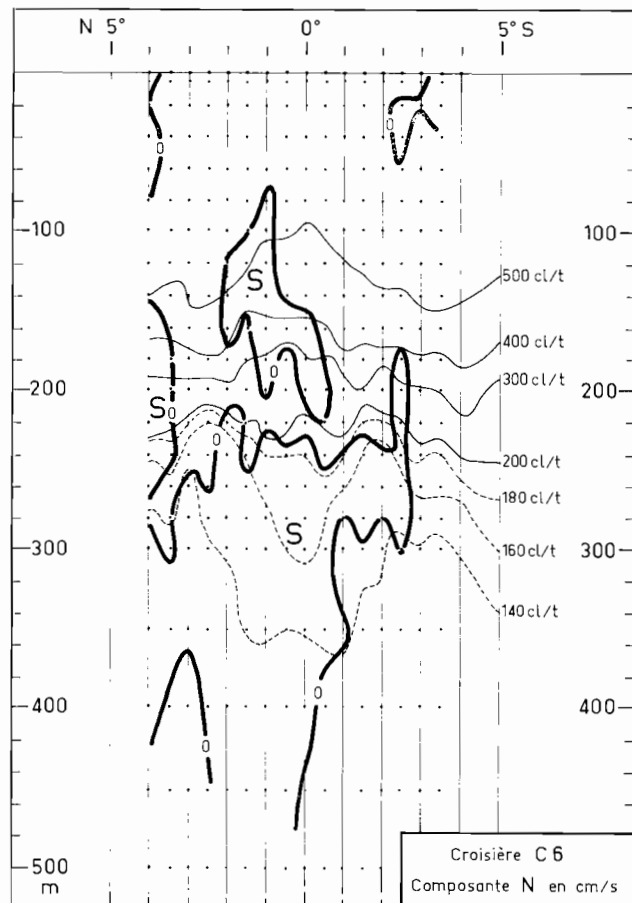


FIG. 14. North-south component of the current measured relative to 500 m, between 4° S and 4° N at 170° E, cruise *Cyclone 6*, August 1967. The thick contour is the isotach zero; the thin and dotted lines are isanosteric surfaces.

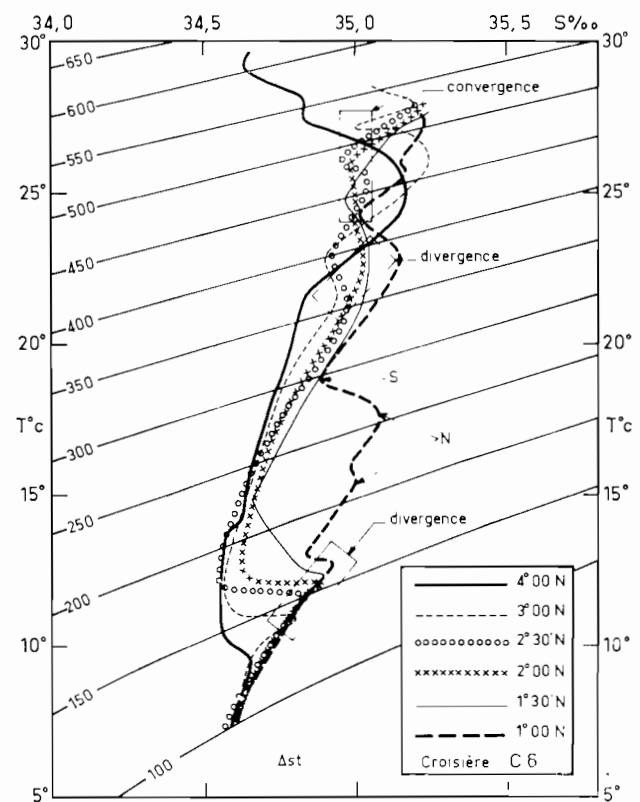


FIG. 15. T-S diagrams at the stations north of 1° N at 170° E, cruise *Cyclone 6*, August 1967. The background lines are lines of equal thermocline anomaly in cl/t. Divergence: northward component, convergence: southward component.

the movements of the various water masses. North of the equator, from 3° N to 1° 30' N (fig. 15), the salinity minimum of the North Pacific Intermediate Water occurs between two maxima which are traces of the subtropical water of the South Pacific at a level where the component of the current is northward, away from the equator. The upper minimum, the source of which can only be north of the equator, is in a layer of southward, equatorward movement. Between 1° S and 1° N (fig. 16) there is an obvious transition zone. Here the low salinity water from the north and the high salinity from the south meet without intense lateral mixing. The resulting T-S diagrams have numerous extrema, many of which are located at levels where the north-south components of the current are strong. The salinity maxima are associated with a northward component, implying that they are formed of water coming from the southern hemisphere. The salinity minima are associated with a southward component, implying that low salinity water from the northern hemisphere is transported equatorwards; in some instances it even crosses the equator. In the tropical region the T-S diagrams (fig. 16) are typical of the western South Pacific central water mass according to Sverdrup *et al.* (1942). Nevertheless, it can be seen that there are two sources of Antarctic Intermediate Water; one which flows directly northwards with a salinity close to 34.45‰ and does not extend further north than 10° S, and one which flows along the South American coast before reaching the equatorial region, where it has a salinity greater than 34.50‰.

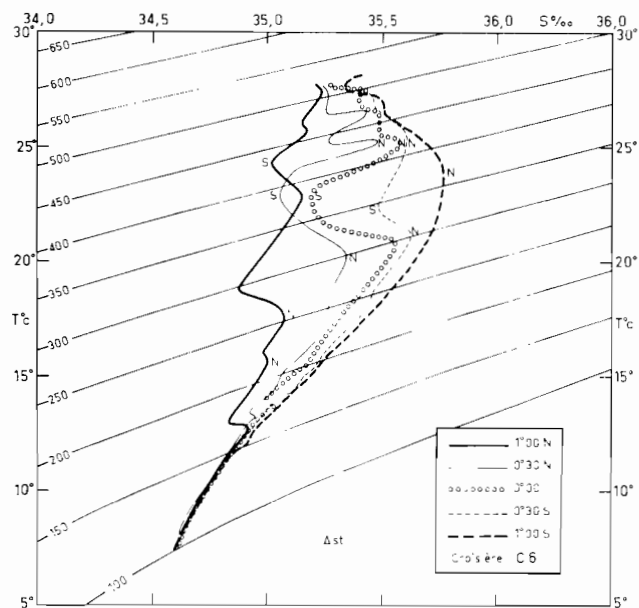


FIG. 16A. T-S diagrams at the stations between 1° S and 1° N at 170° E, cruise *Cyclone 6*, August 1967. The background lines are lines of equal thermocline anomaly in cl/t. N means that at this latitude and at this level the current has a northward component; S indicates a southward component.

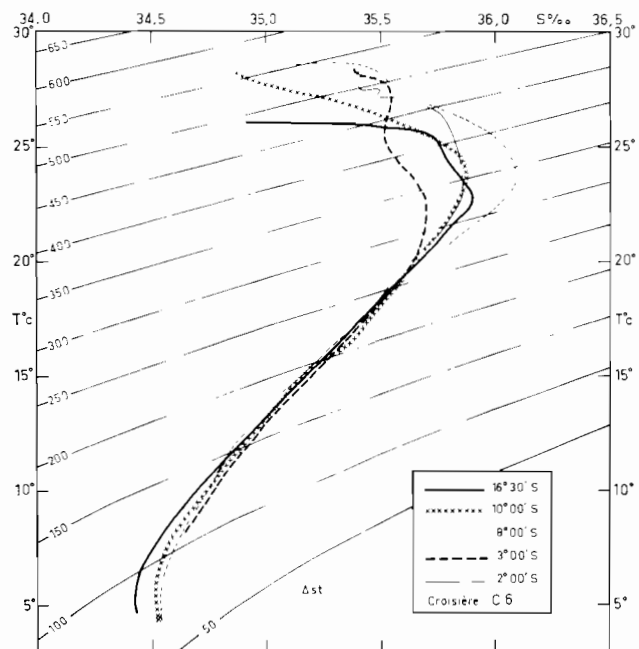


FIG. 16B. T-S diagrams at the tropical stations, cruise *Cyclone 6*, August 1967. The background lines are lines of equal thermocline anomaly in cl/t.

## CONCLUSIONS

There exist important clues for a well defined type of circulation in the vertical plane at 170° E. With a wind blowing from the east, an equatorial upwelling is very probable. Rotschi (1968), Rotschi *et al.* (1968), Hisard *et al.* (1971) have shown that under such conditions the upwelling is present. In some cases, a divergence away from the equator has been observed, and numerous data confirm that in the thermocline there is an equatorward convergence. A thorough examination of the vertical distributions in the light of the current measurements suggests that below the Cromwell Current there is a divergence away from the equator. There is also strong evidence for a descending movement in the lower part of the discontinuity layer. Gathering of all these facts leads to a schematic circulation in the vertical plane (fig. 17), taking also into account the two convergences on either side of the equator which have occasionally been observed (Rotschi *et al.*, 1968). To this picture should be added the ascending and descending motions located respectively at the northern and southern border of each of the eastward counter-currents in the tropical waters. It appears thus that the wind-mixed layer can be locally enriched and then exhausted in nutrient salts according to a mechanism similar to that proposed by Vinogradov *et al.* (1970).

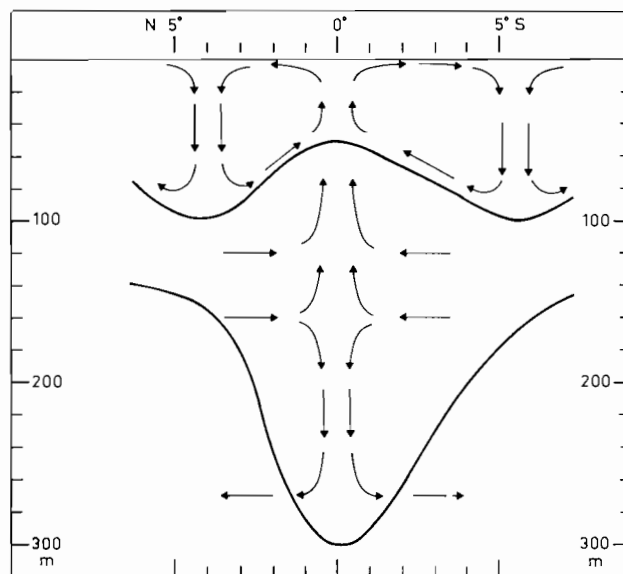


FIG. 17. Proposed scheme for the circulation in a vertical plane through the equator, at 170° E, when the wind is blowing from the east.

## REFERENCES

- COLIN, C.; ROTSCHI, H. 1970: Aspects géostrophiques de la circulation est-ouest dans l'Océan Pacifique équatorial occidental. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 271: 929-932.
- COLIN, C.; HISARD, P.; RUAL, P. 1973: Currents at the equator in the western Pacific Ocean. Evolution between 140° W and 140° E. Wind influence. "South Pacific Oceanography 1972". comp. R. Fraser, National Commission for UNESCO, Wellington.
- CROMWELL, T. S. 1953: Circulation in a meridional plane in the central equatorial Pacific. *J. Mar. Res.*, 12: 196-213.
- 1958: Thermocline topography, horizontal currents and ridging in the eastern tropical Pacific. *Bull. Inter-Am. Trop. Tuna Comm* 3: 135-152.
- FOFONOFF, N. P.; MONTGOMERY, R. B. 1955: The equatorial undercurrent in the light of the vorticity equation. *Tellus*, 7: 518-521.

- HISARD, P.; RUAL, P. 1970: Courant équatorial intermédiaire de l'Océan Pacifique et contre-courants adjacents. *Cah. ORSTOM, sér. Océanogr.* 8, (1): 21-45.
- HISARD, P.; JARRIGE, P.; ROTSCHI, H. 1971: Circulation in the western and south tropical Pacific Ocean in relation to enrichment processes. *Rec. Proc. 12th Pac. Sci. Cong.*, Canberra, Australia, 1: 146-147.
- KENDALL, T. R. 1966: Transports in the Pacific Equatorial Countercurrent. M.S. Thesis, University of Hawaii, Honolulu, 40 pp.
- 1970: The Pacific Equatorial Countercurrent. Int. Centre Environm. Res., Laguna Beach, 72 pp.
- KNAUSS, J. 1960: Measurements of the Cromwell current. *Deep Sea Res.*, 6: 265-286.
- 1966: Further measurements and observations on the Cromwell current. *J. Mar. Res.*, 24: 205-240.
- MAGNIER, Y.; ROTSCHI, H.; RUAL, P.; COLIN, C. (in press): Circulation équatoriale dans le Pacifique occidental (170° E). in *Progress in Oceanography*, vol. 6, B. Warren ed.: Pergamon Press.
- MASUZAWA, J. 1967: An oceanographic section from Japan to New Guinea at 137° E, in January 1967. *Oceanogr. Mag.*, 19: 95-118.
- MERLE, J.; ROTSCHI, H.; VOITURIEZ, B. 1969: Zonal circulation in the tropical western Pacific at 170° E. *Bull. Japan Soc. Fish. Oceanogr., Special Number*, (Prof. Uda's commemorative papers): 91-98.
- MONTGOMERY, R. B.; WOOSTER, W. S. 1954: Thermosteric anomaly and the analysis of serial oceanographic data. *Deep Sea Res.*, 2: 63-70.
- MONTGOMERY, R. B.; STROUP, E. D. 1962: Equatorial waters and currents at 150° west, in July-August 1952. Johns Hopkins Oceanogr. Stud., No. 1, The Johns Hopkins Press, Baltimore, 68 pp.
- PANFILOVA, S. G. 1968: Water salinity of the Pacific Ocean. in *Hydrology of the Pacific Ocean*: Nauka, Moscow, 524 pp. (in Russian).
- REID, J. L. 1965: Intermediate waters of the Pacific Ocean. Johns Hopkins Oceanogr. Stud., No. 2, The Johns Hopkins Press, Baltimore, 85 pp.
- ROBINSON, M. K. 1969: Theoretical predictions of subtropical countercurrent confirmed by bathythermograph data. *Bull. Japan Soc. Fish. Oceanogr., Special Number* (Prof. Uda's commemorative papers): 115-122.
- ROTSCHI, H. 1968: Remontée d'eau froide et convergence à l'équateur dans le Pacifique occidental. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 167: 1459-1462.
- ROTSCHI, H.; HISARD, P.; RUAL, P. 1968: Observations de deux fronts thermiques dans le Pacifique équatorial occidental. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 266: 1465-1468.
- ROTSCHI, H.; WAUTHY, B. 1969: Remarques sur le courant de Cromwell. *Cahier ORSTOM ser. Oceanogr.*, III, 2: 27-43.
- SVERDRUP, H. W.; JOHNSON, M. W.; FLEMING, R. H. 1942: The oceans; their physics, chemistry and general biology. Prentice-Hall, New York, 1087 pp.
- VINOGRADOV, M. E.; GITELZON, I. I.; SOROKIN, YU. I. 1970: The vertical structure of a pelagic community in the tropical ocean. *Mar. Biol.*, 6: 187-194.
- WYRTKI, K. 1967a: Circulation and water masses in the eastern equatorial Pacific Ocean. *Int. J. Oceanol. Limnol.*, 1: 117-147.
- 1967b: Oceanographic observations during the Line Islands expedition, February-March 1967. Hawaii Institute of Geophysics, HIG 67-17, 35 pp.
- YOSHIDA, K.; KIDOKORO, T. 1967: A subtropical countercurrent (II)—A prediction of eastward flows at lower subtropical latitudes. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 23: 231-246.



# An Attempt to Determine the Time of Death of the Catches during Long-line Fishing

J. PAGES

Centre ORSTOM de Nouméa, New Caledonia

## Abstract

Body temperatures of tuna caught by long line were measured at different locations. The pattern of heat distribution was observed on "live" and "dead" fishes. An attempt was made to determine the rate of cooling and its relation to time, ambient temperature, and body measurements. A further attempt was made to determine the depth of capture from the temperature.

## INTRODUCTION

In studies on the biology of tuna, one question is the time of the day at which the peak of feeding activity occurs. The knowledge of the time of capture and/or death on long-line hooks would solve the problem.

Various methods were considered. The hard struggle of fishes on a hook modifies the chemical characteristics of the flesh and muscle to such an extent that the normal tests (blood CO<sub>2</sub> or pH, ATP content of the muscle, glucose, etc.) are of no practical value. The methods employed to ascertain the freshness of fish flesh are

sufficiently sensitive for long-time periods only. A device triggered by the fish itself, which would give the elapsed time, was built, but was not practical in the normal, rough handling conditions during long-line operations.

The body temperature of tuna is known to be higher than that of the surrounding water; and since the cooling of a body is used in forensic observation, this could be an answer to the problem (Barrett and Hester 1964; Konagaya *et al.* 1969; Uda 1941).

## MATERIAL AND METHODS

The fishes were caught by long line during various cruises in the New Hebrides - Loyalty Islands area. Only yellowfin (*Thunnus albacares*) (YF), albacore (*Thunnus alalunga*) (AL), and big-eye (*Thunnus obesus*) (BE) were considered in this study. Most of them weighed about 20 kg.

Immediately after hauling on board, the still-living fish were killed by a blow on the head; the others were recorded as "dead" or "dead, stiff" (i.e., presenting rigor mortis). The temperatures were measured as soon as possible, with a Y.S.I. Telethermometer n° 42.SC,

fitted with a stainless steel probe YSI n° 418, 25-cm long. The location of the measurements is given in fig. 1.

The variation of temperatures with elapsed time was followed on three individuals: "14" and "15" were yellowfins, "8" an albacore; all of them, weighing about 20 kg, had been hauled still living, and died shortly afterwards on the deck. They were immersed in a trough containing sea water, the temperature of which, while not regulated, was lowered, at the start of the experiment, by the addition of ice. The temperature along several radii was measured by sinking the probe to the vertebrae and withdrawing it one centimetre at a time.

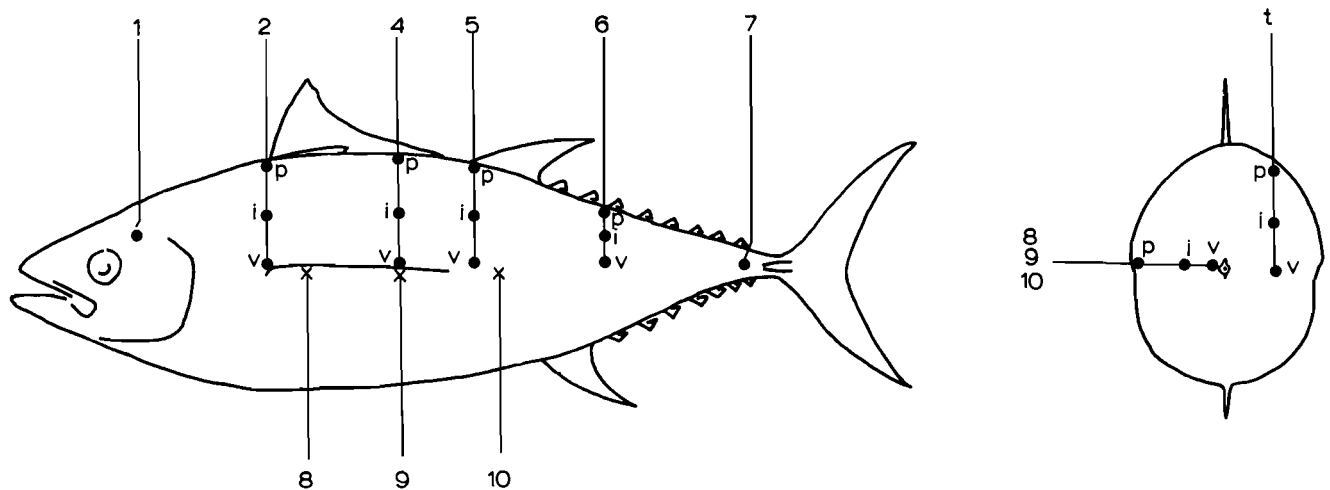


FIG. 1. Location of the points of temperature measurements.

## RESULTS AND DISCUSSION

### PATTERN OF TEMPERATURE THROUGHOUT THE BODY

One of the main difficulties was to assess the state of the fish. The arbitrary division between "live", "dead", and "stiff" is rather crude and relies upon external characters only; as we have seen, at least once, the heart of a "stiff" tuna still beating (whether the prodding of the knife initiated some systoles, or otherwise), we must consider that the classes we used are probably confused by individual variations.

In the "live" fishes, the pattern, taken as the difference between the temperature at a given point and the lowest temperature of a particular fish, establishes itself as shown in table 1. The points of measurement were too widely spread to enable us to find the pattern observed by Carey and Teal (1969). As far as an

average through such a population is significant, and keeping in mind that the accuracy of the measurements is in the range 0.2–0.4°C, we can see that:

1. Head and tail have approximately the same, and lowest, temperature;
2. In yellowfins, the skin is also cool;
3. Albacores have a warmer body (the maximum, 32°C, was observed in an 18 kg albacore).

In the "dead" and "stiff" fishes, the pattern changes towards a greater homogeneity, with individual transitions between the two main patterns (see table 2). Further, there is a general rise of the relative temperature of the skin, probably due to the hauling through warmer surface water.

TABLE 1. Temperature Pattern of "Live" Fishes, taken as Mean Difference ("Relative" Temperature) between Temperature at a given Point and Lowest Temperature Observed in the same Fish

|       | 1  | 7   | 2   |     |     | 4   |     |     | 5   |     |     | t,4,5 |     |     | 9   |     |     | 10  |     |     |
|-------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|       |    |     | v   | i   | p   | v   | i   | p   | v   | i   | p   | v     | i   | p   | v   | i   | p   | v   | i   | p   |
| YF .. | .. | 0.0 | 0.5 | 2.7 | 2.1 | 0.5 | 2.8 | 2.6 | 0.5 | 3.1 | 2.2 | 0.4   | 3.0 | 1.9 | 0.3 | 2.9 | 2.8 | 0.8 | ..  | ..  |
| Al .. | .. | 0.5 | 0.2 | ..  | ..  | ..  | 4.2 | 3.1 | 1.5 | 6.0 | 5.6 | 1.3   | ..  | ..  | ..  | 3.7 | 3.3 | 2.2 | ..  | ..  |
| BE .. | .. | 0.8 | 0.0 | 1.7 | 0.6 | 0.8 | ..  | ..  | ..  | 1.4 | 0.4 | 0.5   | ..  | ..  | ..  | 3.0 | 4.0 | 2.7 | 1.6 | 1.8 |

TABLE 2. Temperature Pattern of "Dead" and "Stiff" Fishes, taken as Mean "Relative" Temperature

|       | 1  | 7   | 2   |     |     | 4   |     |     | 5   |     |     | t,4,5 |     |     | 9   |     |     | 10  |     |     |
|-------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|       |    |     | v   | i   | p   | v   | i   | p   | v   | i   | p   | v     | i   | p   | v   | i   | p   | v   | i   | p   |
| YF .. | .. | 0.4 | 0.7 | 0.6 | 1.0 | 0   | 1.6 | 1.4 | 1.2 | 3.0 | 0   | 1.0   | 0.7 | 0.8 | 0.2 | 1.5 | 1.2 | 2.1 | ..  | ..  |
| Al .. | .. | 0.2 | 0.6 | 1.0 | 1.2 | 2.5 | 0.8 | 0.5 | 1.4 | 3.0 | 1.0 | 1.8   | 1.4 | 1.2 | 2.1 | 0.9 | 0.5 | 1.3 | 1.6 | 1.2 |
| BE .. | .. | 0.0 | 1.1 | ..  | ..  | ..  | 1.6 | 0.1 | 1.4 | ..  | ..  | ..    | 3.1 | 1.1 | 1.6 | ..  | ..  | ..  | ..  | ..  |



## TEMPERATURE VARIATION WITH TIME

We tried to determine a relation between the temperature of the flesh at given point and time ( $\theta_i$ ), the ambient ( $\theta_e$ ), the time elapsed ( $t$ ) and the thickness of flesh ( $x$ ) between the considered point and the skin. The theoretical handling of the problem has eluded us, especially since there is a pre-existent gradient. The shape of the graphs (figs. 2 and 3) hinted at an expo-

ponential form; however, a plot of  $\frac{\Delta\theta}{\Delta t}$  versus  $(\theta_e - \theta_i)/x \cdot t$

yielded too widely scattered points, and the precise law cannot be expressed.

It is, however, possible to see that:

1. The rate of cooling is also a function of the depth and temperature of the flesh beneath the considered point, and is greater for a smaller overall diameter;
2. The rate of cooling is small. Under 9 cm ( $3\frac{1}{2}$  in.) of flesh, it varies from  $-0.4^\circ\text{C/hr}$  to  $-1.1^\circ\text{C/hr}$ , with  $(\theta_e - \theta_i)$  in the range of  $3-5^\circ\text{C}$ . If we consider the maximum average difference observed ( $6^\circ\text{C}$ ), a fish would need at least 6 hours to cool down to ambient; a more probable maximum value would be 10 hours.
3. Under 4 cm of flesh, the rate of cooling is approximately  $-1.0$  to  $-1.5^\circ\text{C/hr}$  with  $\theta_e - \theta_i = 2.0$  to  $3.0^\circ\text{C}$ . Since the line is hauled at a speed of 100 m/min. the tail stem and occipital muscles should maintain their temperature during the ascent.

## DEPTH OF CAPTURE

The form taken by a line in the water can be worked out theoretically (Bourret, pers. comm.). The depths of the hooks are shown to vary to a great extent with the distance between two consecutive buoys. This distance can be difficult to ascertain at sea, and the drift can further modify the form of the line.

As seen above, we could consider that the head or tail temperature, or the overall minimum temperature of a given fish, mirrors the in situ temperature if the fish has been dead for 1 hour. By comparison with a B.T. diagram, we should have the depth of capture of the animal (" $z_\theta$ " on fig. 4).

However, the results of both methods present a heavy discrepancy, even after considering the various possible sources of error (inaccuracy of the temperature measurement by both thermocouple and BT., etc.), and we have no means yet to decide which of the two methods is the more reliable.

## CONCLUSIONS

More data, and more precise ones, would be necessary for the accurate knowledge of the rate of cooling. But the individual and specific variations must be better

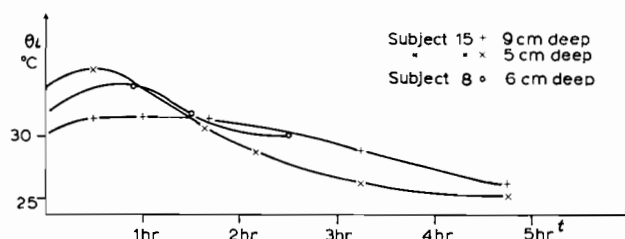


FIG. 2. Absolute temperature evolution.

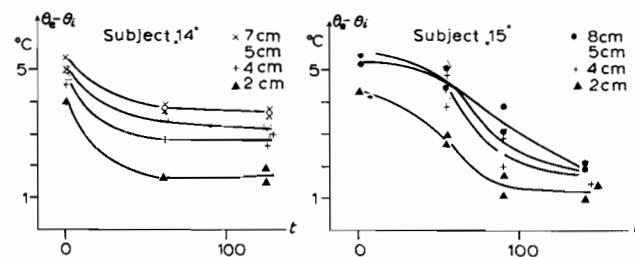
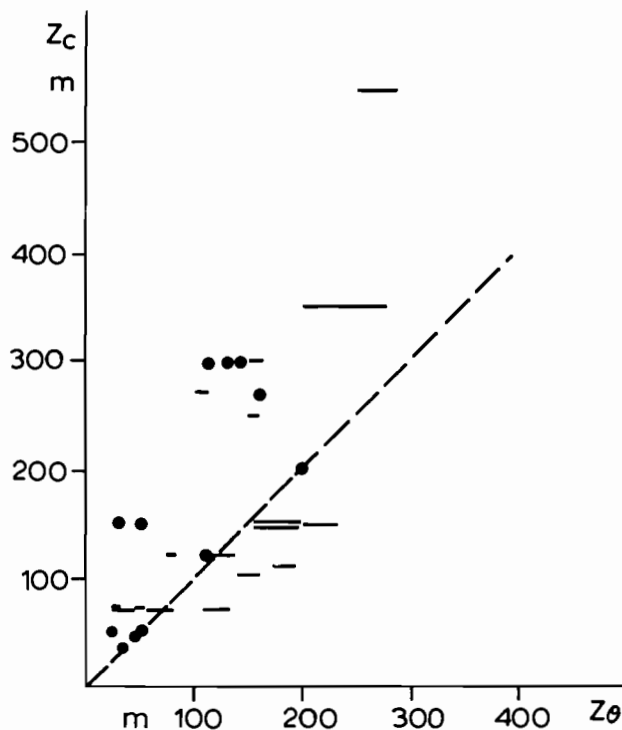


FIG. 3. Relative temperature evolution, at different depths beneath the skin.

FIG. 4. Comparison of depths of hooks.  $Z_\theta$ : derived from the temperature of the catches.  $Z_c$ : theoretical, from the supposed form of the line.

## REFERENCES

- BARRETT, I.; HESTER, F. J. 1964: Body temperature of yellowfin and skipjack tunas in relation to sea surface temperature. *Nature Lond.*, 203: 96-7.
- CAREY, F. G.; TEAL, J. M. 1969: Regulation of body temperature by the bluefin tuna. *Comp. Biochem. Physiol.*, 28: 205-13.
- KONAGAYA, S.; YAMABE, K.; AMANO, K. 1969: On body temperatures of tunas at the time of haulage. *Bull. Jap. Soc. scient. Fish.*, 35/4: 410-16.
- UDA, M. 1941: The body temperature and the bodily features of "Katuo" and "Sanma" (transl.). *Spec. scient. Rep. U.S. Fish. Wildl. Serv., Fisheries*, 51: 18-24.



# Biological Investigations of Some Important Species of Euphausiacea (Crustacea) from the Equatorial and South Tropical Pacific

C. ROGER

Centre ORSTOM de Nouméa, New Caledonia

## Abstract

Despite the misty picture obtained for the seasonal size structure of pelagic populations from warm water high sea regions, where reproductive processes are nearly permanent, some suggestions can be proposed about the life cycles of *Thysanopoda tricuspidata*, *T. monacantha*, *T. aequalis*, *Nematoscelis tenella*, and *Euphausia diomedae* inhabiting the Central Equatorial Pacific.

All these five species appear to have a longevity of 1 year approximately (10 to 15 months); sexual maturity is reached as soon as 8–10 months, but females seem to participate in only one spawning period and die soon after. The corresponding mean monthly growth in total length is 1 to 2 mm depending on species. The rapid cycle and early maturity are counterbalanced by a low fecundity, 24 to 80 according to species.

It is suggested that small epipelagic species, subjected permanently to very high temperatures (20–25°C), could present even more rapid cycles than the species here considered, which belong to the mesopelagic migrant type.

## INTRODUCTION

Very little is known until now about the biological features which concern pelagic populations inhabiting warm waters. This lack of information appears to be due to the fact that tropical high sea regions are at once far away from research laboratories and need

frequent investigation because of the very low magnitude of their temporal fluctuations.

With respect to Euphausiids from the intertropical Pacific, almost nothing is known about their growth rate, longevity, or fecundity.

## MATERIAL AND METHODS

The research has been carried out in the equatorial currents of the Pacific, this system being a dynamic entity which provides a good probability to find again the same population during successive cruises.

The material comes from 109 stations occupied by the r.v. *Coriolis* from the Centre ORSTOM de Noumea (New Caledonia) during 5 cruises performed in October and December 1968, February, July, and September 1969. All the tows have been made at night with a 10-ft Isaacs-Kidd Midwater Trawl, obliquely from the surface to a depth of at least 250 m, 89 of them being deeper than 550 m. The location of the stations lies between 135° W and 155° W on the Equator.

The sexual characteristics of the different species will be defined for most of them, but the research on the biological cycles, which involves a large stock of animals, will concern only those satisfactorily sampled by the IKMT, namely:

*Thysanopoda tricuspidata* (7013 specimens).

*Thysanopoda monacantha* (2031 specimens).

*Thysanopoda aequalis* (2747 specimens).

*Nematoscelis tenella* (1806 specimens).

*Euphausia diomedae* (42,740 specimens).

The search for the vital cycles is based on the temporal evolution of the age (size) structure of the populations and that of the percentage of mature females.

TABLE 1. Equivalence between size groups, mean individual wet weight in mg (first number) and length from the tip of the rostrum to the tip of the telson in mm (second number). Each value represents the mean of the least 10 measures, except those placed between brackets.

| Species                        | Size Groups |          |           |          |           |           |           |          |
|--------------------------------|-------------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|
|                                | 3.5         | 3.0      | 2.5       | 2.0      | 1.6       | 1.2       | 0.9       | 0.7      |
| <i>T. cristata</i> .. .. .     | 744/ —      | (181)/ — | 95/ —     | (50)/ —  | (16)/ —   | ..        | ..        | ..       |
| <i>T. tricuspidata</i> .. .. . | —/ 33       | 116/ 30  | 85/ 26    | 65/ 21   | 38/ 17    | 17/ (13)  | 5/ 10     | —/ 9     |
| <i>T. orientalis</i> .. .. .   | 421/(37)    | 209/ 33  | 127/ —    | 63/ —    | 36/ —     | (20)/ —   | (8)/ —    | (2)/ —   |
| <i>T. monacantha</i> .. .. .   | 287/ 35     | 196/ 30  | 100/ 24   | 59/ 19   | 35/(16)   | ..        | (13)/ (9) | ..       |
| <i>T. pectinata</i> .. .. .    | 377/ 34     | 240/(32) | 130/ 25   | 72/ 20   | (48)/ 18  | ..        | ..        | ..       |
| <i>T. obtusifrons</i> .. .. .  | ..          | (171)/ — | ..        | (79)/ —  | ..        | ..        | ..        | ..       |
| <i>T. aequalis</i> .. .. .     | ..          | ..       | 70/ 20    | 53/ 18   | 34/ 16    | 18/ 13    | 6/ 9      | (1)/ (7) |
| <i>T. egregia</i> .. .. .      | (1162)/ —   | ..       | ..        | (54)/ —  | (28)/ —   | ..        | ..        | ..       |
| <i>S. carinatum</i> .. .. .    | ..          | ..       | ..        | ..       | ..        | ..        | 3/ 8      | 2/ 7     |
| <i>S. abbreviatum</i> .. .. .  | ..          | ..       | (44)/(19) | 40/ 18   | 24/ 15    | 14/ 12    | 6/ 9      | 2/ —     |
| <i>S. maximum</i> .. .. .      | 238/ —      | 153/(29) | 95/ 24    | 56/ 21   | 32/ 18    | 15/ 13    | (9)/(10)  | ..       |
| <i>S. elongatum</i> .. .. .    | ..          | ..       | ..        | ..       | ..        | 11/(13)   | 7/ —      | (2)/ —   |
| <i>S. longicorne</i> .. .. .   | ..          | ..       | ..        | ..       | (17)/ —   | 12/(10)   | 6/ 9      | 2/ (7)   |
| <i>S. affine</i> .. .. .       | ..          | ..       | ..        | ..       | ..        | 4/ —      | 3/ 7      | 2/ 7     |
| <i>E. diomedae</i> .. .. .     | ..          | ..       | (38)/(19) | 35/ 18   | 29/ 16    | 19/ 13    | 9/ 9      | 3/ 7     |
| <i>E. paragibba</i> .. .. .    | ..          | ..       | ..        | (28)/ —  | 26/ 17    | 18/ 14    | 8/ 10     | (3)/ (8) |
| <i>E. tenera</i> .. .. .       | ..          | ..       | ..        | ..       | ..        | (11)/ —   | 4/ 9      | 3/ 8     |
| <i>E. gibboides</i> .. .. .    | ..          | ..       | —/ 25     | ..       | ..        | ..        | ..        | ..       |
| <i>N. tenella</i> .. .. .      | ..          | ..       | (55)/ 24  | 40/ 23   | 31/ 19    | 20/ 16    | 9/ 14     | 3/ —     |
| <i>N. microps</i> .. .. .      | ..          | (90)/ —  | 62/(23)   | 49/ 20   | 32/ 17    | 16/ 15    | 8/ 10     | 4/ 8     |
| <i>N. gracilis</i> .. .. .     | ..          | ..       | ..        | —/ 17    | 23/ 16    | 14/ 14    | 9/ 12     | ..       |
| <i>N. flexipes</i> .. .. .     | ..          | ..       | —/ 24     | (65)/ 20 | (30)/ 18  | —/ 15     | (8)/ 11   | ..       |
| <i>N. sexspinosus</i> .. .. .  | (305)/ —    | 184/ —   | ..        | (36)/ —  | (34)/ —   | ..        | ..        | ..       |
| <i>N. boopis</i> .. .. .       | (201)/ —    | 144/(27) | 102/(23)  | 66/(20)  | 37/(18)   | 21/(13)   | (9)/ —    | ..       |
| <i>B. amblyops</i> .. .. .     | (218)/ —    | 141/(24) | 86/ 23    | (58)/ 21 | (36)/(17) | (19)/(13) | (10)/(11) | ..       |

The age distribution of the populations has been defined by dividing each sample into eight size groups obtained through the use of the method devised by Roger and Wauthy (1968), in which the animals are separated according to their thoracic diameter (in millimetres). The correspondence between size groups and individual mean length and wet weight is shown in table 1. It appeared that, for each species, the age histograms were almost similar for the five cruises, this being due to the fact that the selection of the net completely concealed the weak fluctuations of the size distributions.

To reveal the existence of these variations, the percentage of each size group in the different series must be referred to its mean annual percentage in the samples (here termed as "relative abundance" of the size groups), the modal size classes becoming then obvious.

The ovarian maturation has been described, and separated into four main stages (fig. 1):

Stage I: The ovary is thin, the numerous transparent tiny eggs being all of the same size;

Stage II: The eggs of the central part of the ovary become larger but remain transparent; the peripheric ones do not develop and are still at a stage I structure;

Stage III: The central eggs continue to grow, become polygonal in shape because of their packing, and lose



FIG. 1. Stages in ovarian maturation (I to IV, from right to left).

their transparency. At this stage, the ovary looks like an opaque mass bounded by a fringe of small transparent undeveloped eggs;

Stage IV: The larger eggs attain a considerable volume, recover a subspheric shape, and become transparent again; their opaque nucleus is most perceptible. The thoracic part of the animal appears very often inflated because of the volume of the full grown ovary.

## SEXUAL CHARACTERISTICS OF THE SPECIES

### FECUNDITY

Fecundity is here defined as the mean number of large eggs in the stage IV ovary. Table 2 indicates the values found for 11 species.

It appears that the fecundity of these tropical species is very low compared to that of temperate ones in which the mature ovary contains several hundreds of

ripe eggs; this low fecundity is evidently counterbalanced by a more rapid reproductive cycle, as we will see later.

### SIZE AT MATURITY

Table 3 shows the distribution of the females among the different ovarian stages according to their size group. For the smaller species, none of the specimens

TABLE 2. Fecundity, after at least 10 measures for each species

| Species                            | Number of Large Eggs in the Stage IV Ovary |         | Percentage of Stage IV Ovary Weight Related to Total Weight of Animal (wet weight) |
|------------------------------------|--------------------------------------------|---------|------------------------------------------------------------------------------------|
|                                    | Mean (fecundity)                           | Extreme |                                                                                    |
| <i>Thysanopoda cristata</i> ..     | 40                                         | 20-76   | 8.7                                                                                |
| <i>T. tricuspidata</i> ..          | 40                                         | 20-82   | 5.4                                                                                |
| <i>T. orientalis</i> ..            | 54                                         | 38-74   | 9.3                                                                                |
| <i>T. monacantha</i> ..            | 54                                         | 32-72   | 9.5                                                                                |
| <i>T. pectinata</i> ..             | 54                                         | 30-82   | 5.8                                                                                |
| <i>T. aequalis</i> ..              | 24                                         | 16-31   | 8.5                                                                                |
| <i>Nematobranchion flexipes</i> .. | 19                                         | 12-39   | 8.3                                                                                |
| <i>N. boopis</i> ..                | 9                                          | 4-12    | 9.2                                                                                |
| <i>Bentheuphausia amblyops</i> ..  | 3.5                                        | 1-7     | 8.7                                                                                |
| <i>Euphausia diomedae</i> ..       | 80                                         | ..      | ..                                                                                 |
| <i>Nematoscelis tenella</i> ..     | 65                                         | 50-80   | ..                                                                                 |

TABLE 3. Ovarian maturity for the different size groups

| Species                   | Number of Specimens | Size Groups | Ovarian Stages |        |         |        |
|---------------------------|---------------------|-------------|----------------|--------|---------|--------|
|                           |                     |             | St. I          | St. II | St. III | St. IV |
| <i>T. cristata</i> ..     | 84                  | 3.5         | %              | %      | %       | %      |
|                           |                     | 5.0         | 89             | 9      | 2       | 0      |
|                           |                     | 6.0         | 0              | 36     | 28      | 36     |
| <i>T. tricuspidata</i> .. | 985                 | 2.5         | 0              | 8      | 21      | 71     |
|                           |                     | 3.0+3.5     | 14             | 48     | 30      | 7      |
| <i>T. orientalis</i> ..   | 184                 | 3.0         | 0.4            | 42     | 43      | 15     |
|                           |                     | 3.5         | 47             | 9      | 9       | 6      |
| <i>T. monacantha</i> ..   | 356                 | 3.0         | 3              | 15     | 18      | 62     |
|                           |                     | 3.5         | 17             | 41     | 25      | 17     |
| <i>T. pectinata</i> ..    | 178                 | 2.5         | 3              | 30     | 28      | 38     |
|                           |                     | 3.0         | 100            | 0      | 0       | 0      |
|                           |                     | 3.5         | 63             | 11     | 24      | 0      |
| <i>T. aequalis</i> ..     | 678                 | 2.0         | 3              | 25     | 59      | 9      |
|                           |                     | 2.5+3.0     | ..             | 61     | 18      | 20     |
| <i>N. boopis</i> ..       | 340                 | 2.5         | ..             | 32     | 21      | 48     |
|                           |                     | 3.0+3.5     | 8              | 19     | 35      | 31     |
| <i>E. diomedae</i> ..     | 4006                | 1.6         | 7              | 11     | 29      | 53     |
|                           |                     | 2.0+2.5     | ..             | 58     | 42      | ..     |
| <i>N. tenella</i> ..      | 1077                | 1.6         | ..             | 33     | 67      | ..     |
|                           |                     | 2.0+2.5     | ..             | 75     | 15      | 10     |
| <i>E. gibboides</i> ..    | 200                 | 2.0         | ..             | 50     | 35      | 15     |
|                           |                     | 2.5         | ..             | 29     | 62      | 10     |
|                           |                     | 3.0         | ..             | 16     | 64      | 20     |
| <i>N. flexipes</i> ..     | 212                 | 2.0         | ..             | 40     | 22      | 38     |
|                           |                     | 2.5+3.0     | ..             | 55     | 11      | 34     |
| <i>B. amblyops</i> ..     | 101                 | 2.0         | ..             | 33     | 8       | 59     |
|                           |                     | 2.5         | ..             | 57     | 15      | 29     |
|                           |                     | 3.0+3.5     | ..             | 17     | 4       | 79     |
|                           |                     |             | ..             | 2      | 8       | 90     |

NOTES—(1) The sum of the percentages for the ovarian stages is lower than 100% when the maturity of some individuals has not been determined.

(2) For *N. tenella*, "stage IV" corresponds here to the females carrying external eggs.

collected were immature (no stage I); for *E. diomedae*, no stage IV corresponding to the description previously established has been observed. With the aid of table 1, one can obtain an idea of the percentage of mature females of each species for the different size classes.

#### FECUNDATION

Fecundation is an almost permanent process in inter-tropical areas, as shown in table 4: at any season, nearly

all the mature females (stage IV) carry one or two spermatophores. The ratio of impregnated females decreases toward the immature stages, but remains very high even for stages III and II. These facts confirm the continuity of reproduction in tropical zones.

#### SEX RATIO

The ratio males/females appears to be hardly connected with the life cycle, perhaps partly because of the

TABLE 4. Percentages of females carrying spermatophores in the different size groups and ovarian stages

| Species                      | Size Groups | Ovarian Stages |        |         |        | Mean |
|------------------------------|-------------|----------------|--------|---------|--------|------|
|                              |             | St. I          | St. II | St. III | St. IV |      |
| <i>T. cristata</i> * .. ..   | 3.5         | 0              | 66     | 100     | ..     | 10   |
|                              | 5.0         | ..             | 75     | 100     | 100    | 92   |
|                              | 6.0         | ..             | 100    | 100     | 100    | 100  |
|                              | Mean        | 0              | 78     | 100     | 100    | ..   |
| <i>T. tricuspidata</i> .. .. | 2.5         | 17             | 83     | 96      | 96     | 79   |
|                              | 3.0+3.5     | ..             | 98     | 99      | 100    | 99   |
|                              | Mean        | 17             | 87     | 97      | 98     | ..   |
| <i>T. orientalis</i> .. ..   | 3.0         | 0              | 33     | 100     | 100    | 22   |
|                              | 3.5         | 0              | 88     | 100     | 100    | 98   |
|                              | Mean        | 0              | 73     | 100     | 100    | ..   |
| <i>T. monacantha</i> .. ..   | 3.0         | 0              | 99     | 100     | 100    | 83   |
|                              | 3.5         | 0              | 100    | 100     | 100    | 97   |
|                              | Mean        | 0              | 99     | 100     | 100    | ..   |
| <i>T. pectinata</i> .. ..    | 2.5         | 0              | ..     | ..      | ..     | 0    |
|                              | 3.0         | 14             | 78     | 100     | ..     | 41   |
|                              | 3.5         | 50             | 95     | 98      | 100    | 96   |
|                              | Mean        | 9              | 90     | 98      | 100    | ..   |
| <i>T. aequalis</i> .. ..     | 2.0         | ..             | 99     | 99      | 100    | 99   |
|                              | 2.5+3.0     | ..             | 99     | 100     | 100    | 99   |
|                              | Mean        | ..             | 99     | 99      | 100    | ..   |
| <i>N. boopis</i> .. ..       | 2.5         | 0              | 81     | 91      | 100    | 84   |
|                              | 3.0+3.5     | 0              | 53     | 88      | 100    | 85   |
|                              | Mean        | 0              | 70     | 90      | 100    | ..   |
| <i>E. diomedae</i> .. ..     | 1.6         | 0              | 88     | 94      | 100    | 90   |
|                              | 2.0+2.5     | ..             | 100    | 100     | 100    | 100  |
|                              | Mean        | 0              | 90     | 94      | 100    | 91   |

\*Few specimens available.

TABLE 5. Male-female ratio according to size

| Species                      | Number of Individuals | Size Groups | Males | Females |
|------------------------------|-----------------------|-------------|-------|---------|
| <i>T. cristata</i> .. ..     | 197                   | 3.5         | 54    | 46      |
|                              |                       | 5.0         | 78    | 22      |
|                              |                       | 6.0         | 25    | 75      |
| <i>T. tricuspidata</i> .. .. | 1935                  | 2.5         | 51    | 49      |
|                              |                       | 3.0+3.5     | 34    | 66      |
| <i>T. orientalis</i> .. ..   | 384                   | 3.0         | 70    | 30      |
|                              |                       | 3.5         | 22    | 78      |
| <i>T. monacantha</i> .. ..   | 692                   | 3.0         | 57    | 43      |
|                              |                       | 3.5         | 37    | 63      |
| <i>T. pectinata</i> .. ..    | 378                   | 2.5         | 52    | 48      |
|                              |                       | 3.0         | 57    | 43      |
|                              |                       | 3.5         | 51    | 49      |
| <i>T. aequalis</i> .. ..     | 1073                  | 2.0         | 45    | 55      |
|                              |                       | 2.5+3.0     | 8     | 92      |
| <i>N. boopis</i> .. ..       | 490                   | 2.5         | 46    | 54      |
|                              |                       | 3.0+3.5     | 6     | 94      |
| <i>E. diomedae</i> .. ..     | 4754                  | 1.6         | 17    | 83      |
|                              |                       | 2.0+2.5     | 1     | 99      |
| <i>N. tenella</i> .. ..      | 1117                  | 1.6         | 4     | 96      |
|                              |                       | 2.0+2.5     | 1     | 99      |
| <i>E. gibboides</i> .. ..    | 365                   | 2.0         | 52    | 48      |
|                              |                       | 2.5         | 48    | 52      |
|                              |                       | 3.0         | 29    | 71      |
| <i>N. flexipes</i> .. ..     | 457                   | 2.0         | 63    | 37      |
|                              |                       | 2.5+3.0     | 45    | 55      |
| <i>B. amblyops</i> .. ..     | 155                   | 2.0         | 53    | 47      |
|                              |                       | 2.5         | 37    | 63      |
|                              |                       | 3.0+3.5     | 20    | 80      |

failure of representative sampling. Table 5 indicates that, for Euphausiids, females reach a larger size than males, the sex ratio being higher in the smaller size groups. For the smaller species, the IKMT collects almost

exclusively the females. This fact results in the necessity of taking into account the sizes of animals considered for the sex ratio analysis.

## LIFE CYCLES OF SOME SPECIES

The data concerning the five selected species being treated in the same way, the details will be given only for the first one; for the other species, the results will be directly provided.

## THYSANOPODA TRICUSPIDATA

The evolution of the size structure of the population between September 1968 and September 1969, represented by the relative abundance ("‰ m ‰") of the size groups at each season, is depicted in fig. 2, together with the percentage of mature females (ovarian stage IV).

The way of connecting the modal classes from one season to the following one appears quite evident. The reproductive activity seems high between October 1968 and April 1969, except for a decline in January-February: the adult stock is abundant, with a noticeable proportion of mature females, and relatively large numbers of juveniles are present after December. These young specimens become mature by September-October 1969 and will participate to the next reproductive period. On the contrary, sexual activity remains comparatively low between May and September.

From this scheme, one can propose the following characteristics for *T. tricuspidata*:

(a) The individuals would become mature at 1 year old, and would spawn only once (no large females at post-spawning stage have been observed), so that the longevity would not be longer than 13–14 months for females, and probably less than 12 months for males.

(b) The growth curve would be approximately as shown on fig. 3, the mean increment in total length reaching 2 mm a month. The mean individual age, length, and wet weight are indicated in table 6.

TABLE 6. Growth of *T. tricuspidata*

| Size Groups | Age (months) | Total Length* (mm) | Wet Weight (mg) |
|-------------|--------------|--------------------|-----------------|
| 0.7         | 1            | 9                  | (approx. 2)     |
| 0.9         | 2            | 10                 | 5               |
| 1.2         | 3.5          | 13                 | 17              |
| 1.6         | 5            | 17                 | 38              |
| 2.0         | 7            | 21                 | 65              |
| 2.5         | 9            | 26                 | 85              |
| 3.0         | 11.5         | 30                 | 116             |
| 3.5         | 13           | 33                 | (approx. 250)   |

\*Tip of the rostrum to the tip of the telson.

## THYSANOPODA MONOCANTHA

The data obtained for this species suggest a strong analogy between its life cycle and that of *T. tricuspidata*. September-October and January-March appear to be the periods of the maximum intensity of reproduction, separated by a decrease in November-December; the sexual activity is low between April and August. The spawning occurs for the 1-year-old females, whose longevity would be approximately 15 months; the males probably live no longer than 12 months. The mean monthly growth reaches 2 mm in total length. The mean individual age, length, and weight are shown in table 7.

TABLE 7. Growth of *T. monacantha*

| Size Groups | Age (months) | Total Length (mm) | Wet Weight (mg) |
|-------------|--------------|-------------------|-----------------|
| 0.7         | 1            | 8                 | 3               |
| 0.9         | 2            | 9                 | 13              |
| 1.2         | 3.5          | 13                | 20              |
| 1.6         | 6            | 16                | 35              |
| 2.0         | 8            | 19                | 59              |
| 2.5         | 10.5         | 24                | 100             |
| 3.0         | 12.5         | 30                | 196             |
| 3.5         | 14           | 35                | 287             |

## THYSANOPODA AEQUALIS

The picture obtain for this species is much less clear than for the previous ones, this being due to an almost permanent reproductive activity resulting in the confusion of the successive modal classes. As far as it is possible to detect some of these, the longevity would be 10–12 months, corresponding to a mean monthly growth of 1.2 mm in total length. It appears probable that females become mature at 9–10 months and die soon after their single spawning period. Table 8 indicates the growth characteristics.

TABLE 8. Growth of *T. aequalis*

| Size Groups | Age (months) | Total Length (mm) | Wet Weight (mg) |
|-------------|--------------|-------------------|-----------------|
| 0.7         | 0.5          | 7                 | 1               |
| 0.9         | 2            | 9                 | 6               |
| 1.2         | 3.5          | 13                | 18              |
| 1.6         | 6            | 16                | 34              |
| 2.0         | 9            | 18                | 53              |
| 2.5         | 12           | 20                | 70              |

## NEMATOSCELIS TENELLA

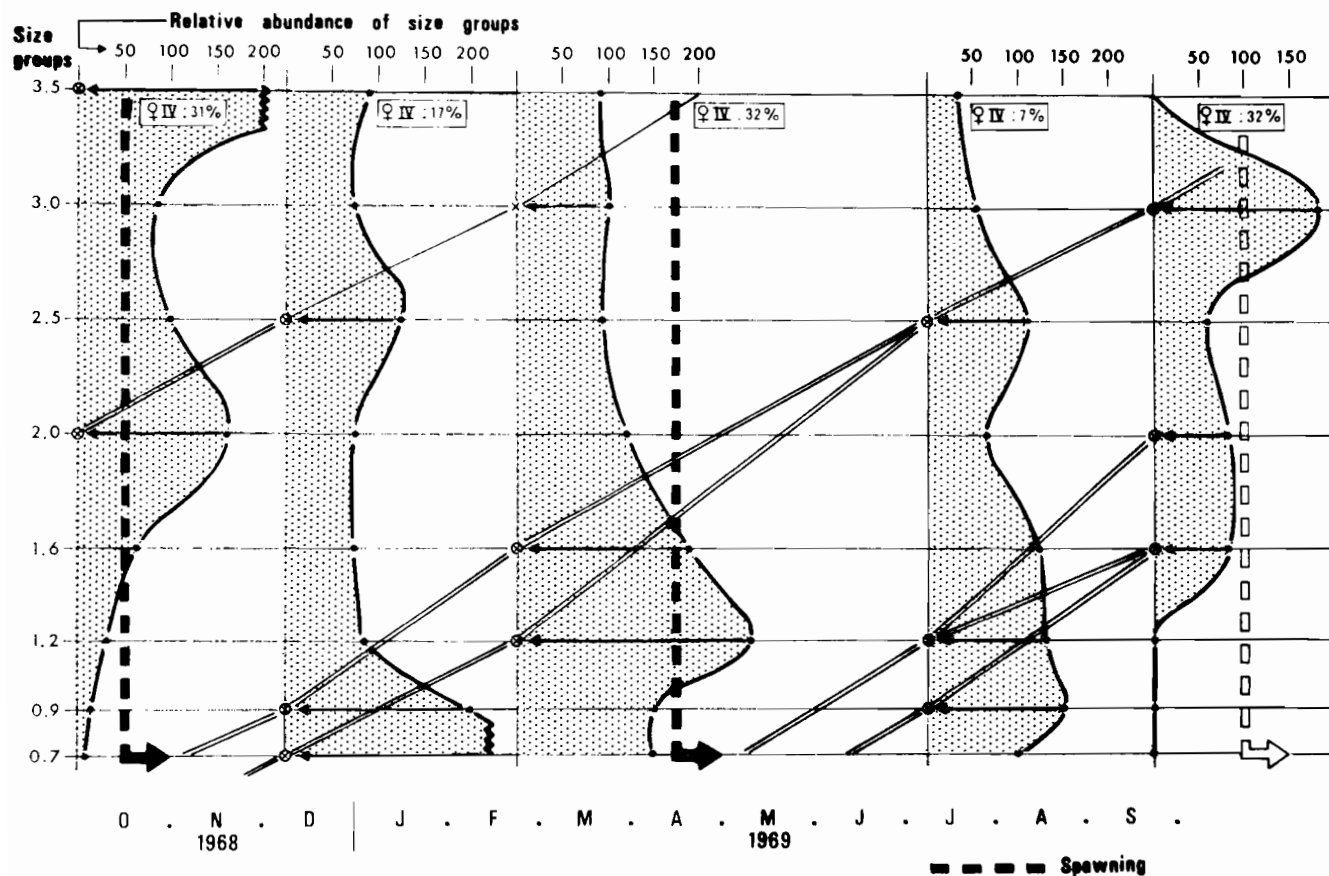
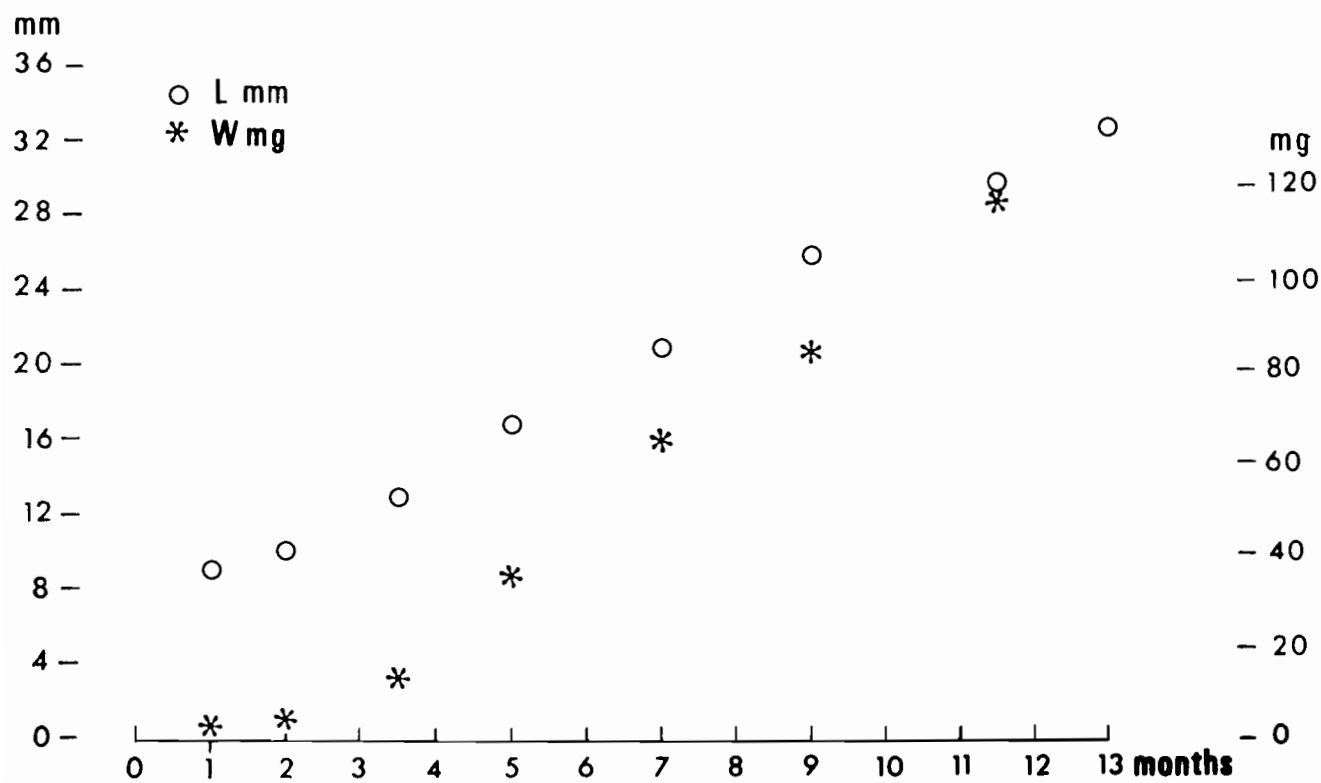
As for the other species of this genus, the eggs are carried by the female after spawning. The percentage of females carrying eggs remains almost constant all the year round, so that the reproductive activity can be considered as nearly invariable in the Equatorial Pacific. Despite this handicap, an evolution of modal classes has been detected, and leads to suggest a mean monthly growth of 1.6 mm in total length; the longevity would be 11–13 month. The growth features are shown in table 9.

TABLE 9. Growth of *N. tenella*

| Size Groups | Age (months) | Total Length (mm) | Wet Weight (mg) |
|-------------|--------------|-------------------|-----------------|
| 0.7         | 1            | 8                 | 3               |
| 0.9         | 1.5          | 14                | 9               |
| 1.2         | 3            | 16                | 20              |
| 1.6         | 5            | 19                | 31              |
| 2.0         | 7.5          | 23                | 40              |
| 2.5         | 11           | 24                | 55              |

## EUPHAUSIA DIOMEDAE

This species is by far the most abundant one in the Equatorial Pacific; however, the nearly equal level of

FIG. 2. Life cycle of *T. tricuspidata*.FIG. 3. Growth of *T. tricuspidata*.



reproductive activity leads to a confusing picture in which it is hard to isolate the different generations. Yet a slight decrease in August–September allows to follow the growth of the next generation, from which one can suggest that the longevity would not exceed 12 months and the mean monthly increase of total length 1 mm. Sexual maturity of females would occur at the age of 10 months approximately. Table 10 indicates the equivalence between size, weight, and age.

TABLE 10. Growth of *E. diomedae*

| Size Groups | Age (months) | Total Length (mm) | Wet Weight (mg) |
|-------------|--------------|-------------------|-----------------|
| 0.7         | 0.5          | 7                 | 3               |
| 0.9         | 2.5          | 9                 | 9               |
| 1.2         | 5            | 13                | 19              |
| 1.6         | 8            | 15                | 29              |
| 2.0         | 11           | 18                | 35              |

## DISCUSSIONS AND CONCLUSIONS

The great difficulties encountered in the biological investigations performed in tropical areas arise mainly from the weakness of the fluctuations of the reproductive processes, considered as the consequence of a constant warm environment (Hansen 1910, Mauchline 1968, Mauchline and Fisher 1969) to which is added the problem of locating the same pelagic population during the successive sampling (Mauchline 1960). Most of the previous studies carried out until now on pelagic Euphausiids concern cold or temperate regions such as North Pacific, Japan Sea, and Barents Sea (Zelickman 1958 and 1960, Drobysheva 1963, Ponomareva 1963, Smiles and Percy 1971), Antarctic Ocean (Ruud 1932, Fraser 1936, Bargmann 1937 and 1945, Marr 1962, Baker 1959, Ivanov 1970) or North Sea and North Atlantic (McDonald 1928, Einarsson 1945, Adams 1966, Mauchline 1960, 1966, and 1968, Jones 1969). Some features of early development of tropical Euphausiids have still been proposed by Ponomareva (1969).

The schemes suggested in this paper for five tropical and equatorial species imply that:

- (1) The modal classes observed are representative of the real age structure of the populations.
- (2) The same population has been sampled in the course of the different cruises.
- (3) The development of the individuals is sufficiently slow, so that a complete change of generation did not

occur between two successive cruises.

If these conditions are fulfilled, one can propose for the five species studied the following features:

- (1) Longevity is approximately 1 year (10 to 15 months).
- (2) Sexual maturity is reached as soon as about 9 months.
- (3) Each female participates in only one reproductive period, and dies soon after spawning (some weeks).
- (4) For any species, the reproductive activity of the population as a whole appears almost permanent but can eventually present some fluctuations in intensity.
- (5) The fecundity is low (24 to 80 ripe eggs in the stage IV ovary for the 5 species) but is counterbalanced by a more rapid cycle.
- (6) Table 11 summarises the information obtained.

Finally, two remarks have to be made:

- (1) The five species studied are all mesopelagic (Roger, 1971), their diurnal biotope being deeper than 300 m (temperature less than 10–12°C). It is likely that small epipelagic species (*E. tenera*, *Stylocheiron carinatum*, *S. affine*, etc.), inhabiting permanently warm subsurface layers (20–25°C), present more rapid cycles.
- (2) As the characteristics of the environment influence the biology of the animals, the same species as those here considered may follow different cycles in other geographic areas.

TABLE 11. Characteristics of Reproduction, Growth, and Longevity of Five Species in the Equatorial Central Pacific

| Species                      | Fecundity<br>(number of ripe eggs<br>in the stage IV ovary) | Period<br>of Maximum<br>Reproductive Activity   | Mean Monthly<br>Increment in Total Length<br>(mm) | Longevity (months) |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------|
| <i>T. tricuspidata</i> .. .. | 40                                                          | October–December                                | 2.0                                               | 12–14              |
| <i>T. monacantha</i> .. ..   | 54                                                          | March–April                                     | 2.0                                               | 13–15              |
| <i>T. aequalis</i> .. ..     | 24                                                          | September–October                               | 1.2                                               | 10–12              |
| <i>N. tenella</i> .. ..      | 65                                                          | January–March                                   | 1.6                                               | 11–13              |
| <i>E. diomedae</i> .. ..     | 80                                                          | Permanent, perhaps lower<br>in July–August      | 1.0                                               | 11–13              |
|                              |                                                             | Permanent .. ..                                 |                                                   |                    |
|                              |                                                             | Permanent, perhaps lower<br>in August–September |                                                   |                    |

## REFERENCES

- ADAMS, J. A. 1966: Population studies of the Euphausiids of the Northern North Sea. 2nd Int. Congr. Moscow 1966. Abstracts of papers, p. 5.
- BAKER, A. DE C. 1959: Distribution and life history of *Euphausia triacantha*. *Discovery Rep.* 29: 309–340.
- BARGMANN, H. E. 1937: The reproductive system of *Euphausia superba*. *Discovery Rep.* 14: 325–350.
- . 1945: The development and life history of the adolescent and adult krill *Euphausia superba*. *Discovery Rep.* 23: 103–176.
- DROBYSHEVA, S. A. 1963: Recherches sur la biologie des Euphausiacés dans la partie sud de la mer de Barentz. *Ann. Biol., Copenhagen* 18: 62–63 (1961).

- EINARSSON, H. 1945: Euphausiacea. I: Northern Atlantic species. *Dana Rep.* 27: 1-185.
- FRASER, F. C. 1936: On the development and distribution of the young stages of Krill (*Euphausia superba*). *Discovery Rep.* 14: 1-192.
- HANSEN, H. J. 1910: The schizopoda of the Siboga expedition. *Siboga Exped.* 37: 1-123.
- IVANOV, B. G. 1970: On the biology of the Antarctic Krill *Euphausia superba*. *Mar. Biol.* 7 (4): 340-351.
- JONES, L. T. 1969: Continuous plankton records: studies on the zooplankton east of Newfoundland and Labrador, with particular reference to the euphausiid *Thysanoessa longicaudata* (Krøyer). *Bull. mar. Ecol.* VI (8): 275-300.
- MCDONALD, R. 1928: The life history of *Thysanoessa raschii*. *J. mar. biol. Ass. U.K.* 15: 57-79.
- MARR, J. W. S. 1962: The natural history and geography of the Antarctic Krill *Euphausia superba*. *Discovery Rep.* 32: 33-464.
- MAUCHLINE, J. 1960: The biology of Euphausiid crustacean *Meganyctiphanes norvegica*. *Proc. Roy. Soc. Edin.* (B). 67 (2): 141-179.
- 1966: The biology of *Thysanoessa raschii* with a comparison of its diet with that of *Meganyctiphanes norvegica*. pp. 493-510 in Barnes, H. (ed.), "Some contemporary studies in marine science." George Allen and Unwin Ltd., London.
- 1968: The development of the eggs in the ovaries of Euphausiids and estimation of fecundity. *Crustaceana* 14 (2): 155-163.
- MAUCHLINE, J.; FISHER, L. R. 1969: The biology of Euphausiids. *Adv. mar. Biol.* 7: 454 pp.
- PONOMAREVA, L. A. 1963: Euphausiids of the North Pacific, their distribution and ecology. *Trud. Inst. okeanol.* (Translated 1966 by Israel Programme for Scientific Translations-IPST Cat. No. 1368.) 154 pp.
- 1969: Investigations on some tropical Euphausiid species of the Indian Ocean. *Mar. Biol.* 3 (2): 81-6.
- ROGER, C. 1971: Distribution verticale des Euphausiacés (crustacés) dans les courants équatoriaux de l'océan Pacifique. (Vertical distribution of euphausiids (crustaceans) in the equatorial currents of the Pacific Ocean.) *Mar. Biol.* 10 (2): 134-44.
- ROGER, C.; WAUTHY, B. 1968: Sur une technique de détermination de groupes de tailles applicable à l'étude de certains organismes planctoniques. *J. Cons.* 32 (2): 216-25.
- RUUD, J. T. 1932: On the biology of southern Euphausiidae. *Hvalrad. Skr.* 2: 1-105.
- SMILES, M.; PEARCY, W. G. 1971: Size structure and growth rate of *Euphausia pacifica* off the Oregon coast. *Fish. Bull. U.S.* 69 (1): 79-86.
- ZELICKMAN, E. A. 1958: On gonad maturation and female productivity in species of Euphausiids abundant in the Barents Sea. *Dokl. Akad. Nauk. SSSR.* 118: 201-4.
- 1960: On the ecology of reproduction of Euphausiacea in the South-Eastern Barents Sea. *C.M. Plankton Committee-Cons. Explor. Mer.* 126, 7 pp.



PROCEEDINGS  
OF THE  
BIOLOGICAL SOCIETY OF WASHINGTON

---

*HARPIOSQUILLA INTERMEDIA*, A NEW  
STOMATOPOD CRUSTACEAN FROM  
NEW CALEDONIA

BY RAYMOND B. MANNING AND ALAIN MICHEL  
*Smithsonian Institution, Washington, D.C. 20560,*  
*and O.R.S.T.O.M., Centre de Noumea, New Caledonia*

The stomatopod described below was collected by one of us (A.M.) in the course of field work carried out as part of a long-range study of the stomatopods of the Central Pacific Ocean. Inasmuch as our planned study of the adults will be delayed for some time, we decided to prepare a preliminary description of the new species.

We thank Lilly K. Manning for the illustrations.

*Harpiosquilla intermedia*, new species

Figures 1, 2*b*

**Material:** 2♂, 160-200 mm; 2♀, 208-209 mm; Baie de Ducos, New Caledonia; mud bottom, 6 meters; December 1970; A. Michel: ♂, 200 mm, is holotype, USNM 141791; ♀, 209 mm, is paratype, USNM 141792; other two specimens deposited at the O.R.S.T.O.M. Centre de Noumea, New Caledonia.

**Description:** Size large, total length of 200 mm or more. Antennular peduncle slightly shorter than carapace. Cornea (Fig. 2*b*) large, corneal indices 275 to 346 in specimens with carapace lengths of 33.0 mm to 44.3 mm, respectively. Rostral plate (Fig. 1*a*) longer than broad, apex rounded, lacking apical projection. Carapace with median carina. Dactylus of claw with 8 teeth, outer margin with obtuse prominence in males. Upper margin of propodus of claw with 1 or 2 smaller spines and several minute denticles between largest spines. Fifth thoracic somite rounded laterally (Fig. 1*b*). Posterior 3 thoracic somites with submedian and intermediate carinae, none armed. Ventral keel of eighth thoracic somite broadly rounded. All 6 abdominal somites with submedian carinae, abdominal carinae spined as follows: submedian 6, intermediate 2-6, lateral 1-6, marginal 1-5. Median carina of telson inflated in males, marginal carina of telson (Fig. 1*c*) about twice as long as

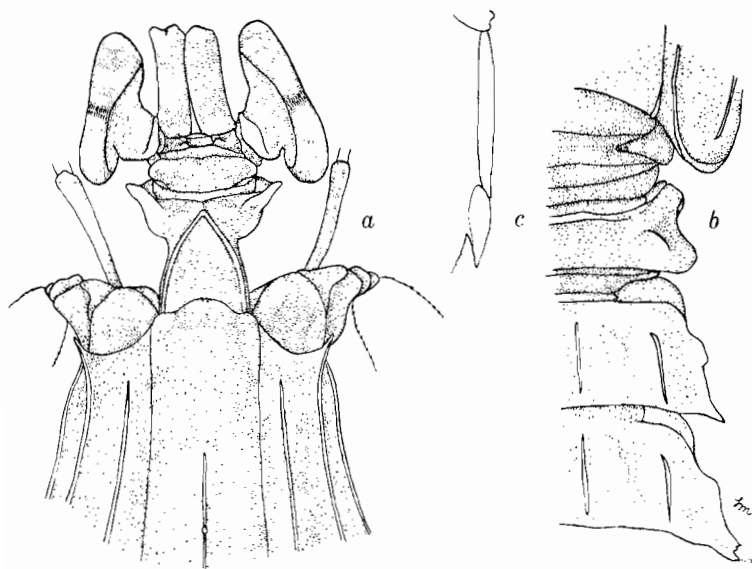


FIG. 1. *Harpiosquilla intermedia*, new species, male holotype: *a*, anterior portion of body; *b*, lateral processes of exposed thoracic somites; *c*, outline of lateral and marginal carinae of telson.

lateral carina. Postanal keel of telson extending about halfway from anus to posterior margin. Inner half of distal segment of uropodal exopod dark.

**Color:** Anterior margins of lateral plates, median posterior margin, and carinae and grooves of carapace lined with dark pigment. Propodus of claw with dark distal spot. Posterior 3 thoracic and all abdominal somites with dark posterior line. Submedian and intermediate carinae of carapace dark. Telson with pair of small, oval black spots anteriorly. Distal segment of uropodal exopod with inner half dark, distal half of endopod dark.

General aspect of living specimens whitish yellow. Propodus of claw with yellowish distal spot. Carinae and posterior margin of posterior 3 thoracic and all abdominal somites olive green. Telson with median, lateral, and marginal carinae olive green, with pair of oval black spots anteriorly, and with series of minute black spots posteriorly convergent on each side of median carina. Distal segment of uropodal exopod with inner half olive green and outer half light blue, distal half of basal prolongation and endopod olive green.

**Measurements:** Male holotype, total length 200 mm: carapace length 39.4 mm; cornea width 12.3 mm; rostral plate length 6.8 mm, width

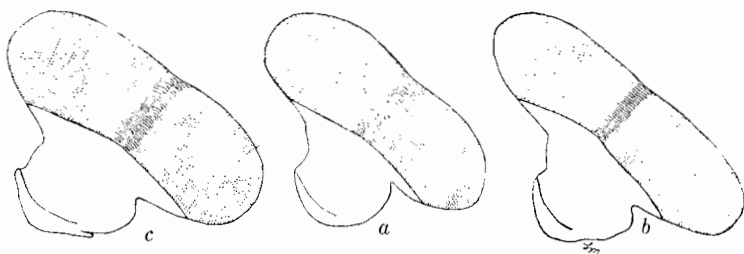


FIG. 2. Eyes of: *a*, *H. japonica* Manning, male paratype, total length 165 mm (USNM 125718); *b*, *H. intermedia*, new species, male holotype, total length 200 mm; *c*, *H. stephensoni*, male paratype, total length 272 mm (USNM 125720).

4.9 mm; raptorial propodus length 53.4 mm; telson length 34.0 mm, width 33.8 mm.

**Remarks:** This is the third species of *Harpiosquilla* to be recognized in which the rostral plate lacks a slender anterior projection. The two species previously described with a short rostral plate are *H. japonica* Manning, 1969, from Japan and *H. stephensoni* Manning, 1969, from Australia. The new species resembles *H. japonica* and differs from *H. stephensoni* in having 8 teeth on the dactylus of the claw, and agrees with *H. stephensoni* but differs from *H. japonica* in having a posterior spine on the intermediate carinae of the second abdominal somite. It differs from both species in three features: the rostral plate is longer than broad; the cornea is much slenderer (compare the eyes of each of the three species shown in Figure 2); and the marginal carina of the telson is comparatively longer (Fig. 1c), about twice as long as the carina of the lateral tooth.

Although the shape of the cornea is different in the three species, the corneal indices overlap broadly.

**Etymology:** The specific name is from the Latin, and alludes to the relationship of the new species to *H. japonica* and *H. stephensoni*, in terms of both morphology and geographical distribution.

#### LITERATURE CITED

- MANNING, RAYMOND B. 1969. A review of the genus *Harpiosquilla* (Crustacea, Stomatopoda), with descriptions of three new species. Smithsonian Contrib. Zool., No. 36:1-41, figs. 1-43.



# NOTE SUR QUELQUES BECS DE CÉPHALOPODES TROUVÉS DANS L'ESTOMAC D'UN REQUIN-TIGRE

P. RANGUREL

*Océanographe biologiste de l'O.R.S.T.O.M.*

## RÉSUMÉ

*Des mandibules supérieures de Calmars trouvées dans l'estomac d'un jeune Requin-Tigre capturé près des Iles Loyautés (Nouvelle-Calédonie et dépendances) présentent toutes des traces, causées vraisemblablement par les dents du requin au moment de la capture. Ces « becs » paraissent, avec de fortes probabilités, appartenir au genre Histiotenthis. De l'orientation des traces de dents sur les becs des hypothèses sont faites sur la position du calmar au moment de sa capture par le Requin, qui n'a exercé sur eux qu'une pression ménagée.*

## ABSTRACT

*Upper mandibles of Squids found in stomach contents of a young Tiger Shark caught near Loyally Islands (New Caledonia area), present traces probably made by teeth of shark at the moment of the capture. These « beaks » appear, with strong probabilities, to belong to the genus Histiotenthis.*

*From the bearings of the teeth traces on beaks, hypothesis are made upon the squid position at the instant of their capture by the shark, which has exerted on them only a moderate pressure.*

Les contenus stomacaux des grands poissons pélagiques sont parfois extrêmement intéressants en ce qu'ils peuvent fournir des échantillons d'une faune qui n'est jamais, ou rarement, capturée par les filets traditionnels, trop petits et trop lents. Il est bien connu par exemple, que nombre d'espèces de Céphalopodes n'ont été récoltées qu'à partir d'estomacs de prédateurs.

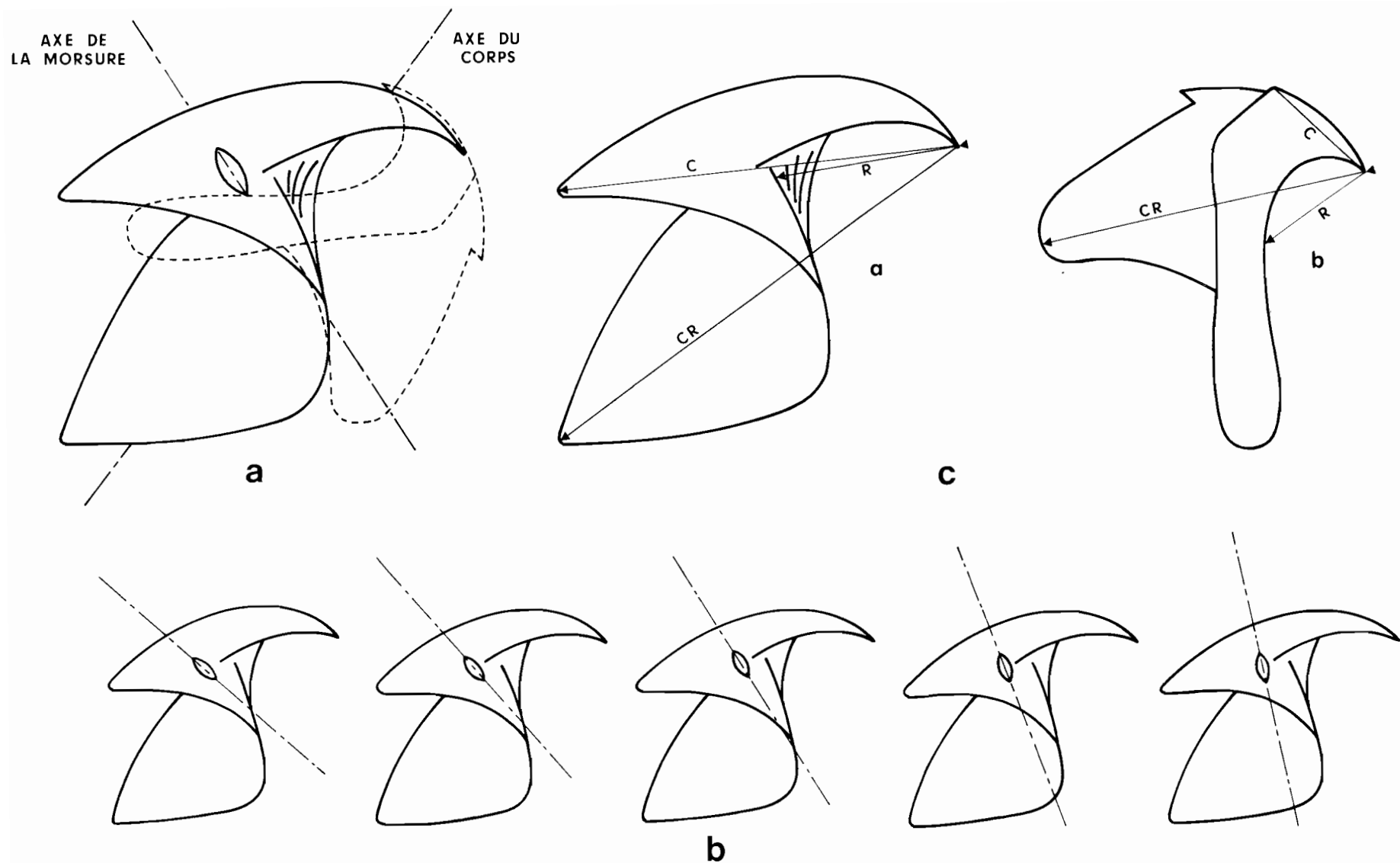
Au cours de pêches à la longue ligne entre la Nouvelle-Calédonie et les îles Loyauté (20°51' S-167°07' E), le N/R Coriolis ramena le 5 juin 1971 un petit *Galeocerdo cuvieri* Lamarck de 3.00 m de longueur totale pris à un hameçon à Thon pêchant

à une centaine de mètres de profondeur et à quelques milles des côtes sud-ouest de Lifou, au-dessus de profondeurs d'un millier de mètres et au voisinage de dénivellations plus importantes.

Son contenu stomacal, récolté par mon collègue P. FOURMANOIR, ne contenait, en dehors de l'appât, que 5 mandibules supérieures et 2 mandibules inférieures d'assez grande taille, ayant dû appartenir à des Céphalopodes d'une longueur relativement importante, mais dont toute trace des parties molles avait disparu.

De telles mandibules ne sont pas rares dans les estomacs de grands poissons et nous en avons



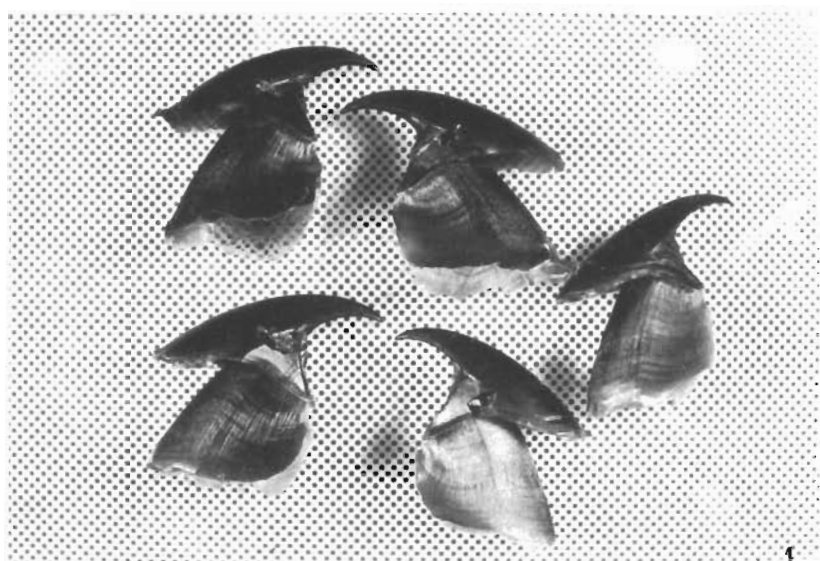


**a** \_ Mandibules en place dans le bulbe buccal  
En trait plein : mandibule supérieure,  
en pointillé : mandibule inférieure.

Axe des coups de dents sur les différents becs

**C** \_ MENSURATIONS : **a** = Mandibule supérieure  
**b** = Mandibule inférieure  
C \_ Longueur du capuchon  
R \_ " du rostre  
CR \_ " de la crête

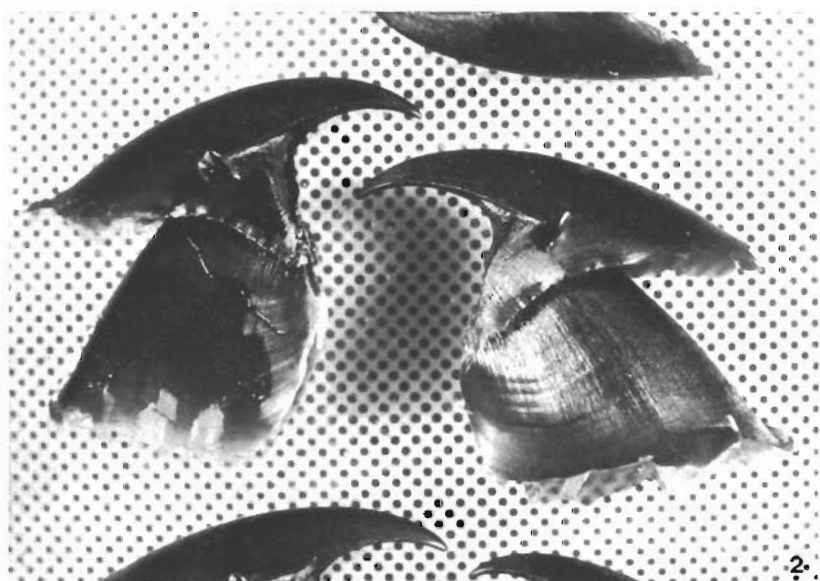
Fig. 1



1



3a



2



3b

Fig. 2.

BeCS récoltés dans le contenu stomacal de *Galeocerdo cuvieri*.

1. BeCS supérieurs. La flèche montre les perforations. — 2. Agrandissement de deux des becs précédents. — 3.a) Bec supérieur, b) bec inférieur. L'échelle est graduée en millimètres.

récolté chez d'autres requins de la région à plusieurs reprises, de même, bien entendu, que de façon habituelle, dans les contenus stomacaux de Thons, Marlins et Espadons. Leur présence dans l'estomac d'un Requin Tigre n'est donc pas exceptionnelle et ne justifierait pas la présente note si ces becs n'offraient une particularité curieuse : toutes les mandibules supérieures portent une marque qu'il ne semble pas possible d'attribuer à autre chose qu'à un coup de dent (pl. 1, fig. 1, 2). Ces marques se présentent, soit du côté gauche, soit du côté droit, d'un seul côté ou des deux côtés à la fois, comme un poinçonnage ovale en forme d'entonnoir, situé en arrière du rostre et au niveau de l'épaule. Le grand axe de la perforation est dirigé perpendiculairement à celui du rostre. Sur quelques becs, une face est perforée tandis que l'autre face ne porte qu'une strie légère.

Comment peut-on interpréter ces perforations et quelles remarques entraînent-elles ?

S'il ne semble pas douteux que ces marques proviennent du coup de dent du requin au moment de la capture du Céphalopode, on peut se demander pour quelles raisons ces traces se rencontrent toujours au même emplacement et sont orientées toujours de la même façon (fig. 1, b). Il est également curieux de noter que les becs de Céphalopodes récoltés chez des Téléostéens et même chez d'autres espèces de requins (*Pterolamiops longimanus*, *Prionace glauca*, *Carcharhinus falciformis*) ne présentent pas de telles marques. Le fait serait-il dû à la conformation particulière des dents du Requin Tigre ou à celle de son museau qui est très court et amène sa gueule presque à l'avant du corps ? Quoiqu'il en soit, la présence de telles marques sur ces becs de Céphalopodes permet de se demander dans quelles conditions elles ont pu être faites et pour quelles raisons elles l'ont été.

### Description des becs.

Parmi les becs recueillis dans les contenus stomacaux de Poissons pélagiques de la région ayant une longueur rostrale de la mandibule supérieure comparable à celle des becs fournis par le Requin Tigre, nous avons rencontré avec ou sans parties molles, les espèces suivantes : *Symplectoteuthis oualaniensis*, *Ommastrephes bartrami*, *Histioteuthis dofleini*, *Chiroteuthis* (*Piceti-Imperator*).

Les becs d'Ommastrephidae se distinguent très facilement de nos échantillons par la conformation particulière de l'épaule des mandibules supérieures et l'absence de côte pleine sur la mandibule inférieure. Ceux de *Chiroteuthis*, que nous avons rencontrés en assez grand nombre dans les contenus stomacaux de Yellowfins du Golfe de Papua, sont plus délicats

à distinguer, mais ils diffèrent par la bien plus grande longueur de la crête des mandibules supérieures et la grande surface de leurs parois latérales, ainsi que par la conformation des parois latérales de la mandibule inférieure qui ne présentent qu'une faible côte creuse. Quant aux mâchoires d'*Histioteuthis dofleini* elles sont également différentes comme on le verra ci-dessous.

Les mensurations et la terminologie ont été prises selon le schéma proposé par M. CLARKE ainsi que par K. MANGOLD et P. FIORONI, qui est très simple et en général fournit des mesures sans ambiguïtés. Seule celle du rostre est quelquefois sujette à caution et il est parfois difficile de fixer la limite de l'angle mandibulaire.

Mensurations des becs

|             | c    | cr   | r    | l    |
|-------------|------|------|------|------|
| Md.<br>sup. | 19,2 | 23,2 | 7,2  | 4,8  |
|             | 20,8 | 25,6 | 8,65 | 5,12 |
|             | 18,4 | 23,2 | 7,85 | 4,95 |
|             | 20,5 | 24,0 | 8,0  | 4,32 |
| Md.<br>inf. | 5,92 | 20,0 | 8,0  | 4,50 |

Mensurations exprimées en millimètres.

c = longueur du capuchon ; cr : longueur de la crête prise de son angle postérieur à la pointe du rostre (mandibule supérieure, r : longueur du rostre, de sa pointe au bord antérieur de l'aile, l : largeur du bec au niveau de l'angle mandibulaire.

— La mandibule est entièrement foncée, la seule différence de teinte provient de l'épaisseur des parois.

— Le capuchon, régulièrement incurvé, est large en arrière et légèrement godronné par les anneaux de croissance sur le dessus.

— Le rostre, fort, recourbé, se poursuit perpendiculairement à la direction du bord de l'aile sur le capuchon. Il forme avec la partie supérieure de la paroi latérale un « palais » concave, à bords horizontaux légèrement creusés en leur milieu.

— La paroi latérale, large, relativement courte en arrière, possède une base inférieure légèrement encochée en son milieu et avançant vers l'avant presque au niveau de l'aile. Sa surface est parcourue de fines stries d'attaches musculaires parallèles à la crête.

— L'aile triangulaire a son bord antérieur perpendiculaire au bord rostral ; l'épaule est pratiquement inexistante.

— L'angle mandibulaire est droit, avec un processus tranchant concave formant faux angle,

constitué par la partie antérieure de la paroi latérale. Ce processus, presque identique sur nos 5 mandibules, présente toutefois des aspérités provenant de la cassure de la paroi qui, sur des becs de moins grande taille, devait se projeter plus en avant.

### Mandibule inférieure.

Capuchon relativement allongé, formant un rostre aigu se prolongeant jusqu'à l'épaule. Sa liaison avec la paroi latérale, au niveau de l'angle mandibulaire, se fait selon un angle très ouvert ne montrant, examiné par l'intérieur, ni dent ni bouton.

Ailes allongées et peu larges.

Parois latérales larges, assez pointues à leur angle postérieur où se termine la côte médiane, plate, pleine et proéminente. Le bord supérieur de la paroi forme une légère échancrure au contact de la crête, dégageant ainsi l'arrière de la baguette crétairre indivise.

Les diverses caractéristiques de ces pièces, en particulier la présence d'une côte étroite et pleine sur la paroi latérale de la mandibule inférieure, l'absence de cartilage scapulaire, la forme de l'angle mandibulaire des deux mâchoires, le processus coupant du bec supérieur et l'aspect général de ces pièces m'inclinent à les attribuer à un *Histioteuthis*. Les pièces mandibulaires s'étant trouvées libres dans l'estomac du Requin, sans liaison entre bec supérieur et inférieur, nous ont incité à essayer de les déterminer séparément. Les comparaisons avec des becs de provenance certaine, et divers caractères, en particulier la présence d'une côte étroite et pleine sur une paroi latérale large, ainsi que l'absence de cartilage scapulaire pour la mandibule inférieure, la forme de l'angle mandibulaire des deux mâchoires, le processus tranchant du bec supérieur, me font penser qu'il s'agit bien des pièces d'un même bulbe buccal d'*Histioteuthis*.

Parmi les becs conservés dans la collection de l'O.R.S.T.O.M., seuls ceux de *H. dofleini* peuvent approcher en taille les échantillons étudiés. L'évolution ontogénique de la forme des becs de Céphalopodes a été très peu étudiée et il est très vraisemblable que des modifications de certaines parties se produisent, même après la maturité. Ainsi la forme de l'épaule et de l'angle mandibulaire varie probablement par usure de la paroi latérale, qui forme la partie tranchante de l'épaule. Ceci posé, *H. dofleini* a un bec supérieur possédant des parois latérales plus allongées, l'épaule est légèrement bombée, la côte latérale du bec inférieur est moins élevée, une faible dent se trouve à l'intérieur de l'épaule, sur l'angle mandibulaire.

Le Dr. GASKIN, à qui deux mandibules ont été envoyées et que je remercie ici de son aimable avis,

ne pense pas qu'il puisse s'agir de becs d'*Histioteuthis cookiana*, ces derniers étant, à son avis, plus petits. La paroi latérale du bec supérieur, courte, large à la base et s'avancant vers l'avant jusqu'à l'aplomb de l'aile, a une forte ressemblance avec celle des becs d'*H. meleagroteuthis*. Quant à *H. bonnellii* il n'a pas été signalé pour l'instant dans le Pacifique. Ainsi, dans l'état actuel de nos connaissances et de notre matériel, il n'est pas possible de pousser plus avant la détermination. Les 5 mandibules appartenaient toutes à des animaux de taille identique et il est vraisemblable qu'ils étaient réunis en banc; selon les graphes de CLARKE (1952) ils pouvaient peser environ 220 g, d'après la longueur rostrale de la mandibule inférieure.

### DISCUSSION.

Il semble tout d'abord étonnant qu'un Requin Tigre dont les goûts peu éclectiques vont, pour ceux pêchés par nous mêmes, des Poissons et Tortues, aux Serpents de mer en passant, dans les spécimens pêchés près des côtes et dans les ports, par des têtes de chèvres, de veaux, des rats, poulets et chiffons gras, se donne la peine de casser délicatement la tête du calmar en dosant l'effort de morsure jusqu'à ne pas sectionner le bulbe buccal. Ce comportement semble à première vue curieux, et l'on envisage plutôt chez un Requin Tigre l'engloutissement de la proie en une seule bouchée plutôt que des préliminaires destinés à la tuer délicatement. Il semble aussi très étonnant que ces becs soient tous marqués au même endroit d'une perforation identiquement orientée. La direction du grand axe de cette perforation est dirigée dorso-ventralement par rapport au bec lui même, c'est-à-dire orthogonalement au rostre. Il s'ensuit que cette trace devient perpendiculaire au plan frontal de l'animal (fig. 1, a) lorsque le bec est en place. Il paraît donc vraisemblable que le Requin ait attaqué les cinq Calmars en les saisissant par leurs côtés latéraux et que l'axe des animaux était perpendiculaire au bord de la mâchoire du Requin. Il est également loisible de penser qu'ils ont été saisis par leur partie antérieure, en fuyant le Requin par une nage rapide, la partie caudale dirigée vers l'avant.

Il reste maintenant à élucider les positions respectives du Requin et du Calmar au moment de la capture.

Le Calmar peut se présenter sous deux angles différents : l'axe de son corps pouvant être horizontal ou vertical. Dans le premier cas, son plan sagittal peut être également horizontal ou vertical, ce qui le présentera aux yeux du Requin comme nageant soit en position morphologique, le dos vers le haut,

soit sur le côté. Dans la seconde éventualité, il peut se présenter la tête dirigée vers le haut ou vers le bas.

Pour une question de vraisemblance et de répétition, si l'on admet que les plans sagittaux du Calmar et du Requin étaient respectivement perpendiculaires au moment de la capture, il paraît douteux que le second cas (le Requin poursuivant les Calmars à la verticale) ait pu se réaliser cinq fois consécutives. Il pourrait en être de même dans le premier cas lorsque le plan sagittal du Calmar est vertical. Dans cette éventualité, le Requin aurait dû effectuer un pivotement de 90° sur le côté pour saisir cette petite proie mobile. On peut l'envisager à la rigueur pour une capture, mais pour cinq, la répétition semble assez peu vraisemblable.

On est ainsi amené à placer les deux protagonistes de la manière suivante : Requin en position horizontale normale, poursuivant un Calmar fuyant en nage rapide couché sur le côté.

Cette position peut sembler paradoxale pour toutes les espèces de Céphalopodes presque parfaitement symétriques. Mais pourtant, la famille des *Histioteuthidae* présente en particulier une forte asymétrie de la tête et des globes oculaires. Diverses hypothèses ont été formulées sur la finalité d'une telle conformation. Peut-être les becs de Lifou pourraient-ils aider à la compréhension du comportement de cette famille.

Les auteurs qui se sont intéressés à la famille des *Histioteuthidae* n'ont pas manqué de faire remarquer l'asymétrie de la tête et l'espèce d'exophthalmie de l'œil gauche chez les animaux bien développés. Cette dissymétrie est accentuée par l'étalement des organes lumineux sur cette surface, plus étendue que celle de côté droit, et le plus souvent par une disposition différente des photophores périoculaires en nombre parfois plus réduit du côté gauche que du côté droit. BERRY (1920) estime que la différence de volume des deux yeux et la protrusion de l'œil gauche « which would seem to render it a physical impossibility for the animal to propel itself in a straight path without recourse to special movement or some violent sort of counter twisting » (p. 177-178), empêche l'animal de nager de façon rectiligne.

D'autres auteurs, VOSS (1969), DENTON (1968) y voient une adaptation particulière de la vision à la vie profonde.

Dans le numéro du mois de janvier 1971, du *National Geographic Journal*, RON CHURCH nous montre, page 125, une photo d'*Histioteuthis* prise à 600 m de profondeur (2000 pieds) au large de la Floride depuis le bord de *Deepstar*. Cet animal semble au repos, la tête dirigée vers le bas, les bras et tentacules repliés vers l'arrière de son corps, son œil gauche déglissé paraît regarder vers le haut.

Or, à 600 m quelle quantité de lumière peut « tomber » encore de la surface ?

Au fur et à mesure de sa pénétration dans la mer, la lumière voit progressivement s'éteindre ses couleurs en commençant par les deux extrémités du spectre et vers 200 mètres seules les radiations bleu-vert comprises entre 500 et 400 mμ sont encore présentes. CLARKE et BACKUS (1964) estiment que 1000 m est à peu près la profondeur maximale à laquelle des yeux peuvent encore utiliser la lumière provenant de la surface pour la vision, et cette lumière appartient aux longueurs d'ondes voisines de 5 200 Å.

Les travaux de DENTON ont montré que le cristallin des animaux profonds est en général transparent à toutes les radiations du spectre y compris l'ultra-violet, alors que la plupart des animaux épipélagiques ont des cristallins absorbant les radiations ultra-violettes et même les radiations bleues jusqu'à 430 mμ.

Pour DENTON et WARREN (1968) les yeux d'*Histioteuthis* présenteraient les particularités suivantes :

œil gauche :

- volume 2 à 3 fois supérieur à l'autre œil, en forme de poire,
- cristallin ayant une longueur focale relative, supérieure à la moyenne,
- cristallin, de couleur jaune, absorbant fortement le proche ultra-violet ainsi qu'une partie des radiations bleues;

œil droit :

- hémisphérique,
- cristallin transparent jusqu'au proche ultra-violet (310 mμ).

Ces auteurs en déduisent une adaptation de l'œil gauche à la vie près de la surface. Nous aurions ainsi un animal possédant un œil droit adapté à la vision crépusculaire profonde et un œil gauche destiné à la vie en lumière plus intense près de la surface.

Mais que sait-on de la zonation et des migrations verticales des *Histioteuthidae* ?

Très peu d'éléments sont en notre possession pour essayer d'avoir une vue précise sur les variations de distribution verticale dans cette famille. La plupart des pêches ont été effectuées à l'aide de filets ouverts qui ne peuvent renseigner que sur la profondeur probable maximale, à condition de pouvoir travailler sur de nombreux coups de filets et sur un matériel abondant, ce qui n'est pas du tout le cas ici.

Nos propres récoltes dans le Pacifique Central et Occidental (IKMT 10 pieds) n'ont jamais donné d'échantillons d'*Histioteuthis* juvéniles ou adultes (43 spécimens sur 776 stations) à une profondeur inférieure à 300 mètres de nuit et de 600 m de jour. Très peu d'adultes ont été capturés par nos filets, l'échantillon le plus grand étant un *H. dofleini* mâle de 100 mm de longueur palléale et dont le bec supérieur avait un capuchon d'une longueur de 14 mm.

A ma connaissance, les seuls résultats provenant de pêches effectuées à l'aide de filets fermants ont été publiés par M. CLARKE (1969) pour l'Atlantique tropical et C. ROPER (1970 et 1972) pour l'Atlantique ouest et la Méditerranée. Malheureusement, le matériel récolté, qui ne comprend que des individus juvéniles, est en quantité si faible qu'une vue d'ensemble solide de la zonation de la famille ne peut être entreprise, mais confirme les résultats antérieurs obtenus à l'aide de filets ouverts. Si certaines espèces, comme l'indique N. Voss (1962), ont tendance à fréquenter les zones profondes au-delà de 1000 mètres, d'autres se rencontrent dans les couches plus superficielles de la zone épipélagique et il est admis que l'on peut les rencontrer à partir de 50 mètres la nuit (ROPER 1972).

On doit noter que chez les jeunes, jusqu'à une longueur palléale d'environ 5 mm, les deux yeux ont un volume identique; ce n'est que plus tard que l'œil gauche acquiert une allométrie positive par rapport à l'œil droit.

Les *Histioteuthis* adultes entrant pour une bonne part dans l'alimentation des grands Cétacés (AKIMUSHIN, CLARKE, GASKIN...) les espèces les plus fréquemment rencontrées étant : *H. bonnellii*, *H. cookiana* (= *atlantica*), *H. meleagroteuthis*, *H. separata*. Ces Mammifères, qui peuvent plonger jusqu'à des profondeurs importantes pour se nourrir, peuvent capturer ces Céphalopodes dans une couche d'eau d'épaisseur importante, mais pas obligatoirement à une grande profondeur, et il n'est pas du tout improbable que certaines espèces ne remontent jusqu'à la surface la nuit. Mais le fait que de nombreux becs d'*Histioteuthis cookiana* aient été signalés dans l'estomac d'un Albatros géant (DELL 1951) pourrait être interprété comme une présence possible en surface, au moins le matin en fin de migration, l'Albatros ne plongeant pas. Mais cet oiseau aura fort bien pu récolter ces débris en surface, provenant de régurgitats de Cétacés ou de spécimens morts, flottants, comme il en a été trouvé à maintes reprises.

Quoiqu'il en soit, même la zone la plus superficielle pouvant être fréquentée par les *Histioteuthis* ayant subi leur métamorphose oculaire, est pénétrée par des rayons lumineux bleu-vert pouvant être utilisés par l'œil. Si l'on admet que la disproportion et les caractéristiques des yeux correspondent à une adaptation à deux modes de vision dans des conditions bathymétriques différentes et, que l'on rapproche de ces conclusions nos observations sur les becs de Lifou, on peut admettre la possibilité d'une orientation permanente ou temporaire de l'œil gauche vers le haut et de l'œil droit vers le bas. Les objets situés au-dessous du Calmar ressortent en clair sur fond sombre, tandis que ceux situés au-dessus de lui paraissent foncés sur fond plus clair, le cristallin jaune pouvant peut-être augmenter les contrastes de ces silhouettages. Cette orientation pouvant être réalisée, lors d'un repos vertical, par une inclinaison de la tête, et en nage de fuite par un allongement du corps à l'horizontale, l'œil gauche situé sur le dessus.

Il est en effet plus que probable que le Requin faisant irruption dans un banc d'*Histioteuthis*, a provoqué une réaction de panique parmi les Calmars et que les animaux s'enfuient à leur vitesse maximale. ZUEV (1966) indique que les Calmars (*Ommastrephes sagittatus*) enroulent leurs nageoires autour de leur corps, à l'occasion de nage rapide. Or, nous avons trouvé très souvent dans les estomacs d'*Alepisaurus* des calmars en très bon état de conservation présentant cet enveloppement du corps par les nageoires comme s'ils avaient été saisis en pleine course par le prédateur. Ceci n'implique pas nécessairement qu'*Alepisaurus* soit un nageur rapide mais prouve l'affolement de la proie devant le bond du prédateur.

En conclusion de ces réflexions provoquées par la marque de dents de Requin sur des becs de Céphalopodes paraissant appartenir au genre *Histioteuthis* se dégagent deux faits :

— Le Requin *Galeocerdo cuvieri* jeune peut se nourrir en pleine mer occasionnellement de Calmars. Ces Céphalopodes paraissent ne pas être avalés tels quels, mais tués par une morsure ménagée de la tête.

— Les *Histioteuthis*, dont la répartition verticale est très mal connue et dont les deux yeux semblent adaptés à des conditions de luminosité et d'intensité lumineuse différentes, pourraient dans certains cas, évoluer couché sur le côté droit, que ce soit au repos, ou lors d'une réaction de fuite devant le danger.

Manuscrit reçu au S.C.D. le 2 avril 1973.

## LITTÉRATURE CITÉE

- AKIMUSHKIN (I. I.), 1963. — Céphalopods of the seas of the USSR. *Akad. Nauk. SSR - Israel Prog. Sci. Transl. Jerusalem* 1965.
- BERRY (S. S.), 1920. — Light Production in Cephalopods II. *Biol. Bull.* **38** (4) : 177-178.
- CHUN (C.), 1910. — Die Cephalopoden — I teil — Oegopsida *Wiss. Ergeb. Deutsche Tiefsee Exp. « Valdivia »*. 18.
- CLARKE (G. L.) & BACKUS (R. H.), 1964. — Interrelations between the vertical migration of deep scattering layers, bioluminescence and changes in daylight in the Sea. *Bull. Inst. Oceanogr. Monaco*. 64-1318.
- CLARKE (M. R.), 1956. — Sperm whales of the Azores. *Discovery Rept.* **28** : 256-259.
- CLARKE (M. R.), 1962. — Stomach contents of a Sperm whale caught off Madeira in 1959. *Norsk. Hvalf Tid.* **5** : 173-191.
- CLARKE (M. R.), 1962. — The identification of Cephalopod « beaks » and the relation between beak size and total body weight. *Bull. Brit. Mus. N. H. (Zoology)* **8** (10) : 421-480, pl. 13-22.
- CLARKE (M. R.), 1969. — Cephalopods collected by the SOND Cruise. *J. mar. biol. Ass. UK.* **49** : 961-976.
- CLARKE (M. R.), 1972. — New Technique for the study of Sperm whale migration *Nature*. 238 : 405-406.
- DELL (R. K.), 1951. — A new species of Squid, *Histioteuthis cookiana* from New Zealand water. *Zool. Publ. Victoria Univ. Coll.* n° **14** : 1-6.
- DELL (R. K.), 1952. — The recent Cephalopoda of New Zealand. *Dom. Mus. Wellington* **16** : 1-157.
- DENTON (E. J.), 1956. — Recherches sur l'absorption de la lumière par le cristallin des Poissons. *Bull. Inst. Océanogr. Monaco*, 1071 : 1-10.
- DENTON (E. J.) & WARREN (F. J.), 1958. — Eyes of Histioteuthidae. *Nature* **219** : 5152, 400-401.
- GASKIN (D. E.) & CAWTHORN (M. W.), 1967. — Diet and feeding habits of the Sperm Whale (*Physeter catodon* L.) in the Cook Strait region of New Zealand. *NZ. J. Mar. Freshw.* **1** (2) : 156-179.
- GASKIN (D. E.) & CAWTHORN (M. W.), 1967. — Squid Mandibles from the stomachs of sperm whales (*Physeter catodon* L.) captured in the Cook strait region of New Zealand. *N.Z. J. Mar. Freshw.* **1** (1) : 59-70.
- GIBBS (H.) Jr. & ROPER (C.), 1970. — Ocean Acre, preliminary report on vertical distribution of fishes and Cephalopods. *Proc. Intern. Symp. Biol. Sound Scattering Ocean. Maury Center Ocean Sci. Dept. Navy. Washington*.
- MANGOLD (K.) & FIORONI (Pio), 1966. — Morphologie et biométrie des Mandibules de quelques Céphalopodes Méditerranéens. *Vie et Milieu*. **17** (3 A) : 1139-1196.
- RANCUREL (P.), 1970. — Les contenus stomacaux d'*Alepi-saurus ferox* dans le Sud-Ouest Pacifique. (Céphalopodes). *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.* **8** (4) : 1-87.
- ROPER (C. F. E.), 1972. — Ecology and vertical distribution of Mediterranean pelagic Cephalopods. *Mediterranean biol. Studies. Smiths. Inst. Washington* pt 5 : 212-246.
- VOSS (G. L.), 1967. — The biology and bathymetric distribution of deep sea Cephalopods. *Contrib. 803. Inst. Mar. Sci. Miami.* : 511-535.
- VOSS (N. A.), 1969. — A monograph of the Cephalopods of the North Atlantic. The family Histioteuthidae. *Bull. Mar. Sci.* **19** (4) : 713-867.
- ZUEV (G. V.), 1966. — Turbulent character of the flow around the squid. *Ommastrephes sagittatus* Lam. *Biol. Nauki Nauchi Dokl. Vys. Shk.* **1** : 16-17. *Transl. Sci.* **1003**. *Fish. Res. Bd. Canada*, 1968.







*Echouage de Cétacés, Mallicolo, Nouvelles-Hébrides.*

## QUELQUES ECHOUAGES DE CETACES SURVENUS DANS LE SUD-OUEST PACIFIQUE EN 1972

Par PAUL RANCUREL \*

L'immensité du Pacifique, ses myriades d'îles, d'îlots, d'atolls et de récifs, jointes à la faible densité relative d'occupation humaine ainsi qu'aux moyens de communication souvent inexistants, ont fait que jusqu'à ces dernières années l'information d'échouage d'animaux marins ne parvenait que difficilement aux organismes scientifiques compétents. Mais l'accroissement de la population, le développement des moyens d'information par transistors, la facilité des communications aériennes ont fait que des données concernant certains phénomènes marins arrivent maintenant jusqu'à ces milieux scientifiques. Mais ces informations cheminent encore lentement et souvent les laboratoires ne sont prévenus de ces phénomènes qu'assez longtemps après, alors que des observations extrêmement intéressantes et utiles auraient pu être réalisées s'ils en avaient été informés immédiatement.

\* Spécialiste de l'ORSTOM, Nouméa.

Cet état de choses provient en grande partie d'une absence de sensibilisation des populations côtières à ces accidents. Souvent pour elles, un échouage de cétacé est une chose étonnante mais naturelle, qui frappe l'imagination bien sûr, mais ne procède ni du sensationnel ni de l'exceptionnel. Et pourtant !

Nous sommes extrêmement mal informés d'une part des mammifères marins, gros et petits, qui fréquentent ces régions et nombreux sont ceux qui ne sont connus que par quelques crânes conservés dans des musées et qui sont considérés comme des raretés. Mais en sont-ils réellement ? Souvent cet état de choses ne correspond qu'à un manque d'informations comme nous le verrons ci-dessous.

D'autre part, les migrations et l'écologie même de ces animaux rares est inconnue et ce n'est que par des examens répétés à l'occasion d'échouages que l'on peut espérer faire avancer cette connaissance. C'est la raison pour laquelle la nouvelle d'un échouage doit être transmise le plus rapidement possible au service scientifique le plus proche pour permettre des observations précises et compétentes.

Depuis que l'ORSTOM-Nouméa s'est penché sur ces problèmes, une série d'échouages a été relevée et, chose curieuse, la majorité correspondait à des animaux rares (ce qui prouve bien la subjectivité du terme rare !).

Entre les mois de juin et juillet 1972 des personnes rencontrent échoué sur un plateau de corail à Poum (Nouvelle-Calédonie) un petit cétacé de 2 mètres environ. Ils prirent des photos qui furent remises de longs mois après au Professeur François Doumenge qui me les a communiquées. Il s'agissait d'un *Kogia simus*, petit cétacé très particulier et très mal connu qui a très souvent été confondu avec une espèce voisine *K. breviceps* qui atteint une taille plus importante. Ces deux espèces, qui semblent avoir une distribution mondiale ne sont connus que par une centaine d'exemplaires capturés ou échoués depuis 1971 !

Au mois d'août 1972 deux otaries s'échouèrent, l'une à Yaté, l'autre à l'île des Pins (Nouvelle-Calédonie). Celle de Yaté recueillie vivante a été soignée avec dévouement par le Dr. et Madame Catala et élevée pendant 9 mois à l'Aquarium de Nouméa où elle fit la joie des petits et des grands par son comportement joueur et "cabotin". Malheureusement elle mourut subitement en mars 1973 de façon encore inexplicable.

Le second spécimen est arrivé mort sur la plage de Gadgi et fut enterré immédiatement, et le squelette put ainsi être récupéré. Les deux animaux de taille semblable lors de l'échouage fai-

saient probablement partie d'une troupe d'otaries à fourrure provenant du Sud de la Nouvelle-Zélande ou du Sud de l'Australie et déportée hors de leur zone habituelle par un mauvais temps permanent en mer de Tasman au cours du mois de juillet.

Deux espèces d'otarie fréquentent les basses latitudes de nos régions : *Arctocephalus forsteri* en Nouvelle-Zélande et *A. doriferus* au sud de l'Australie. La distinction entre les deux espèces est délicate et basée sur l'examen des crânes d'adultes. Or, le crâne du spécimen de l'île des Pins appartenait à un tout jeune animal et ne put être d'aucune utilité. Par contre, le cadavre de l'otarie élevée à l'Aquarium de Nouméa a été envoyé congelé à l'Institut de Taxonomie d'Amsterdam qui possède un excellent matériel de comparaison et nous apportera peut-être la clef de l'énigme.

Au mois de novembre 1972, une troupe de cétacés s'échoue dans le sud de l'île de Mallicolo, aux Nouvelles-Hébrides. Il s'agit d'un échouage en masse de 231 animaux ! Malheureusement, les services de l'ORSTOM ne furent avisés que dix jours plus tard et je ne pus être sur place que 22 jours après. Ce très regrettable retard ne permit pas d'effectuer les reconnaissances biologiques qui auraient été passionnantes sur les causes probables de cet échouage massif.

Encore une fois, il s'agissait d'animaux mal connus et rares désignés depuis 1966 sous le nom de *Peponocephala electra* et dont on peut compter les cas d'échouages survenus dans le mon-

de ! Sur l'île de Mallicolo l'échouage s'est produit dans la nuit du 15 au 16 novembre, lors de la marée haute. Un premier groupe de 32 cétacés, en majorité des mâles, s'est échoué d'abord pendant que le reste du troupeau restait dans la baie, puis lors de la marée haute suivante, une masse de 199 autres animaux se jetait sur la plage à l'autre extrémité de la baie.

La configuration de cette baie permettrait d'émettre une hypothèse sur la cause probable de l'échouage, mais le délai passé entre la date de l'accident et le moment de la visite ne permit aucune vérification. Il a été suggéré que ces animaux, qui se dirigent de nuit à l'aide d'un organe d'écholocation dont le principe est identique à celui du SONAR, ont pu être trompés par des couches d'eaux douces chaudes provenant des rivières et ruisseaux se jetant dans la baie, ces couches d'eau "piégeant" leurs émissions sonar en leur masquant le fond. Ces animaux vivant ordinairement en haute mer ont été surpris par le fond et une réaction de panique dut s'ensuivre. La marée baissant ils se sont trouvés prisonniers à terre.

Il est probable que les premiers échoués étant les chefs du troupeau, les autres animaux, surtout des femelles, sont restés à leur voisinage, écoutant leurs cris de détresse et lors de la marée haute suivante, poussée par leur instinct grégaire et probablement encore trompés par des "faux fonds" le restant de la troupe s'est également échoué. Une telle hypothèse, qui pourrait éclairer

*Kaia, otarie échouée à Vaté (Nouvelle-Calédonie) et élevée jusqu'en mars 1973 à l'Aquarium de Nouméa.*





*Globicephala macrorhyncha*, Ile de Vaté, Nouvelles-Hébrides.

bien des échouages, aurait demandé une vérification immédiate par des analyses de l'eau de la baie, mais il est évident que vingt jours après, les conditions océanographiques et météorologiques avaient complètement changé.

Au mois de décembre 1972, dans le sud de l'île de Vaté (Nouvelles-Hébrides) une femelle de *Globicephala macrorhyncha* s'échouait sur le récif et était achevée par un pêcheur indigène. L'animal a été enterré et il sera peut-être possible de prélever le squelette pour études.

A la même époque, sur l'île d'Ouvéa (Loyautés) deux dauphins à long bec (*Prodelphinus* probablement) s'échouent sur une plage, mais les indigènes peu-

vent les remettre à l'eau tous les deux et, contrairement à ce qui se passe lors des échouages en masse finissent par prendre le large.

Enfin, à la suite de la demande de renseignements diffusée par M. Baird, Spécialiste des pêches à la Commission du Pacifique Sud auprès des divers services des pêches du Pacifique Occidental, je fus averti par le Dr Gregory du Service des pêches d'Honiara de l'échouage d'une "baleine" sur un îlot des îles Salomon. Cet animal, vraisemblablement blessé par un navire, semblait être mort des suites de ses blessures et a dérivé, pour aller s'échouer sur l'île Kennedy dans le voisinage de Gizo. Malheureusement, des difficultés de

transport suivies d'un déséchouage de l'animal dû aux mauvaises conditions atmosphériques ne permirent pas une étude de cet échouage.

Pour terminer, la presse nous a appris en janvier 1973 l'échouage à Tahiti, à Mahina, d'un cétacé de 5 mètres qui, d'après les photos est un *Globicephala* qui semble également appartenir à l'espèce *macrorhyncha*.

### Appel pour participer à une enquête :

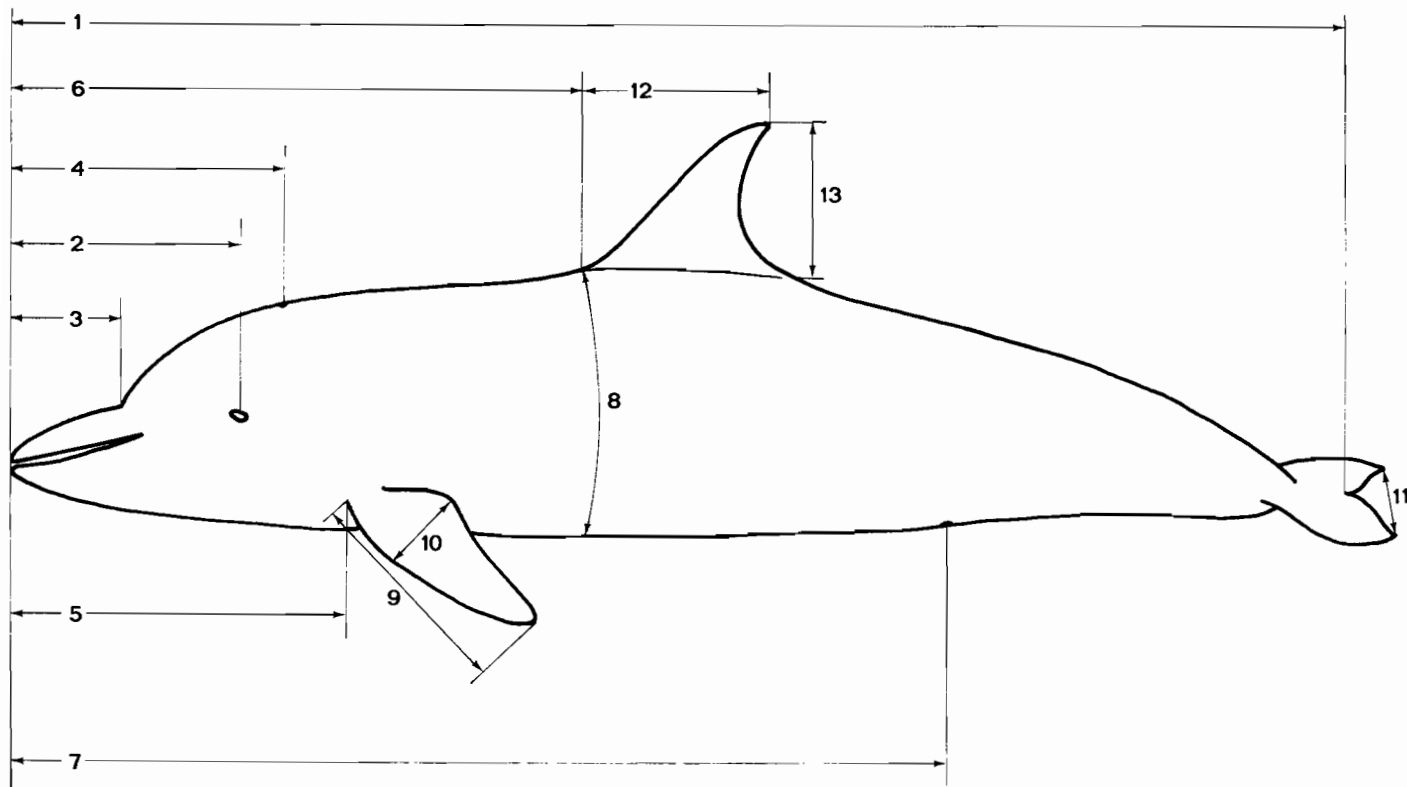
Il est visible et compréhensible que la population des îles augmentant, le nombre de cas d'échouages augmente. Mais il faut sensibiliser l'opinion afin que des renseignements, des observations très précieuses qui pourraient être faites au moment ou tout de suite après l'échouage ne soient pas perdus.

Pour que ces renseignements apportent le maximum de données sur la biologie des animaux, il faut que l'examen de leur estomac, de leur état sexuel, la composition des troupeaux soient effectués par des personnes concernées le plus rapidement possible. De même l'étude des lieux et du milieu doit être effectués immédiatement. Pour cela les services scientifiques les plus proches doivent être avertis dans les plus brefs délais afin que l'on puisse essayer d'obtenir l'élément subtil qui peut être à la base d'une connaissance meilleure et la vie des mammifères marins.

Dans le cas d'échouage de cétacés, il est demandé aux observateurs de pratiquer dans la mesure du possible, les observations suivantes en attendant l'arrivée d'un scientifique :

1. Si possible, photos du ou des animaux. Photos prises perpendiculairement aux sujets de façon à conserver les mesures relatives et en ajoutant une échelle (objet familier de dimension connue).
2. Mesures des animaux et proportion des sexes.
3. En cas de trouvaille isolée conserver le maximum de parties osseuses (crânes et dents) qui seront expédiées au Museum de taxonomie d'Amsterdam pour être étudiées par le Dr. Van Bree.
4. Conditions particulières de la mer ou du temps au moment de l'échouage.

En indiquant les moyens matériels pour se rendre le plus vite possible sur



#### Mensurations à relever :

1. Longueur totale ; 2. Distance préoculaire ; 3. Longueur du bec ; 4. Distance pré event ; 5. Longueur pré battoir ; 6. Longueur pré dorsale ; 7. Distance bec-anus ; 8. Demie circonférence du corps ; 9. Longueur du battoir ; 10. Largeur du battoir ; 11. Largeur de la queue ; 12. Longueur de la dorsale ; 13. Hauteur de la dorsale.

Noter également : le nombre de dents en haut et en bas ; — coloration ; — sexe.

les lieux de l'échouage, préciser le nom de la personne à contacter et le lieu précis de l'événement.

Ces informations doivent être adressées à :

Dr. Paul RANCUREL (ou en cas d'absence à Mr. René GRANDPERRIN)

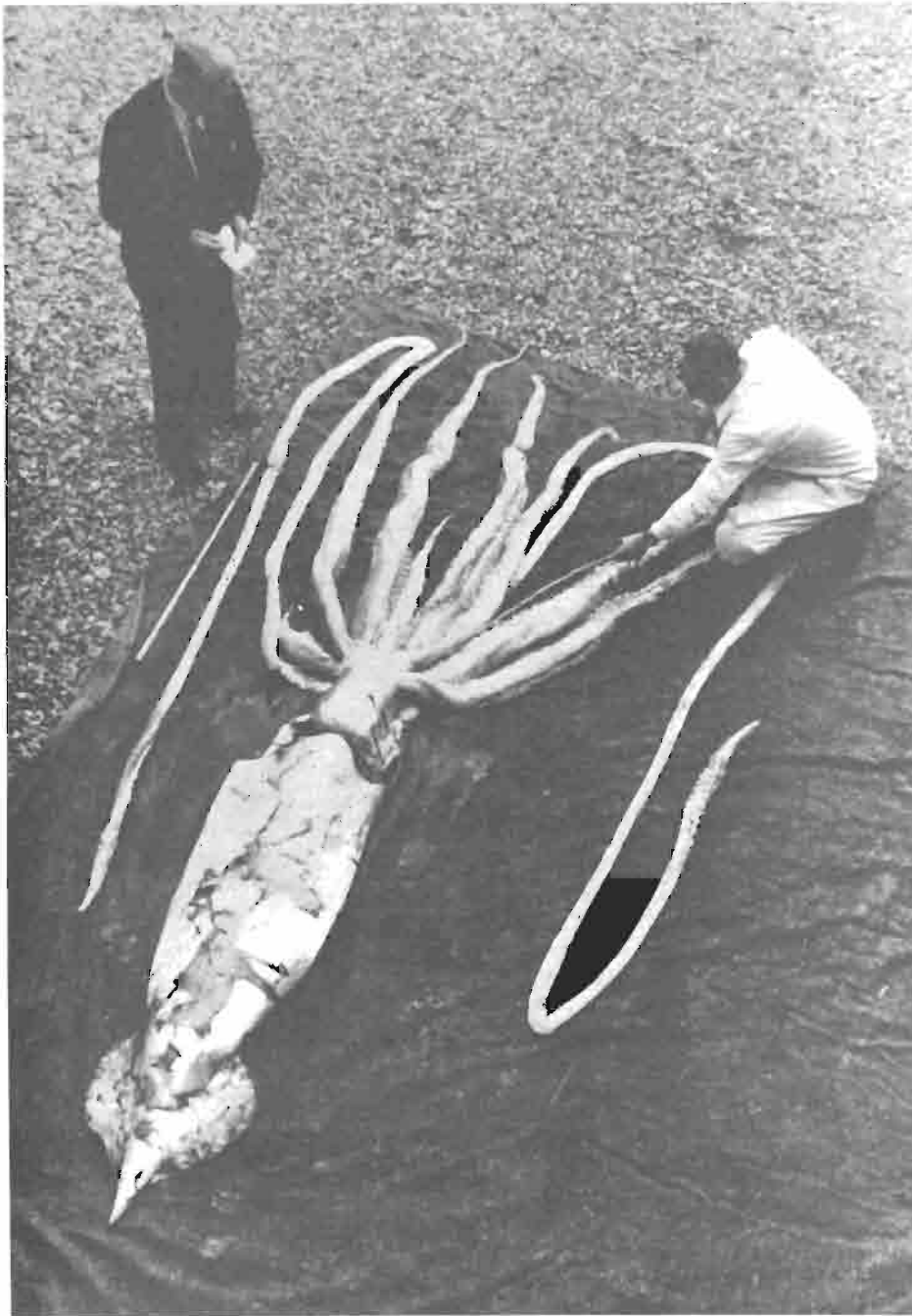
ORSTOM, B.P. A 5 Nouméa Cedex — Nouvelle-Calédonie

Téléphone 610.00 ; 624.55 ; 626.77 —  
Câble : ORSTOM Nouméa ☐

Texte original : français.



# LES CALMARS GEANTS



Par Paul RANCUREL,  
ORSTOM, Nouméa

L'existence de Céphalopodes de taille gigantesque a depuis longtemps hanté l'imagination des marins et des naturalistes, et depuis l'époque classique grecque il est fait mention de poulpes énormes capables d'enlever des matelots du bord de leur nef et même de couler celles-ci à l'occasion. Parmi des ouvrages bien documentés sur le sujet, nous renverrons le lecteur curieux à celui de B. Heuvelmans (**Dans le sillage des monstres marins**, Plon éd. 1958) qui le traite à fond et sur des bases de curiosité scientifique. Nous ne retiendrons ici que les événements qui se sont produits dans le Pacifique occidental.

**existent-  
ils  
en**

*Architeuthis sp. échoué à Ranheim, Norvège, en octobre 1954 — Photo de E. Sivertsen, reproduite dans Advances in Marine Biology, éd. Sir Frederick S. Russell, Academic Press, 1966.*

**NOUVELLE-CALEDONIE?**



Depuis 1879 il est signalé que des échouages de calmars géants se produisent régulièrement en Nouvelle-Zélande dans le détroit de Cook : il fut signalé à l'époque, des échouages d'animaux de près de 5 mètres de long et pesant donc plus d'une tonne ! Depuis cette époque de nombreuses relations d'échouages ont été publiées au fil des années, dans cette région proche de nous.

Lorsque l'on parle de Céphalopodes, une confusion est faite malheureusement souvent entre les poulpes, les seiches et les calmars. Pour fixer l'opinion, il suffit de noter que ces trois sortes d'animaux ont en commun des organes extrêmement caractéristiques qui sont les bras garnis de ventouses (en dehors du nautilé qui est un Céphalopode archaïque dont les nombreux bras portent des organes collants au lieu de ventouses). Hormis cette caractéristique facilement discernable, les trois groupes sont bien différents. Les *poulpes* ont un corps ovoïde en forme de sac, mais sans appareil de soutien évident et muni de huit bras en général longs et puissants ; ce dernier caractère étant retenu dans le nom latin *Octopus* appliqué aux espèces les plus communes ;

*Un petit exemplaire d'Ommatostrophes caroli Furtado de l'île des Pins. On voit très nettement la membrane triangulaire caractéristique.*

les *seiches* sont facilement identifiables grâce à leur "os" blanc, calcaire, qui se trouve sous la peau du dos, tandis que les *calmars* sont très allongés et leur corps n'est soutenu que par une "plume" ou "gladius" cornée et transparente sous la peau du dos.

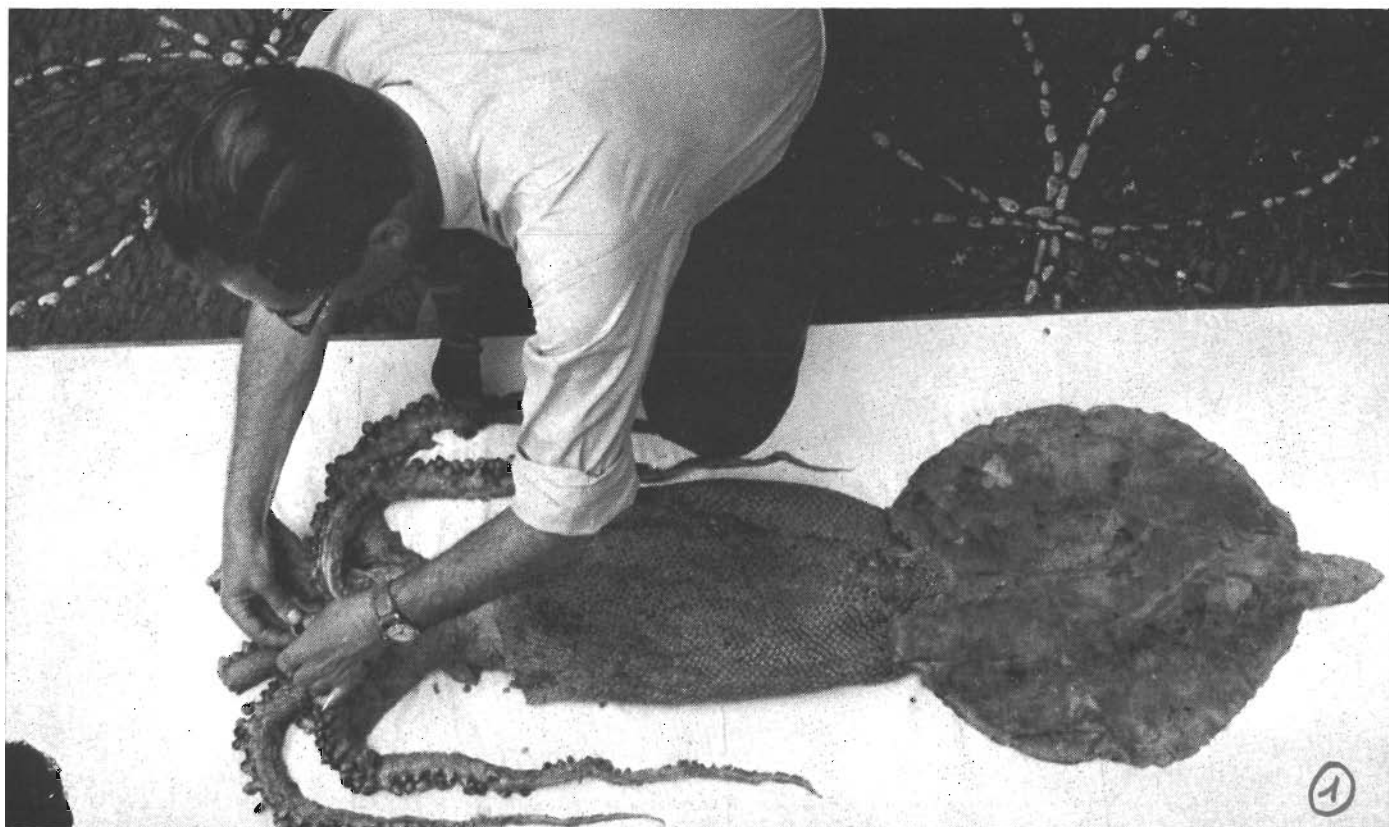
On sait que ces calmars sont des bêtes de proie, carnassières, de féroces chasseurs : il suffit de les avoir aperçus la nuit sous les feux d'un projecteur braqué par dessus bord, apparaître de nulle part, glisser, happer un poisson en surface et s'évanouir à reculons dans la pénombre, tout cela dans l'espace de quelques secondes, pour comprendre la diabolique habileté et astuce de ces êtres dont le cerveau est de loin le plus développé des mollusques. Ces habitudes prédatrices sont servies par des appareils de capture hautement spécialisés, à commencer par la ventouse, appareil de succion dont les bords sont perfectionnés dans la fixation par une couronne cornée, tranchante lisse ou crochue denticulée. Ces couronnes se transforment parfois en d'horribles crocs aussi acérés que des griffes de félin. Ces appareils de préhension conduisent au cœur du cercle des bras à un puissant bec de perroquet capable de dilacérer n'importe quelles proies en menus fragments et pourvu de glandes toxiques.

Que ces éléments réunis en une machine de mort propulsée par un

hydrojet omnidirectionnel puissant aient la taille d'un animal commercialisé sur l'étal du poissonnier ou plus petit, cela reste dans les "merveilles de la nature" et n'émeut pas outre mesure. Mais si cette machine atteint une taille égale et parfois bien supérieure à celle d'un homme, l'imagination en reste frappée et effrayée. Heureusement, l'étude des principales espèces de "calmars géants" a montré qu'il semble s'agir d'animaux relativement lents, ne s'attaquant qu'à des proies de petite taille, en relation avec leur système brachial garni de ventouses d'assez faible taille.

Mais des auteurs signalent dans la littérature des relations de combats de calmars et de cachalots, combats laissant d'importantes cicatrices sur la peau de ces Cétacés, attestant la pugnacité du Céphalopode. On a cité aussi le cas de marins enlevés de leur bord par un calmar sur la Côte d'Afrique, celui de naufragés dans l'Atlantique attaqués et emportés également par des calmars de grande taille (Heuvelmans *op. cit.* pp. 266 et 417).

Il existe ainsi diverses sortes de calmars dits géants. Les plus grands appartiennent au genre *Architeuthis* et atteignent des tailles impressionnantes, mesurant officiellement jusqu'à 6 mètres de longueur totale ; il est très possible qu'une taille bien plus importante soit atteinte. Il semblerait pourtant que ces géants comptent parmi les calmars les moins actifs. Ce sont eux que l'on



rencontre échoués en Nouvelle-Zélande, à Terre-Neuve et en haute Mer du Nord (Norvège, Ecosse, Islande); mais il existe d'autres espèces qui, bien que plus "petites" comptent tout de même parmi les grands animaux de l'océan: il s'agit des *Ommatostrephes*, dont les espèces banales pêchées communément sur la Côte d'Afrique et plus rarement dans le Pacifique, atteignent facilement 1,50 mètre de longueur totale. Parmi ces *Ommatostrephes* deux espèces sont remarquables par leur taille, ce sont d'une part *O. gigas* commun dans le courant de Humboldt, le long de la côte du Chili et d'autre part *O. caroli*.

Cette dernière espèce n'était connue jusqu'à cette année que de l'Atlantique Nord. Espèce de taille appréciable avec des longueurs totales dépassant les 2 mètres, elle avait toujours été trouvée échouée, en général après mauvaise mer. Cette espèce fut connue depuis longtemps, puisqu'en 1661 un exemplaire fut capturé en Hollande, décrit et offert comme présent rare au roi du Danemark, mais elle ne fut scientifiquement décrite par le zoologiste portugais Furtado qu'en 1887 d'après des échantillons échoués au Portugal. Ces animaux à tentacules armés de grosses ventouses denticulées, sont de magnifiques nageurs à la musculature puissante qui échappent aux engins si peu rapides des pêcheurs et scientifiques, ce qui expliquerait leur absence des récoltes au filet et leur apparition occasionnelle à la suite de mauvais temps.

Un de leurs bras latéraux porte une large membrane triangulaire d'un beau brun rouge qui est d'ailleurs la couleur générale du reste du corps, qui déployée dans l'eau ondule comme une étoffe. L'utilité de cette membrane est tout à fait obscure et non expliquée à l'heure actuelle — si tant est qu'une explication puisse être donnée — mais sert aux zoologistes de caractère distinctif évident de l'espèce. Or, en août 1973, il me fut remis à la Coopérative des pêcheurs de Nouméa une caisse de calmars destinés à servir d'appâts et qui me paraissaient différents des espèces banales de la Nouvelle-Calédonie. Quelle ne fut pas ma stupéfaction au moment de la décongélation de voir s'épanouir le fameux voile du bras latéral caractéristique du grand calmar Atlantique *Ommatostrephes caroli*!

Ces animaux avaient été récoltés sur une plage de l'île des Pins par un pêcheur, parmi la quarantaine d'animaux de 1 à 2 mètres échoués un matin sur la plage. La mer avait été forte les jours précédents, avec une grosse houle du sud.

Cette espèce, encore à l'étude, est identique à celle rencontrée dans l'Atlantique Nord où elle atteint des tailles importantes. Sa présence en Nouvelle-Calédonie apporte quelques lumières sur des faits et des rumeurs que j'ai pu recueillir ces derniers temps, et qui,

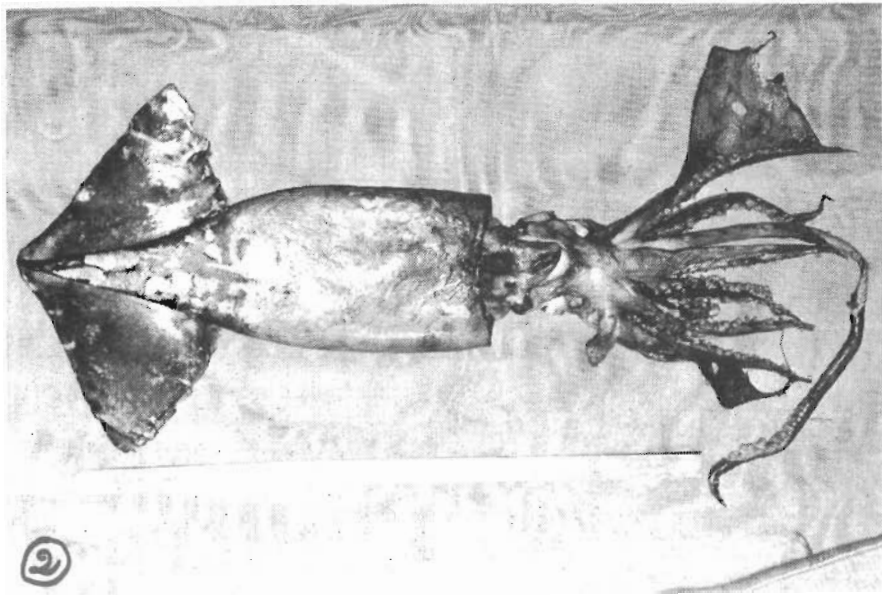
si elles ne fournissent pas de preuves matérielles d'authenticité risquent de se voir accréditer, tout au moins dans leurs lignes générales par la présence d'*O. caroli*.

Au cours de l'enquête menée autour de cette espèce, à l'île des Pins, j'ai pu recueillir de la part d'autochtones dignes de foi et dont les dires ont été recoupés par d'autres enquêtes, qu'il y aurait une vingtaine d'années, sur cette même plage où se trouvaient aujourd'hui les *O. caroli*, se trouvait un beau matin une énorme "seiche" rouge, encore vivante, dont la longueur totale a été estimée, d'après les indications des narrateurs, à 5 mètres; l'estimation de cette longueur est renforcée par le fait qu'un cheval fut nécessaire pour hisser sur la plage le corps de ce calmar à l'aide d'une chaîne. L'identification de l'animal est bien sûr impossible à faire

animal immergé et aperçu de loin, mais je crois que si un animal aussi grand que celui échoué à l'île des Pins il y a 20 ans venait hanter les abords d'un récif, il pourrait déclencher les mêmes réactions que celles du "poulpe" de Vanua Lava.

Enfin, tout dernièrement un pêcheur m'apprit avoir récolté en janvier 1974 aux abords de Canala, sur la côte est de la Nouvelle-Calédonie, le corps sans tête d'une "seiche" rougeâtre d'environ 1 mètre de long et de 30 à 40 kg de poids. D'après sa description, il semble certain qu'il s'agissait là aussi des restes d'un calmar de grande taille. Malheureusement l'état de décomposition avancée de l'échantillon l'obligea à le rejeter à la mer avant de me le faire parvenir par l'intermédiaire de la gendarmerie.

Il semble donc évident que dans



maintenant, mais il est fort possible qu'il s'agisse d'un grand exemplaire d'*O. caroli*, ou d'une espèce bien voisine.

A quelque temps de là, une autre nouvelle, apportée aussi par une personne digne de confiance et aussi confirmée par de hautes autorités administratives, fait état, dans l'île de Vanua Lava, dans le nord de l'archipel des Hébrides, de la présence d'un "poulpe" monstrueux, aux bras gros "comme des troncs de cocotier" et duquel les pêcheurs, prémunis d'une peur salutaire, se tenaient éloignés. Cet animal fut vu deux fois par des femmes et par un pasteur de l'île.

Je ne pense pas qu'il s'agisse ici d'un poulpe au sens véritable du mot, mais plutôt encore d'un calmar que la couleur rougeâtre notée dans le rapport me fait encore rapprocher d'*O. caroli*. Il est bien sûr impossible de se faire une idée raisonnable de la taille d'un

Un calmar à écailles provenant de l'estomac d'un cachalot. Photographié à Madère par J. Cadenat.

le Pacifique occidental subtropical, se rencontrent des calmars de taille dépassant les mesures habituellement "admissibles" pour ces animaux; il ne serait pas étonnant que le hasard puisse nous faire rencontrer des épaves de ces animaux rejetées à la côte, animaux qui sont scientifiquement extrêmement mal connus si ce n'est complètement inconnus. Les Services de l'ORSTOM Nouméa seraient extrêmement désireux d'être prévenus, en cas d'échouage ou de capture de tels animaux. □

**Texte original : français**

**Adresse de l'ORSTOM**  
B.P. A5  
NOUMEA CEDEX  
Nouvelle-Calédonie  
Téléphone 610.00





*Reprinted from :* JOURNAL OF THE MARINE BIOLOGICAL  
ASSOCIATION OF INDIA, Vol. 14, No. 1, pp. 148-159, 1972.

Variations Saisonnières de la Diversité  
spécifique des Copepodes de l'Océan  
Indien de long du 110°E

BY

JEAN-ALFRED GUEREDRAT

PRINTED AT THE DIOCESAN PRESS, MADRAS

1973

**VARIATIONS SAISONNIERES DE LA DIVERSITE SPECIFIQUE DES  
COPEPODES DE L'OCEAN INDIEN LE LONG DU 110°E**

## VARIATIONS SAISONNIERES DE LA DIVERSITE SPECIFIQUE DES COPEPODES DE L'OCEAN INDIEN LE LONG DU 110°E\*

JEAN-ALFRED GUEREDRAT

Centre ORSTOM de Nouméa (Nouvelle Calédonie)

### ABSTRACT

During 6 cruises along the 110°E from 32°S to 9°S in the Indian Ocean, at about 22.30 hr, from surface to 200 m, 88 oblique hauls have been done, with a 5 foot Isaacs-Kidd midwater trawl having a nylon mesh no. 2 (aperture 0,366 mm) in the cod-end.

One hundred species of calanoid Copepods are listed. The 39 most important are numbered. With the object of doing a comprehensive study of the ecosystems in position and their time evolution during one year, the specific diversity is evaluated at the 88 stations. The diversity is measured with the information theory formulae (Shannon, 1948):

$$I = - \sum_{i=1}^n p_i \log_a p_i$$

( $n$  is the number of species and  $p_i$  the proportion of the total number of individuals which belong to the  $i$ th species). We use also, two other values derived from this diversity indice and measuring the 'equitability' (Lloyd and Ghelardi, 1964).

Between 32°S and 9°S the usual increasing gradient of species diversity from the poles towards the equator, is masked by some hydrological cycles.

Related to the hydrological conditions, we note that the less diversified communities are not only in the south but also between 15°S and 24°S associated with the tropical water where this one overlaps the subtropical water.

All year long, at the boundary of the subtropical oxygen minimum water and the tropical oxygen minimum water, near 25°S, it appears that mixed communities with high diversity (owing to the meeting of the southern region) spread out.

Biologically the diversity accounts well for seasonal variations in the south of the transect. The high values of the 'equitability' (more than 70% on an average) from May to July shows that between 20°S and 30°S the Copepods community reaches its most mature level. This last stage of succession for our taxocenose coincides with the initial stage of phytoplankton population characterised by an important amount of pigments (Chl *a* and Chl *c*) and a very high productivity rate. Later appear the periods of the maximal abundance of Copepods followed by *Phronima* (Repelin 1970) Euphausiids (Roger 1966) or macroplankton and micronekton (Legand 1969). In the northern part the sequences of this succession are seasonally less well marked, the different stages are shorter and the maximum abundance lasts longer.

### INTRODUCTION

A partir d'une série de prélèvements effectués durant une année à des stations réparties le long d'un méridien dans la partie orientale de l'Océan Indien, nous nous proposons d'étudier les diverses communautés de Copépodes pélagiques échantillonnées. Dans cette optique nous cherchons à déterminer dans quelle

\*Presented at the 'Symposium on Indian Ocean and Adjacent Seas—Their Origin, Science and Resources' held by the Marine Biological Association of India at Cochin from January 12 to 18, 1971.

mesure l'étude de la totalité de l'écosystème peut rendre compte des éléments écologiques dont nous disposons. L'objet de nos investigations constitue un ensemble qui ne pourrait être abordé, que dans certaines limites, par l'étude analytique de ses différents éléments. Car cet ensemble est une 'structure' et comme telle ne résulte pas uniquement de la somme de ses composantes, mais elle possède des caractéristiques qui lui sont propres. Elle tient compte, par exemple, des rapports et interactions de ses éléments entre eux. Cette notion de 'totalité structurée' est évidemment difficile à évaluer. Nous utiliserons pour cela l'indice de diversité spécifique, dérivé de la théorie de l'information, comme expression numérique de cette structure. A partir des études précédentes faites sur les propriétés synthétiques de la diversité spécifique nous tenterons de dégager l'évolution des caractéristiques des écosystèmes le long du 110°E au cours d'une année.

### MATERIEL ET METHODE

Au cours de six croisières, effectuées par la 'Division of Fisheries and Oceanography' de la C.S.I.R.O. d'Australie, dans l'Océan Indien le long du 110°E (Fig. 1), le Centre O.R.S.T.O.M. de Nouméa a réalisé un programme de prélèvements de zooplancton et de micronecton. D'août 1962 à août 1963, entre 32°S et 19°S, 93 traits obliques échantillonnant la couche 0-200 m ont été exécutés à l'aide d'un chalut pélagique Isaacs-Kidd de 5 pieds d'ouverture avec comme cul de chalut un filet à maille n° 2 (vide de maille 0,366 mm). Ces prélèvements étaient tous effectués vers 22h30, suivant une méthodologie unique. De plus les résultats des pêches ont été ajustés de manière à permettre leur correspondance avec un trait standard.

L'étude de 88 échantillons a permis d'identifier une centaine d'espèces de Copépodes calanoïdes. Parmi elles 39 nous ont semblé être représentatives de l'ensemble, à cause de leur importance numérique ou de leur distribution nettement tranchée. Elles ont fait l'objet de comptages et sont énumérées avec leur effectif global dans la liste suivante :

|                                        |        |                                        |       |
|----------------------------------------|--------|----------------------------------------|-------|
| <i>Euchaeta marina</i> .....           | 66.436 | <i>Euchirella brevis</i> .....         | 1.272 |
| <i>Pleuromamma abdominalis</i> .....   | 19.508 | <i>Euchaeta longicornis</i> .....      | 1.112 |
| <i>Neocalanus robustior</i> .....      | 18.458 | <i>Euchirella curticauda</i> .....     | 1.100 |
| <i>Pleuromamma xiphias</i> .....       | 17.241 | <i>Labidocera acuta</i> .....          | 1.022 |
| <i>Paraeuchaeta russelli</i> .....     | 13.870 | <i>Haloptilus spiniceps</i> .....      | 892   |
| <i>Undeuchaeta plumosa</i> .....       | 8.849  | <i>Candacia pachydactyla</i> .....     | 819   |
| <i>Rhincalanus cornutus</i> .....      | 7.775  | <i>Pleuromamma quadrangulata</i> ..... | 696   |
| <i>Eucalanus elongatus</i> .....       | 7.702  | <i>Candacia bipinnata</i> .....        | 641   |
| <i>Eucalanus attenuatus</i> .....      | 7.627  | <i>Scolecithrix danae</i> .....        | 632   |
| <i>Undinula vulgaris</i> .....         | 7.412  | <i>Arietellus aculeatus</i> .....      | 438   |
| <i>Euchaeta media</i> .....            | 4.713  | <i>Labidocera detruncata</i> .....     | 280   |
| <i>Candacia longimana</i> .....        | 3.844  | <i>Lophothrix latipes</i> .....        | 197   |
| <i>Eucalanus mucronatus</i> .....      | 3.738  | <i>Euchirella bitumida</i> .....       | 183   |
| <i>Chirundina streetsi</i> .....       | 2.363  | <i>Arietellus setosus</i> .....        | 163   |
| <i>Euchirella rostrata</i> .....       | 1.993  | <i>Euchaeta pubera</i> .....           | 121   |
| <i>Scottocalanus securifrons</i> ..... | 1.929  | <i>Undinula darwini</i> .....          | 114   |
| <i>Candacia aethiopica</i> .....       | 1.779  | <i>Arietellus plumifer</i> .....       | 80    |
| <i>Rhincalanus nasutus</i> .....       | 1.617  | <i>Gaetanus miles</i> .....            | 76    |
| <i>Euchirella messinensis</i> .....    | 1.479  | <i>Euchirella trigrada</i> .....       | 57    |
| <i>Undeuchaeta major</i> .....         | 1.466  |                                        |       |

La taille des échantillons, dont les effectifs dépassent en moyenne 2600 individus, nous paraît suffisante pour le calcul de la diversité spécifique de la taxocénose que constitue les Copépodes.

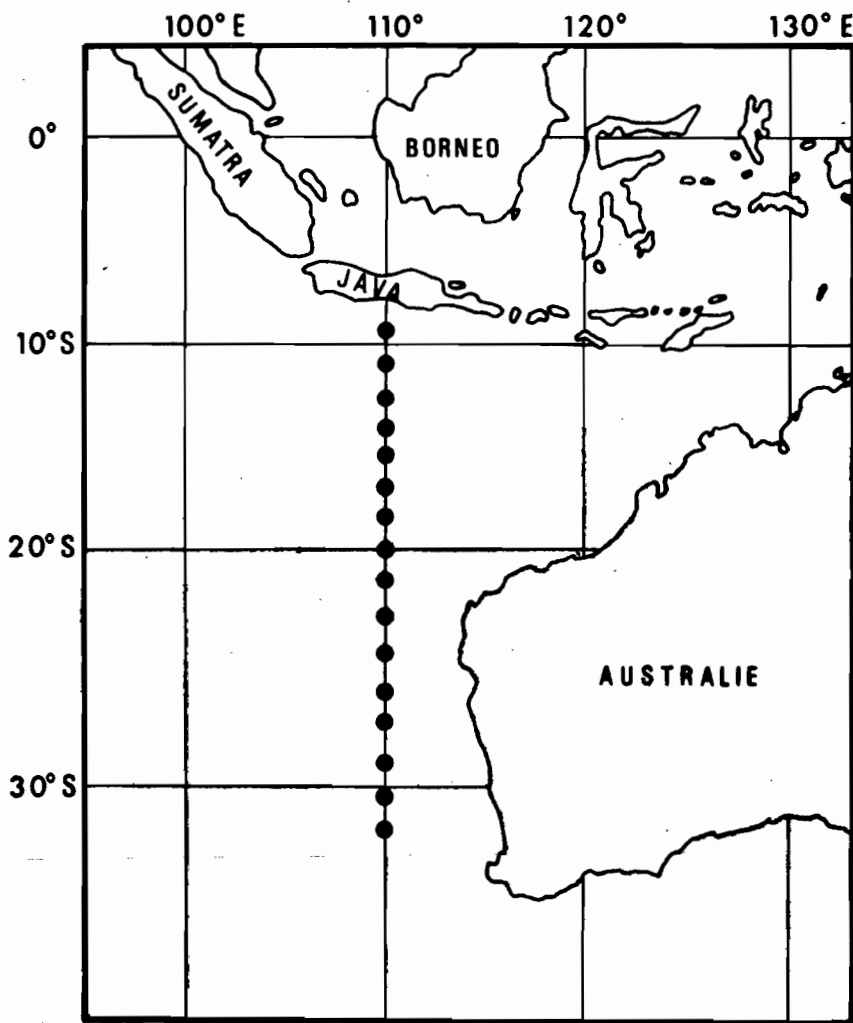


Fig. 1. Position des stations le long du 110°E.

L'expression de l'information d'un message de Shannon (1948) appliquée par Margalef (1957) à la mesure de la diversité en écologie a été utilisée, soit :

$$I = - \sum_{i=1}^n p \log_2 p$$

où  $n$  est le nombre d'espèces et  $p_i$  le pourcentage de l'espèce  $i$  par rapport à l'ensemble de l'échantillon. Cette diversité s'exprime en bits/individu. Rappelons qu'une telle expression de la diversité présente deux avantages principaux : d'une part elle n'implique aucune hypothèse sur la distribution des effectifs entre eux et d'autre part elle tient compte tout à la fois du nombre d'espèces et des rapports d'abondance des différentes espèces (ou indice de dominance). Margalef (1970) souligne qu'il n'y a pas lieu de dissocier ces deux composantes de la diversité. Cependant nous pensons que dans notre cas où toutes les espèces présentes ne sont pas prises en considération l'indice obtenu tient essentiellement compte de la 'dominance'. La valeur de cette seule composante ne devrait pas différer beaucoup de celle de la diversité que nous avons calculée avec un nombre limité d'espèces, et elle devrait donc être une représentation plus fidèle, quoique possédant moins d'information. Pour le calcul de cette composante deux expressions peuvent être employées. La

plus simple est le rapport  $\frac{I}{I_{\max}}$  où  $I_{\max}$  est la diversité maximale et représente

le cas extrême où tous les effectifs sont égaux, on a alors  $I_{\max} = \log_2 n$ . L'autre expression ou 'équitabilité' (Lloyd et Ghelardi, 1964) rapporte la distribution observée à celle du modèle de MacArthur et le quotient des indices, qui sont des expressions logarithmiques, est remplacé par celui du nombre ( $n$ ) d'espèces observé et du nombre ( $n'$ ) d'espèces de la distribution de MacArthur qui aurait la même

diversité que celle observée, soit :  $\mathcal{G} = \frac{n'}{n}$  et

$$I_{\text{observé}} = I_{\text{MacArthur}} = - \sum_{i=1}^{n'} p_r \log_2 p_r$$

$$\text{avec } p_r = \frac{1}{n'} \sum_{i=1}^{n'+1-r} \frac{1}{n'-i+1}$$

$p_r$  étant le pourcentage de l'espèce de rang  $r$ , l'espèce la plus abondante ayant le premier rang.

Les variations saisonnières en fonction de la latitude de ces trois valeurs sont représentées dans les figures 2, 3, et 4. Elles sont peu différentes car le nombre d'espèces pris en considération varie très peu d'une station à l'autre.

## RESULTATS

L'examen des différentes cartes de la diversité semble révéler la prédominance d'une zonation latitudinale, alors que la distribution de l'ensemble des Copépodes (Fig. 5) paraît davantage influencée par les phénomènes saisonniers. Mais l'évolution latitudinale de la diversité spécifique ne se fait pas dans un sens précis et quelques variations saisonnières apparaissent également. Ainsi les zones de faible diversité sont grossièrement associées à celles où la densité de Copépodes est la plus forte. Cette relation est signalée par Margalef (1967) qui note pourtant qu'elle n'est pas toujours réalisée.

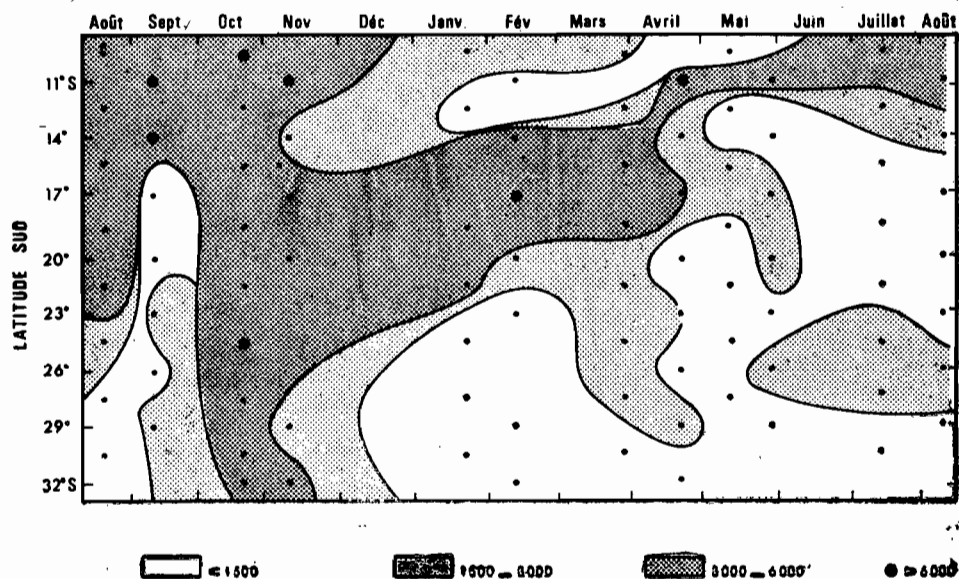


Fig. 2. Distribution saisonnière et latitudinale de l'indice de diversité spécifique (I).

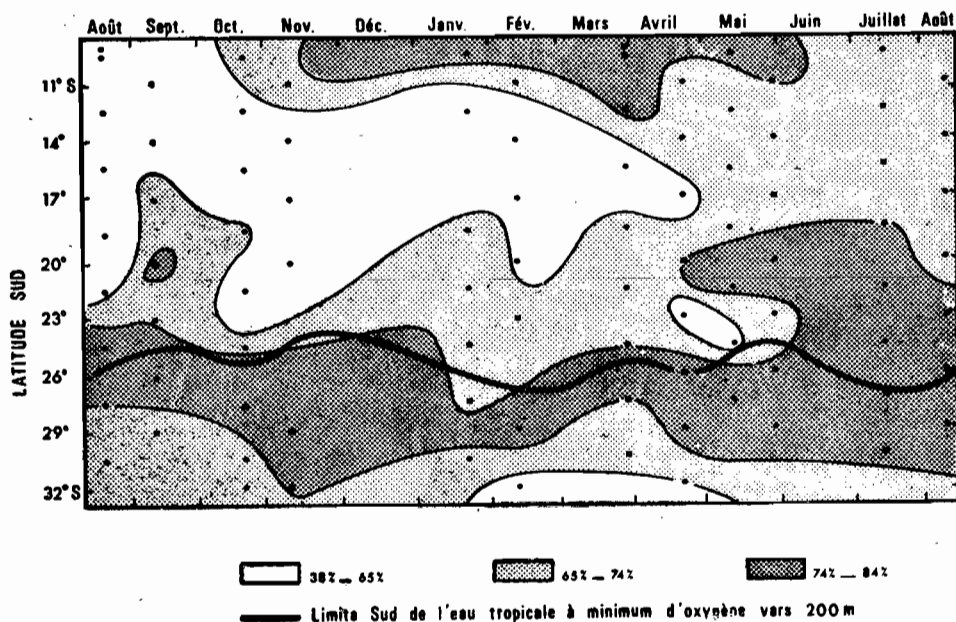


Fig. 3. Distribution saisonnière et latitudinale du rapport  $\frac{I}{I_{\max}}$  et limite sud de l'eau tropicale à minimum d'oxygène vers 200 m (d'après Rochford, 1969).



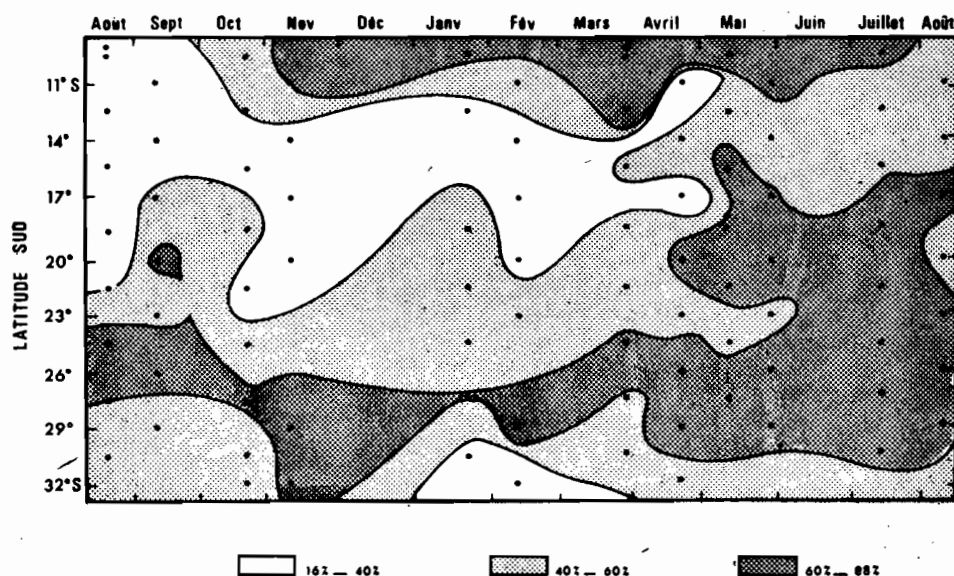


Fig. 4. Distribution saisonnière et latitudinale de l' 'équitabilité'.

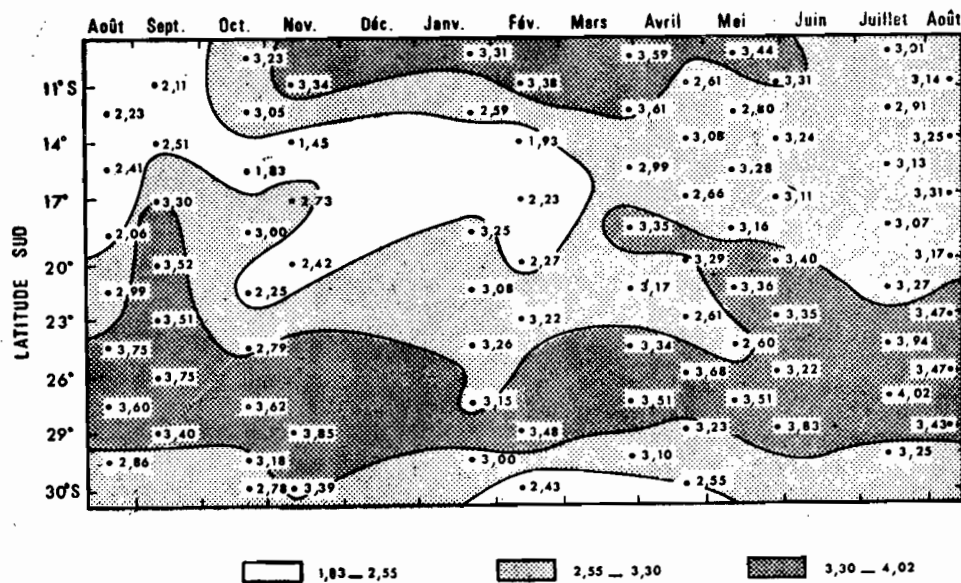


Fig. 5. Distribution saisonnière et latitudinale de l'ensemble des Copépodes calanoïdes.

Plus précisément nous nous proposons d'étudier les variations latitudinales et saisonnières de la diversité de la taxocénose.

#### *Evolution latitudinale :*

La théorie générale de l'évolution le long d'un méridien prévoit la diminution de la diversité quand on s'élève en latitude (Margalef, 1963 ; Pianka, 1966). De 9°S à 32°S le long du 110°E cette évolution n'est pas nette. Soulignons que cette diminution ne s'observe pas, sans doute, pour les mêmes raisons qui expliquent que l'augmentation de la densité planctonique, classiquement admise de l'équateur aux pôles n'apparaît pas non plus. Ceci est peut-être dû à la faible étendue de la radiale explorée, et est très probablement, lié à la présence de certains éléments du système de courants équatoriaux, lequel modifie les conditions hydrologiques aux basses latitudes. En effet Wyrski (1962) signale l'existence d'un upwelling sur la limite nord du courant sud équatorial dans cette région de l'Océan Indien. De même la formation des courants équatoriaux s'accompagne d'un upwelling dans la zone de la bordure orientale de tous les autres océans. Une étude plus précise de l'évolution latitudinale doit être donc conduite en fonction de l'hydrologie du milieu. Les traits ayant échantillonné les 200 premiers mètres c'est cette couche qui doit influencer le plus sur la taxocénose malgré la capture, de nuit, d'organismes qui vivent le jour dans des eaux plus profondes.

Pour cette couche (0-200 m) la schématisation des caractéristiques hydrologiques de la radiale peut se faire à partir des conclusions de Rochford (1969). Mais quelque soit sa simplicité une telle schématisation ne peut être établie sans tenir compte des variations saisonnières. Ainsi l'étude de l'évolution latitudinale de la diversité en relation avec le milieu ne saurait être entreprise en détail sans faire intervenir le facteur saisonnier. Il semble donc que l'éventuel gradient latitudinal de la diversité soit très influencé et, dans une certaine mesure, masqué par les changements saisonniers du milieu, par les cycles biologiques des différentes espèces et enfin par les stades de succession de populations. Nous sommes donc conduits à envisager les variations de la diversité simultanément en fonction du temps et de l'espace.

#### *Evolution latitudinale et saisonnière :*

Dans les 200 premiers mètres, Rochford (1969) distingue deux couches de 0 à 50 m et de 50 à 200 m. Dans la couche superficielle il souligne au nord la présence du courant sud-équatorial. Ce courant est généralement lié à un upwelling bien caractérisé de mai à septembre, durant la période de la mousson du sud-est. Simultanément une forte concentration de phosphate inorganique s'observe à la base de la couche euphotique (Wyrski, 1962). D'après Rochford (1969), lors de nos prélèvements, aucun enrichissement significatif en sels nutritifs n'apparu en surface, même pendant le maximum printanier de l'upwelling. Cependant pour la même série de croisières dans cette région et à cette même période Humphrey et Kerr (1969) notent les teneurs les plus élevées en chlorophylles *a* et *c* (fig. 6) et Jitts (1969) observe de très fortes valeurs de la productivité primaire dans la couche 0-50 m (fig. 7). Tranter et Kerr (1969) signalent des concentrations importantes de zooplancton capturé à l'aide d'un filet type I.O.S.N. (vide de maille 0,33 mm) de 200 m à la surface. Or d'après Margalef (1967) la présence d'un upwelling, la richesse en sels nutritifs, en phytoplancton et en zooplancton surtout s'il s'agit, essentiellement, d'organismes d'un niveau trophique très bas, et enfin la forte production primaire sont diverses caractéristiques généralement associées à une biocénose très peu diversifiée comme cela apparaît ici pour la communauté de Copépodes.

Au centre et au sud de la radiale, dans la couche 0-50 m l'eau tropicale atteint 20°S en automne et en hiver, alors qu'en été l'eau subtropicale, poussée par le courant ouest-australien, arrive vers le nord à 25°S. Les fortes diversités s'observent principalement dans cette dernière zone où le courant apporte des eaux à caractéristiques plus océaniques dans lesquelles se développent généralement des populations plus diversifiées (Margalef, 1967).

Mais la véritable distinction entre la diversité de l'eau tropicale et celle de l'eau subtropicale devrait apparaître, si elle existe, en tenant compte de l'intégralité de la couche explorée. Entre 50 et 200 m Rochford (1969) distingue le long du méridien deux masses d'eau à minimum d'oxygène, l'une tropicale et l'autre subtropicale. La bordure commune de ces eaux varie peu au cours de l'année (Fig. 3) et atteint à la fin de l'été et en automne vers 26°S sa limite sud. A la rencontre de ces deux eaux il semblerait, que le mélange de deux faunes plus ou moins distinctes soit responsable de l'augmentation de diversité qui s'y observe. En effet, certaines espèces sont cantonnées dans la zone située au sud de 26°S (*Euchaeta pubera* et *Euchirella trigrada*) ; d'autres y ont leur maximum de densité (*Undeuchaeta plumosa* et *Euchaeta media*). En outre des espèces nettement prédominantes dans le nord cessent de l'être et ont à la limite sud de l'eau tropicale, des effectifs du même ordre de grandeur que ceux d'autres espèces de l'eau subtropicale ce qui entraîne une augmentation de l'indice de diversité. En somme c'est principalement au niveau de sa limite nord que l'eau subtropicale possède une population plus diversifiée que celles de l'eau tropicale.

De la surface à 200 mètres de profondeur, les variations de la richesse et de l'épaisseur de la 'couche de mélange', décrite par Rochford (1969), peuvent être retenues comme des facteurs écologiques intéressants. Dans cette couche les variations de sels nutritifs ne sont pas décelables le long de la radiale, seule une très légère supériorité de la teneur en phosphate inorganique s'observe en hiver ; à cette même époque nous constatons une augmentation de l'épaisseur de cette couche et ce surtout dans le sud où elle s'enfonce jusqu'à 100 ou 200 m. A cause de la faible épaisseur de la couche homogène, dans le centre et le nord de la radiale (10 à 50 m), nos traits de 0-200 m ont échantillonnés deux milieux distincts, séparés par une thermocline plus ou moins marquée cependant les faibles diversités qu'on y observe ne semble pas témoigner d'une hétérogénéité faunistique. L'incidence des variations de la 'couche de mélange' sur la diversité serait principalement liée aux stades de successions que nous allons décrire.

#### Stades de succession :

Les diverses considérations hydrologiques ne peuvent à elles seules expliquer l'évolution saisonnière de la diversité, qui reflète la succession des populations de la taxocénose dans le temps.

En effet de juin à août 1963, Humphrey et Kerr (1969) signalent tout au long de la radiale les plus fortes concentrations de chlorophylles *a* et *c* dans la colonne 0-150 m (Fig. 5). Ce maximum peut être relié au léger enrichissement en sels nutritifs de la 'couche de mélange'. Or d'août à décembre 1962 le grand développement des Copépodes serait produit par la prolifération identique de phytoplancton qui a du la précéder et dont les dernières traces sont visibles d'ailleurs en août 1962. C'est à cette époque (août à janvier), que s'observent les nombres les plus élevés de femelles d'*Euchaeta marina* et d'*Undeuchaeta plumosa* porteuses de spermatophore (et aussi d'ovisac pour *Euchaeta marina*) ; ainsi que les pourcentages les

plus forts de ces dernières pour l'ensemble des individus de ce sexe pour chacune de ces deux espèces. De même nous trouvons un maximum très marqué de l'abondance des copépodites d'*Euchaeta marina* qui représentent plus de 60% de l'effectif de l'espèce. Margalef (1963) signale, précisément, que les aires de pontes ou de

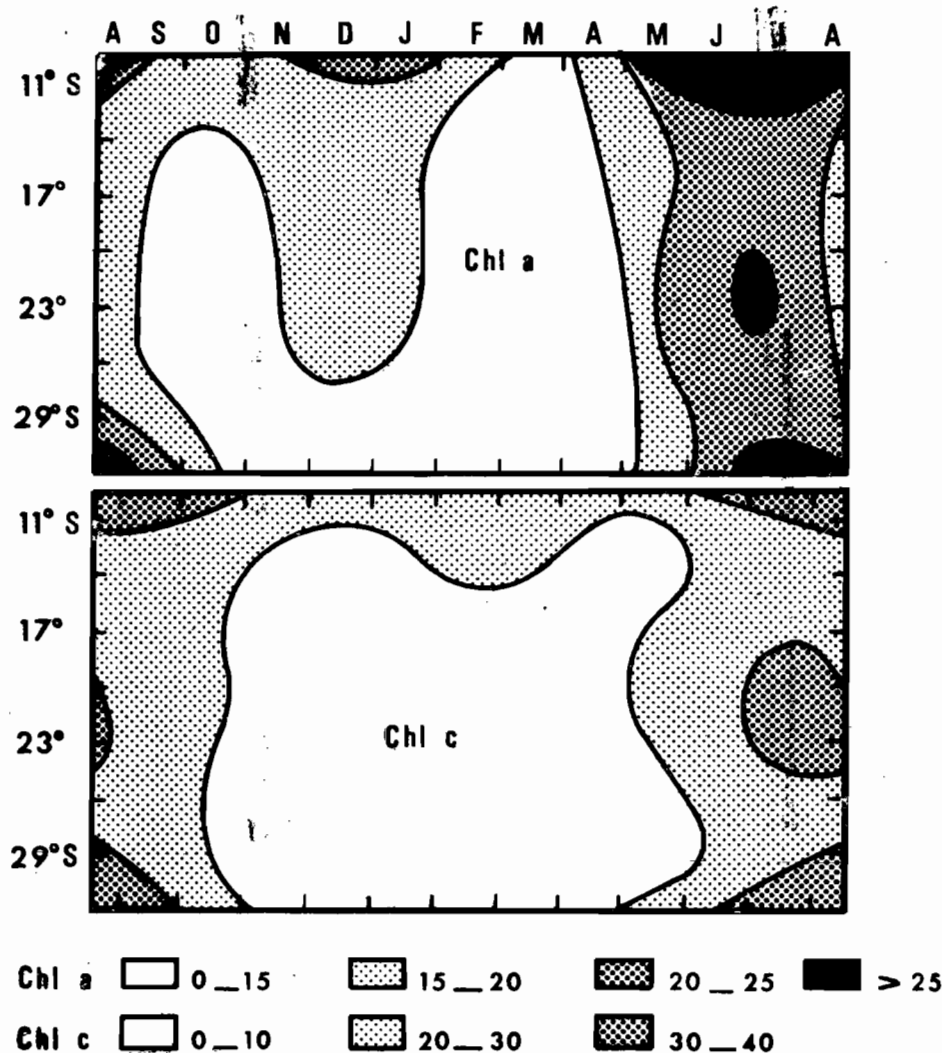


Fig. 6. Distribution saisonnière et latitudinale des chlorophylles a et c en  $\text{mg/m}^2$  à 08 heures pour la colonne 0-150 m (d'après Humphrey et Kerr, 1969).

développement à succès coïncident dans le temps et l'espace avec les régions où la nourriture est plus disponible et où les communautés sont dans un stade primitif de succession, de faible diversité et ont une grande production. Ceci paraît être en accord avec nos observations, puisque la prolifération de l'ensemble des Copépodes

et plus particulièrement celle d'*Euchaeta marina* coïncide avec la zone de faible diversité. De plus les résultats de Jitts (1969) nous montrent que la période de forte productivité primaire se continue au-delà de celle pendant laquelle il y a d'importantes concentrations de phytoplancton (Fig. 6 et 7). Cette prolongation confirme donc une forte production primaire d'août à décembre qui dénote un stade jeune de succession, en liaison avec la diversité faible de la taxocénose des Copépodes. En outre la décroissance du phytoplancton, malgré l'intense productivité, est très probablement la conséquence du broutage de la population de Copépodes composée en grande partie de copépodites, donc essentiellement herbivore.

Au nord de 11°S, le stade jeune de succession est rapidement remplacé par une communauté de plus grande maturité et de plus forte diversité. Alors qu'entre 11 et 26°S le stade de maturité n'est atteint qu'en avril. A la limite des eaux à minimum d'oxygène tropicale et subtropicale le maximum de maturité se différencie à peine dans cette zone très diversifiée.

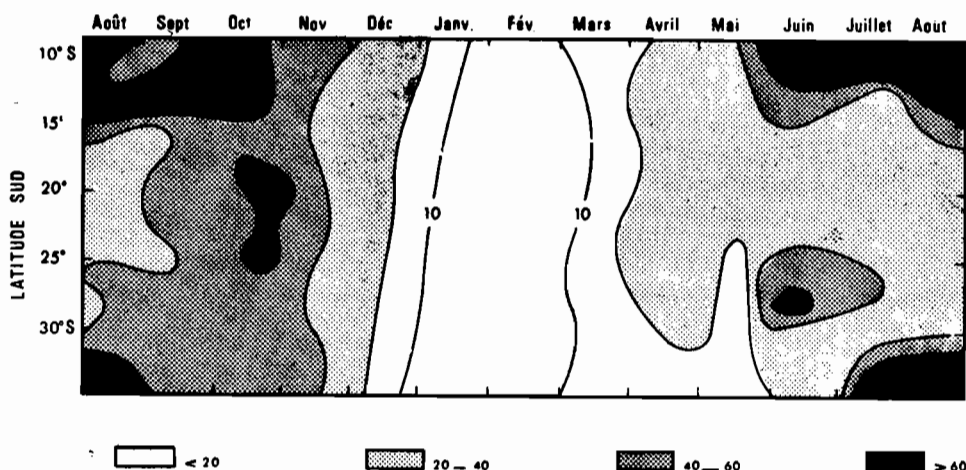


Fig. 7. Distribution saisonnière et latitudinale du taux de la production primaire, en mg C/hm<sup>2</sup> pour la colonne 0-150 m (d'après Jitts, 1969).

#### Evolution générale de la biocénose :

Les stades de succession mis en évidence par la diversité spécifique de la population de Copépodes, semblent observables à d'autres niveaux taxonomiques. Pour l'ensemble de la biocénose échantillonnée par le chalut pélagique, Legand (1969) distingue une vingtaine de groupes ou taxa appartenant au plancton, macroplancton et micronecton. Le maximum principal de concentration, tout au long de la radiale se situe pour la plupart des groupes, d'août à novembre. Lors de l'étude du cycle saisonnier des *Phronimidae*, Repelin (1970) note que 'd'une manière générale, pour l'ensemble des espèces, le repeuplement principal prend place au printemps'. Pour les Poissons mésopélagiques, Legand et Rivaton (1967) indiquent un maximum d'individus en octobre-novembre de même pour les larves de poissons. L'époque de faible diversité spécifique de la population de Copépodes, peut être considérée, pour l'ensemble de la faune échantillonnée et, en particulier, pour les Poissons et les *Phronimidae* comme la période où la biocénose est dans un stade primitif de succession.

Dans le nord de la radiale Legand (1969) montre que les plus grandes concentrations de plancton collectées à l'aide d'un filet Clarke-Bumpus, les maxima de plancton du chalut pélagique et du micronecton se succèdent d'août à décembre, décrivant ainsi une élévation du niveau trophique de l'écosystème au cours du temps, qui traduit une augmentation de maturité de la communauté à partir du stade jeune d'août.

Sur l'intégralité de la radiale, l'augmentation de la taille moyenne des Poissons, à partir de janvier-février, conduit à un maximum en mai-juin (Legand et Rivaton, 1967). Il est est à peu près de même pour l'Amphipode *Phronima sedentaria* dont les plus grandes tailles moyennes s'observent d'avril à septembre (Repelin, 1970). Cette augmentation puis la stabilisation des tailles moyennes témoignent de la même évolution de la maturité de l'écosystème, que celle mise en évidence par la croissance de la diversité spécifique de la population de Copépodes.

### CONCLUSIONS

Les données et les résultats physico-chimiques et biologiques de la série de six croisières faites le long du 110°E de 32°S à 9°S entre août 1962 et août 1963, ont été considérés comme les composantes d'un écosystème. L'étude de l'évolution latitudinale et saisonnière de cet ensemble envisagé comme étant une structure, a été tentée par l'intermédiaire de la diversité spécifique de la population de Copépodes calanoïdes collectée. L'indice de diversité fournie par la théorie de l'information et l' "équitabilité" qui en dérive, donnent une image de la distribution des 39 espèces entre-elles pour les 88 stations. Dans la zone prospectée l'augmentation de la diversité n'est pas observée de 32°S à 9°S. Cependant la diversité rend compte de l'influence sur la population de Copépodes des principales variations latitudinales et saisonnières des caractéristiques hydrologiques, quoique celles-ci soient relativement très faibles. Mais dans le cas présent cette méthode d'étude traduit principalement l'évolution de la maturité de la taxocénose des Copépodes. Les traits généraux de cette évolution de la maturité peuvent d'ailleurs être étendus à l'ensemble de la biocénose.

### SUMMARY

88 samples were taken at about 22h30, in the upper 200 m, in Indian Ocean, along 110°E from 32°S to 9°S, during six cruises between August 1962 and August 1963, with a 5 ft Isaacs-Kidd midwater trawl, having a nylon mesh n° 2 (aperture 0,366 mm) in the cod end.

From one hundred species of calanoid Copepods, the 39 most important have been counted. For a study of the evolution of the seasonal and latitudinal variations of Copepods populations as a 'structure', the species diversity has been calculated. This index derives from the information theory formula (Shannon, 1948):

$$I = - \sum_{i=1}^n p_i \log_e p_i \quad (\text{where } n \text{ is the number of species in a sample and } p_i \text{ the percentage of}$$

individuals that belong to the  $i$ th species). Two other values derived from this expression and measuring the 'equitability' (Lloyd and Ghelardi, 1964) have been used too.

Highest diversities fit roughly with lowest densities of Copepods.

From 32°S to 9°S the uniformly increasing diversity generally observed when latitudes lessen, is not apparent here and is probably masked by some seasonal variations of the hydrological characteristics of the equatorial currents system and biological cycles.

In the north, during the south-east monsoon ; the upwelling, the phytoplankton and low trophic level zooplankton maximums, and high primary production rates coincide well with the minimum diversity.

At the boundary of the low oxygen tropical and subtropical waters, the meeting of two different populations seems to account for the diversity increase.

There are : from June to August the chlorophylls maximum and from August to December the Copepods proliferation with the highest proportion of females with spermatophores (after copulation) and ovisacs, the greatest abundance of copepodites and highest primary production rates. All this confirms that in this period the taxocenose is in its less mature stage of succession of populations, and this is clearly denoted by the low diversity.

The succession of populations showed by the Copepods diversity is apparently the same for the total plankton, macroplankton and micronekton, and more specially for some *Fishes* and *Phronimidae* species.

The diversity in our samples along 110°E accounts mainly for the evolution of the maturity of the ecosystem as a whole.

## REFERENCES

- HUMPHREY, G. F. and KERR, J. D. 1969. Seasonal variations in the Indian Ocean along 110°E. III. Chlorophylls *a* and *c*. *Aust. J. mar. Freshwat. Res.*, **20** : 55-64.
- JITTS, H. R. 1969. Seasonal variations in the Indian Ocean along 110°E. IV. Primary production. *Ibid.*, **20** : 65-75.
- LEGAND, M. 1969. Seasonal variations in the Indian Ocean along 110°E. VI. Macroplankton and micronekton biomass. *Ibid.*, **20** : 77-84.
- LEGAND, M. et RIVATON, J. 1967. Cycles biologiques des Poissons mésopélagiques dans l'est de l'Océan Indien. II. Distribution moyenne des principales espèces de l'ichtyofaune. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*, **5**(4) : 73-98.
- LLOYD, M. and CHELARDI, R. J. 1964. A table for calculating the equitability component of species diversity. *J. Anim. Ecol.*, **33** (2) : 217-225.
- MARGALEF, R. 1957. La teoría de la información en ecología. *Mem. Real. Acad. Ciencias Artes Barcelona* **32** : 373-449.
- . 1963. Succession in marine populations. *Advancing frontiers of plant Sciences* **2** : 137-168.
- . 1967. Some concepts relative to the organisation on plankton. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, **5** : 257-289.
- . 1970. Perspectives et limitation de la notion de diversité. *Inv. Pesq.* **34** (1) : 65-72.
- PIANKA, E. R. 1966. Latitudinal gradients in species diversity a review of concepts. *Am. Nat.*, **100**(910) : 33-46.
- REPELIN, R. 1970. *Phronimidae* du Bassin Indo-Australien (Amphipodes Hypérides). Cycle génital et répartition saisonnière. Relations quantitatives et écologiques. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*, **8** (2).
- ROCHFORD, D. J. 1969. Seasonal variations in the Indian Ocean along 110°E. I. Hydrological structure of the upper 500 m. *Aust. J. mar. Freshwat. Res.*, **20** : 1-50.
- SHANNON, C. E. 1948. A mathematical theory of communication. *Bell. Syst. Tech. J.*, **27** : 379-423.
- TRANter, D. J. and KERR, J. D. 1969. Seasonal variations in the Indian Ocean along 110°E. V. Zooplankton biomass. *Aust. J. mar. Freshwat. Res.*, **20** : 77-84.
- WYRTKI, K. 1962. The upwelling in the region between Java and Australia during the south east monsoon. *Ibid.*, **13** : 217-225.





## Salinités de surface caractéristiques du courant équatorial et du contre-courant équatorial nord à 150°-160°E\*

J. R. DONGUY\*\* et C. HENIN\*\*

**Abstract:** Since August 1969, four Japanese merchant ships are making regularly, every 60 nautical miles, between New Caledonia and 10°N, surface observations of temperature and salinity. A complete voyage lasts 40 days. The ships cross the equator between 150°E and 160°E.

Contrary to former data, the new observations show high surface salinities (35.0-35.5 ‰) from 1°N to 3°S and between 150°E and 160°E. This high salinity is associated with East wind and the mean monthly surface temperature is lower at the equator than north and south; the T-S diagrams show also evidence of upwelling near the equator.

Low surface salinities (less than 34.0 ‰) are observed from 5°N to 10°N at 150°E mainly between August and October, though in summer, the North Equatorial Counter-current is supplied at the same time by waters from the northern hemisphere and by high salinity waters from the southern hemisphere. The maximum rainfall in the Philippines occurs in January; to reach 150°E in August, the diluted water should have a speed of 0.2 knot instead of 1.2 as observed. The low salinities occur with SW winds or in the presence of the Trade Wind Convergence Zone, both bringing rainfalls. The surface salinity charts drawn during EQUAPAC in August 1956 and during a VITYAZ cruise in August 1957 are pointing out several isolated minima between 5°N and 7°N. Thus there are strong evidences for the *in situ* formation of low salinities in the North Equatorial Counter-Current.

### 1. Introduction

De nombreux minéraliers viennent charger du minerai de nickel en Nouvelle Calédonie et le transportent au Japon. Plusieurs d'entre eux ont bien voulu apporter leur concours à un programme d'échantillonnage superficiel entre la Nouvelle-Calédonie et 10°N. Depuis août 1969, quatre navires en moyenne font régulièrement, tous les 60 milles, des mesures de température et des prélèvements d'eau de mer de surface. Un voyage complet dure 40 jours; les navires, suivant le port de destination, coupent l'équateur entre 150°E et 160°E.

La température a été lue au demi degré près sur un thermomètre placé à l'entrée de la conduite de refroidissement des moteurs, à une profondeur de 5 mètres en moyenne. Un échantillon d'eau prélevé au même moment sur le

même circuit, était conservé en bouteille étanche; sa salinité a été mesurée au salinomètre à induction avec une précision de  $\pm 0,01$  ‰.

### 2. Salinités de surface du courant équatorial

L'upwelling équatorial, caractérisé en surface par une salinité élevée et une température basse, n'est généralement pas signalé à l'ouest de 160°E. Si la carte produite par REID (1969) pour l'été boréal (mai-octobre) présente des salinités de surface (35,0 ‰-35,5 ‰) compatibles avec l'existence d'un upwelling, celle de l'hiver boréal (novembre-avril) (fig. 1) montre que, de 150°E à 160°E, la salinité est inférieure à 35,0 ‰. Or, les observations des navires marchands pendant cette période présentent des salinités superficielles élevées (de 35,0 ‰ à 35,5 ‰) de 1°N à 3°S entre 150°E et 160°E (fig. 2).

Sur la figure 2 ont été groupées:

-la salinité superficielle maximum généralement située entre 1°S et 2°S à 150°E de août 1969 à décembre 1971.

\* Manuscrit reçu le 9 avril 1974

\*\* Centre ORSTOM (Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer) de Nouméa Nouvelle-Calédonie

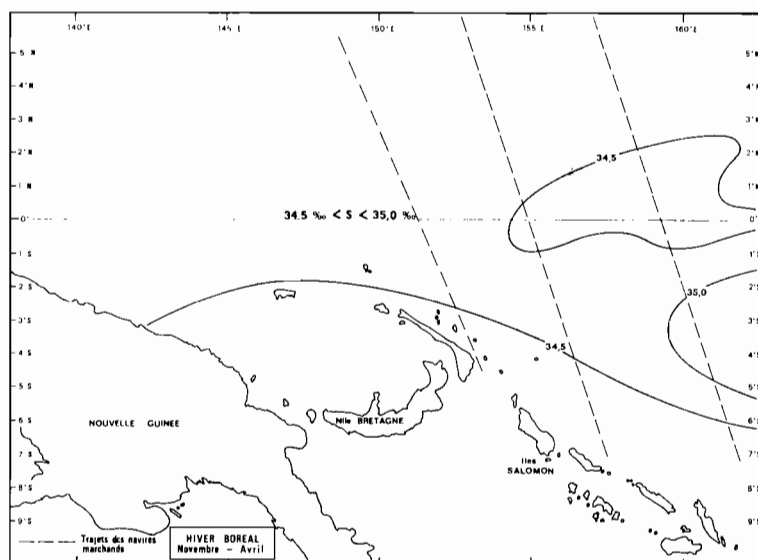


Fig. 1. Salinité de surface pendant l'hiver boréal dans le Pacifique ouest d'après REID (1969).

les composantes zonale et méridienne du vent moyen à l'île Manus (02°S 147°E) pendant la même période extraites des "Tropical Strip Surface Charts" (National Climatic Center, Asheville, USA).

Les salinités élevées se rencontrent par vent de sud-est capable d'induire un upwelling. D'après CROMWELL (1953), la divergence produite par un tel vent est décalée au sud de l'équateur. Comme, de plus, l'eau subsuperficielle est plus salée au sud de l'équateur qu'à l'équateur lui-même, cela explique les salinités superficielles élevées observées entre 1°S et 2°S pendant la période d'alizés de sud-est, c'est-à-dire de juin à décembre environ.

L'upwelling équatorial peut aussi être mis en évidence par un abaissement de la température de surface. Les moyennes mensuelles de température superficielle entre 20°S et 10°N le long de la route des navires (fig. 3) montrent des variations saisonnières au sud de 5°S et au nord de 5°N. En revanche, les variations de température sur l'équateur semblent moins régulières; à des périodes variées on observe un refroidissement s'étendant sur quelques degrés de latitude qui pourrait être dû à un upwelling. Il convient de remarquer que, malgré la faible amplitude des variations, le refroidissement est significatif puisqu'il ressort

de la moyenne des observations de plusieurs navires.

Plusieurs diagrammes T-S de surface (fig. 4) confirment la présence d'upwelling à l'équateur tant à 151°E qu'à 159°E; à l'équateur l'eau est à la fois plus salée et plus froide qu'au nord et au sud.

### 3. Salinités de surface du contre-courant équatorial nord

En hiver, le contre-courant équatorial nord ne reçoit de l'eau que de l'hémisphère nord. En été, il est alimenté à la fois par des eaux venant de l'hémisphère nord et par des eaux de salinité relativement élevée venant de l'hémisphère sud (HISARD *et al.*, 1969); c'est donc à cette époque qu'il devrait être le plus salé. Or c'est principalement entre août et octobre que les navires marchands ont observé de basses salinités (inférieures à 34,0 ‰) à sa surface, c'est-à-dire entre 5°N et 10°N à 147°E.

Le maximum de précipitation aux Philippines est en janvier (fig. 5); pour arriver en août à 150°E, l'eau dessalée devrait avoir une vitesse de 0,2 noeud au lieu des 1,2 noeuds observés. L'arrivée d'une eau dessalée par advection est donc peu probable et c'est ce que confirme l'étude de la salinité à 7°N et de ses variations en fonction de la situation météorologique.

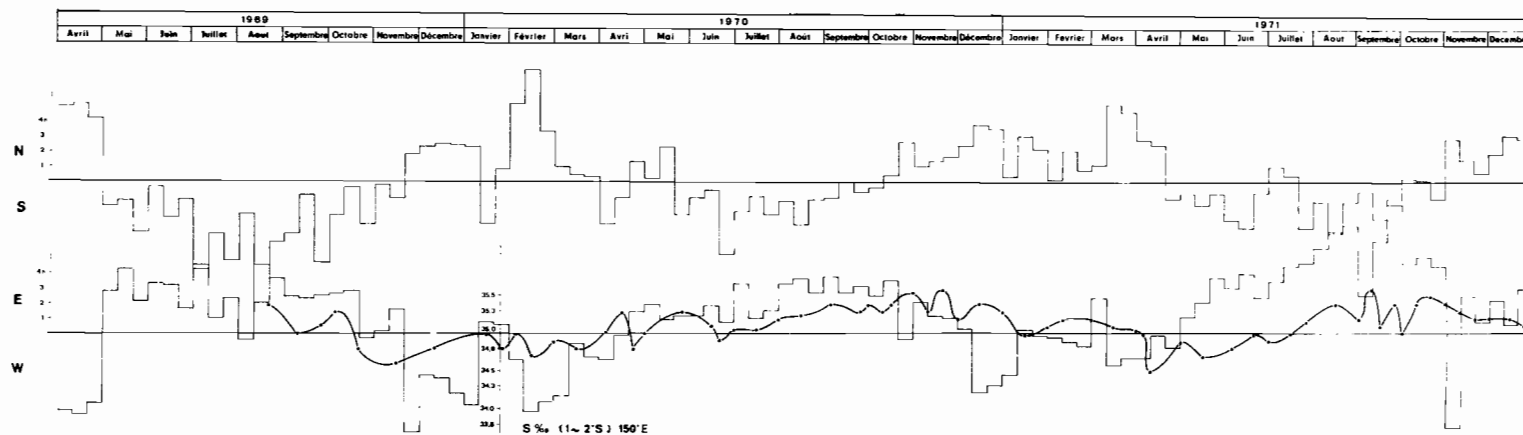


Fig. 2. Maximum superficiel de salinité dans le courant équatorial (trait continu) et composantes zonale et méridienne du vent moyen à l'île Manus ( $02^{\circ}\text{S}$ ,  $147^{\circ}\text{E}$ ).

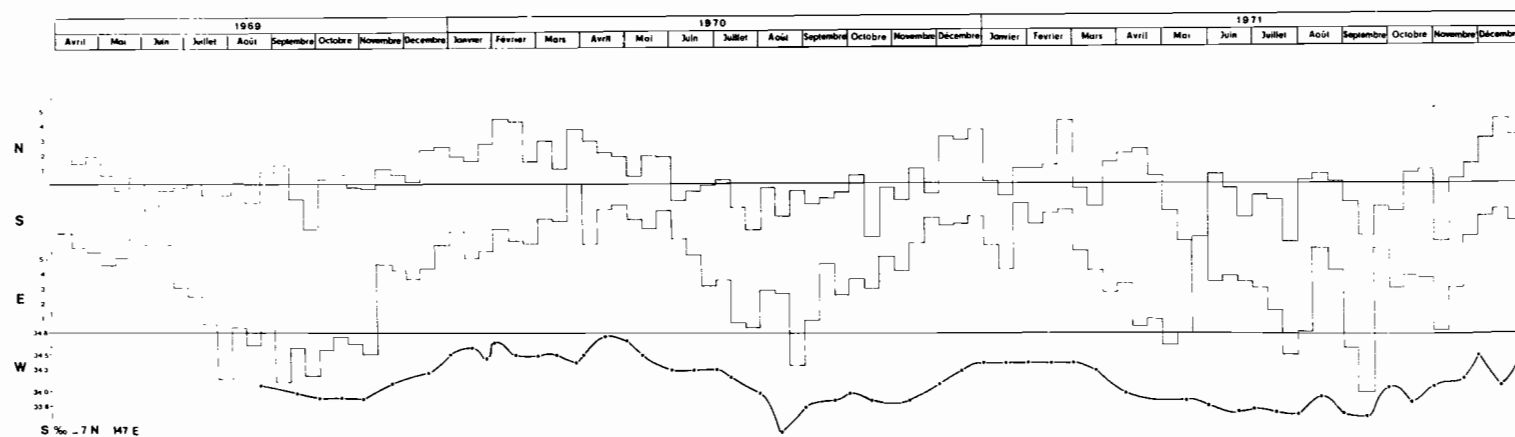


Fig. 6. Minimum superficiel de salinité (trait continu) dans le contre-courant équatorial nord et composantes zonale et méridienne du vent moyen à l'île Woleai ( $07^{\circ}\text{N}$ ,  $143^{\circ}\text{E}$ ).

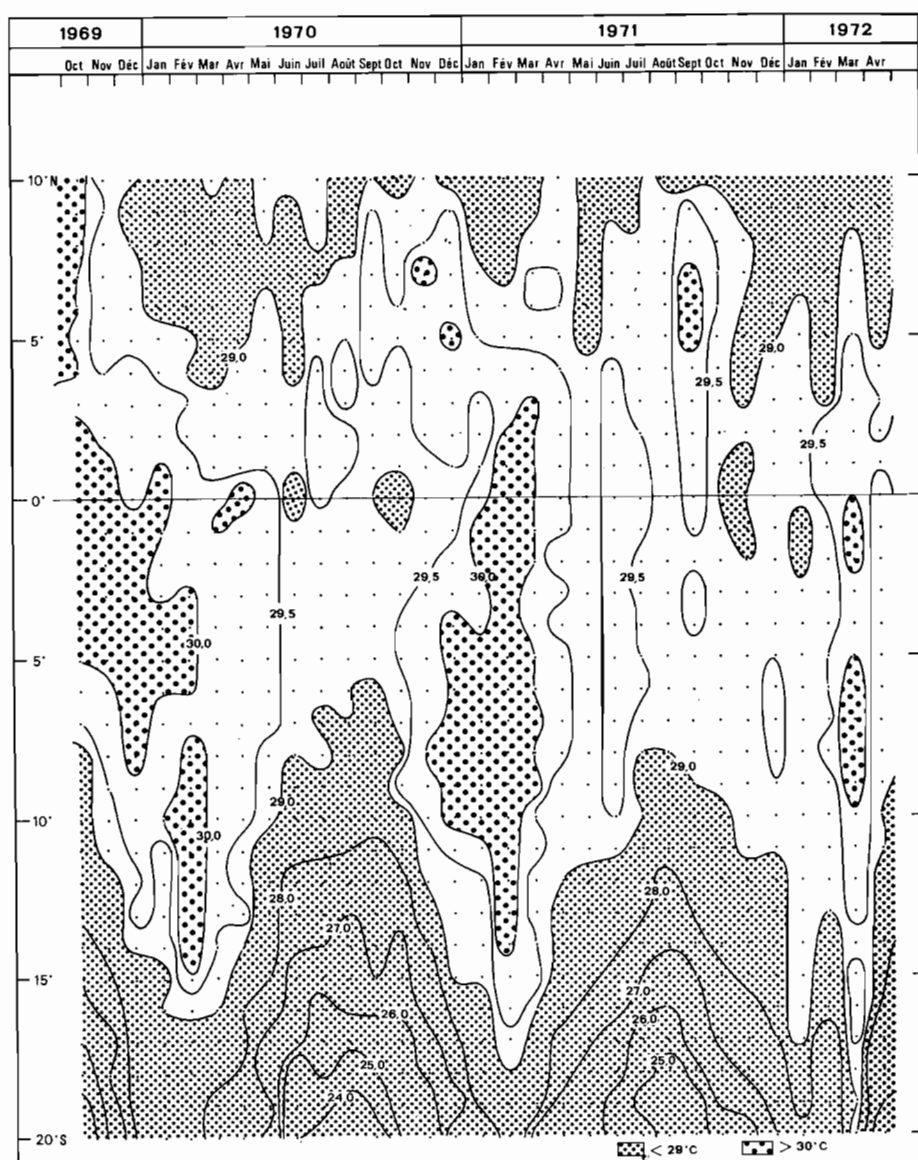


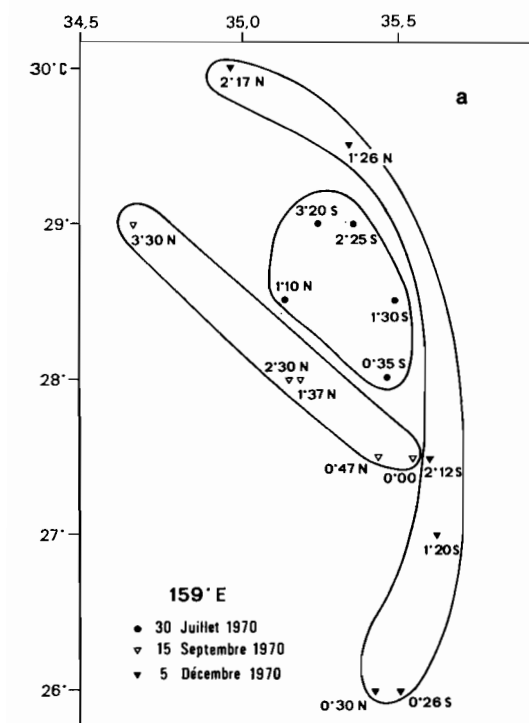
Fig. 3. Moyennes mensuelles de la température superficielle entre 20°S et 10°N le long de la route des navires.

Sur la figure 6 ont été groupées:

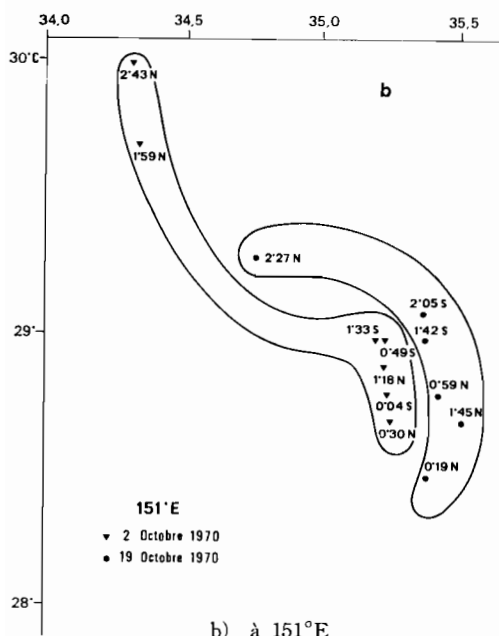
- la salinité superficielle à 7°N, 147°E de août 1969 à décembre 1971.
- les composantes zonale et méridienne du vent moyen à l'île Woleaï (7°N, 143°E) pendant la même période extraites des "Tropical Strip Surface Charts" (National Climatic Center, Asheville, USA).

Les basses salinités superficielles coïncident

généralement avec un vent venant du sud-ouest ou encore une absence de vent due à la présence de la zone de convergence des vents. Ces deux phénomènes amènent des précipitations. En 1969 et 1970, les vents de sud-ouest sont apparus d'août à novembre, mais, en 1971, ils ont soufflé d'avril à novembre. La formation de cette eau dessalée serait donc due aux précipitations locales. La salinité de surface (fig. 7) des croisières



a) à 159°E



b) à 151°E

Fig. 4. Diagramme T-S de surface.

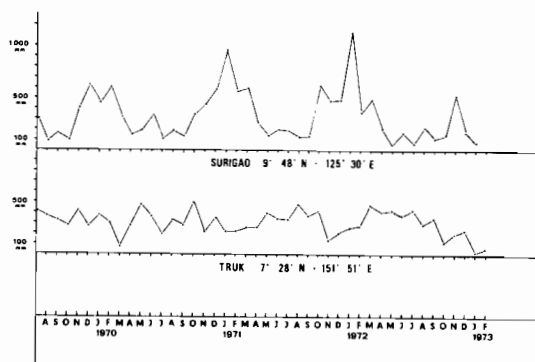


Fig. 5. Précipitation en millimètre à Surigao (Philippines) et à Truk (îles Caroline).

EQUAPAC (août 1956) et VITYAZ 25 (août 1957) le confirme. On y distingue en effet plusieurs minima isolés ( $S < 34,0\text{‰}$ ) entre  $5^{\circ}\text{N}$  et  $7^{\circ}\text{N}$ , c'est-à-dire à l'emplacement du contre-courant équatorial nord.

#### 4. Conclusion

Dans le Pacifique occidental, les phénomènes d'advection ne peuvent pas expliquer certaines salinités superficielles observées dans le courant équatorial et dans le contre-courant équatorial nord. Elles sont formées sur place par upwelling dans le courant équatorial, par précipitation dans le contre-courant équatorial nord.

#### Remerciements

Les auteurs adressent leurs remerciements au commandant et à l'équipage des navires *Gyokuryu maru*, *Horyu maru*, *Koryu maru* de la Compagnie TAIHEIYO KISEN KAISHA, *Koyo maru* de la Compagnie SHINWA KAIUN KAISHA, *Hasshin maru* et *Nanyo maru* de la Compagnie NIPPON YUSEN KAISHA, *Hishashima maru* de la Compagnie KOKUYO KAIUN KAISHA ainsi qu'aux Etablissements BALLANDE, au Groupe P. PENTECOST et à la Société JOHNSTON, consignataires de ces navires. Leur collaboration efficace et sympathique a permis de mener à bien cette étude.

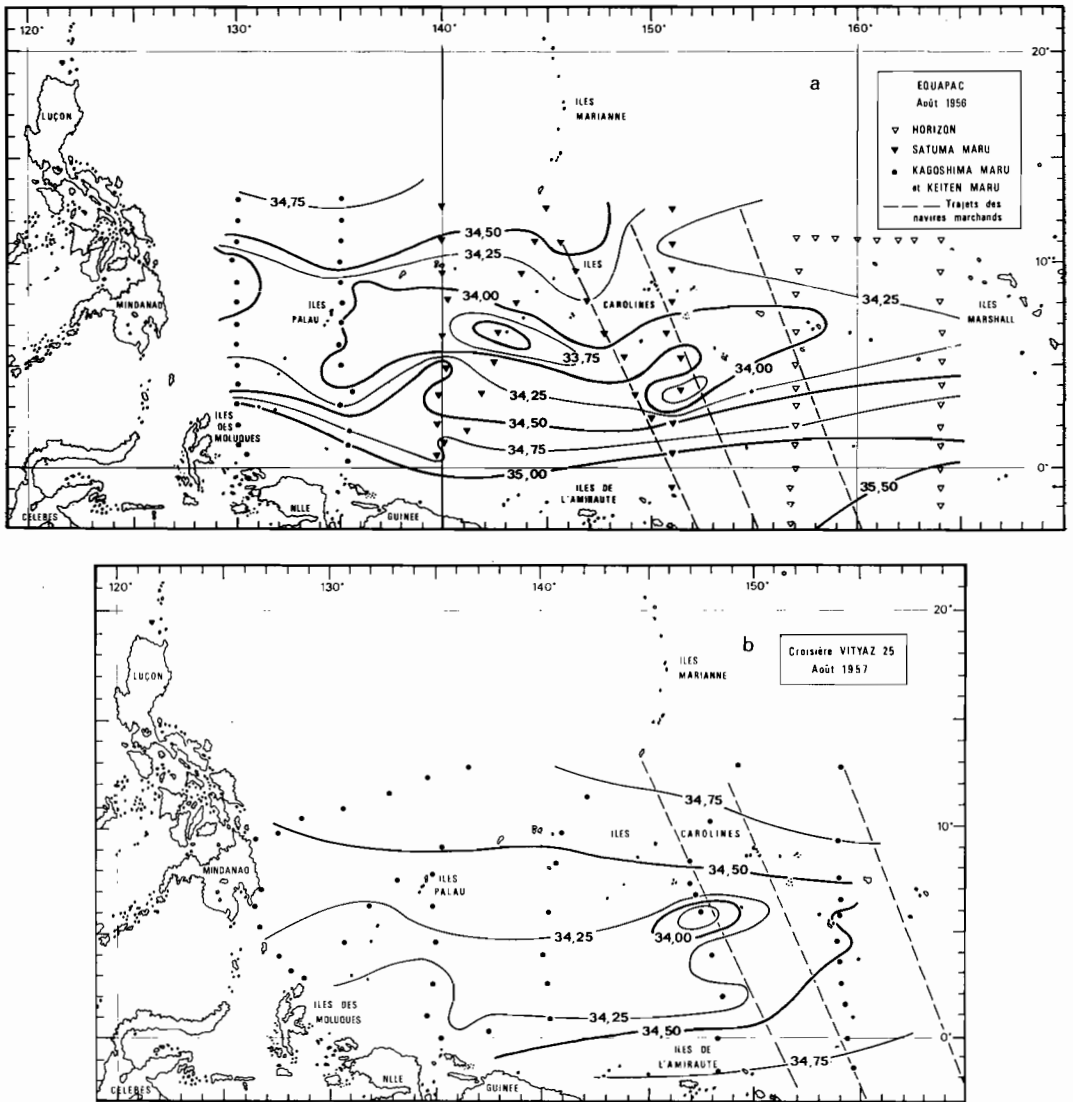


Fig. 7. Salinité de surface pendant  
a) la croisière Equapac (août 1956), b) la croisière 25 du Vityaz (août 1957).

### Bibliographie

- CROMWELL, T. (1953): Circulation in a meridional plane in the Central Equatorial Pacific. J. Mar. Res., **12**, 196-213.
- HISARD, P., Y. MAGNIER and B. WAUTHY (1969): Comparison of the hydrographic structure of

equatorial waters north of New Guinea and at 170°E. J. Mar. Res., **27**, 191-205.

- REID, J. L. (1969): Sea-surface temperature, salinity, and density of the Pacific Ocean in summer and in winter. Deep-sea Res., Supp. **16**, 215-224.



# LES PRINCIPAUX ASPECTS DE LA DESSALURE DES EAUX SUPERFICIELLES DU PACIFIQUE TROPICAL SUD-OUEST

J. R. DONGUY, C. HENIN, F. ROUGERIE

*Océanographes de l'O.R.S.T.O.M., Centre de Nouméa - BP. A5 - Nouméa-Ceder*

## RÉSUMÉ

*Dans le Pacifique tropical sud-ouest, l'eau dessalée a deux origines : la partie occidentale du Pacifique et le nord-est de la Polynésie. Elle est généralement formée dans des zones où les précipitations sont fortes, puis transportée par advection zonale ; cependant la zone dessalée située au nord de la Polynésie pourrait aussi être alimentée par l'advection méridienne de l'eau boréale à travers l'équateur.*

## ABSTRACT

*In the south-western tropical Pacific, the desalted water has two origins : the western part of the Pacific Ocean and the north of Polynesia. The desalted water is usually generated in areas where rainfall is strong, and then carried away by zonal advection ; however, the desalted area located north of Polynesia could also be supplied by meridian advection through the equator.*

## I. INTRODUCTION.

Les données océanographiques concernant le Pacifique sud sont rares car il a peu bénéficié, contrairement au Pacifique nord, des travaux entrepris par les nations à forte vocation maritime que sont le Japon, les États-Unis et l'U.R.S.S. D'après SVERDRUP *et al.* (1942), le Pacifique sud-ouest est la zone de contact entre l'eau subtropicale salée formée dans le Pacifique central au sud des îles Tuamotu et l'eau dessalée provenant de la bordure occidentale du Pacifique. REID (1969) a dressé deux cartes saisonnières des salinités superficielles de tout le Pacifique : l'une à l'aide d'observations faites de novembre à avril (été austral), l'autre à l'aide d'observations faites de mai à octobre (hiver austral). Elles montrent qu'en été le prin-

cipal gradient horizontal se trouve entre 180° et 160° W alors qu'en hiver il est situé plus à l'ouest entre 170° E et 180°. L'isohaline 36,0 ‰, dont le tracé peut être considéré comme une schématisation de l'extension de l'eau subtropicale, atteint 10° S et 170° W en hiver ; plus à l'ouest, le maximum de salinité a tendance à se scinder en deux parties dont la principale est située au sud de 15° S.

## II. LES DEUX ZONES DESSALÉES DU PACIFIQUE SUD-OUEST.

Aux croisières américaines faites de 1950 à 1960 a succédé, dans le Pacifique sud-ouest, un gros effort de recherche fourni par les océanographes du



CSIRO (Australie) et du Centre O.R.S.T.O.M. de Nouméa. Les nouvelles observations apportent un complément efficace aux schémas existants. C'est ainsi qu'a été établie (fig. 1) la carte des salinités superficielles moyennes avec les données déjà utilisées en grande partie par REID (*op. cit.*), dont on a pris la moyenne le long des méridiens 174° W, 167° W, 160° W, 153° W, 140° W, 132° W et que l'on a complétées par celles fournies entre 1966 et 1968 par les croisières du N.O. *CORIOLIS* aux longitudes 170° E et 180°. Sur cette carte, limitée à 170° E à l'ouest, à 130° W à l'est et à 20° S au

sud, on distingue deux zones dessalées : l'une, à l'ouest, atteint 170° W ; l'autre, au nord-est, beaucoup moins étendue, atteint 155° W. D'après MERLE, ROTSCHI, VOITURIEZ (1969), la zone dessalée occidentale est associée à la présence du contre-courant équatorial sud dont la largeur peut dépasser plusieurs degrés de latitude à 170° E ; les eaux de faible salinité seraient donc entraînées vers l'est jusqu'à la masse subtropicale plus salée. Dans la zone de contact, de nouvelles données étaient nécessaires pour combler le vide qui apparaît entre 180° et 160° W.

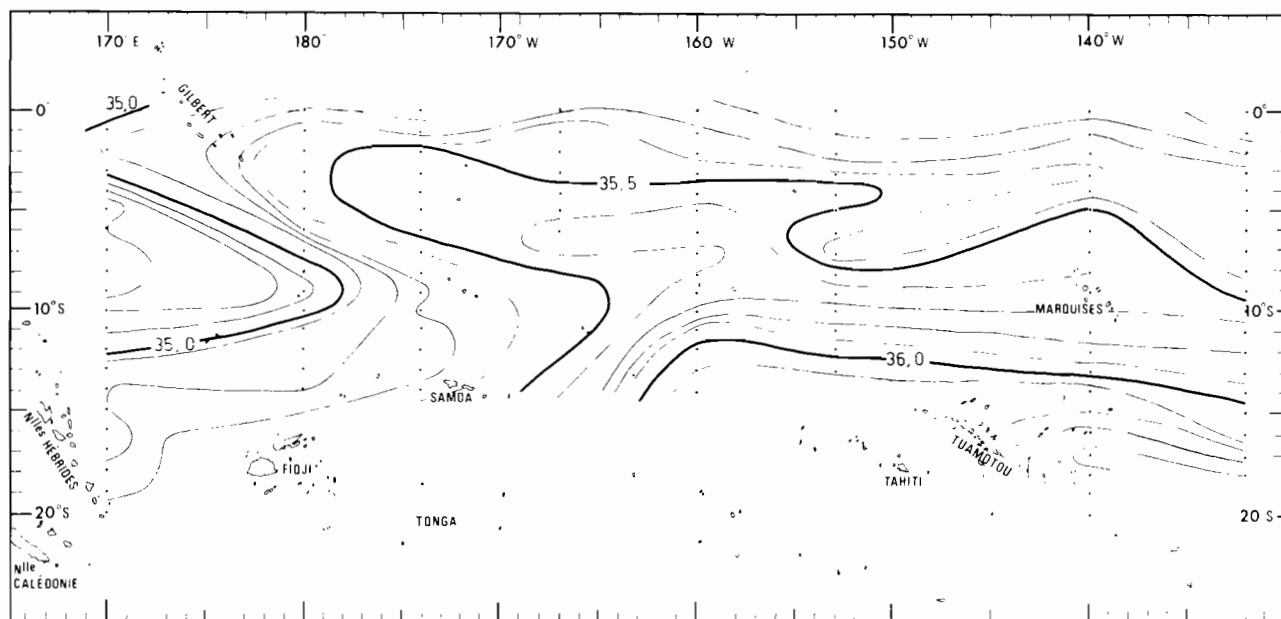


Fig. 1. — Salinité moyenne superficielle dans le Pacifique tropical sud évaluée le long des méridiens 170° E, 180°, 174° W, 160° W, 153° W, 140° W et 132° W.

Le N.O. *CORIOLIS* a donc effectué en juin-juillet 1970 la croisière *DANAÏDES* de 6° S à 20° S et de 177° W à 164° W. La distribution superficielle de la salinité (fig. 2) obtenue pendant cette croisière et complétée par les observations faites un mois plus tard à 167° E (croisière *ÉPONITE*) ressemble à la distribution des salinités moyennes (fig. 1) : les zones dessalées ont une forme semblable et les minima de salinité sont à peu près à la même latitude. De même, les renseignements apportés par les croisières *STYX* et *BURTON ISLAND* de la Scripps Institution of Oceanography (fig. 3) faites en 1968 à peu près à la même saison que la croisière *DANAÏDES*, révèlent un champ de salinité superficielle présentant une grande similitude avec le tracé de la figure 2. Cependant, la zone dessalée, pendant la croisière *DANAÏDES*, apparaît beaucoup

plus étendue que sur la carte de distribution moyenne des salinités superficielles (fig. 1) et que sur celle de la distribution des salinités superficielles des croisières *STYX* et *BURTON ISLAND* (fig. 3). En début d'hiver austral, les valeurs mesurées sont aussi basses que celles indiquées par REID (*op. cit.*) pour l'été austral. D'après la topographie dynamique de la surface de la mer relative à 1000 décibars de la croisière *DANAÏDES* (DONGUY, HENIN, JARRIGE, ROUGERIE, 1974), la partie méridionale de l'eau dessalée est entraînée vers l'est par le contre-courant équatorial sud tandis que l'eau subtropicale plus salée est emmenée vers l'ouest par le courant équatorial. Cependant, il semble que l'advection ne puisse expliquer totalement une avancée aussi importante de l'eau dessalée dans le Pacifique central ni sa persistance à une date aussi tardive.

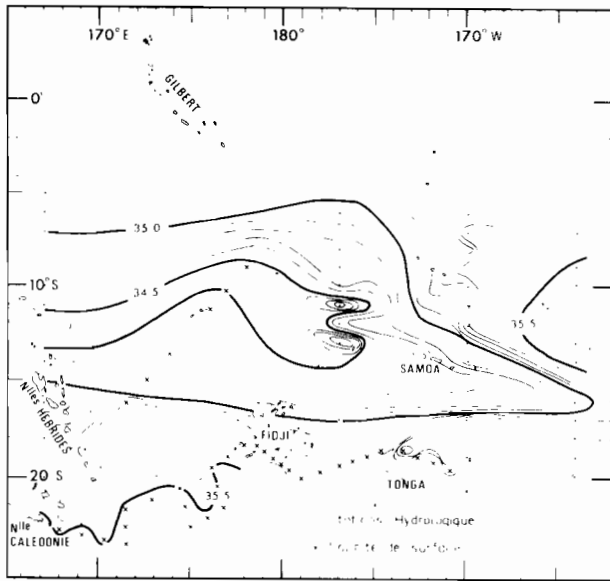


Fig. 2. — Salinité superficielle pendant les croisières *DANAÏDES* (juin-juillet 1970) et *ÉPONITE* (août 1970).

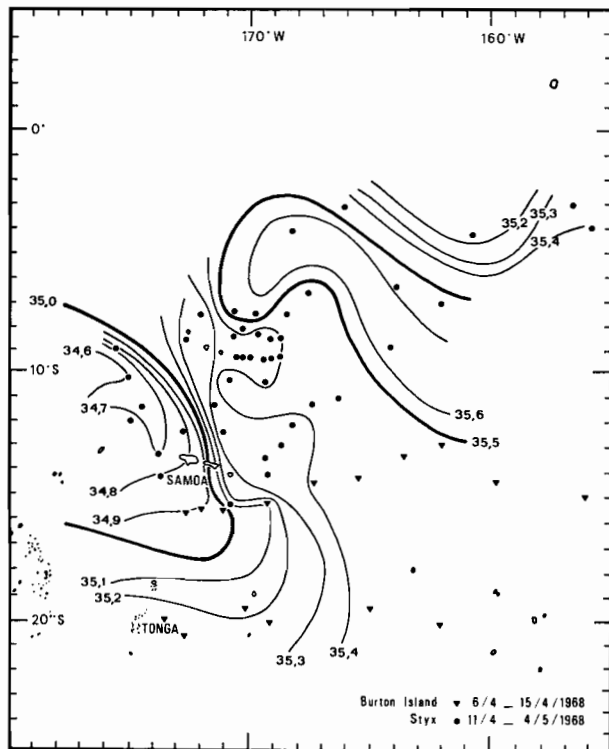


Fig. 3. — Salinité superficielle pendant les croisières *BURTON ISLAND* (avril 1968) et *STYX* (avril-mai 1968) de la *Scripps Institution of Oceanography*.

La figure 1 met aussi en évidence une deuxième zone dessalée, située au nord de la Polynésie, et particulièrement nette sur la carte (fig. 4) qui groupe les salinités superficielles de trois croisières différentes faites entre septembre et décembre 1961 : une importante zone dessalée s'étend au sud de l'équateur entre 155° W et 140° W. Des données de surface recueillies à des dates différentes font apparaître une situation similaire; l'origine de cette eau reste à déterminer.

La formation de ces deux zones dessalées sera étudiée ci-après en commençant par celle de la partie occidentale du Pacifique sud.

### III. FORMATION DES EAUX DESSALÉES SUPERFICIELLES.

#### 1. Les eaux dessalées de la partie occidentale du Pacifique sud.

Pendant la croisière *DANAÏDES* (fig. 2), les eaux de salinité inférieure à 35,0 ‰ atteignaient 164° W et celles de salinité inférieure à 34,5 ‰, 180°. La présence de cette nappe d'eau très dessalée aussi loin à l'est constitue un phénomène dont l'ampleur était peu prévisible et dont les mécanismes d'entretien, advection aussi bien que dilution locale, méritent d'être élucidés.

Depuis 1970, l'observation continue de la salinité de surface entre la Nouvelle-Calédonie et le Japon montre qu'en février, au voisinage des îles Salomon, apparaît une eau de salinité inférieure à 34,5 ‰ qui suit le déclenchement de la mousson de nord-ouest dans le Pacifique occidental. Le transport en 4 ou 5 mois de 160° E à 170° W de cette eau dessalée suppose une vitesse moyenne de 0,6 à 0,8 nœuds. Les observations directes et les calculs des vitesses géostrophiques faites à 170° E permettent d'estimer la vitesse maximale du contre-courant équatorial sud à 0,5-0,6 nœuds, limite inférieure de l'hypothèse précédente. Cependant, l'estimation des vitesses géostrophiques du flux Est d'après les mesures faites pendant la croisière *DANAÏDES* donnent une vitesse maximale de 0,4 nœuds, vitesse peu compatible avec la présence d'eau dessalée jusqu'à 164° W. La considération des flux géostrophiques évalués de la surface à 200 mètres de profondeur (fig. 5) montre aussi que le flux Est du contre-courant équatorial sud diminue brusquement à l'est de 170° W où ses eaux sont reprises par le flux Ouest le bordant au nord et au sud. Sans remettre en cause le transport par advection, prouvé par la continuité de la nappe dessalée entre l'ouest du Pacifique sud et 164° W, il paraît donc nécessaire de faire intervenir une dessalure locale pour justifier l'importance de cette nappe dessalée.

Les mesures mensuelles des précipitations relevées aux Iles Ellice (Funafuti 8°31 S, 179°13 E), Wallis (13°14 S, 176°10 W) et Samoa (Apia 13°48 S, 171°47 W, Pago-Pago 14°20 S, 170°43 W), montrent que le maximum de pluies a lieu généralement en décembre-janvier. D'après HIRSH et MONTGOMERY (1972), un minimum de salinité homogène peut apparaître localement trois mois après une période de précipitation marquée, ce qui dans le cas général se produirait donc en mars-avril. En 1970, au contraire, les données pluviométriques des stations ci-dessus indiquent que le maximum de précipitation a eu lieu en mars, ce qui dans l'hypothèse précédente, ferait apparaître une dessalure superficielle locale en juin-juillet, concordant bien avec les mesures de salinité de la croisière *DANAÏDES*.

En résumé, entre 180° et 160° W, il apparaît une dessalure locale qui se superpose, en la renforçant, à celle que le contre-courant équatorial sud transporte; sa date d'apparition dépend de la saison des pluies observée dans la région.

## 2. Les eaux dessalées superficielles au nord de la Polynésie.

Les mesures faites fin 1961 (fig. 4) font apparaître entre 140° W et 155° W et de l'équateur à 10° S une zone où la salinité s'abaisse de 35,5 ‰ à 35,3 ‰ de 9° S à 8° S; cette zone semble reliée par continuité aux eaux de faible salinité du Pacifique nord. L'origine de cette eau n'est pas claire.

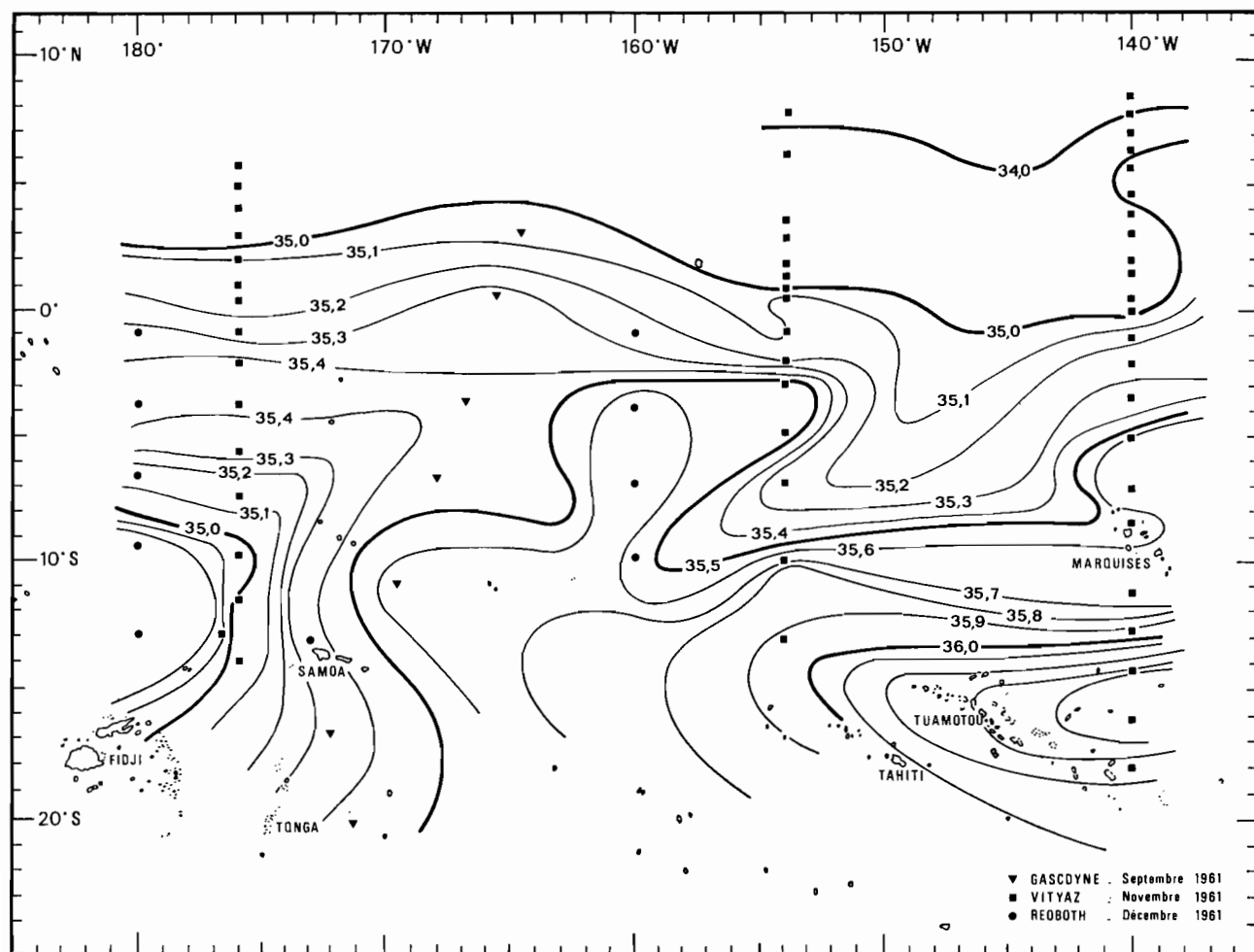


Fig. 4. — Salinité superficielle de septembre à décembre 1961 dans le Pacifique tropical sud à partir des données du *GASCOYNE* (septembre 1961), *VITYAZ* (novembre 1961) et *REOBOTH* (décembre 1961).

L'hypothèse de la formation sur place semble exclue. D'après TAYLOR (1973), cette zone est une des moins arrosée du Pacifique sud avec des précipitations annuelles de 500 millimètres alors qu'à la même longitude, vers 5° N, on observe 4000 millimètres et 2000 millimètres vers 15° S.

L'advection d'eau dessalée de l'est vers l'ouest ne semble possible que de mai à juillet. En effet, de février à avril, d'après TAYLOR (*op. cit.*), il apparaît un maximum de précipitation dans l'hémisphère sud vers 5° S, 90° W, maximum qui se prolonge vers l'ouest jusqu'à 140° W. C'est ce que confirme le régime pluviométrique de l'île San Cristobal (0°54 S, 89°57 W) dans l'archipel Galapagos. D'après HIRIS et MONTGOMERY (*op. cit.*), l'eau dessalée doit apparaître dans cette région en mai et, le courant équatorial favorisant son advection vers l'ouest avec une vitesse de l'ordre de 1 nœud, elle peut arriver trois mois plus tard à 140° W, c'est-à-dire en juillet. En 1967, cependant, les données pluviométriques de l'île San Cristobal indiquent que le maximum de

précipitation a eu lieu en janvier, ce qui peut expliquer la forte dessalure superficielle ( $S < 34,50 ‰$ ) de l'équateur à 10° S et de la côte américaine à 110° W mise en évidence en février-mars par la carte de la distribution superficielle de l'Atlas Eastropac (1972).

En revanche, dans le cas général, le reste de l'année, les précipitations sont extrêmement faibles de l'équateur à 10° S et de 150° W à la côte américaine (TAYLOR, *op. cit.*) et la formation d'eau dessalée n'est pas possible dans cette région. Pendant la deuxième partie de l'année, il n'y a pas non plus de possibilité d'advection de l'est à l'ouest d'eau dessalée déjà formée car des prélèvements de surface réguliers effectués entre Tahiti et Panama pendant trois ans font apparaître de juillet à décembre vers 110° W une eau de salinité supérieure à 35,0 ‰ au sud de l'équateur; de même la distribution de la salinité superficielle en août-septembre 1967 a montré qu'à 110° W la salinité était supérieure à 35,0 ‰ au sud de l'équateur. Il faut donc envisager la formation de la zone dessalée située au nord de la Polynésie par advection de l'hémisphère nord à l'hémisphère sud. En effet, on distingue toute l'année vers 150° W, dans l'hémisphère boréal entre l'équateur et 10° N, une zone de précipitation maximum (5000 millimètres par an) (TAYLOR, *op. cit.*) et les cartes mensuelles de salinité de surface (BENNETT, 1966) montrent que cette zone est associée à une dessalure superficielle permanente. Des données recueillies entre septembre 1968 et juin 1969 au cours des croisières CARIDE du N.O. CORIOLIS (fig. 6 a et 6 b) ont montré la présence à l'équateur entre 140° W et 150° W d'une masse d'eau de salinité inférieure à 35,1 ‰ et pouvant atteindre une épaisseur de 100 mètres. Il semblerait donc qu'il y ait passage d'eau dessalée de l'hémisphère nord à l'hémisphère sud mais un tel phénomène est difficile à concevoir. En effet, la divergence équatoriale devrait repousser vers le nord les eaux de l'hémisphère nord et les empêcher de passer dans l'hémisphère sud. Cependant, comme le montrent les données de la croisière SWAN SONG en septembre 1961 (STROUP 1969), l'upwelling équatorial peut coexister avec la nappe dessalée (fig. 4). On peut donc imaginer que, si l'eau dessalée de l'hémisphère nord atteint l'équateur, elle peut le franchir sous l'effet de la divergence équatoriale qui lui donne une composante Sud dans l'hémisphère austral. Ce mécanisme reste néanmoins à vérifier.

En résumé, si la formation sur place de la nappe dessalée est exclue, on peut envisager sa formation par advection de l'est à l'ouest entre mai et juillet et peut-être lui donner une origine boréale le reste de l'année.

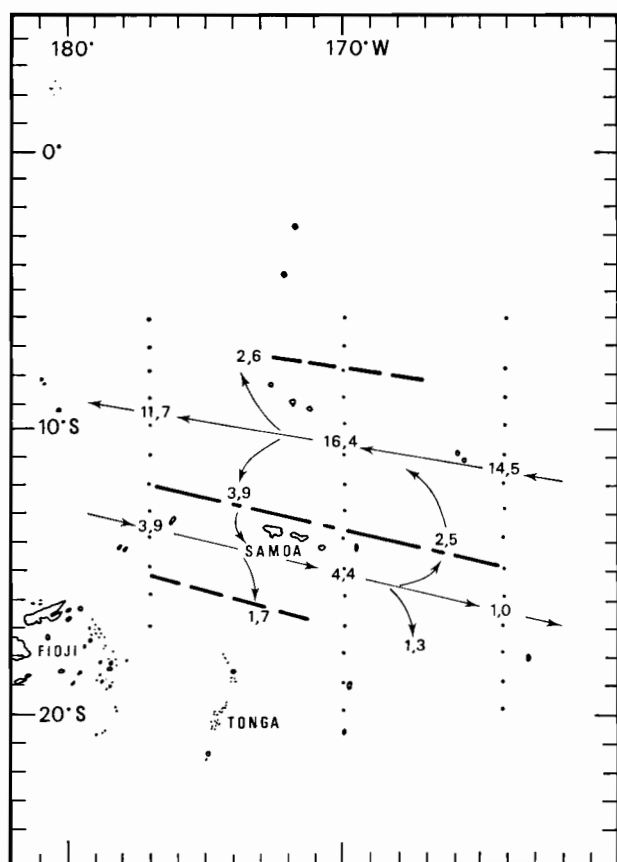


Fig. 5. — Flux géostrophiques relatifs à 1000 décibars évalués de la surface à 200 mètres de profondeur en  $10^6 \text{ m}^3/\text{s}$  pendant la croisière DANAÏDES.

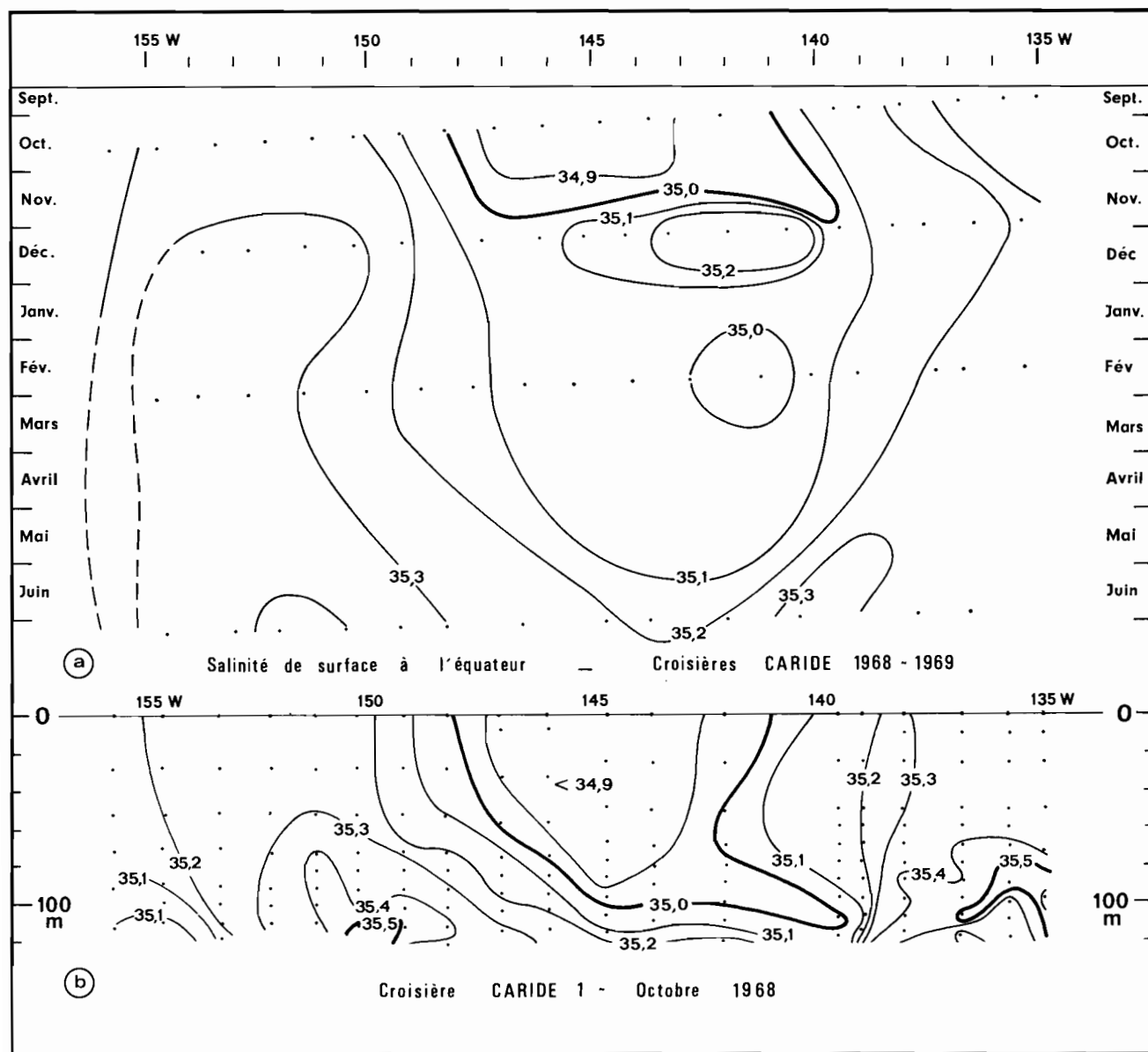


Fig. 6. — a) Salinité superficielle pendant les croisières équatoriales *CARIDE* de 135° W à 155° W et de septembre 1968 à juin 1969 ; b) Distribution verticale de la salinité pendant la croisière équatoriale *CARIDE* 1 en octobre 1968.

#### IV. CONCLUSION.

L'hydrologie des eaux superficielles du Pacifique tropical sud-ouest est caractérisée par le contact entre les eaux subtropicales salées et celles moins salées provenant de la partie occidentale du Pacifique et du nord de la Polynésie. Cependant l'abondance et même la présence de ces masses d'eau sont étroitement liées aux conditions météorologiques régnant sur toute la zone où elles sont observées. La dessalure

superficielle dépend donc à la fois du transport advectif et des précipitations locales. L'enclave desalée du nord de la Polynésie semble également alimentée par l'arrivée d'eau boréale qui franchit l'équateur de juillet à avril suivant un mécanisme non élucidé. Cependant, la vérification du rôle de ces mécanismes et l'appréciation de leur importance respective en termes d'advection et de dilution ne pourra reposer que sur une meilleure connaissance de l'hydro-climat du Pacifique sud.

*Manuscrit reçu au S.C.D. le 27 août 1974*

## DONNÉES UTILISÉES

| <i>Navires</i>                         | <i>Institutions</i>                 | <i>Croisières</i>            | <i>Dates</i>                       | <i>Références</i>                          |
|----------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------|
| <i>GASCOYNE</i>                        | CSIRO Australie                     | G3/61                        | Sept. 1961                         | Oceanographical Cruise Report n° 12        |
| <i>VITYAZ</i>                          | Acad. des Sciences URSS             | V1 34                        | Nov. 1961                          | National Oceanographic Data Center         |
| <i>REOBOTH</i>                         | Naval Oceanographic Office USA      |                              | Déc. 1961                          | National Oceanographic Data Center         |
| <i>ARGO</i>                            | Scripps Institution of Oceanography | <i>SWAN SONG</i>             | Sept.-déc. 1961                    | S I O, Ref 66-1                            |
| <i>BURTON ISLAND</i><br><i>AGASSIZ</i> | Scripps Institution of Oceanography | Burton Island<br><i>STYX</i> | Fév.-avril 1968<br>Avril-août 1968 | Data Report<br>S I O Réf. 71-25            |
| <i>CORIOLIS</i>                        | Centre O.R.S.T.O.M.<br>Nouméa       | Caride 1.2.3.                | Sept. 1968<br>Mars 1969            | Rapp. Sci.<br>O.R.S.T.O.M.<br>Nouméa n° 36 |
| <i>CORIOLIS</i>                        | Centre O.R.S.T.O.M.<br>Nouméa       | Caride 4.5.6.                | Juin 1969<br>Déc. 1969             | Rapp. Sci.<br>O.R.S.T.O.M.<br>Nouméa n° 40 |
| <i>CORIOLIS</i>                        | Centre O.R.S.T.O.M.<br>Nouméa       | <i>DANAÏDES I</i>            | Juin-juil. 1970                    | Rapp. Sci.<br>O.R.S.T.O.M.<br>Nouméa n° 52 |
| <i>CORIOLIS</i>                        | Centre O.R.S.T.O.M.<br>Nouméa       | <i>ÉPONITE</i>               | Août-sept. 1970                    | Rapp. Sci.<br>O.R.S.T.O.M.<br>Nouméa n° 48 |

## BIBLIOGRAPHIE

ANONYME, 1972. — Eastropac Atlas. Vol. 1 et vol. 5. US Department of Commerce.

BENNETT (E. B.), 1966. — Monthly charts of surface salinity in the Eastern Tropical Pacific Ocean. *Bull. Inter. Amer. Trop. TUNA Comm.* Vol. 11, n° 1 : 1-44.

DONGUY (J. R.), HENIN (C.), JARRIGE (F.), ROUGERIE (F.), 1974. — Esquisse dynamique et hydrologique du Pacifique Central sud. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.* Vol. 12 n° 2 : 129-139.

HIRES (R. J.), MONTGOMERY (R. B.), 1972. — Navifacial temperature and salinity along the Track from Samoa to Hawaii, 1957-1965. *J. Mar. Res.* Vol. 30, n° 2 : 177-200.

MERLE (J.), ROTSCHI (H.), VOITURIEZ (B.), 1969. — Zonal circulation in the tropical western South Pacific.

in « Perspectives in Fisheries Oceanography » *Jap. Soc. Fish. Oceanogr.* : 91-98.

REID (J. L.), 1969. — Sea surface temperature, salinity and density of the Pacific Ocean in Summer and in Winter. *Deep Sea Res. Suppl.* Vol. 16 : 215-224.

STROUP (E. D.), 1969. — The thermostat of the 13 °C water in the Equatorial Pacific Ocean. P. II. D. Thesis, Baltimore.

SVERDRUP (H. V.), JOHNSON (M. W.), FLEMING (R. H.), 1942. — The Ocean. Prentice Hall-Englewood Cliff N.J. 1087 p.

TAYLOR (R. C.), 1973. — An Atlas of Pacific islands rainfall. Data Report n° 25. HIG 73-9 Hawaii. Institute of Geophysics, University of Hawaii.



## Hydrologie et dynamique dans le Pacifique occidental tropical, en relation avec les mécanismes de fertilisation <sup>1</sup>

par Henri ROTSCHI et Bruno WAUTHY \*

**Résumé.** — Les études entreprises sur la dynamique et l'hydrologie des eaux de la région intertropicale sud de l'océan Pacifique occidental ont montré qu'il existe des mouvements verticaux ayant une action déterminante sur la distribution des sels nutritifs dans la couche euphotique. De tels mouvements intéressent la zone de divergence équatoriale, les zones frontales situées de part et d'autre et, dans les eaux intertropicales, la limite entre les flux ouest et les flux est. De leur fait, les sels nutritifs reminéralisés à partir de la matière organique accumulée sous la couche homogène sont recyclés et assurent, à des zones privilégiées de cette région, une productivité très supérieure à ce qu'elle serait sans eux.

**Abstract.** — Studies of the dynamics and hydrology of the intertropical zone of the western south Pacific have shown that there are vertical displacements of the water strongly determining the distribution of nutrients in the euphotic layer. Such movements exist in the equatorial divergence zone, in the zone of thermal fronts north and south of the equator and, in the intertropical waters, at the limit between westward and eastward flows. Thus nutrient salts remineralized from the organic matter which accumulates below the homogeneous layer are recycled and give to privileged zones of this region a productivity much higher than what it would be without this circulation.

---

### INTRODUCTION

Pendant longtemps, on a considéré que l'upwelling équatorial dans l'océan Pacifique n'était actif et efficace que dans ses parties centrale et orientale ; les causes en étaient le manque d'observations systématiques à l'équateur et l'existence de cartes de répartition de la température moyenne superficielle n'indiquant aucun refroidissement équatorial dans la partie occidentale. Cette opinion se trouvait d'ailleurs étayée par les conditions météorologiques : l'upwelling équatorial est lié à une forte dérive vers l'ouest, entraînée par la composante est des alizés qui sont les plus intenses dans le Pacifique central ; dans le Pacifique occidental, ils sont au contraire faibles et irréguliers et remplacés en hiver boréal par une mousson qui entraîne dans le nord de la Nouvelle-Guinée une dérive en direction de l'est dont les effets peuvent être ressentis assez loin vers l'est.

Cette situation apparaît clairement sur les cartes de distribution de la température de surface de REID (1969) : le refroidissement équatorial n'atteint pas 180° de mai à octobre

1. Communication présentée aux Journées d'étude « Eaux et pêches outre-mer : inventaire, écologie utilisation », Paris, 23-24 mars 1973, Laboratoire des pêches outre-mer, Muséum national d'histoire naturelle.

\* Centre ORSTOM de Nouméa ; B.P. A5, Nouméa Cédex (Nouvelle-Calédonie).



(fig. 1) et peut être décelé au mieux jusqu'à  $170^{\circ}$  E de novembre à avril ; encore peut-il être interprété comme résultant du transport advectif, le long de l'équateur, par le courant équatorial sud, d'eau froide due à l'upwelling du Pacifique central. Ce refroidissement peut, de plus, n'être qu'apparent. Cependant, la combinaison de la circulation thermohaline et de la circulation induite par les vents conduit à des modèles de distribution de la température assez proches de la réalité (BRYAN et COX, 1967). Le refroidissement est en outre accentué par l'extension d'eau chaude vers l'est, à savoir : dans l'hémisphère nord, d'une eau chaude formée en surface dans le Pacifique tropical occidental et transportée par le contre-courant équatorial nord dont le flux est maximum en août (WYRTKI et KENDALL, 1967) ; dans l'hémisphère sud, d'une eau chaude à faible salinité, originaire du nord de la mer du Corail (REID, *ibid.*), et transportée vers l'est en hiver boréal.

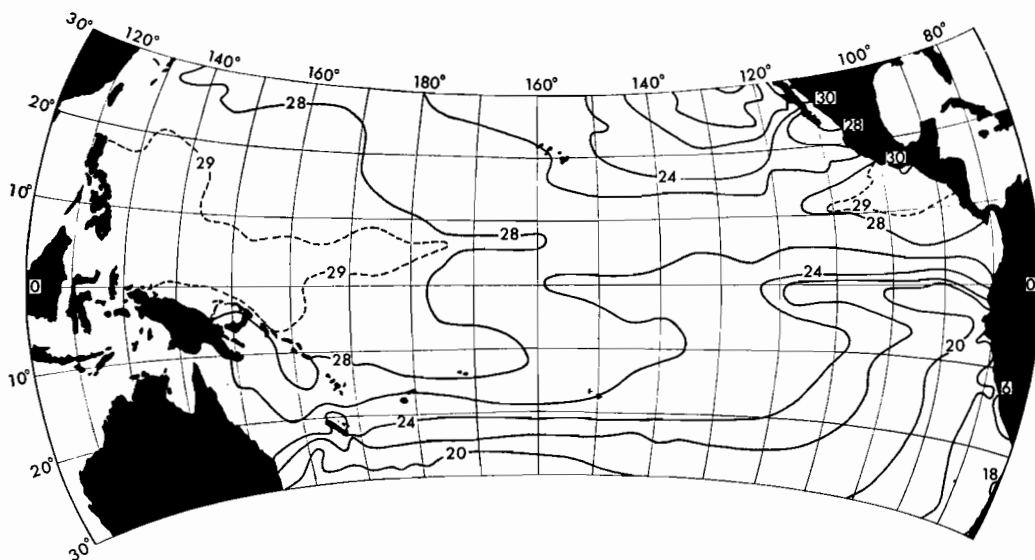


FIG. 1. — Température de surface, de mai à octobre, dans l'océan Pacifique. (D'après REID, 1969.)

Le caractère peu contrasté de la température superficielle dans le Pacifique équatorial occidental et sa relation avec un upwelling ont été discutés, entre autres, par AUSTIN et RINKEL (1958) qui ont conclu qu'à l'ouest de  $180^{\circ}$  il n'y avait probablement pas de remontée d'eau froide ; pour ces auteurs, l'absence de divergence équatoriale est due à la faiblesse de la composante est des vents dominants ainsi qu'à leur irrégularité.

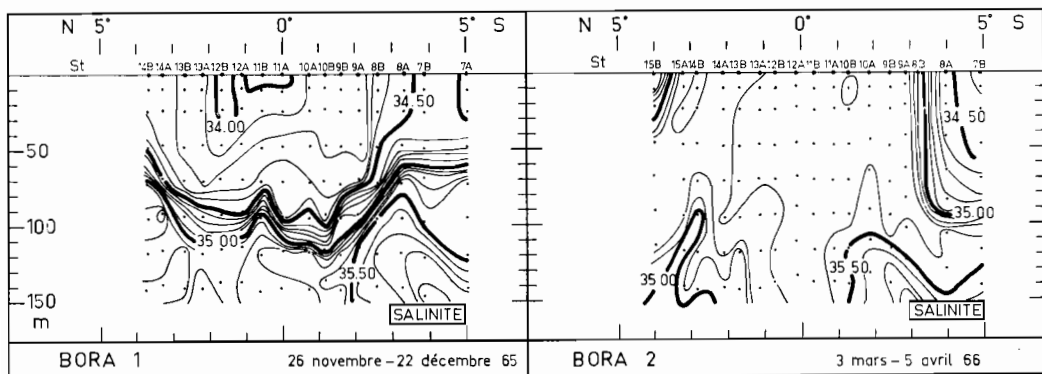
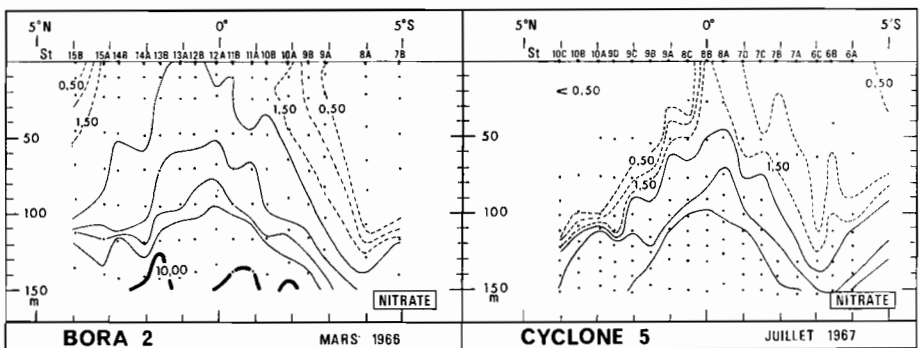
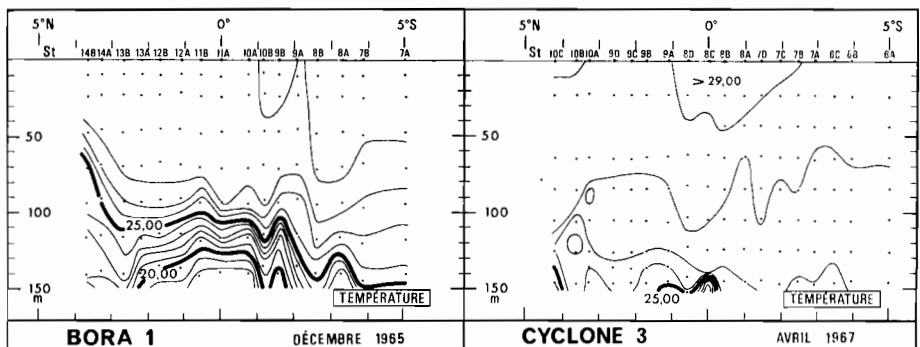
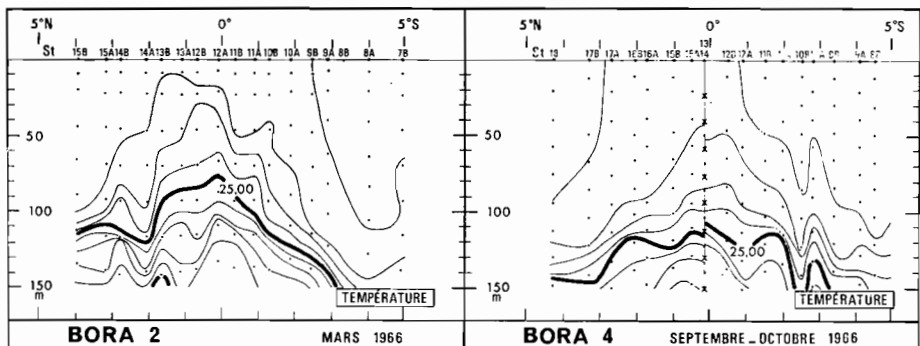
A l'encontre de ces conclusions, les études du Centre ORSTOM de Nouméa, basées sur des croisières systématiques du « Coriolis » à l'équateur, ont établi la réalité de l'upwelling par  $170^{\circ}$  E ; le long de ce méridien, ces travaux ont également permis la mise en évidence d'une circulation en zone tropicale susceptible d'entretenir un certain enrichissement de la couche superficielle conduisant à une production organique localement accrue.

## UPWELLING ÉQUATORIAL À 170° E

Les observations du N.O. « Coriolis » effectuées entre décembre 1965 et mai 1968 ont montré la quasi-permanence du refroidissement équatorial de la couche superficielle à cette longitude. À toutes les croisières sauf deux, on a en effet observé, par vent de secteur est et courant ouest de surface, une remontée des isothermes de la partie supérieure de la thermocline accompagnée d'un refroidissement de l'eau de surface (fig. 2). En septembre-octobre 1966 on a même assisté, à la suite de l'accélération du vent de surface de 4 m/s à 8 m/s, à un renforcement de l'upwelling, ce qui confirme les évaluations antérieures de la force minimale du vent nécessaire au maintien d'une circulation ouest à l'équateur (RODEN, 1962 ; NEUMANN, 1960). Aux deux croisières où le refroidissement n'a pas été trouvé (fig. 3), les conditions en surface étaient particulières : en décembre 1965, le vent et le courant portaient à l'est et, en avril 1967, un fort coup de vent d'ouest dans la semaine précédant la croisière avait entraîné un courant est ; dans ces deux cas, on se trouvait donc en situation de convergence à l'équateur, alors que la situation normale est la divergence.

L'examen d'autres propriétés que la température permet de confirmer et de préciser l'importance de cette remontée des eaux subsuperficielles. C'est ainsi que la distribution verticale des sels nutritifs montre (fig. 4) que, dans tous les cas où il y a refroidissement superficiel, on mesure un enrichissement correspondant de l'eau de surface et que, dans la couche subsuperficielle, la remontée des isophèthes suit exactement celle des isothermes. Cette situation normale d'un enrichissement des eaux équatoriales par rapport aux eaux adjacentes contraste avec la pauvreté uniforme à toute latitude de la couche superficielle trouvée lors des deux croisières où une convergence existait en surface à l'équateur. Une autre caractéristique de l'eau d'upwelling est sa salinité ; en effet, dans le Pacifique occidental, les conditions météorologiques font que l'eau de surface est relativement peu salée. En subsurface par contre, dans l'hémisphère sud, le maximum de salinité de l'eau subtropicale sud, qui a plongé le long de la convergence tropicale vers 20° S, s'avance jusqu'à l'équateur, progressant dans la thermocline. Comme la divergence en surface à l'équateur est alimentée en subsurface par une convergence située à la base de la couche superficielle et empiétant sur le sommet de la thermocline, elle entraîne une eau relativement salée : ainsi la situation normale de divergence (fig. 5, « Bora » 2) montre-t-elle, en surface à l'équateur, de l'eau atteignant 35,30 ‰, contrastant avec celle trouvée au nord et au sud, de salinité inférieure à 34,50 ‰ et qui envahit toute la zone équatoriale en situation de convergence (fig. 5, « Bora » 1).

Il existe donc, en zone équatoriale du Pacifique occidental, des indices hydrologiques nets de mouvements verticaux liés au régime des vents ; par vents persistants du secteur est, une divergence en surface à l'équateur entraîne une remontée d'eau subsuperficielle froide, salée, dense, riche en sels nutritifs et que l'on peut caractériser par les valeurs typiques suivantes :  $T^{\circ}\text{C} = 27,00^{\circ}\text{C}$ ,  $S^{\circ}\text{‰} = 35,30^{\circ}\text{‰}$ ,  $\Delta \text{ st} = 490 \text{ cl/t}$ ,  $\text{P-PO}_4 = 0,50 \text{ matg/m}^3$ ,  $\text{N-NO}_3 = 3,00 \text{ matg/m}^3$ . Cet upwelling cesse par vent du secteur ouest et une eau chaude, peu salée, légère et appauvrie en sels nutritifs, envahit alors la couche superficielle. Ce



qu'il advient de l'eau de l'upwelling, précédemment en surface à l'équateur, a été précisé par des croisières mettant l'accent sur des mesures directes de courant en zone équatoriale et qui ont permis de dégager un schéma de circulation méridienne expliquant de façon satisfaisante les distributions observées.

### CIRCULATION MÉRIDIENNE À 170° E

Les mesures confirment l'existence d'une divergence en surface à l'équateur par vent de secteur est et révèlent la présence, au nord et au sud, de zones de convergence parfois traduites par des fronts thermiques. C'est ainsi qu'à la croisière « Cyclone » 2 (mars 1967) la répartition verticale de la température (fig. 6 B) montre, en zone équatoriale, une remon-

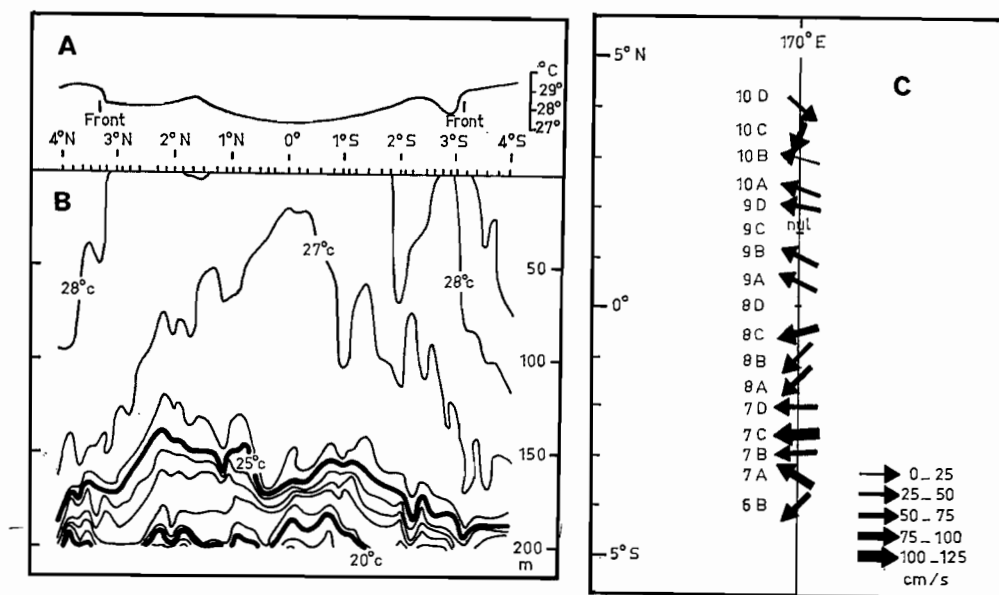


FIG. 6. — A. Variation en latitude, en mars 1967, de la température de surface en zone équatoriale, en période d'upwelling marqué.  
B. Répartition de la température dans un plan méridien au cours de la même croisière.  
C. Courants mesurés à 5 mètres sous la surface, au cours de la même croisière.  
(D'après ROTSCH *et al.*, 1968.)

- FIG. 2 à 5. — 2, Répartition de la température dans un plan méridien à l'équateur, à 170° E, lorsque le courant de surface porte à l'ouest. Espacement des isothermes : 1° C. (D'après ROTSCH, 1968.)  
3, Répartition de la température dans un plan méridien à l'équateur, à 170° E, lorsque le courant de surface porte à l'est. Espacement des isothermes : 1° C. (D'après ROTSCH, 1969.)  
4, Répartition du nitrate dans un plan méridien à l'équateur, à 170° E, lorsque le courant de surface porte à l'ouest. Espacement des isolignes : 2  $\text{mg/m}^3$ . (D'après ROTSCH, 1968.)  
5, Répartition de la salinité dans un plan méridien à l'équateur, à 170° E, lorsque le courant de surface porte à l'est (« Bora » 1) et lorsqu'il porte à l'ouest (« Bora » 2). Espacement des isohalines : 0,10‰.

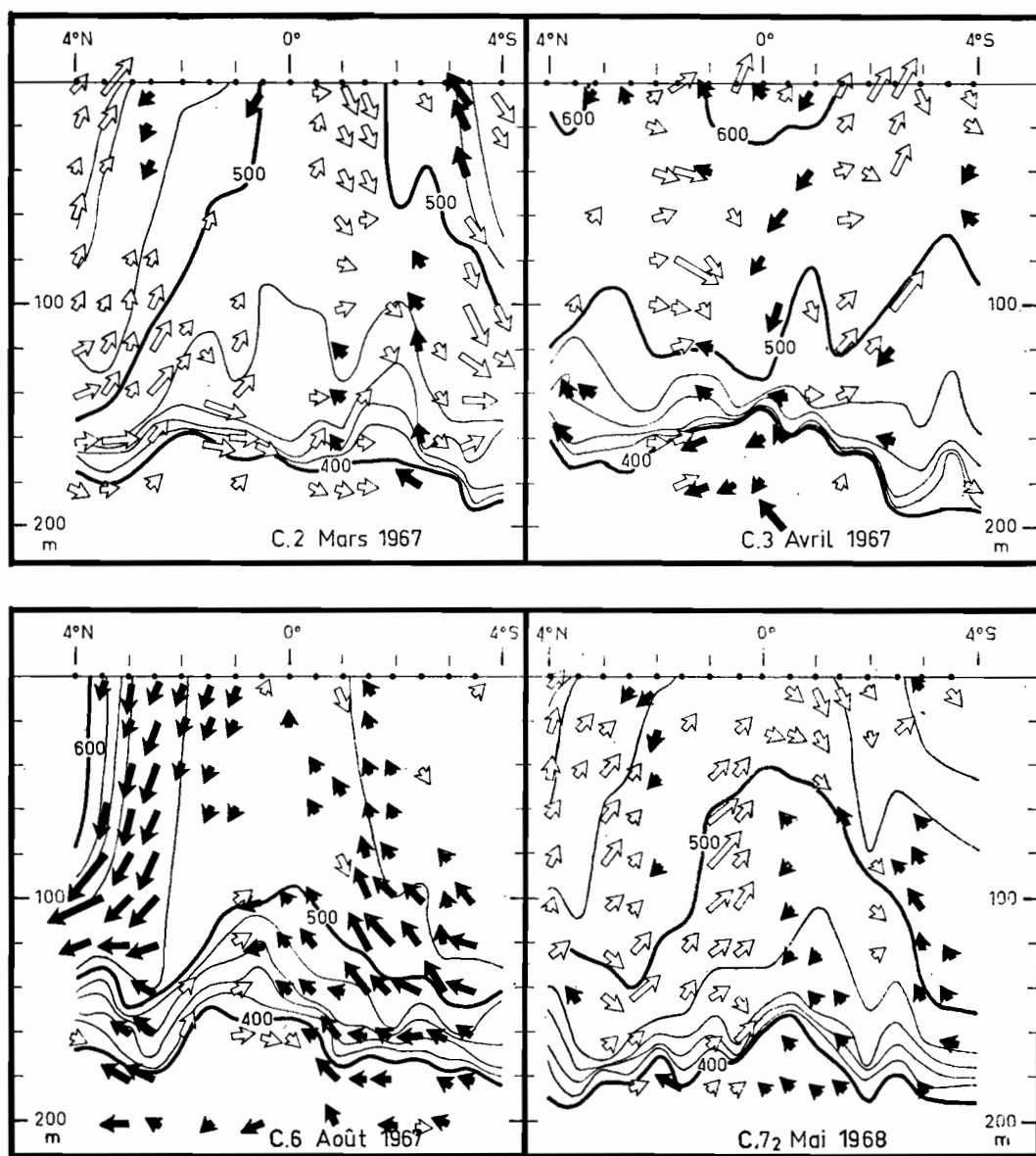


FIG. 7. — Répartition, dans un plan méridien à l'équateur, à 170° E, de la composante nord-sud, supérieure à 10 cm/s, des courants. Dans l'hypothèse d'une circulation isentropique, les vecteurs ont été tracés parallèles aux isanostères. Le vecteur le plus long correspond à une intensité de 60 cm/sec. En noir : courant portant au nord, en blanc : courant portant au sud. (D'après Ounor *et al.*, 1969.)

tée des isothermes ; en surface (fig. 6 A), il y a un net refroidissement équatorial associé à deux fronts thermiques à 3° N et 3° S. Les mesures de courants à 5 m (fig. 6 C) révèlent une divergence à l'équateur et deux convergences au nord et au sud, au niveau des fronts. Bien qu'une situation aussi claire soit relativement rare à 170° E, la plupart des croisières ont fourni divers indices hydrologiques et dynamiques de convergence, tant en surface, à quelques degrés au nord et au sud (où l'eau remontée à l'équateur peut donc être évacuée latéralement), qu'en subsurface, au sommet de la thermocline, où il y a alimentation de l'upwelling par l'eau adjacente. Ces indices sont essentiellement les composantes nord-sud des courants mesurés, les anomalies de répartition verticale de la salinité, et les inversions stables de la température.

Dans l'hypothèse d'une circulation quasi isentropique, la représentation (fig. 7) de la composante nord-sud du courant dans laquelle les vecteurs nord-sud, d'une intensité supérieure à 10 cm/s, sont figurés parallèlement aux isanostères, illustre à des degrés divers,

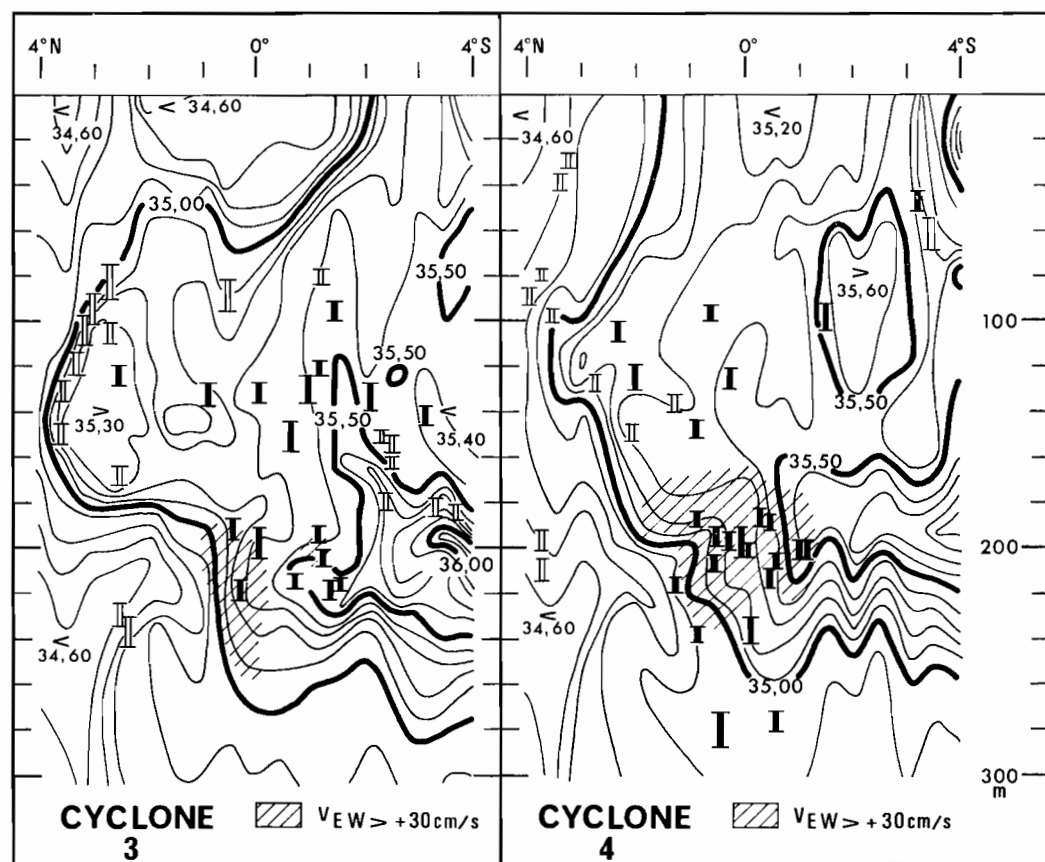


FIG. 8. — Section verticale de salinité par 170° E. On a porté également les inversions de température constatées ; la longueur du segment représente l'épaisseur de la couche d'inversion (en blanc : inversions liées à un fort gradient vertical de salinité). « Cyclone » 3 : mars 1967 ; « Cyclone » 4 : avril 1967.

pour les croisières « Cyclone » 2, 6 et 7-2 effectuées en situation d'upwelling, la divergence équatoriale et les convergences latérales en surface, ainsi que la convergence équatoriale au sommet de la thermocline. La croisière « Cyclone » 3, effectuée alors que le courant de surface portait à l'est, révèle au contraire une convergence équatoriale en surface. Les croisières « Cyclone » 2 et 6 indiquent, en outre, que la circulation dans un plan méridien est souvent asymétrique par rapport à l'équateur : par vent de nord-est, comme au cours de la croisière « Cyclone » 2, il y a, en effet, prépondérance du flux vers le sud ; en revanche, par vent de sud-est, cas de la croisière « Cyclone » 6, c'est le flux vers le nord qui l'emporte. Dans les deux cas, l'eau « upwellée » en zone équatoriale s'évacue en plongeant latéralement à la convergence ; s'insinuant dans la partie supérieure de la thermocline, elle s'éloigne ensuite de l'équateur.

Pour ce qui est des inversions de température qui ont été reportées sur la section de salinité de la figure 8, certaines d'entre elles, vers 3-4° N, sont associées à un fort gradient vertical de salinité ; elles coïncident également avec la surface de convergence le long de laquelle l'eau salée « upwellée » en zone équatoriale plonge sous l'eau superficielle du contre-courant équatorial nord après avoir été plus ou moins réchauffée en surface au cours de son déplacement vers le nord. Cette eau est reprise ensuite par la circulation zonale et apparaît alors sur les coupes méridiennes comme une petite masse salée, isolée et en équilibre de densité avec l'eau du nord qui la surplombe ; cette dernière étant moins salée est par conséquent plus froide, d'où apparition d'une inversion thermique stable. D'autres inversions situées soit au sommet de la thermocline à l'équateur, soit au niveau du maximum de vitesse du courant de Cromwell, sont liées à des gradients horizontaux de salinité ; elles traduisent le réarrangement vertical, la densité croissant vers le bas, d'un système de lamelles où la température et la salinité diffèrent (STOMMEL et FEDOROV, 1967). Ces lamelles sont constituées d'eaux bien distinctes, originaires soit de l'hémisphère sud (eau chaude et salée du maximum subtropical du Pacifique sud), soit de l'hémisphère nord (eau froide et moins salée du contre-courant équatorial nord). De telles inversions sont donc associées à un mouvement convergent vers l'équateur des eaux subsuperficielles.

Par ailleurs, il existe, au sud de l'équateur et à une profondeur voisine de 100 m, des noyaux salés (salinité supérieure à 35,50 ‰ à 4° S et 80 m, au cours de la croisière « Cyclone » 3, salinité supérieure à 35,60 ‰ à 2° S et 100 m au cours de la croisière « Cyclone » 4 ; figure 8) ; on les trouve à la latitude de la convergence sud. Du fait de leur salinité élevée, ils ne peuvent dériver que de l'eau subtropicale du Pacifique sud. Le diagramme T-S vertical à la latitude de ces noyaux indique que l'eau qui les compose est beaucoup plus chaude que celle de même salinité qui découlerait d'un mélange de l'eau d'origine avec les eaux de surface ; elle ne peut donc s'être formée que par réchauffement en surface d'une eau « upwellée » qui, se déplaçant ensuite en direction des pôles, rencontre au niveau d'un front une eau plus légère sous laquelle elle plonge.

Les données courantométriques et hydrologiques conduisent donc à un schéma nouveau de la circulation méridienne moyenne en zone équatoriale, par vent d'est avec en surface un courant ouest (fig. 9). Ce schéma, symétrique par rapport à l'équateur, est compatible avec différents modèles proposés antérieurement (CROMWELL, 1953 ; FOFONOFF et MONTGOMERY, 1955), tout au moins en ce qui concerne les 200 premiers mètres. Cette circulation, qui amène en surface, à l'équateur, un enrichissement quasi permanent, conditionne de façon très nette la production primaire à 170° E.

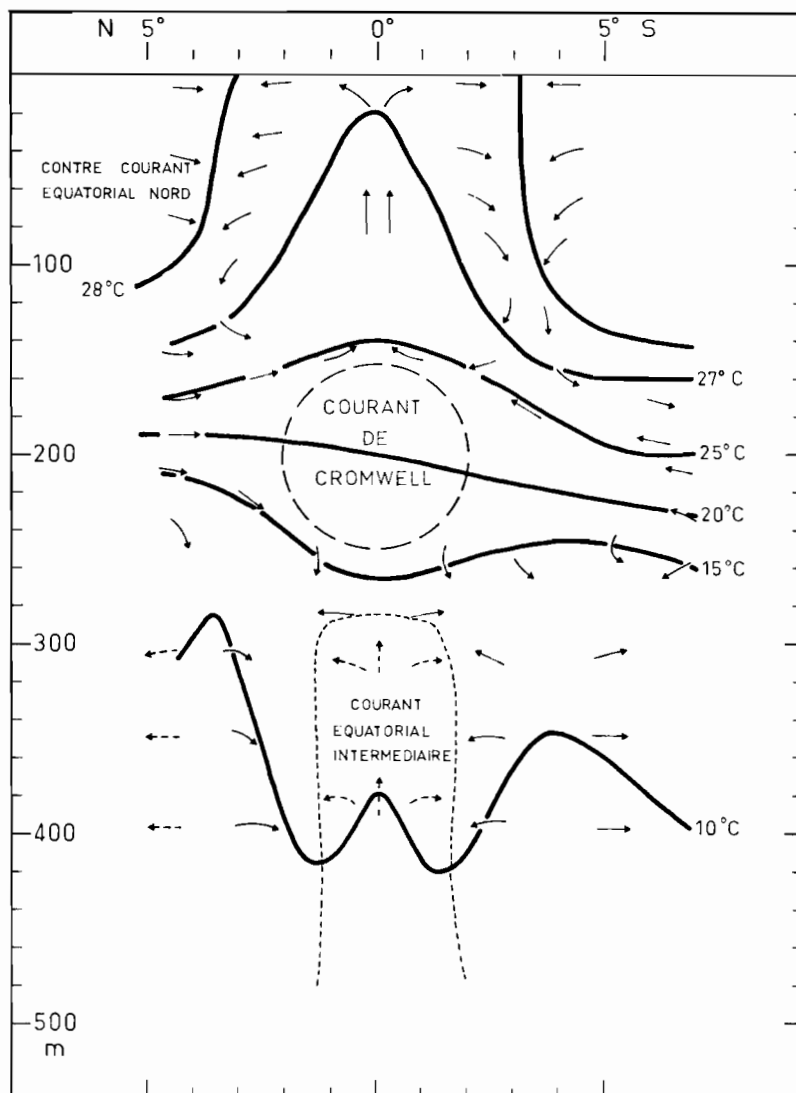


FIG. 9. — Schéma de circulation dans un plan méridien à l'équateur en mars 1967.  
(D'après ROTSCHI et COLIN, *s.pr.*)

### PRODUCTION PRIMAIRE À 170° E

Elle a été évaluée par mesure d'une part de la chlorophylle *a*, d'autre part de la production de carbone organique. La première (fig. 10), qui donne une estimation de la biomasse de phytoplancton, a été mesurée spectro-photométriquement à partir de grands



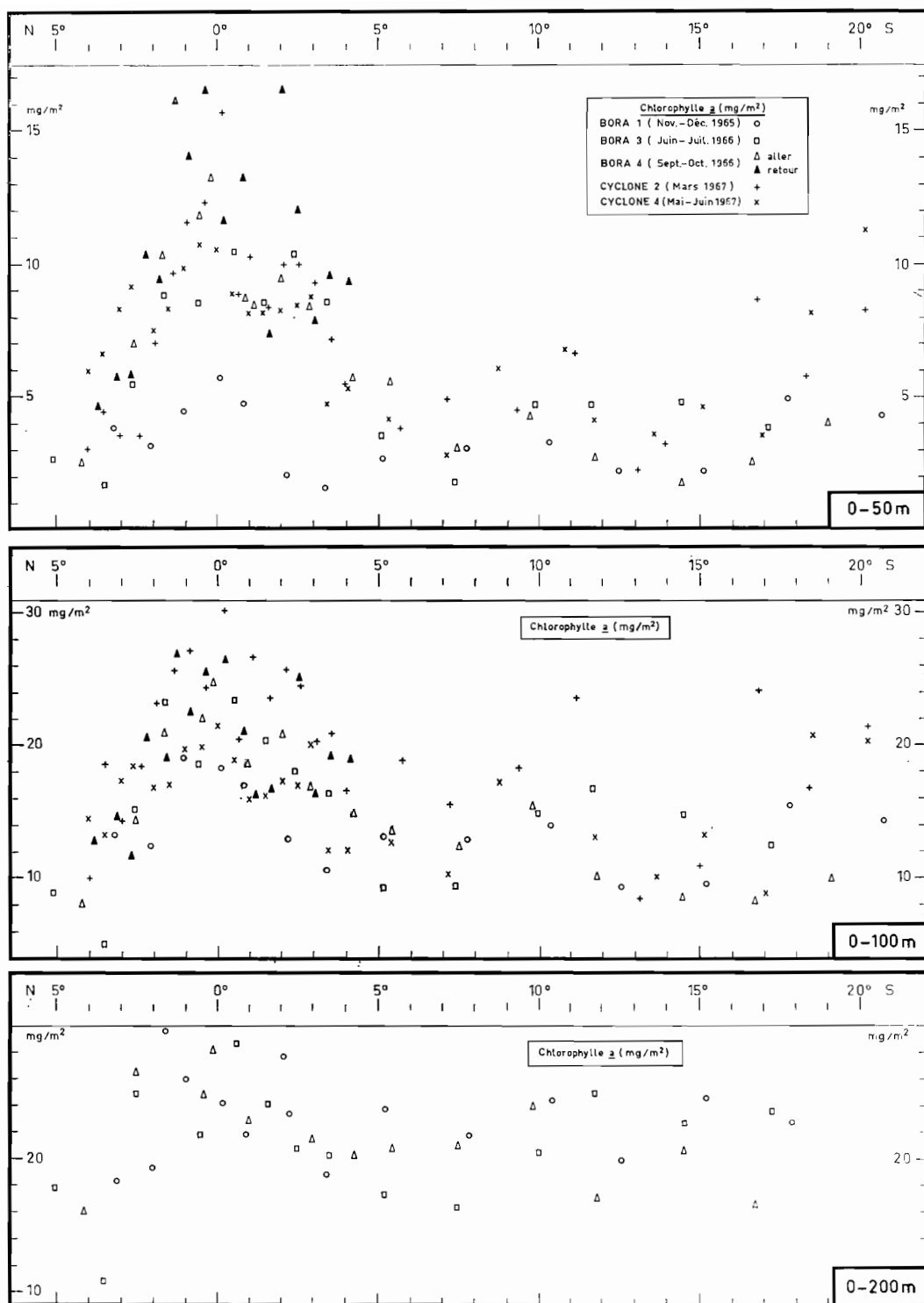


FIG. 10. — Répartition en latitude de la chlorophylle *a*, le long du méridien 170° E, dans la couche 0-50 m. (D'après Rotsch et al., 1973.)

volumes d'eau filtrée (10-20 litres) avec des cuves à long trajet optique (10 cm) et de faible capacité (5 ml), ce qui améliore considérablement la sensibilité de la méthode applicable alors à des eaux oligotrophes. La seconde (fig. 11) est une mesure de la fixation de  $\text{CO}_2$  ; les échantillons marqués au  $^{14}\text{C}$  ont été incubés *in situ*, ce qui donne une approximation aussi bonne que possible de la production réelle dans la couche euphotique (LE BOURHIS et WAUTHY, 1969).

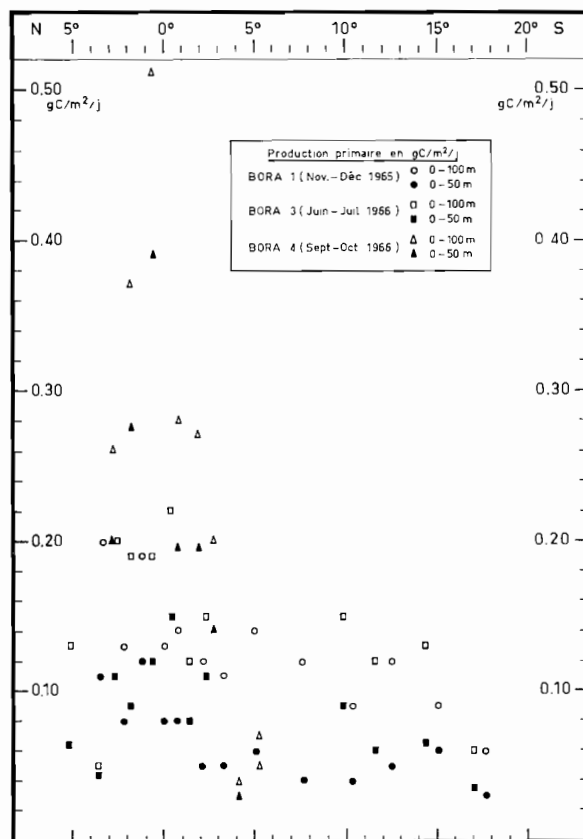


FIG. 11. — Répartition en latitude de la production primaire mesurée par la méthode du  $^{14}\text{C}$ , le long du méridien 170° E. (D'après RORSCH *et al.*, 1973.)

Les résultats montrent la réponse du phytoplancton à l'enrichissement équatorial : la biomasse à l'équateur, dans la couche 0-50 m, est 2 à 3 fois plus forte que plus au sud, et la production primaire correspondante de 0,30 gC/m²/jour est comparable à celle des zones tempérées riches. On remarque également que la zone de production équatoriale privilégiée est très étroite, ne dépassant pas 3° à 4° au nord et au sud ; elle correspond très exactement à la zone d'action de l'enrichissement équatorial en sels nutritifs, limitée par les convergences nord et sud mises en évidence par les études d'hydrologie et de courantométrie.

La réponse du phytoplancton suit de très près l'intensité de l'upwelling. Les résultats contrastés de « Bora » 1 en décembre 1965 où la biomasse était faible et la production médiocre et de « Bora » 4 en octobre 1966 où elles étaient toutes deux élevées, illustrent de façon nette l'opposition déjà signalée entre deux situations à l'équateur, l'une de convergence, l'autre de divergence (fig. 2 et 3). Mais la disparition, d'une situation à l'autre, de l'essentiel de la biomasse phytale de la couche superficielle associée à l'eau « upwellée » pose le problème du devenir de la matière organique produite à l'équateur.

### MINÉRALISATION À 170° E

Toutes les croisières du N.O. « Coriolis » ont indiqué la présence d'une couche d'accumulation de nitrite en subsurface en zone équatoriale, où la concentration dépasse 2 matg/m<sup>3</sup>. HISARD et PITON (1969) en ont donné une description détaillée, établissant qu'à l'équateur le nitrite se trouve dans le gradient de densité et que sa concentration en surface suit l'intensité de l'upwelling au même titre qu'un autre sel nutritif ; ils ont montré que la couche a un maximum d'épaisseur vers 5° S où elle s'étale entre deux gradients de densité. Le gradient supérieur qui la sépare de la couche de surface est dû surtout à la répartition verticale de la température, tandis que le gradient inférieur est dû à la présence du maximum subtropical de salinité du Pacifique sud ; ils ont montré enfin que le nitrite est lié à une utilisation de l'oxygène (U.A.O.) positive. OUDOT *et al.* (1969) ont montré qu'à l'équateur, le maximum de nitrite est associé à une anomalie thermostérique ( $\Delta_{st}$ ) précise, différente au nord et au sud, donc apparemment liée à des eaux déterminées circulant de façon isentropique.

La croisière « Éponite » entreprise pour étudier tout spécialement cette accumulation remarquable (HISARD *et al.*, 1971) a permis d'en préciser certains traits et d'avancer dans l'interprétation de sa formation (OUDOT *et al.*, 1972 ; HISARD *et al.*, 1972). En particulier, il a été montré que les caractéristiques T°C et S‰ de l'eau du maximum de nitrite lui conféraient l'anomalie de densité de l'eau « upwellée » à l'équateur et ayant replongé, et que la distribution verticale du nitrite était conforme à celle que l'on obtiendrait par diffusion ou mélange turbulent vertical à partir d'une « couche-source » de nitrite intercalée entre deux gradients de densité dans une structure stratifiée (fig. 12). En ce qui concerne le mode de formation du nitrite, il semble peu probable que ce dernier soit dû à la réduction du nitrate par le phytoplancton (VACCARO et RYTHER, 1960) car le maximum de chlorophylle *a* était nettement au-dessus, dans le gradient supérieur de densité, à la base de la couche homogène. Par contre, deux arguments plaident en faveur d'une minéralisation par oxydation de la matière organique : d'une part, l'association du nitrite et des fortes valeurs de phaeo-pigments dans une eau à UAO positive ; d'autre part, l'existence d'une couche où les sels nutritifs sont en excès par rapport aux propriétés conservatives et qui correspond au maximum de nitrate, supérieur à 8,5 matg/m<sup>3</sup>, à 8° S.

Quant à la matière organique, il est peu vraisemblable qu'elle puisse tomber de la couche euphotique, car dans ce cas les particules s'accumuleraient à la base de la couche homogène, au-dessus du gradient de densité et non au-dessous comme le nitrite ; par ail-

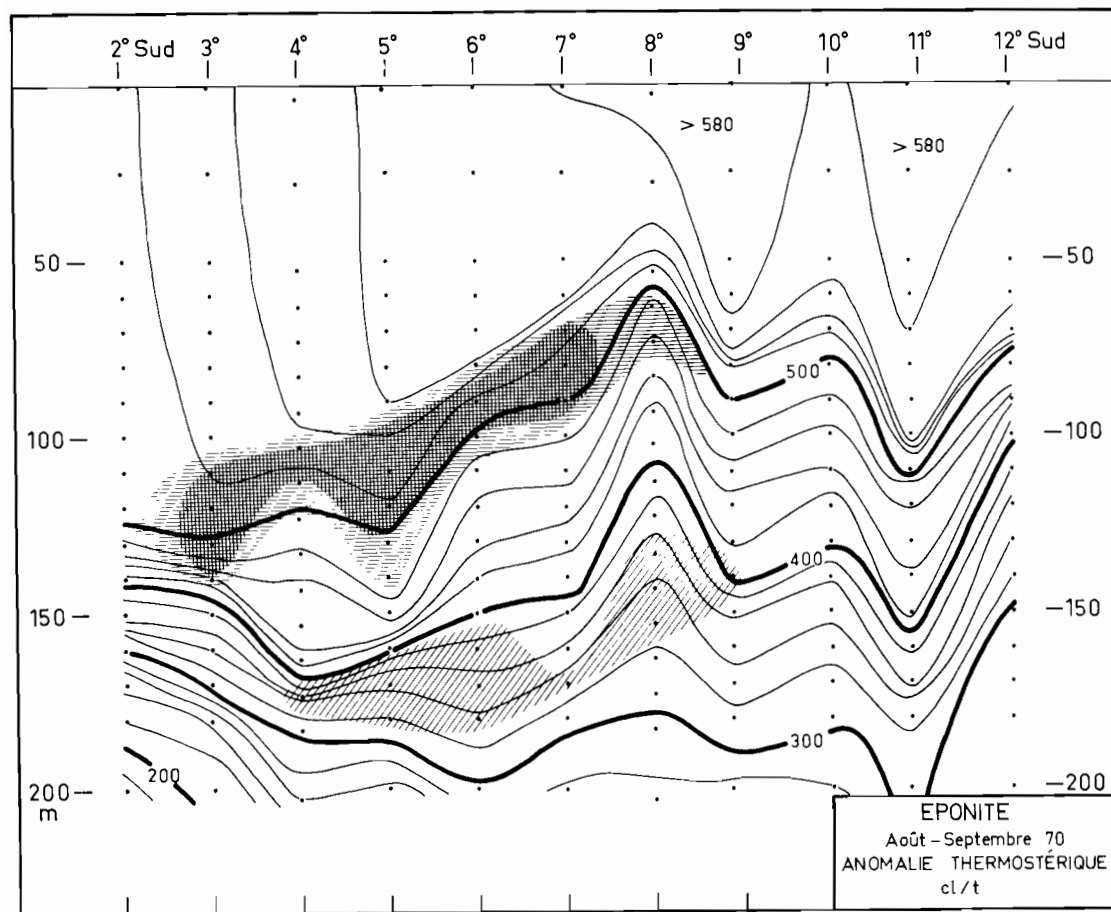


FIG. 12. — Répartition du nitrite en septembre 1970, sur fond de densité, dans un plan méridien à 170° E. En grisé clair : concentrations inférieures à 1  $\text{mg}/\text{m}^3$  ; en grisé foncé : concentrations supérieures à 1  $\text{mg}/\text{m}^3$ . En hachuré : salinité supérieure à 36‰. Les isanostères sont espacés de 20  $\text{cl}/\text{t}$ . (D'après HIsARD *et al.*, 1972.)

leurs, la production au sud de l'équateur est faible. Par contre, la circulation méridienne suggérée précédemment fournit le mécanisme nécessaire pour relier la disparition périodique de matière organique produite à l'équateur à l'accumulation au sud, en subsurface, du nitrite, forme intermédiaire dans la minéralisation de l'azote. Le nitrite pourrait ainsi être un excellent traceur d'une circulation méridienne capable de transférer une partie de la richesse organique équatoriale, vers le sud, par transport dans la thermocline au-dessus du « plancher » constitué en zone tropicale occidentale par la couche relativement pauvre du maximum de salinité.

## CIRCULATION INTERTROPICALE

A chacune des dix croisières du N.O. « Coriolis » le long du méridien  $170^{\circ}$  E, on a noté l'existence d'une circulation tropicale géostrophique assez complexe impliquant, outre le courant équatorial sud, la permanence de deux contre-courants : le contre-courant équatorial sud dont le noyau est situé vers  $10^{\circ}$  S, et le contre-courant tropical sud localisé au sud de  $15^{\circ}$  S et dont la limite sud n'a pas pu être précisée, les observations s'arrêtant à  $20^{\circ}$  S. Ces courants, qui ont été étudiés par JARRIGE (1968) et MERLE *et al.* (1969), transportent des eaux qui leur sont spécifiques ; ils sont géostrophiques, associés à une inversion de pente des isothermes supérieures de la thermocline, et leur présence a été confirmée par des mesures directes de courant.

Dans l'hypothèse d'une circulation zonale stationnaire, la juxtaposition de flux de sens opposés crée, dans l'hémisphère sud, une convergence à la limite nord et une divergence à la limite sud d'un contre-courant portant à l'est et inclus dans une circulation générale

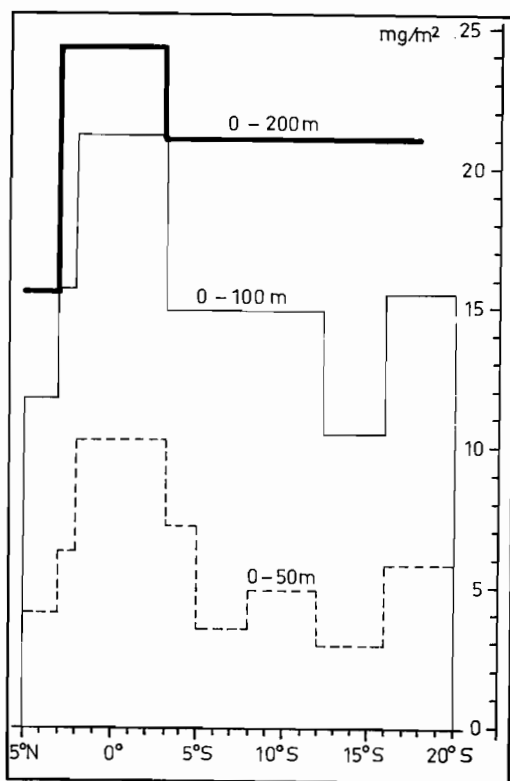


FIG. 13. — Distribution schématique de la chlorophylle *a* à  $170^{\circ}$  E. (D'après LE BOURUIS et WAUTHY, 1969.)

vers l'ouest. Pour ce qui est du contre-courant équatorial sud, la divergence sera localisée vers 10° S et la convergence entre 5° S et 10° S ; pour le contre-courant tropical sud, la convergence sera vers 15° S ; correspondant à ces zones de divergence et de convergence, on trouve en surface des biomasses végétales relativement riches ou pauvres, comme le confirment les résultats cumulés des différentes croisières (fig. 13) ; la topographie de la surface de discontinuité associée à cette alternance des courants et contre-courants, amenant les fortes concentrations de sels nutritifs plus ou moins près de la surface, rend compte de ces différences d'enrichissements de la couche euphotique par diffusion ou mélange dû aux vents.

### CONCLUSION

Ainsi, le phénomène d'upwelling étudié par AUSTIN et RINKEL (1958) et les mécanismes corrélatifs d'enrichissement de la couche superficielle dans le Pacifique central, à l'est de 180°, se rencontrent également dans la partie occidentale par 170° E.

Malgré leur irrégularité, les vents, en général de secteur est, provoquent à l'équateur un upwelling capable d'entretenir à longueur d'année une production moyenne nettement plus forte qu'au nord et au sud. Cette production édifiée par à-coups peut être stockée sous forme de matière organique particulière associée à l'eau de l'upwelling, qui diverge en surface de part et d'autre de l'équateur, plonge ensuite en des convergences actives de part et d'autre, s'insinue dans la thermocline et s'accumule au nord et au sud, en subsurface : cette matière organique, par l'intermédiaire des Bactéries et des Flagellés, pourrait servir de nourriture à des « filter-feeders ». Il y a là un mécanisme capable d'assurer une utilisation optimale continue d'une production discontinue à l'équateur. La phase ultime de l'utilisation de cette matière organique est, bien entendu, sa minéralisation, dont l'étape intermédiaire du nitrite révèle la localisation et l'extension au nord et au sud.

Ces sels nutritifs contribuent en zone tropicale à des enrichissements localisés, dus surtout à des mécanismes liés au système des courants zonaux ; mais pour l'essentiel, ils sont repris par la circulation méridienne qui les ramène à l'équateur où se place l'enrichissement maximal. Le cycle « production — utilisation — minéralisation — enrichissement » se déroulerait donc entièrement dans une couche superficielle de 150 mètres, isolée des eaux profondes intermédiaires par le maximum de salinité subsuperficiel. A l'équateur, cependant, les cisaillements aux interfaces entre le courant de Cromwell coulant vers l'est d'une part et les courants ouest, intermédiaire profond et équatorial sud superficiel d'autre part, pourraient provoquer des mélanges entre eux ; le courant de Cromwell apparaîtrait alors non seulement comme un courant de compensation dynamique, mais aussi comme un courant ramenant vers l'est des sels nutritifs utilisés lors d'une circulation complexe, laquelle se traduit pour la couche superficielle considérée par un transport global vers l'ouest (COLIN *et al.*, 1971).

## RÉFÉRENCES

- AUSTIN, T. S., et M. O. RINKEL, 1958. — Variations in upwelling in the equatorial Pacific. *Proc. Ninth Pac. Sci. Congr.*, 1957, **16** : 67-71.
- BRYAN, K., et D. COX, 1967. — A numerical investigation of the oceanic general circulation. *Tellus*, **19** : 54-80.
- COLIN, C., C. HENIN, P. HISARD et C. OUDOT, 1971. — Le courant de Cromwell dans le Pacifique central en février 1970. *Cah. ORSTOM, sér. Océanogr.*, **9** (2) : 167-186.
- CROMWELL, T., 1953. — Circulation in a meridional plane in the central equatorial Pacific. *J. mar. Res.*, **12** (2) : 196-213.
- FOFONOFF, N. P., et R. B. MONTGOMERY, 1955. — The equatorial undercurrent in the light of the vorticity equation. *Tellus*, **7** : 518-521.
- HISARD, P., et B. PITON, 1969. — La distribution du nitrite dans le système des courants équatoriaux de l'océan Pacifique à 170° E. *J. Cons. perm. int. Explor. Mer*, **32** (3) : 303-317.
- HISARD, P., B. WAUTHY et J. PAGES, 1971. — The organization of the last multidisciplinary cruise of N.O. Coriolis. *Int. Mar. Sci. Symp.*, August 1971, Sydney, Australia, Institute of Marine Sciences, Univ. New South Wales : 58-62.
- HISARD, P., C. COLIN, R. DESROSIÈRES, J. GARBE, J. A. GUÉRÉDRAT, A. LE CORVAISIER, C. OUDOT, J. PAGES, P. RUAL, et B. WAUTHY, 1972. — Rapport scientifique de la croisière « Eponite » du N.O. « Coriolis ». ORSTOM, Centre de Nouméa, Rapp. **48** : 103 p. (multigr.).
- JARRIGE, F., 1968. — On the eastward flow of water in the western Pacific south of the equator. *J. mar. Res.*, **26** (3) : 286-289.
- LE BOURHIS, J., et B. WAUTHY, 1969. — Quelques aspects de la distribution de la production primaire le long du méridien 170° E, entre 20° S et 5° N. *Cah. ORSTOM., sér. Océanogr.*, **7** (4) : 83-93.
- MERLE, J., H. ROTSCHI et B. VOITURIEZ, 1969. — Zonal circulation in the tropical western south Pacific at 170° E. Perspectives in fisheries Oceanography, Jap. Soc. Fish. Oceanogr., Special Number : 91-98.
- NEUMANN, G., 1960. — Evidence for an equatorial undercurrent in the Atlantic Ocean. *Deep-Sea Res.*, **6** (4) : 328-335.
- OUDOT, C., P. HISARD et B. VOITURIEZ, 1969. — Nitrite et circulation méridienne à l'équateur, dans l'océan Pacifique occidental. *Cah. ORSTOM, sér. Océanogr.*, **7** (4) : 67-82.
- OUDOT, C., P. RUAL et B. WAUTHY, 1972. — Mineralisation south of the equator in relation to equatorial fertility. *Int. Symp. Oceanogr. South Pac.* February 1972, Wellington, New Zealand, Abstracts : 27-29.
- REID, J. L., 1969. — Sea-surface temperature, salinity and density of the Pacific ocean in summer and winter. *Deep-Sea Res.*, suppl. to vol. **16** : 215-224.
- RODEN, G. I., 1962. — Oceanographical aspects of the eastern equatorial Pacific. *Geofisica Internacional*, **2** (4) : 77-91.
- ROTSCHI, H., 1968. — Remontée d'eau froide et convergence à l'équateur dans le Pacifique occidental. *C. r. Acad. Sci. Paris*, **267** : 1459-1462.
- ROTSCHI, H., et C. COLIN. — Sur la circulation Nord-Sud à l'équateur dans l'Océan Pacifique Occidental. *C. r. Acad. Sci., Paris (sous presse)*.
- ROTSCHI, H., P. HISARD et P. RUAL, 1968. — Observation de deux fronts thermiques dans le Pacifique équatorial occidental. *C. r. Acad. Sci. Paris*, **266** : 1465-1468.
- ROTSCHI, H., P. HISARD et F. JARRIGE, 1972. — Les eaux du Pacifique occidental à 170° E entre 20° S et 4° N. Coupes et cartes dressées par les Océanographes du Centre O.R.S.T.O.M. de Nouméa. *Trav. Docum. ORSTOM*, **19**, (1972) : 113 p.

- STOMMEL, H., et K. N. FEDOROV, 1967. — Small scale structure in temperature and salinity near Timor and Mindanao. *Tellus*, **19** : 306-325.
- VACCARO, R. F., et J. H. RYTHER, 1960. — Marine phytoplankton and the distribution of nitrite in the sea. *J. Cons. perm. int. Explor. Mer*, **25** : 260-271.
- WYRTKI, K., et R. KENDALL, 1967. — Transports of the equatorial countercurrent. *J. geophys. Res.*, **72** (8) : 2073-2076.

*Manuscrit déposé le 5 avril 1973.*

*Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, 3<sup>e</sup> sér., n° 147, mai-juin 1973,  
Écologie générale 3 : 65-81.

*Achevé d'imprimer le 31 janvier 1974.*





# INFLUENCE DE LA PHASE ET DE L'ÉCLAIREMENT LUNAIRE SUR LES RÉPARTITIONS VERTICALES NOCTURNES SUPERFICIELLES DE CRUSTACÉS MACROPLANCTONNIQUES (*EUPHAUSIACEA*)

CLAUDE ROGER

Océanographe au Centre O.R.S.T.O.M. de Nouméa - BP. A5 - Nouméa-Cedex.

## RÉSUMÉ

*Ce travail analyse l'influence de l'éclairement et de la phase lunaire sur les répartitions bathymétriques nocturnes superficielles des euphausiacés du Pacifique tropical, à partir de 74 prélèvements effectués en un même point au cours du même cycle lunaire. Il apparaît que le lever de lune en phase de Pleine Lune provoque un net approfondissement de toutes les espèces, se traduisant par un appauvrissement sensible des 120 premiers mètres, et même parfois des premiers 165 m. Par contre, l'éclairement lunaire ne semble pas modifier les répartitions verticales au-delà de 250 mètres environ. En phase de Dernier Quartier-Nouvelle Lune, les modifications de distribution verticale au moment du lever de lune sont nulles ou très atténuées, confirmant que l'éclairement lunaire est bien le facteur responsable des variations observées en phase de Pleine Lune, et que l'effet de l'éclairement lunaire est sensiblement proportionnel à son intensité. En outre, la constatation que, avant le lever de lune (c'est-à-dire avec un éclairement nul), presque toutes les espèces sont situées plus profondément en phase de Nouvelle Lune qu'en phase de Pleine Lune, suggère que les différences de distribution verticale observées en liaison avec les cycles lunaires sont aussi sous la dépendance de rythmes endogènes.*

## ABSTRACT

EFFECTS OF MOON PHASIS AND MOON LIGHT UPON THE VERTICAL DISTRIBUTIONS OF MACROPLANKTONIC CRUSTACEA (*EUPHAUSIACEA*).

*This study deals with euphausiid crustaceans collected at 74 stations performed at the same location in the southwest tropical Pacific Ocean, during the same moon cycle. Moonrise in the Full Moon phasis induces a deepening of all the species, resulting in an impoverishment of the first 120 and sometimes 165 meters; no effect has been detected below approximately 250 meters. The effect of moon light upon the vertical distributions in the 0-200 meters layer appears to be nearly proportional to its intensity, as it decreases from Full Moon toward New Moon phasis. On the other hand, bathymetric distributions of most species before moonrise (i.e. without any illumination) appear to be deeper during the New Moon phasis than during the Full Moon phasis; this fact suggests the existence of endogenous rhythms.*

## INTRODUCTION.

Au cours des recherches entreprises par l'équipe d'océanographie biologique du centre de Nouméa depuis plusieurs années, dont l'objet est l'analyse de la structure et du déterminisme des réseaux trophiques pélagiques, il est apparu très clairement

que l'un des facteurs essentiels conduisant aux situations observées est représenté par la répartition bathymétrique et les migrations nycthémerales des organismes qui conditionnent à l'évidence les relations trophiques qu'ils peuvent établir les uns avec les autres (LEGAND *et al.* 1972, ROGER 1973). Aussi, le problème des distributions verticales des

organismes macroplanctoniques et micronectoniques a-t-il fait l'objet de plusieurs études, en particulier pour les Copépodes (GUEREDRAT et FRIESS, 1971) et les Euphausiacés (ROGER, 1971). Au cours de ces travaux, certaines fluctuations des situations bathymétriques se sont révélées, notamment en relation avec les phases lunaires. En effet, sans parler des rythmes endogènes considérés par certains auteurs comme ayant un rôle essentiel dans les migrations nycthémerales, et dont la synchronisation pourrait être liée au cycle lunaire, il est évident que l'éclairement lunaire lui-même peut avoir une action directe sur les répartitions bathymétriques, puisqu'il semble que, dans les eaux océaniques claires, il fasse pénétrer une intensité lumineuse décelable par les yeux des crustacés jusqu'à une profondeur de 250 mètres environ (MAUCHLINE et FISHER, 1969). En outre, on a montré que les Euphausiacés sont particulièrement bien adaptés aux très faibles intensités lumineuses (KAMPA, 1965).

L'étude présentée ici a pour objet de mettre en évidence une influence éventuelle de l'éclairement lunaire sur la répartition verticale nocturne des Euphausiacés dans les eaux superficielles (0-165 m) du Pacifique tropical sud-ouest.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES DE RÉCOLTE.

Au cours de la campagne *DIAPHUS 10* (COR. 72.1), le N.O. *CORIOLIS* a réalisé, en 8 jours de travail consécutifs, 337 traits de chalut pélagique Isaacs-Kidd de 10 pieds, du 28 juin au 6 juillet 1972, autour de la position moyenne 20° S-168° E. Les traits obliques exploraient successivement toutes les profondeurs, entre la surface et 1200 mètres, au cours du cycle nycthémeral. L'engin de récolte n'étant pas ouvrant-fermant, la « profondeur » d'une station est définie par l'immersion maximale atteinte par le filet, cette valeur étant connue avec précision pour chaque trait par un enregistrement au *Depth-Distance-Recorder*.

La durée réduite de la campagne n'a toutefois pas permis de disposer d'échantillons récoltés rigoureusement en phases de Pleine Lune (PL) et de Nouvelle Lune (NL). On a sélectionné 74 stations, effectuées entre 18 heures (coucher de soleil : 17 h 20, crépuscule vers 17 h 40) et 06 heures (lever de soleil 06 h 20, aube vers 06 h), et pour lesquelles les profondeurs maximales atteintes s'échelonnent entre 60 et 165 mètres; 42 d'entre elles proviennent des nuits du 28 juin au 1<sup>er</sup> juillet (Pleine Lune le 26 juin) et seront considérées comme des échantillons récoltés en phase PL; la nébulosité était faible, entre 1/8 et 3/8; les heures de lever de lune au cours des trois nuits successives furent 19 h 26, 20 h 22 et 21 h 17. Les 32 autres échantillons sélectionnés

ont été prélevés du 4 au 6 juillet (Dernier Quartier le 4 juillet, Nouvelle Lune le 10 juillet), et seront considérés comme provenant de la période NL; la nébulosité était faible à moyenne (1/8 à 5/8); les levers de lune ont eu lieu à 00 h 52 et 01 h 57.

Aucune barrière thermique n'existait dans les couches considérées : la température était de 24° C en surface, et de 21° C à 165 mètres.

## CHOIX CRITIQUE DES MÉTHODES D'ANALYSE.

Les artefacts introduits par la sélectivité complexe du chalut Isaacs-Kidd (cf. MICHEL et GRANDPERRIN, 1970), l'absence de dispositif ouvrant-fermant (d'où intégration des données entre la surface et l'immersion maximale), l'évitement des organismes devant le filet (dépendant de la vitesse du chalut, de la taille des animaux et de l'éclairement), le profil des traits (existence d'un « palier » à la profondeur maximale, qui conduit à suréchantillonner celle-ci par rapport aux autres immersions), font qu'il est illusoire d'entreprendre une analyse quantitative fondée sur les valeurs absolues observées. La seule façon de procéder, avec ce type de récolte, est analogique : si, entre 60 et 120 mètres par exemple, on constate une différence significative entre les effectifs récoltés avant et après le lever de lune, on conclura à une influence probable de l'éclairement lunaire, influence qu'il sera difficile de préciser davantage : une diminution des effectifs récoltés signifiera sans doute que le « palier » du trait s'est situé en dehors de la couche la plus densément peuplée, mais ce peut être aussi bien au-dessus qu'en dessous. Ainsi, tous les cas de figure pourront être observés : si, par exemple, une espèce est située entre 0 et 60 mètres avant le lever de lune, et entre 60 et 120 mètres après le lever de lune, ce dernier se traduira par une *augmentation* des effectifs récoltés dans la couche 60-120 mètres.

Plus encore, on constate, dans la quasi totalité des cas, que les effectifs sont plus élevés en début et en fin de nuit, et plus faibles en milieu de nuit. Il semble que ce phénomène ait pour origine : — d'une part une différence systématique dans le mode de groupement des animaux, qui paraissent être plus ou moins surdispersés au cours des différentes phases de la période nocturne; — d'autre part, le fait que, au moment des migrations ascendante (18-20 heures) et descendante (04.30-06 heures) le niveau de concentration maximum des animaux coïncide pendant un moment avec le « palier » des traits, ce qui conduit à des récoltes particulièrement abondantes. Cette réapparition, en fin de nuit, d'effectifs élevés pourra être interprétée comme le signe que les animaux ne se sont pas enfoncés au-delà

de l'immersion considérée au moment du lever de lune, un fléchissement des récoltes en milieu de nuit étant alors dû, soit à une modification du mode de groupement, soit à une montée des organismes. Au contraire, une diminution des effectifs après le lever de lune, qui ne sera pas suivie d'une réaugmentation en fin de nuit, traduira selon toute probabilité un enfoncement réel des organismes.

On pourrait encore objecter que, si on observe une diminution significative des effectifs récoltés après le lever de lune, ce fait est dû, non à un enfoncement des animaux, mais à un évitement plus efficace du chalut dans de meilleures conditions d'éclairement. Il est possible que ce phénomène intervienne, mais il ne semble pas prépondérant; en effet (outre qu'on expliquerait mal dans ce cas la réapparition d'effectifs élevés en fin de nuit), on verra que la diminution des effectifs n'est pas significativement moins importante pour les animaux de petite taille que pour les grands individus. Rappelons que la diminution d'effectifs récoltés pour les petits organismes traduit un enfoncement de ceux-ci, qui, passant ainsi plus de temps dans le chalut au cours de la remontée, sont perdus en plus grande proportion (augmentation de l'échappement, celui-ci étant sensiblement proportionnel au temps que les individus passent dans le filet).

Enfin, on ne peut écarter *a priori* l'hypothèse que les animaux s'enfoncent ou au contraire montent progressivement au cours de la nuit, indépendamment de l'éclairement lunaire. Ainsi, en toute rigueur, même la constatation d'une diminution significative des récoltes après le lever de lune ne sera pas une preuve de l'effet de l'éclairement lunaire, cet enfoncement se produisant peut-être systématiquement. Là encore, il faudra procéder de façon analogique : un effet probable du lever de lune sur les répartitions pourra être admis, non seulement si les récoltes sont significativement différentes avant et après celui-ci, mais encore si cette différence n'est pas observée (ou est nettement moins marquée) au cours de la même période horaire en l'absence de lever de lune (phase NL).

L'ensemble de ces considérations a conduit à diviser l'aire espace-temps à étudier (18-06 heures, 60-165 mètres) en 8 séries (Fig. 1) :

- dans l'espace, 2 couches bathymétriques : d'une part les traits ayant atteint une profondeur de 60 à 120 mètres, d'autre part ceux ayant atteint 120 à 165 mètres.
- dans le temps, 4 tranches successives :
  - . de 18 heures à l'heure du lever de lune en phase PL : zone A de la phase PL, dont l'homologue est A<sub>1</sub> en phase NL,
  - . de 1 heure après le lever de lune en phase PL, à l'heure du lever de lune en phase NL :

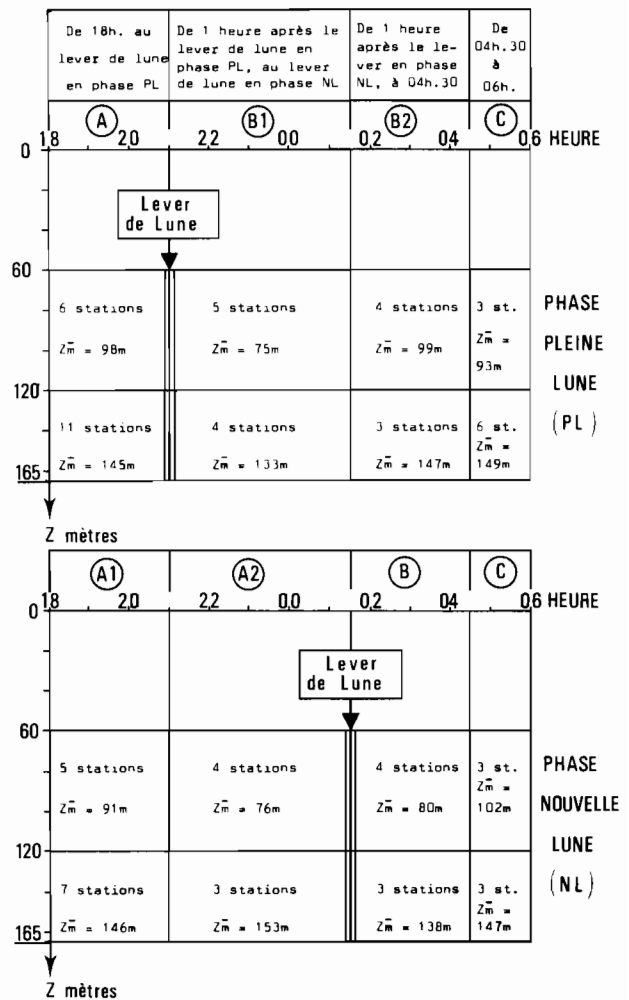


Fig. 1. — Matériel disponible et stratégie de l'analyse.

zone B<sub>1</sub> en phase PL, dont l'homologue est A<sub>2</sub> en phase NL,

- . de 1 heure après le lever de lune en phase NL, à 04 h 30 : zone B<sub>2</sub> en phase PL, dont l'homologue est B en phase NL,
- . de 04 h 30 à 06 h (phase de migration descendante des animaux) : zone C pour les deux phases.

On remarquera que les immersions moyennes des stations représentatives des différentes aires espace-temps présentent certaines disparités. On pourrait notamment penser qu'une diminution des effectifs de l'aire A à l'aire B<sub>1</sub> est due au fait que la profondeur moyenne des traits ( $Z_m$ ) pour la première atteint 98 m, alors qu'elle n'est que de 75 m pour la seconde. Si le matériel disponible n'a pas permis d'éviter ces inconvénients, il faut noter que ceux-ci sont éliminés dans une analyse analogique : l'évolution

de A ( $Z \bar{m} = 98$  m) vers B<sub>1</sub> ( $Z \bar{m} = 75$  m) est comparée à celle qu'on observe de A<sub>1</sub> ( $Z \bar{m} = 91$  m) à A<sub>2</sub> ( $Z \bar{m} = 76$  m).

Les valeurs utilisées pour l'analyse sont les nombres d'organismes effectivement capturés. En effet, la méthodologie du prélèvement ayant été exactement la même pour toutes les stations, et l'analyse consistant à comparer les répartitions verticales aux différentes profondeurs en phase de Pleine Lune (PL) et de Nouvelle Lune (NL) respectivement, il n'était pas nécessaire d'effectuer de calculs correctifs.

La comparaison des séries d'effectifs provenant des différentes aires espace-temps fait appel aux méthodes statistiques. Il s'est toutefois avéré impossible d'appliquer les tests paramétriques (test t); en effet, outre le trop petit nombre de valeurs dans chaque série, contraignant à des regroupements qui s'accompagnent d'une perte d'information, les distributions sont ici très éloignées de la normalité. Diverses transformations normalisantes ( $\log(x+1)$ ,  $\log^2 x$ ) ont été essayées, mais la normalisation obtenue demeurerait douteuse, et surtout les variances n'étaient pas stabilisées. On a donc choisi d'employer le test U de MANN-WHITNEY, un des tests non-paramétriques les plus puissants, considéré comme la meilleure alternative au test t lorsque celui-ci n'est pas applicable (SIEGEL, 1956). Le test U est donné par :

$$U = n_1 n_2 + \frac{n_1(n_1+1)}{2} - R_1$$

avec :

$n_1$  : nombre de valeurs dans la série 1  
 $n_2$  : nombre de valeurs dans la série 2 }  $n_1 < n_2$

$R_1$  = somme des rangs attribués aux valeurs de la série 1.

On calcule également  $U' = n_1 n_2 - U$ , seule la plus faible des deux valeurs U ou U', étant utilisée pour entrer dans les tables.

Compte tenu des considérations exposées précédemment, il est cependant nécessaire de souligner que l'extrême complexité de la signification des observations (un même phénomène pouvant se traduire selon les cas par des évolutions opposées des séries d'effectifs), impose une analyse cas par cas (espèce par espèce), le test statistique n'étant pris en considération que lorsque sa signification pourra être définie *a priori*. L'utilisation systématique du test et son interprétation sans référence aux cas d'espèce serait ici d'une absurdité flagrante et conduirait obligatoirement à des conclusions erronées.

## RÉSULTATS ET DISCUSSION.

### 1. Influence apparente de l'éclairement lunaire sur les répartitions verticales nocturnes superficielles.

L'analyse a été effectuée, d'une part sur l'ensemble du peuplement d'euphausiacés, d'autre part sur 9 des espèces les plus abondantes, de façon à mettre éventuellement en évidence des variations spécifiques du comportement. Le tableau 1 regroupe les principaux résultats. Pour les raisons précédemment exposées, l'interprétation sera faite cas par cas. On pourra toutefois faire deux remarques préliminaires : d'une part, comme il a été déjà signalé, des effectifs maxima apparaissent en début (colonne 4 du tableau 1) et en fin (colonne 10) de nuit, pour presque toutes les espèces; d'autre part, la répartition des effectifs correspondant à la première partie de la nuit (col. 4) montre très nettement que la plupart des espèces, et par voie de conséquence l'ensemble des euphausiacés, sont surtout concentrées à ce moment entre 0 et 120 mètres (*T. tricuspidata*, *T. aequalis*, *S. carinatum*, *E. mulica*, *E. gibba*, *E. tenera*), quelques espèces étant par contre plus abondantes en dessous de 120 mètres (*S. abbreviatum*, *N. atlantica*, et surtout *S. affine* qui semble ne pas monter au-dessus de 100 mètres environ).

— *Ensemble des euphausiacés* : dans la couche 0-60/120 mètres, le lever de lune en phase PL se traduit par une diminution hautement significative des effectifs récoltés (coefficient de variation : 0,38), alors qu'en l'absence de lever de lune (phase NL) l'évolution des effectifs n'est pas significative pendant la même période (coeff. 0,83). De plus, la non réapparition d'effectifs élevés en fin de nuit (aire C, colonne 10 du tableau 1) confirme l'enfoncement général des animaux au moment du lever de lune en phase PL. Le même schéma s'observe, atténué, dans la couche 0-120/165 mètres : le lever de lune se traduit par une diminution significative (coeff. 0,50) des effectifs, sans réaugmentation significative en fin de nuit. On peut donc conclure que, en phase de Pleine Lune, le lever de lune provoque un net enfoncement de l'ensemble du peuplement, qui se fait sentir au moins jusqu'à 165 mètres de profondeur.

En phase de Nouvelle Lune, au contraire, et toujours en considérant globalement l'ensemble des euphausiacés, on observe tous les signes d'une grande stabilité des récoltes tout au long de la nuit, sans diminution significative au moment du lever de lune, et avec une tendance à la réapparition d'effectifs élevés en fin de nuit, confirmant que les animaux ne se sont pas enfoncé au cours de la nuit.

— *Thysanopoda tricuspidata* : comme précédemment, le lever de lune en phase PL provoque un net enfoncement au niveau de la couche 0-60/120 mètres (coeff. 0.49, significatif à  $p = 0.05$ ), confirmé par l'absence d'effectifs élevés en fin de nuit, alors qu'aucun appauvrissement des récoltes ne se produit, pendant la même période, en l'absence de lever de lune (phase NL). Par contre, on ne constate aucune fluctuation significative dans la couche 0-120/165 mètres. En ce qui concerne cette espèce, on peut donc conclure à une nette influence de l'éclairement lunaire en phase PL, mais limitée aux 120 premiers mètres.

En Nouvelle Lune, on observe une tendance (non significative cependant) à une montée des animaux jusqu'au lever de lune (enrichissement de la couche 0-60/120 mètres aux dépens de la couche 0-120/165 mètres, même après élimination de la valeur pic due à l'essaïm). Mais, contrairement à ce qu'on a noté pour l'ensemble des euphausiacés, le lever de lune se traduit, comme en phase PL, par un enfoncement très sensible au niveau de la couche 0-60/120 mètres (coefficient de 0,25 significatif à  $p = 0.05$ ). Malgré une diminution (non significative) des effectifs au moment du lever de lune dans la couche 0-120/165 mètres, il ne semble pas y avoir d'enfoncement sensible à cette immersion, où l'on constate, en effet, une nette tendance à la réaugmentation des récoltes en fin de nuit.

Chez *T. tricuspidata*, il semble donc que le lever de lune, même atténué (phase NL), provoque un sensible appauvrissement de la couche 0-60/120 mètres, mais, même en phase PL, ne se fasse pas sentir plus profondément.

— *Thysanopoda aequalis* présente un comportement très voisin de celui de *T. tricuspidata* :

. en PL, forte diminution des effectifs dans la couche 0-60/120 mètres au moment du lever de lune (coefficient 0.24, significatif à  $p = 0.05$ ), non réaugmentation des récoltes en fin de nuit : le lever de lune provoque l'appauvrissement de la couche 0-60/120 mètres. Au contraire, peu d'influence au niveau 0-120/165 mètres : diminution non significative (coeff. 0,78), et forte augmentation en fin de nuit, montrant que les animaux n'ont pas déserté cette couche ;

. en NL, forte influence du lever de lune dans la couche 0-60/120 mètres ; influence faible ou nulle plus profondément.

— *Stylocheiron carinatum*. Le lever de lune en phase PL se traduit par une diminution importante des récoltes dans la couche 0-60/120 mètres (coeff. 0.10, hautement significatif) ; mais un appauvrissement presque aussi important s'observe pendant la même période en l'absence de lever de lune

(phase NL : coeff. 0,25 significatif à  $p = 0.05$ ). Il apparaît cependant que les deux situations sont tout à fait différentes : en PL, la réaugmentation des effectifs en fin de nuit est faible (9 individus par station, au lieu de 50 en début de nuit), montrant que l'appauvrissement constaté est bien dû à un enfoncement des animaux. En NL, au contraire, les plus forts effectifs de la couche 0-60/120 mètres s'observent en milieu et fin de nuit, après le lever de lune, ce qui signifie que les organismes n'ont pas déserté cette immersion ; l'appauvrissement constaté en début de nuit provient donc vraisemblablement, ici, de ce que l'immersion moyenne des prélèvements de l'aire  $B_1$  est plus faible ( $Z \bar{m} = 75$  m) que celle de l'aire A ( $Z \bar{m} = 98$  m), et se situe au-dessus de la couche de concentration de l'espèce.

En phase PL, l'influence lunaire est encore sensible, bien qu'atténuée, dans la couche 0-120/165 mètres.

— *Stylocheiron abbreviatum* présente également une situation complexe. La signification de la très forte diminution d'effectifs observée au moment du lever de lune en phase PL dans la couche 0-60/120 mètres (coeff. 0.04, hautement significatif) est remise en question par la très forte augmentation qui lui fait suite (coeff. 17.50, significatif à  $p = 0.05$ ) ; toutefois, en reprenant les données, on constate que cette augmentation provient d'une seule station de l'aire  $B_2$ , qui est en outre particulièrement profonde (115 m). De plus, il n'y a pas d'effectifs élevés en fin de nuit (aire C). Il apparaît donc que l'appauvrissement de la couche 0-60/120 mètres après lever de lune en phase PL est réel ; il s'observe également, atténué, dans la couche 0-120/165 mètres.

En phase NL, la situation paraît très similaire à celle de *S. carinatum* : la diminution des effectifs dans la couche 0-60/120 mètres en début de nuit semble due à la différence des profondeurs atteintes par les stations des deux aires, et non à un enfoncement réel des animaux, puisque les plus forts effectifs s'observent en fin de nuit (aire C). Les fluctuations ne sont pas significatives au niveau de la couche 0-120/165 mètres, la forte valeur de l'aire  $A_2$  étant due à un essaïm.

— *Stylocheiron affine* semble ne monter qu'exceptionnellement au-dessus de 100 mètres, de sorte que les effectifs ne sont suffisants que pour la couche 0-120/165 mètres. Aucune influence lunaire n'y est décelable, les situations en phase PL et NL étant très similaires. Dans les deux cas, les forts effectifs capturés en fin de nuit indiquent que le fléchissement des récoltes en milieu de nuit n'est pas dû à un enfoncement des animaux.

— *Euphausia mulica* ne présente pas de réaction très importantes au lever de lune. Toutefois, la

TABLEAU 1

Nombres moyens d'individus récoltés par station dans les différentes aires espace-temps (cf. fig. 1) et coefficients de variation correspondants. Les coefficients correspondant aux levers de lune sont encadrés. Le test U de MANN-WHITNEY a été appliqué : a) aux coefficients encadrés de la colonne (5) (Lever de lune en phase PL). b) aux coefficients non encadrés de la colonne (5) (homologues des précédents en phase NL, et leur servant de témoins) c) aux coefficients encadrés de la colonne (7) (Lever de lune en phase NL). Ceux qui apparaissent **en caractères gras** correspondent à des valeurs hautement significatives ( $p = 0.01$ ) ; les caractères normaux, à des valeurs significatives ( $p = 0.05$ ) ; les coefficients *en italique* ne sont pas significatifs à  $p = 0.05$ . Les coefficients dont la signification est imprécise n'ont pas été testés, et figurent entre parenthèses

| (1)<br>Espèces (Nombre total d'individus identifiés au cours des 74 stations) | (2)<br>Phase Lunaire | (3)<br>Couche bathymétrique (mètres) | (4)<br>Aires A et A <sub>1</sub> (18 h. à 21 h env.) | (5)<br>Coefficient de variation (4)/(6) | (6)<br>Aires B <sub>1</sub> et A <sub>2</sub> (21 h. à 01 h 30 env.) | (7)<br>Coefficient de variation (6)/(8) | (8)<br>Aires B <sub>2</sub> et B (01 h 30 à 04 h 30) | (9)<br>Coefficient de variation (8)/(10) | (10)<br>Aires C (04 h 30 à 06 h) |
|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------|
| Total euphausiacés (14 317)                                                   | PL                   | 0- 60/120                            | 247                                                  | <b>0.38</b>                             | 93                                                                   | (1.12)                                  | 104                                                  | (0.60)                                   | 62                               |
|                                                                               |                      | 0-120/165                            | 274                                                  | 0.50                                    | 137                                                                  | (0.86)                                  | 118                                                  | (1.21)                                   | 143                              |
|                                                                               | NL                   | 0- 60/120                            | 148                                                  | 0.83                                    | 123                                                                  | <b>1.10</b>                             | 136                                                  | (1.43)                                   | 195                              |
|                                                                               |                      | 0-120/165                            | 401*                                                 | 0.47                                    | 189                                                                  | 0.92                                    | 174                                                  | (1.44)                                   | 250                              |
| <i>Thysanopoda tricuspidata</i> (4 320)                                       | PL                   | 0- 60/120                            | 59                                                   | 0.49                                    | 29                                                                   | (1.79)                                  | 52                                                   | (0.37)                                   | 19                               |
|                                                                               |                      | 0-120/165                            | 36                                                   | 0.94                                    | 34                                                                   | (0.50)                                  | 17                                                   | (1.24)                                   | 21                               |
|                                                                               | NL                   | 0- 60/120                            | 41                                                   | 1.34                                    | 55                                                                   | 0.25                                    | 14                                                   | (1.29)                                   | 18                               |
|                                                                               |                      | 0-120/165                            | 251*                                                 | 0.29                                    | 74                                                                   | 0.53                                    | 39                                                   | (1.79)                                   | 70                               |
| <i>Thysanopoda aequalis</i> (483)                                             | PL                   | 0- 60/120                            | 9.8                                                  | 0.24                                    | 2.4                                                                  | (0.33)                                  | 0.8                                                  | (1.25)                                   | 1.0                              |
|                                                                               |                      | 0-120/165                            | 8.1                                                  | 0.78                                    | 6.3                                                                  | (0.75)                                  | 4.7                                                  | (2.17)                                   | 10                               |
|                                                                               | NL                   | 0- 60/120                            | 8.2                                                  | 0.83                                    | 6.8                                                                  | 0.37                                    | 2.5                                                  | (0.92)                                   | 2.3                              |
|                                                                               |                      | 0-120/165                            | 9.9                                                  | 0.61                                    | 6.0                                                                  | 0.67                                    | 4.0                                                  | (2.75)                                   | 11                               |
| <i>Stylocheiron carinatum</i> (2 664)                                         | PL                   | 0- 60/120                            | 50                                                   | <b>0.10</b>                             | 4.8                                                                  | (1.15)                                  | 5.5                                                  | (1.63)                                   | 9.0                              |
|                                                                               |                      | 0-120/165                            | 50                                                   | 0.32                                    | 16                                                                   | (1.25)                                  | 20                                                   | (1.35)                                   | 27                               |
|                                                                               | NL                   | 0- 60/120                            | 48                                                   | 0.25                                    | 12                                                                   | 4.92                                    | 59*                                                  | (1.36)                                   | 80                               |
|                                                                               |                      | 0-120/165                            | 44                                                   | 0.59                                    | 26                                                                   | 1.42                                    | 37                                                   | (1.78)                                   | 66                               |
| <i>Stylocheiron abbreviatum</i> (828)                                         | PL                   | 0- 60/120                            | 11                                                   | <b>0.04</b>                             | 0.4                                                                  | (17.50)                                 | 7.0                                                  | (0.24)                                   | 1.7                              |
|                                                                               |                      | 0-120/165                            | 23                                                   | <b>0.30</b>                             | 6.8                                                                  | (1.47)                                  | 10                                                   | (1.00)                                   | 10                               |
|                                                                               | NL                   | 0- 60/120                            | 6.8                                                  | 0.34                                    | 2.3                                                                  | 1.52                                    | 3.5                                                  | (3.43)                                   | 12                               |
|                                                                               |                      | 0-120/165                            | 15                                                   | 1.93                                    | 29*                                                                  | 0.38                                    | 11                                                   | (1.18)                                   | 13                               |
| <i>Stylocheiron affine</i> (239)                                              | PL                   | 0- 60/120                            | 0.5                                                  | —                                       | 0                                                                    | —                                       | 0.5                                                  | —                                        | 0                                |
|                                                                               |                      | 0-120/165                            | 5.0                                                  | 0.56                                    | 2.8                                                                  | (2.14)                                  | 6.0                                                  | (1.28)                                   | 7.7                              |
|                                                                               | NL                   | 0- 60/120                            | 0.2                                                  | —                                       | 0.2                                                                  | —                                       | 0.8                                                  | —                                        | 0                                |
|                                                                               |                      | 0-120/165                            | 7.6                                                  | 0.39                                    | 3.0                                                                  | 1.23                                    | 3.7                                                  | (2.35)                                   | 8.7                              |

\* Valeurs élevées dues à un essai.

(suite page suivante)

(Tableau 1 fin)

| (1)                                                                    | (2)           | (3)                           | (4)                                           | (5)                              | (6)                                                           | (7)                              | (8)                                           | (9)                               | (10)                     |
|------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| Espèces (Nombre total d'individus identifiés au cours des 74 stations) | Phase Lunaire | Couche bathymétrique (mètres) | Aires A et A <sub>1</sub> (18 h. à 21 h env.) | Coefficient de variation (4)/(6) | Aires B <sub>1</sub> et A <sub>2</sub> (21 h. à 01 h 30 env.) | Coefficient de variation (6)/(8) | Aires B <sub>2</sub> et B (01 h 30 à 04 h 30) | Coefficient de variation (8)/(10) | Aires C (04 h 30 à 06 h) |
| <i>Euphausia mulica</i><br>(2 191)                                     | PL            | 0- 60/120                     | 44                                            | 0.73                             | 32                                                            | (0.66)                           | 21                                            | (0.76)                            | 16                       |
|                                                                        |               | 0-120/165                     | 37                                            | 0.78                             | 29                                                            | (0.62)                           | 18                                            | (1.72)                            | 31                       |
|                                                                        | NL            | 0- 60/120                     | 19                                            | 1.10                             | 21                                                            | 1.86                             | 39                                            | (0.85)                            | 33                       |
|                                                                        |               | 0-120/165                     | 24                                            | 0.96                             | 23                                                            | 1.43                             | 33                                            | (1.15)                            | 38                       |
| <i>Euphausia gibba</i><br>(1 014)                                      | PL            | 0- 60/120                     | 30                                            | 0.27                             | 8.0                                                           | (0.54)                           | 4.3                                           | (0.23)                            | 1.0                      |
|                                                                        |               | 0-120/165                     | 17                                            | 1.00                             | 17                                                            | (0.82)                           | 14                                            | (0.79)                            | 11                       |
|                                                                        | NL            | 0- 60/120                     | 15                                            | 0.80                             | 12                                                            | 0.48                             | 5.8                                           | (1.16)                            | 6.7                      |
|                                                                        |               | 0-120/165                     | 17                                            | 0.76                             | 13                                                            | 1.38                             | 18                                            | (0.89)                            | 16                       |
| <i>Euphausia tenera</i><br>(408)                                       | PL            | 0- 60/120                     | 14                                            | 0.50                             | 7.0                                                           | (0.90)                           | 6.3                                           | (1.00)                            | 6.3                      |
|                                                                        |               | 0-120/165                     | 5.5                                           | 0.73                             | 4.0                                                           | (2.33)                           | 9.3                                           | (0.52)                            | 4.8                      |
|                                                                        | NL            | 0- 60/120                     | 4.6                                           | 0.98                             | 4.5                                                           | 0.33                             | 1.5                                           | (1.80)                            | 2.7                      |
|                                                                        |               | 0-120/165                     | 3.4                                           | 0.97                             | 3.3                                                           | 1.21                             | 4.0                                           | (1.08)                            | 4.3                      |
| <i>Nematoscelis atlantica</i><br>(761)                                 | PL            | 0- 60/120                     | 9.7                                           | 0.06                             | 0.6                                                           | (1.33)                           | 0.8                                           | (3.75)                            | 3.0                      |
|                                                                        |               | 0-120/165                     | 19                                            | 0.41                             | 7.8                                                           | (0.68)                           | 5.3                                           | (1.60)                            | 8.5                      |
|                                                                        | NL            | 0- 60/120                     | 2.4                                           | 2.91                             | 7.0                                                           | 0.47                             | 3.3                                           | (2.12)                            | 7.0                      |
|                                                                        |               | 0-120/165                     | 23                                            | 0.42                             | 9.7                                                           | 1.96                             | 19                                            | (0.95)                            | 18                       |

diminution des effectifs dans la couche 0-60/120 mètres à la suite du lever de lune en phase PL peut être considéré comme le signe d'une influence lunaire modérée, dans la mesure où une telle diminution ne s'observe pas pendant la période analogue en phase NL, et n'est pas suivie d'une réaugmentation des effectifs en fin de nuit. Par contre, aucun effet de l'éclairement lunaire n'est apparent, ni en phase PL dans la couche 0-120/165 mètres, ni en phase NL dans l'une ou l'autre couche : dans tous ces cas, on constate, en effet, que des effectifs élevés sont capturés après le lever de lune, la diminution des récoltes en milieu de nuit étant par conséquent probablement due à des fluctuations de la surdispersion et/ou aux différences dans les immersions moyennes des stations des différentes aires.

— *Euphausia gibba*: la chute des effectifs après le lever de lune en phase PL dans la couche 0-60/120 m (coeff. 0,27, hautement significatif), chute non observée pour la même période horaire en phase NL,

et la non réapparition de récoltes abondantes en fin de nuit, indique que l'espèce déserte cette immersion dans ces conditions. Au contraire, aucun effet n'est décelable dans la couche 0-120/165 m. En NL, on observe également un approfondissement des animaux après le lever de lune dans la couche 0-60/120 m, moins marqué cependant qu'en PL : diminution des effectifs (coeff. 0,48 significatif à  $p = 0.05$ ), réaugmentation non significative en fin de nuit. Aucune influence lunaire n'est décelable dans la couche 0-120/165 m.

— *Euphausia tenera* présente une situation très voisine de celle de *E. gibba*. Bien que le coefficient de 0.50 ne soit pas significatif ( $p = 0.165$ ), on constate une baisse très sensible des effectifs récoltés après le lever de lune en phase PL dans la couche 0-60/120 m, baisse non observée en période homologue de NL, et non suivie de valeurs plus élevées en fin de nuit; une influence lunaire modérée semble donc probable. Au contraire, aucun effet n'est apparent



dans la couche 0-120/165 m. En phase NL, on observe à peu près la même situation : influence modérée du lever de lune dans la couche 0-60/120 m, aucun effet dans la couche 0-120/165 m.

— *Nematoscelis atlantica* offre tous les signes d'une forte réaction à l'éclairement lunaire en phase PL dans la couche 0-60/120 m, qui est pratiquement désertée après le lever de lune; l'approfondissement de l'espèce est encore très sensible dans la couche 0-120/165 m. En phase NL, les effets apparaissent beaucoup moins nets : à peine sensibles dans la couche 0-60/120 m, ils sont inexistants dans la couche 0-120/165 m.

L'ensemble des résultats présentés ci-dessus est schématisé dans le tableau 2. On peut résumer la situation de la façon suivante :

— en phase de PL, le lever de lune provoque un approfondissement de toutes les espèces, qui se traduit par un appauvrissement très net des 120 premiers mètres. Pour quelques espèces (*S. carinatum*, *S. abbreviatum*, *N. atlantica*, et, par voie de conséquence, ensemble des euphausiacés), l'augmentation de l'immersion est assez importante pour

produire une diminution des récoltes dans la couche 120-165 mètres.

— en phase de NL (avec, naturellement, un éclairement non nul puisque les récoltes ont eu lieu en fait entre le Dernier Quartier et la Nouvelle Lune), les effets sont très atténués : 2 espèces seulement (*T. tricuspidata* et *T. aequalis*) montrent une forte réaction dans la couche 0-60/120 mètres, 3 autres une réaction modérée (*E. gibba*, *E. tenera*, *N. atlantica*), tandis qu'aucune modification n'est décelable pour *S. carinatum*, *S. abbreviatum*, *E. mutica*, de même que pour les effectifs totaux d'euphausiacés. Au-delà de 120 mètres, aucun effet de l'éclairement lunaire en phase NL n'a été observé.

Il reste enfin à vérifier que cette diminution des effectifs après le lever de lune n'est pas due essentiellement à un évitement plus efficace du filet dans de meilleures conditions d'éclairement. Si tel était le cas, on devrait trouver systématiquement une diminution plus forte pour les animaux de grande taille que pour les petits, puisqu'on peut admettre que les capacités d'évidement des organismes sont sensiblement proportionnelles à leurs dimensions à l'intérieur d'un groupe morphologiquement homogène. On a donc étudié les effets du

TABLEAU 2

Effets du lever de lune sur les répartitions verticales nocturnes superficielles : bilan schématique. ++ : influence forte. + : modérée. 0 : faible ou nulle

| Espèces                      | Effets du lever de lune |                       |                      |                       |
|------------------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
|                              | Phase PL                |                       | Phase NL             |                       |
|                              | couche<br>0.60/120 m    | couche<br>0.120/165 m | couche<br>0.60/120 m | couche<br>0.120/165 m |
| Euphausiacés total.....      | ++                      | +                     | 0                    | 0                     |
| <i>T. tricuspidata</i> ..... | ++                      | 0                     | ++                   | 0                     |
| <i>T. aequalis</i> .....     | ++                      | 0                     | ++                   | 0                     |
| <i>S. carinatum</i> .....    | ++                      | +                     | 0                    | 0                     |
| <i>S. abbreviatum</i> .....  | ++                      | +                     | 0                    | 0                     |
| <i>S. affine</i> .....       | X                       | 0                     | X                    | 0                     |
| <i>E. mutica</i> .....       | +                       | 0                     | 0                    | 0                     |
| <i>E. gibba</i> .....        | ++                      | 0                     | +                    | 0                     |
| <i>E. tenera</i> .....       | +                       | 0                     | +                    | 0                     |
| <i>N. atlantica</i> .....    | ++                      | +                     | +                    | 0                     |

lever de lune en phase PL sur les espèces qui s'y sont révélé les plus sensibles, en analysant séparément les réactions des gros et des petits individus. Les résultats sont figurés dans le tableau 3.

*Ensemble des euphausiacés.* Les réactions sont très similaires dans les deux groupes de tailles.

*Thysanopoda tricuspidata.* L'évolution des effectifs est d'une ampleur comparable pour les deux catégories de tailles (il y a donc, dans les deux cas, réaction à l'éclairement lunaire), mais de sens opposés. Il semble que cette contradiction soit due au fait que les petits individus sont en majorité concentrés entre 0 et 60 mètres avant le lever de lune et entre 60 et 120 mètres après (d'où des

effectifs plus élevés), alors que les adultes se trouvent à 60-120 mètres avant le lever de lune et plus profondément après (d'où diminution des effectifs).

*Euphausia gibba.* Les comportements des deux groupes de tailles apparaissent très semblables.

*Thysanopoda aequalis* et *Nematoscelis atlantica.* Les adultes semblent se situer comme chez *T. tricuspidata*, plus profondément que les jeunes, puisqu'ils disparaissent des 120 premiers mètres après le lever de lune. A ceci près, les individus de petite taille paraissent réagir de la même façon que ceux de grande taille.

En conclusion, si un meilleur évitement du chalut est possible dans de meilleures conditions d'éclaire-

TABLEAU 3

Effets du lever de lune en phase PL sur des animaux de tailles différentes. Après utilisation du test U de MANN-WHITNEY, les coefficients ont été inscrits en **caractères gras** s'ils sont hautement significatifs ( $p = 0.01$ ), en caractères normaux s'ils sont significatifs à  $p = 0.05$  et en *italique* s'ils ne sont pas significatifs à  $p = 0.05$ .

| Espèces                         | Longueur totale (mm) | Couche bathymétrique (m) | Nombres moyens d'individus par station dans l'aire A | Coefficient de variation A/B <sub>1</sub> | Nombres moyens d'individus par station dans l'aire B <sub>1</sub> |
|---------------------------------|----------------------|--------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Total euphausiacés              | < 15                 | 0- 60/120                | 174                                                  | 0.40                                      | 69                                                                |
|                                 |                      | 0-120/165                | 180                                                  | 0.52                                      | 94                                                                |
|                                 | > 15                 | 0- 60/120                | 73                                                   | <b>0.32</b>                               | 23                                                                |
|                                 |                      | 0-120/165                | 94                                                   | <i>0.47</i>                               | 44                                                                |
| <i>Thysanopoda tricuspidata</i> | < 18                 | 0- 60/120                | 5.5                                                  | <i>2.36</i>                               | 13                                                                |
|                                 |                      | 0-120/165                | 3.8                                                  | <i>1.53</i>                               | 5.8                                                               |
|                                 | > 18                 | 0- 60/120                | 54                                                   | <b>0.30</b>                               | 16                                                                |
|                                 |                      | 0-120/165                | 32                                                   | <i>0.88</i>                               | 28                                                                |
| <i>Thysanopoda aequalis</i>     | < 15                 | 0- 60/120                | 5.5                                                  | <i>0.44</i>                               | 2.4                                                               |
|                                 |                      | 0-120/165                | 4.0                                                  | <i>0.83</i>                               | 3.3                                                               |
|                                 | > 15                 | 0- 60/120                | 4.3                                                  | —                                         | 0                                                                 |
|                                 |                      | 0-120/165                | 4.1                                                  | <i>0.73</i>                               | 3.0                                                               |
| <i>Euphausia gibba</i>          | < 12                 | 0- 60/120                | 16                                                   | <b>0.20</b>                               | 3.2                                                               |
|                                 |                      | 0-120/165                | 10                                                   | <i>0.88</i>                               | 8.8                                                               |
|                                 | > 12                 | 0- 60/120                | 14                                                   | 0.34                                      | 4.8                                                               |
|                                 |                      | 0-120/165                | 6.3                                                  | <i>1.32</i>                               | 8.3                                                               |
| <i>Nematoscelis atlantica</i>   | < 12                 | 0- 60/120                | 7.0                                                  | <b>0.09</b>                               | 0.6                                                               |
|                                 |                      | 0-120/165                | 12                                                   | 0.54                                      | 6.5                                                               |
|                                 | > 12                 | 0- 60/120                | 2.7                                                  | —                                         | 0                                                                 |
|                                 |                      | 0-120/165                | 7.6                                                  | <b>0.17</b>                               | 1.3                                                               |

ment, il ne semble pas que ce phénomène soit prépondérant. En tout état de cause, il paraît exclu que cette éventuelle modification des capacités d'évitement suffise à expliquer les fluctuations observées. Nous pouvons, par conséquent, conclure que l'éclairement lunaire est, selon toute vraisemblance, le principal responsable des changements de répartition bathymétrique superficielle précédemment analysés.

## 2. Comparaison des répartitions bathymétriques superficielles en phase de Pleine Lune et de Nouvelle Lune.

On a vu au cours du paragraphe précédent quels sont les effets du lever de lune, en phase PL et en phase NL, sur les répartitions verticales superficielles. Il est également intéressant de comparer entre elles les situations bathymétriques observées au cours des deux phases lunaires, aussi bien d'un point de vue pratique dans l'interprétation de données obtenues au cours de phases lunaires différentes, que d'un point de vue théorique, pour déterminer la causalité des comportements verticaux. En effet, si la comparaison des situations *après* lever de lune en phases différentes ne peut être qu'une constatation de fait,

d'intérêt pratique, celle des répartitions *avant* lever de lune peut révéler, si les situations sont significativement différentes, l'existence d'une motivation endogène, puisque indépendante de l'éclairement proprement dit. Cette analyse sera conduite à partir des données figurant dans le tableau 1, en étudiant cette fois la répartition des effectifs dans les aires homologues (A et A<sub>1</sub>; B<sub>1</sub> et A<sub>2</sub>; B<sub>2</sub> et B; C) au cours des deux phases lunaires.

Auparavant, il est indispensable de s'assurer qu'il n'y a pas eu évolution significative des effectifs totaux entre les périodes 28 juin-1<sup>er</sup> juillet d'une part (phase PL) et 4-6 juillet d'autre part (phase NL).

### 2.1. VÉRIFICATION DE LA STABILITÉ DE L'ENSEMBLE DE LA POPULATION PENDANT TOUTE LA PÉRIODE ÉTUDIÉE.

On a sélectionné 16 stations effectuées de nuit (entre 21 h et 04 h), dont la profondeur maximale est comprise entre 250 et 350 mètres. 8 d'entre elles proviennent de la phase PL (toutes ont été réalisées après le lever de lune); les 8 autres, de la phase NL (5 avant le lever de lune, 3 après). Les résultats sont rassemblés dans le tableau 4. On constate qu'il n'y a aucune évolution significative des effectifs

TABLEAU 4

Effectifs moyens récoltés par station (Z max. 250 à 350 mètres, heure 21 h à 04 h) en phase PL et NL. Après utilisation du test U de MANN-WHITNEY, les coefficients de variation ont été figurés en **caractères gras** s'ils sont hautement significatifs ( $p = 0.01$ ), en caractères normaux s'ils sont significatifs à  $p = 0.05$ , en *italique* s'ils ne sont pas significatifs à  $p = 0.05$ .

| Espèces                      | Nombres moyens récoltés par station en phase PL | Coefficient de variation | Nombres moyens récoltés par station en phase NL |
|------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------|
| Total euphausiacés.....      | 307*                                            | <i>0.70</i>              | 215                                             |
| <i>T. tricuspidata</i> ..... | 41                                              | <i>1.41</i>              | 58                                              |
| <i>T. aequalis</i> .....     | 7.0                                             | <i>0.84</i>              | 5.9                                             |
| <i>S. carinatum</i> .....    | 17                                              | <i>1.53</i>              | 26                                              |
| <i>S. abbreviatum</i> .....  | 67**                                            | <i>0.40</i>              | 27                                              |
| <i>S. affine</i> .....       | 4.5                                             | <i>1.00</i>              | 4.5                                             |
| <i>E. mulica</i> .....       | 30                                              | <i>0.67</i>              | 20                                              |
| <i>E. gibba</i> .....        | 13                                              | <i>1.08</i>              | 14                                              |
| <i>E. tenera</i> .....       | 4.9                                             | <b>0.27</b>              | 1.3                                             |
| <i>N. atlantica</i> .....    | 23                                              | <i>1.04</i>              | 24                                              |

\* Valeur élevée due à 2 essais, l'un de *S. abbreviatum*, l'autre de *E. fallax*.

\*\* Valeur élevée due à un essai.

récoltés, ni pour l'ensemble du peuplement, ni pour les différentes espèces considérées séparément, à l'exception de *Euphausia tenera* qui est significativement moins abondante du 4 au 6 juillet que du 28 juin au 1<sup>er</sup> juillet. *E. tenera* ne sera donc pas utilisée pour la comparaison des deux situations,

non plus que *S. affine* qui est pratiquement absent des 120 premiers mètres.

Ce test de la stabilité des effectifs tout au long de la période considérée démontre en outre que l'influence de la phase et/ou de l'éclairement lunaire ne se fait pas sentir au-delà de 250 mètres environ.

## 2.2. COMPARAISON DES RÉPARTITIONS OBSERVÉES EN PHASE PL ET EN PHASE NL.

Le tableau 5 expose comparativement pour l'ensemble des euphausiacés et pour sept des principales espèces, les situations observées en phase PL et en phase NL. On peut en faire l'analyse suivante :

*Début de nuit* (la lune n'est pas levée, ni en PL, ni en NL).

— Il n'y a pas de différences sensibles de répartition bathymétrique entre les deux phases pour *S. carinalum* et *S. abbreviatum*.

— Par contre, pour les 5 autres espèces et pour l'ensemble des euphausiacés, on constate une

TABLEAU 5

Analyse comparative des situations bathymétriques observées en PL et en NL au cours des différentes parties de la nuit. Les rapports qui semblent traduire une réelle différence dans les deux situations figurent en **caractères gras**

| Espèces                      | <i>Début de nuit</i> : avant lever de lune en phase PL et en phase NL. 18 h à 21 h env. Aires A (PL) et A <sub>1</sub> (NL). |      |                                 | <i>Milieu de nuit</i> : après lever de lune en phase PL, avant lever de lune en phase NL. 21 h à 01 h 30 env. Aires B <sub>1</sub> (PL) et A <sub>2</sub> (NL). |      |                                 | <i>Fin de nuit</i> : après lever de lune en phase PL et en phase NL. 01 h 30 à 04 h 30. Aires B <sub>2</sub> (PL) et B (NL). |        |                                 |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|---------------------------------|
|                              | Rapport des effectifs moyens par station récoltés à 0-60/120 m, aux effectifs moyens par station récoltés à 0-120/165 m.     |      | Rapport des valeurs<br>PL<br>NL | Rapport des effectifs moyens par station récoltés à 0-60/120 m, aux effectifs moyens par station récoltés à 0-120/165 m.                                        |      | Rapport des valeurs<br>PL<br>NL | Rapport des effectifs moyens par station récoltés à 0-60/120 m, aux effectifs moyens par station récoltés à 0-120/165 m.     |        | Rapport des valeurs<br>PL<br>NL |
|                              | PL                                                                                                                           | NL   |                                 | PL                                                                                                                                                              | NL   |                                 | PL                                                                                                                           | NL     |                                 |
| Total euphausiacés...        | 0.90                                                                                                                         | 0.37 | <b>2.43</b>                     | 0.68                                                                                                                                                            | 0.65 | 1.05                            | 0.88                                                                                                                         | 0.78   | 1.13                            |
| <i>T. tricuspidata</i> ..... | 1.64                                                                                                                         | 0.16 | <b>10.25</b>                    | 0.85                                                                                                                                                            | 0.74 | 1.15                            | 3.06*                                                                                                                        | 0.36   | <b>8.50*</b>                    |
| <i>T. aequalis</i> .....     | 1.21                                                                                                                         | 0.83 | <b>1.46</b>                     | 0.38                                                                                                                                                            | 1.13 | <b>0.34</b>                     | 0.17                                                                                                                         | 0.63   | <b>0.27</b>                     |
| <i>S. carinalum</i> .....    | 1.00                                                                                                                         | 1.09 | 0.92                            | 0.30                                                                                                                                                            | 0.46 | <b>0.65</b>                     | 0.28                                                                                                                         | 1.60   | <b>0.18</b>                     |
| <i>S. abbreviatum</i> .....  | 0.48                                                                                                                         | 0.45 | 1.07                            | 0.06                                                                                                                                                            | 0.08 | <b>0.75</b>                     | 0.70                                                                                                                         | 0.32** | 2.19**                          |
| <i>E. mulica</i> .....       | 1.19                                                                                                                         | 0.79 | <b>1.51</b>                     | 1.10                                                                                                                                                            | 0.91 | 1.21                            | 1.17                                                                                                                         | 1.18   | 0.99                            |
| <i>E. gibba</i> .....        | 1.76                                                                                                                         | 0.88 | <b>2.00</b>                     | 0.47                                                                                                                                                            | 0.92 | <b>0.51</b>                     | 0.31                                                                                                                         | 0.32   | 0.97                            |
| <i>N. atlantica</i> .....    | 0.51                                                                                                                         | 0.10 | <b>5.10</b>                     | 0.08                                                                                                                                                            | 0.72 | <b>0.11</b>                     | 0.15                                                                                                                         | 0.17   | 0.88                            |

\* Valeur de signification douteuse, due à un essaim.

\*\* Valeur douteuse, les immersions des stations de l'aire B étant insuffisantes pour cette espèce.

tendance très nette à une immersion plus importante en phase NL. Il semblerait donc qu'il y ait une différence du comportement vertical selon la phase lunaire, puisque l'éclairement est nul et ne peut être invoqué. A moins que cette différence ne soit fortuite, ou provoquée par d'autres facteurs (modifications de l'environnement physique non décelées au cours de la campagne par exemple), elle implique l'intervention, dans ce comportement des mécanismes endogènes.

*Milieu de nuit.* La lune est levée en phase PL, mais non en phase NL. Toutes ces espèces réagissant par un net enfouissement au lever de lune en phase PL, on s'attend logiquement à les trouver plus profon-

dément en PL qu'en NL. C'est ce qui est observé pour *T. aequalis*, *S. carinalum*, *E. gibba*, *N. atlantica*, et, moins nettement, pour *S. abbreviatum*. Par contre, on ne constate pas de différence bathymétrique significative entre les deux phases lunaires pour l'ensemble des euphausiacés, *E. mulica* et *T. tricuspidata*. Dans ces trois cas en effet, l'enfoncement au moment du lever de lune en phase PL compense à peu près exactement le fait que la répartition était, en début de nuit, nettement plus superficielle en PL qu'en NL.

*Fin de nuit.* La lune est levée, aussi bien en PL qu'en NL. C'est la situation la moins claire, puisque tous les facteurs (phase et éclairage) interviennent.

Aussi observe-t-on tous les cas possibles :

— il n'y a pas de différence significative de distribution verticale entre les deux phases pour l'ensemble des euphausiacés, *E. mutica*, *E. gibba* et *N. atlantica*;

— *T. aequalis* et *S. carinatum* sont situés plus profondément en phase PL;

— les situations de *T. triscuspidata* et *S. abbreviatum* sont douteuses; dans le premier cas, la répartition apparemment plus profonde en phase NL est peut-être due à la récolte d'un essaim; dans le second cas, les stations de l'aire B n'ont pas atteint une profondeur suffisante vis-à-vis de l'espèce considérée.

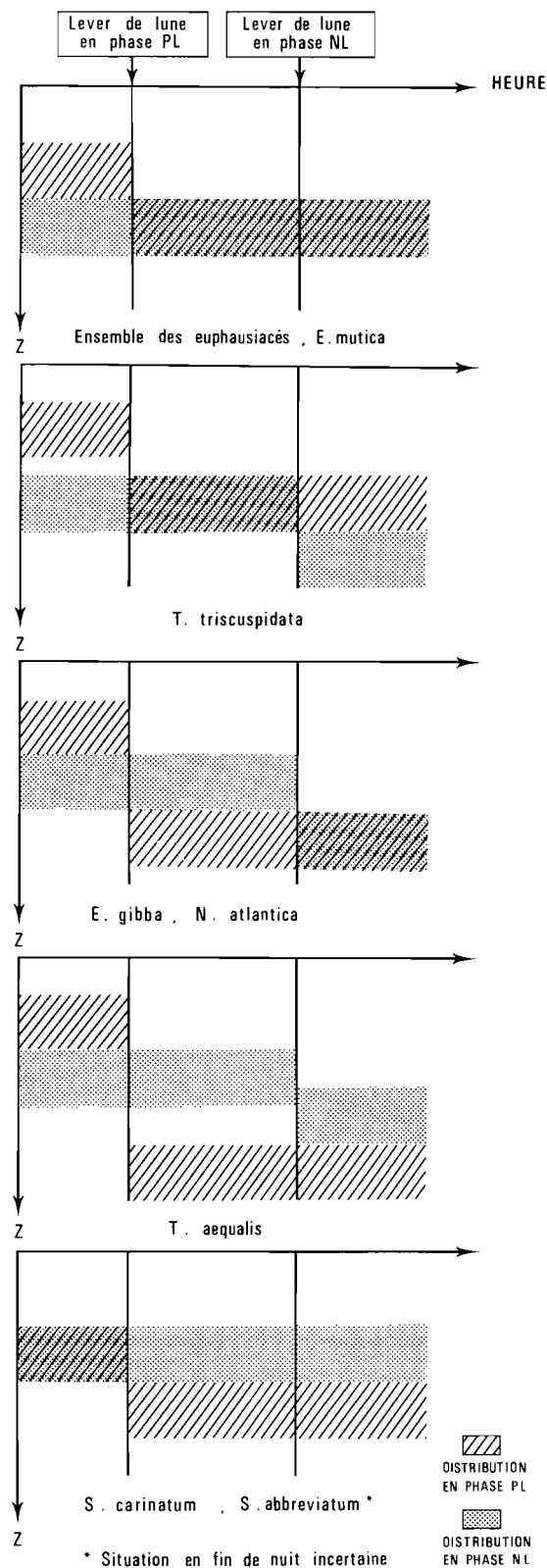
## CONCLUSIONS.

Les réactions de l'ensemble du peuplement d'euphausiacés et des principales espèces prises individuellement, vis-à-vis de l'éclairement et de la phase lunaire, sont schématisées sur la figure 2.

L'analyse ci-dessus exposée permet d'établir les points suivants.

1. Toutes les espèces, et par voie de conséquence l'ensemble des euphausiacés, réagissent à l'éclairement lunaire par un enfoncement qui appauvrit très nettement la couche 0-120 m, et même dans certains cas la couche 120-165 m. Cet approfondissement est très marqué lorsque l'éclairement lunaire est fort (phase pleine lune), absent ou moins net lorsque l'éclairement lunaire est faible (phase dernier quartier/nouvelle lune). Il est donc patent que l'éclairement lunaire a bien une action directe sur les répartitions verticales nocturnes superficielles, et que cette action est sensiblement proportionnelle à son intensité. Par contre, l'absence de différence entre les situations bathymétriques observées en phases de pleine lune et de nouvelle lune pour les prélèvements ayant atteint une profondeur de 250 mètres au moins, confirme bien que l'influence de l'éclairement lunaire ne se fait pas sentir au-delà de cette immersion.

Fig. 2. — Schémas des répartitions verticales nocturnes observées en phases de pleine lune (PL) et de nouvelle lune (NL). Seules les tendances sont figurées, des espèces appartenant au même schéma pouvant occuper des immersions légèrement différentes; c'est pourquoi l'échelle des profondeurs (Z) n'a pas été précisée. Toutefois, comme pour l'ensemble de cette étude, seuls les 165 premiers mètres sont considérés.



2. La comparaison des situations observées en phase de pleine lune d'une part et en nouvelle lune d'autre part, en début de nuit, c'est-à-dire avant le lever de lune, lorsque l'éclairement lunaire est nul dans les deux cas, amène à constater que l'ensemble des euphausiacés, et 5 des 7 espèces principales, se situent plus profondément en période

de nouvelle lune qu'en pleine lune. Ce fait suggère fortement que, outre l'effet direct de l'éclairement lunaire, les fluctuations des répartitions verticales nocturnes superficielles observées en liaison avec les cycles lunaires sont également sous la dépendance de motivations endogènes.

*Manuscrit reçu au S.C.D. le 16 juillet 1974.*

### BIBLIOGRAPHIE

- GUEREDRAT (J. A.) et FRIESS (R.), 1971. — Importance des migrations nyctémérales de copépodes bathypélagiques. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*, IX (2) : 187-196.
- KAMPA (E. M.), 1965. — The euphausiid eye, a re-evaluation. *Vision Res.* 5 : 475-481.
- LEGAND (M.), BOURRET (P.), FOURMANOIR (P.), GRANDPERRIN (R.), GUEREDRAT (J. A.), MICHEL (A.), RANCUREL (P.), REPELIN (R.) et ROGER (C.), 1972. — Relations trophiques et distributions verticales en milieu pélagique dans l'Océan Pacifique intertropical. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. océanogr.*, X (4) : 303-393.
- MAUCHLINE (J.) and FISHER (L. R.), 1969. — The biology of euphausiids. *Advances in marine biology*, 7 : 1-454.
- MICHEL (A.) et GRANDPERRIN (R.), 1970. — Sélection du chalut Isaacs-Kidd 10 pieds. *Mar. Biol.* 6 (3) : 200-212.
- ROGER (C.), 1971. — Distribution verticale des euphausiacés (crustacés) dans les courants équatoriaux de l'Océan Pacifique. *Mar. Biol.* 10 (2) : 134-144.
- ROGER (C.), 1973. — Recherches sur la situation trophique d'un groupe d'organismes pélagiques (Euphausiacea). VI : Conclusion sur le rôle des euphausiacés dans les circuits trophiques de l'Océan Pacifique intertropical. *Mar. Biol.* 19 (1) : 66-68.
- SIEGEL (S.), 1956. — Nonparametric statistics for the behavioral sciences. Mc Graw Hill Book Co. Inc., N. Y., 312 p.



# RÉPARTITIONS BATHYMÉTRIQUES ET MIGRATIONS VERTICALES DES EUPHAUSIACÉS (CRUSTACÉS) DANS LES ZONES DE PÊCHE AU THON DU PACIFIQUE SUD-TROPICAL

C. ROGER

*Centre O.R.S.T.O.M. de Nouméa- B.P. 15 - Nouméa-Céder (Nouvelle-Calédonie)*

## ABSTRACT

BATHYMETRIC REPARTITION AND VERTICAL MIGRATIONS OF EUPHAUSIID CRUSTACEANS IN THE TUNA FISHING GROUNDS OF THE SOUTH TROPICAL PACIFIC OCEAN

*The vertical distributions of species are given with a view to evaluating as precisely as possible a situation which plays an important role upon the nature and structure of pelagic food webs. First of all, as vertical migrations have been considered doubtful by some authors (who merely regard them as a bias introduced in the samples by a better avoidance of organisms during light hours), a review is made of the facts leading to the conclusion that they do exist.*

*Upper and lower limits of distributions are given for the different species, both day and night. They appear to be not far different from each other in the 3 regions investigated; even in the case of a very strong thermocline, the vertical migrations keep roughly the same range. By day, euphausiids are mainly concentrated in the 400-600 meters layer, and they do not dwell deeper than 900 m with the exception of 4 rare bathypelagic species; however, 40 % of the population (only 20 % in terms of biomass), chiefly represented by small specimens of the genus Stylocheiron, stay in the 0-400 m layer, and consequently remain available for epipelagic day-feeders which are in turn the preys of large longline tunas. By night, 88 % of the population (72 % in terms of biomass) are shallower than 200 m; on the other hand, it is shown that, as regard to species which perform long range vertical migration, all the individuals undertake this migration each night (except for E. gibba where approximately 3 % of the population remain in deeper layers).*

*It is emphasized that the detailed knowledge of the bathymetric distributions and migrations of the different species, is the necessary complement of the stomach contents analysis in the study of the food web structures.*

*N.B. Detailed maps of vertical distributions for each species are available from author upon request.*

## RÉSUMÉ

*Les répartitions verticales des euphausiacés dans le Pacifique sud tropical sont étudiées dans le but de décrire une situation de fait, dont dépend en grande partie le rôle que les différentes espèces sont amenées à jouer dans les réseaux trophiques de ces régions. Certains auteurs ayant mis en doute la réalité des migrations verticales nycthémérales, qui ne seraient alors qu'un artefact d'échantillonnage dû à l'évitement du filet par les animaux pendant la période diurne, on passe en revue l'ensemble des faits qui permettent de conclure à leur existence.*

*On indique les limites supérieures et inférieures de répartition des espèces, de jour et de nuit. Malgré quelques disparités, les schémas obtenus sont très semblables dans les trois zones étudiées, en dépit de sensibles différences dans les stratifications thermiques rencontrées; en particulier, on n'a pas constaté de limitation des migrations verticales dans le cas où la thermocline est très marquée (1<sup>ère</sup> de différence entre 100 et 300 mètres). Les euphausiacés*



ne dépassent pas, même de jour, une immersion d'environ 900 mètres, sauf pour 4 espèces bathypélagiques peu abondantes. De jour, la masse des euphausiacés se concentre entre 400 et 600 mètres; toutefois, 40 % d'entre eux (20 % seulement en biomasse), représentés principalement par de petits spécimens du genre *Stylocheiron*, demeurent à moins de 400 m, et restent par conséquent disponibles pour les prédateurs diurnes épipélagiques qui sont à leur tour les proies des thons. De nuit, 88 % des euphausiacés (72 % en biomasse) se rassemblent dans les 200 premiers mètres; en outre, on montre que, chez les espèces effectuant de grandes migrations, tous les individus entreprennent chaque jour la migration verticale (chez une seule espèce, *E. gibba*, environ 3 % de la population demeure en profondeur pendant la nuit).

On insiste sur le fait que la connaissance détaillée de la répartition bathymétrique des espèces est le complément indispensable des analyses de contenus stomacaux dans l'étude des structures des réseaux trophiques.

N.B. Les cartes de répartition verticale pour chaque espèce sont disponibles sur demande à l'auteur.

## INTRODUCTION

L'existence d'une troisième dimension, dans le plan vertical, est l'un des facteurs essentiels qui différencient le milieu marin du milieu terrestre, puisqu'il détermine l'écologie des organismes, conditionne leur comportement, et règle les relations que les espèces entretiennent les unes avec les autres. Dans l'introduction de l'ouvrage qu'il a consacré aux distributions verticales du zooplancton, VINOGRADOV (1968) a clairement posé le problème : « *The entire population of the oceanic waters is interconnected by a complex of relationships, mainly trophic [...]. The study of the structure of this system [...]. is one of the most important task of modern planktology. [...]. The transmission of energy from certain trophic levels to others [...]. is largely determined by the character of the vertical distribution of plankton [...]. The detailed study of the features of this distribution [...]. constitutes an important part of the investigation of the structure of pelagic ecosystems* ».

Cette influence prépondérante des répartitions bathymétriques des organismes sur la structure des réseaux trophiques pélagiques ressort très nettement des études que poursuit le laboratoire de Nouméa depuis plusieurs années (LEGAND *et al.*, 1972; ROGER, 1973), et justifie l'intérêt que de nombreux océanographes biologistes portent à ces questions. En ce qui concerne les euphausiacés, responsables de près de 10 % de la biomasse macroplanctonique totale, un certain nombre de travaux permettent d'en connaître, au moins dans leurs grandes lignes, les distributions verticales dans plusieurs régions (LEAVITT, 1935 et 1938; LEWIS, 1954; BRINTON, 1962, 1966 et 1967; PONOMAREVA, 1963; NEMOTO, 1965; MAUCHLINE et FISHER, 1969; LE RESTE, 1969; CASANOVA, 1970; BAKER, 1970; ROGER, 1971). Toutefois, très peu de données sont disponibles pour les zones tropicales oligotrophes du Pacifique sud,

d'où proviennent une partie importante des thonidés subsuperficiels pêchés à la longue ligne, et dont il est par conséquent souhaitable d'étudier les différents échelons faunistiques.

Le présent travail a pour objet de décrire une situation de fait; il n'y sera pas fait de spéculations sur les causes probables des répartitions et migrations verticales (objets d'une littérature abondante et contradictoire), non plus que sur leurs conséquences sur la répartition géographique et la biologie des organismes.

## 1. MATÉRIEL D'ÉTUDE ET ANALYSE CRITIQUE DES TECHNIQUES DE RÉCOLTE

Les régions d'où proviennent les échantillons analysés sont indiquées sur la figure 1. Bien que distantes les unes des autres de plusieurs milliers de milles, ces zones présentent des caractéristiques hydrologiques comparables, et des faunes analogues (ROGER, 1974 a). Toutefois, à la date des prélèvements, on a observé une stratification thermique beaucoup moins marquée dans la zone II que dans la zone I (fig. 2), où le gradient était considérable (14° de différence entre 100 et 300 mètres). En outre, la zone I se trouvant beaucoup plus proche (10° S) de la divergence équatoriale que les zones II et III (20° S), on peut s'attendre à ce que les populations y soient sensiblement plus abondantes.

Le tableau 1 rassemble les principales données concernant les prélèvements. On constate que la grande majorité des stations (281 sur 334) a été effectuée à l'aide d'un chalut pélagique Isaacs-Kidd de 10 pieds (IKMT 10, environ 8,5 m<sup>2</sup> à la gueule); cet engin étant non ouvrant-fermant, seules les limites supérieures des distributions pourront être ainsi définies, mais non les limites inférieures. En

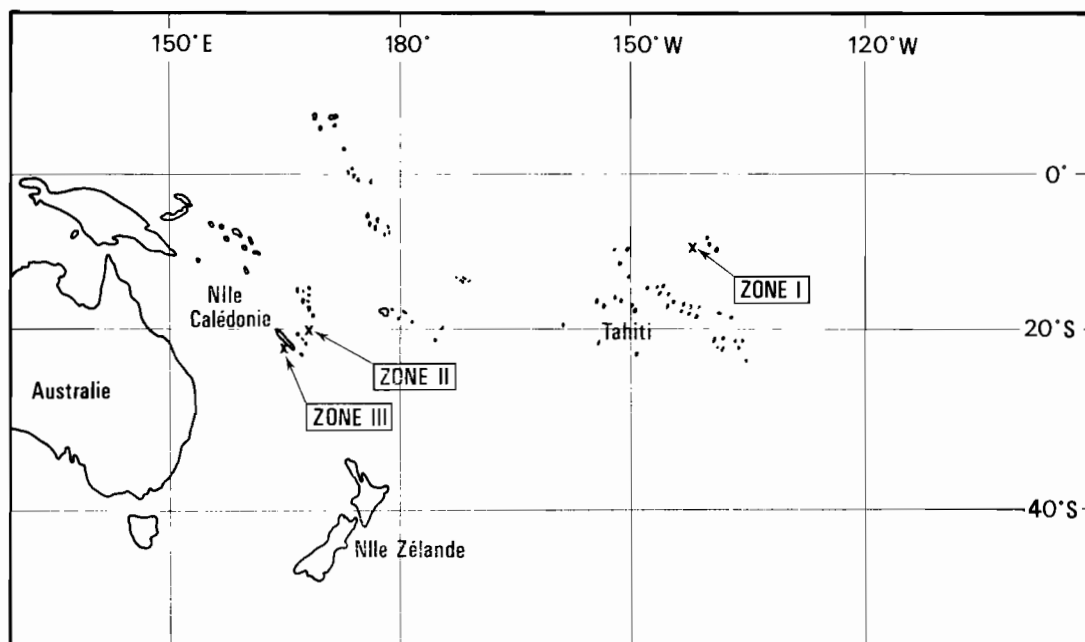


Fig. 1. — Situation géographique des régions étudiées.

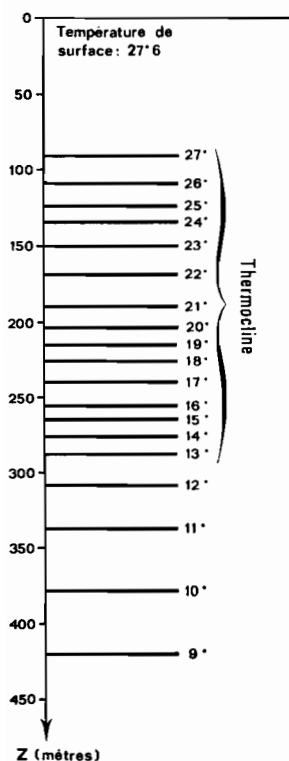
**Zone I**

12 - 16/9/1969

(Température profonde :

8' à 500 m — 7' à 600 m

6' à 700 m — 5' à 850 m)

**Zone II**

28/6 - 2/7/1972

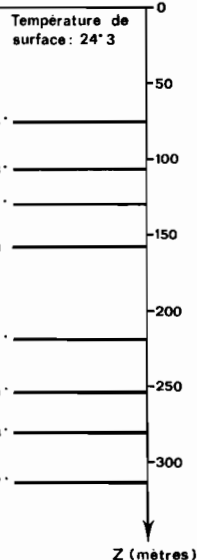


Fig. 2. — Stratification thermique existant au moment des prélèvements en zones I et II.

effet, la variabilité des récoltes planctoniques est telle que toute estimation de la population d'une couche profonde par soustractions successives des récoltes à différentes profondeurs est peu fiable (LEAVITT, 1935). Par ailleurs, nous considérons comme extrêmement douteux les résultats obtenus à partir d'IKMT dont la partie postérieure est munie de dispositifs d'ouverture-fermeture (cf. notamment PEARCY et HUBBARD, 1964). En effet, tous les essais menés au laboratoire ont mis en évidence le fait que les organismes ne pénètrent pas jusqu'au fond du chalut au moment de leur capture, mais demeurent un certain temps « piégés » dans les tourbillons de sa partie médiane. Dans ces conditions, il est clair que les animaux se retrouvent très fréquemment dans un filet terminal autre que celui qui était ouvert au moment de leur entrée par la gueule du chalut. Après examen de plusieurs dizaines de prélèvements, nous estimons que l'adaptation de mécanismes ouvrant-fermant dans la partie postérieure du IKMT ne peut fournir de données fiables et que cet engin ne peut par conséquent (tant que la fermeture ne pourra se faire *au niveau de la gueule*) être modifié dans ce sens. Le IKMT 10 avait néanmoins été retenu pour la capture du macroplancton et du micronecton en raison de ses grandes dimensions, qui permettent d'espérer des récoltes abondantes, et surtout comparables entre elles, qu'elles soient effectuées de jour ou de nuit, les organismes de quelques centimètres de long étant supposés ne pouvoir lui échapper quelles que soient les conditions d'éclairement. Or, s'il semble qu'en effet le IKMT 10 soit plus efficace que des engins plus petits pour la capture des poissons micronectoniques, ce n'est pas le cas pour les euphausiacés,

TABLEAU I  
Caractéristiques des prélèvements et matériel utilisé

| ZONE       | POSITION      | CAMPAGNE   | ENGIN                     |                                  |                                                                | DATES       | PHASE LUNAIRE | NOMBRE STATIONS | NOMBRE INDIVIDUS IDENTIFIÉS |
|------------|---------------|------------|---------------------------|----------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------|---------------|-----------------|-----------------------------|
|            |               |            | NOM                       | SURFACE GUEULE (m <sup>2</sup> ) | MAILLE (VIDE en mm)                                            |             |               |                 |                             |
| I          | 10° S./142° W | CARIDE 5*  | IKMT 10                   | 8,5                              | Partie Ant <sup>re</sup> : 4                                   | 12-16/9/69  | NL/PQ         | 108*            | 25.103                      |
| II         | 20° S./168° E | DIAPHUS 10 |                           |                                  | Partie Post <sup>re</sup> : 1                                  | 28/6-2/7/72 | PL/DQ         | 173             | 23.165                      |
|            | 20° S./167° E | DIAPHUS 11 | Chalut Pélagique à larves | 40                               | Partie Ant <sup>re</sup> : 30<br>Partie Post <sup>re</sup> : 6 | 28/3-1/4/73 | DQ/NL         | 26              | 1.139                       |
| III        | 22° S./166° E | MOLA 5     | Larval Net Omori          | 2                                | 0.33                                                           | 5-11/4/74   | PL            | 27              | 20.306                      |
| TOTAL..... |               |            |                           |                                  |                                                                |             |               | 334             | 69.713**                    |

\* y compris 16 stations effectuées au même endroit au cours de campagnes antérieures (CARIDE 1, 2, 3).

\*\* les échantillons les plus abondants ayant été fractionnés, le nombre d'individus effectivement examinés est de l'ordre de 50.000.

où l'on observe systématiquement des effectifs beaucoup plus abondants (en moyenne de 2 à 10 fois selon les espèces) dans les stations nocturnes que dans les stations diurnes, quelle que soit la profondeur atteinte par le filet. Ce fait, constaté par de très nombreux auteurs employant divers engins, a amené certains d'entre eux à douter de la réalité des migrations verticales; ce point étant fondamental, et l'élucider étant un préliminaire indispensable, le paragraphe suivant y est entièrement consacré.

Au contraire, le filet ouvrant-fermant « Larval Net Omori » (OMORI, 1965), s'est révélé excellent. Composé de mailles d'une seule taille, ce filet permet des estimations quantitatives de la faune en place; étant ouvrant-fermant (par message) il fournit des indications fiables des limites inférieures des répartitions; enfin, malgré ses dimensions modestes (2 m<sup>2</sup> à la gueule), il semble efficace pour la capture des euphausiacés, puisque les effectifs récoltés sont, dans presque tous les cas, aussi élevés de jour que de nuit. Ceci démontre que, si les filets à plancton classiques ( $\varnothing$  50 cm ou 1 mètre) sont effectivement insuffisants pour capturer de façon représentative les plus gros euphausiacés, l'évitement de ceux-ci est presque éliminé avec un filet de dimensions moyennes ( $\varnothing$  1,60 mètres); à fortiori doit-il l'être avec le IKMT 10 dont la surface à la gueule est

quatre fois supérieure. Il faut donc rechercher ailleurs la raison de la faiblesse des rapports Jour/Nuit des effectifs fournis par ce dernier engin (cf. paragraphe suivant).

Signalons pour terminer que quelques échantillons provenant d'un chalut pélagique à larves (40 m<sup>2</sup> d'ouverture à la gueule) ont été examinés, en ce qui concerne les euphausiacés de grande taille (plus de 20 mm), pour rechercher si l'évitement était réduit par rapport au IKMT 10.

## 2. RÉALITÉ DES MIGRATIONS VERTICALES

Tous les auteurs sont d'accord sur le fait que les euphausiacés migrants sont récoltés dans les couches superficielles pendant la nuit, et seulement en profondeur pendant le jour. Mais, dans la mesure où, très généralement, les récoltes diurnes sont beaucoup moins abondantes que les captures nocturnes, on peut penser que les animaux n'ont en réalité pas modifié leur immersion : ceux des couches superficielles, bénéficiant de jour d'un bon éclairage, éviteraient le filet, qui capturerait seulement la fraction la plus profonde de la population. Ce raisonnement revient à mettre en doute l'existence

même des migrations verticales, qui ont été pendant longtemps admises comme une évidence.

On passe en revue, ci-après, les preuves et présomptions de leur réalité, du moins en ce qui concerne les euphausiacés.

— La quasi-totalité des auteurs considèrent que les euphausiacés font partie de la DSL (MOORE, 1950; BODEN *et al.*, 1959 et 1961; BODEN, 1962; BODEN et KAMPA, 1965; KINZER, 1966, 1969 et 1971; SAKAMOTO *et al.*, 1967; SUZUKI et ITO, 1967; MAUCHLINE et FISHER, 1969; MASUDA *et al.*, 1972; SAMEOTO, 1972). Or, tous les enregistrements des échosondeurs ne laissent aucun doute sur les migrations verticales nyctémérales de la DSL.

— Les observations diurnes directes en bathyscaphe ou souscapes plongeantes ont permis de constater que les euphausiacés migrateurs sont absents des couches subsuperficielles où on les capture de nuit (BERNARD, 1955 et 1958; PERES, 1958; TREGOUBOFF, 1958; FRANQUEVILLE, 1971). Les déplacements verticaux du macroplankton ont été observés directement par FRANQUEVILLE (1970).

— On a prouvé expérimentalement que les euphausiacés fuient la lumière vive (SEMENOV, 1969). Il paraît peu probable qu'ils demeurent en subsurface pendant le jour, du moins en régions tropicales, sauf circonstances exceptionnelles.

— HICKLING (1925), ayant fixé un filet à plancton sur un chalut commercial de fond, constate qu'il ne capture des euphausiacés que pendant le jour : ils ne sont donc plus au fond pendant la nuit; autrement dit, ils effectuent un déplacement vertical.

— Les auteurs qui mettent en doute la réalité des migrations verticales se fondent sur l'existence d'un évitement des organismes devant le filet plus efficace pendant le jour que pendant la nuit (BRINTON, 1966 et 1967; AIZAWA et MARUMO, 1967; BAKER, 1970). Or, il faut souligner les deux points suivants :

. Les rapports des effectifs capturés de jour et de nuit sont proches de 1 avec un larval net de 2 m<sup>2</sup>, et très inférieurs à 1 avec le IKMT 10 de 8,5 m<sup>2</sup>. En outre, pour les plus gros euphausiacés, le chalut pélagique de 40 m<sup>2</sup> n'améliore pas sensiblement la valeur de ce rapport. La réaction d'évitement, qui devrait être d'autant moins efficace que le filet est plus grand, ne semble donc pas seule en cause.

. Il est difficile d'imaginer que les plus petits euphausiacés, d'une longueur de l'ordre de 10 mm, parviennent à échapper à un engin de près de 10 m<sup>2</sup> se déplaçant à 3 ou 4 nœuds, d'autant qu'ils ne paraissent détecter le filet qu'à quelques mètres de distance (ZELICKMAN, 1961; RAGULIN, 1969). Par contre, ils s'échappent facilement au travers des mailles; le fait que les rapports des effectifs Jour/Nuit fournis par le IKMT soient aussi faibles pour ces petits individus que pour les gros, signifie donc qu'ils passent plus de temps dans le filet au cours

des récoltes diurnes que des récoltes nocturnes, donc qu'ils sont capturés plus profondément de jour que de nuit. Et si ces petits individus effectuent des migrations verticales nyctémérales, il serait contraire à toutes les observations de supposer que les plus gros n'en font pas.

Il paraît donc difficile d'attribuer à un meilleur évitement diurne ou même à une différence éventuelle de groupement des animaux de jour et de nuit (BAKER, 1970), l'entière responsabilité des modifications nyctémérales constatées, d'autant que les observations directes suggèrent que les réactions d'évitement des euphausiacés devant les filets sont faibles (BURUKOVSKIY et YAGOROV, 1967; GROISMAN *et al.*, 1969; SEMENOV, 1969). S'il est possible que ces phénomènes interviennent et faussent l'image des migrations verticales que fournissent les échantillons, l'existence même de ces migrations ne peut sérieusement être mise en doute.

### 3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

#### 3.1. Remarques préliminaires sur la variabilité à court terme.

Les répartitions bathymétriques décrites dans la suite du texte constituent une image moyenne des observations, et ne correspondent pas forcément à une situation instantanée. En effet, il existe des variations à court terme, liées par exemple aux cycles lunaires (ROGER, 1974 b), ou provoquées par des circonstances inconnues. Un exemple très frappant, exposé dans le tableau 2, concerne les récoltes obtenues au cours de deux nuits consécutives dans la zone I, au large, le bateau n'ayant parcouru qu'environ 30 milles entre les deux séries. On constate que certaines espèces présentent des abondances comparables d'une nuit à l'autre, alors que d'autres sont considérablement moins abondantes au cours de la seconde nuit (*S. carinatum*, *E. tenera* et surtout *T. tricuspidata*), ou bien sont distribuées beaucoup plus profondément (*E. diomedae*).

#### 3.2. Faunistique comparée des différentes zones.

Du fait de l'éloignement géographique des différentes zones étudiées, il est nécessaire de vérifier que leurs populations ne sont pas trop dissemblables. La comparaison sera limitée aux régions I et II, dans lesquelles les prélèvements ont été réalisés avec le même engin (IKMT 10). Pour cette même raison, il n'a pas été tenu compte de la sélectivité du chalut : les nombres figurant dans le tableau 3 et les pourcentages correspondants se rapportent donc aux captures du IKMT 10 et non à la faune réellement en place. Il est certain, par exemple, que le genre

TABLEAU 2

Variabilité à court terme : nombres moyens d'individus de quelques espèces abondantes récoltés en zone I au cours de 2 nuits successives. 1<sup>re</sup> nuit : 14-15/9/69 2<sup>e</sup> nuit : 15-16/9/69.

| Profondeur des traits<br>Espèces                             | 0-75 m | 0-150 m | 0-250 m | 0-350 m |
|--------------------------------------------------------------|--------|---------|---------|---------|
| 1 <sup>re</sup> nuit.....<br><i>Thysanopoda tricuspidata</i> | 198    | 253     | 185     | 203     |
| 2 <sup>e</sup> nuit.....                                     | 7      | 17      | 62      | 19      |
| 1 <sup>re</sup> nuit.....<br><i>Thysanopoda monacantha</i>   | 12     | 24      | 20      | 23      |
| 2 <sup>e</sup> nuit.....                                     | 19     | 29      | 40      | 26      |
| 1 <sup>re</sup> nuit.....<br><i>Thysanopoda aequalis</i>     | 6      | 12      | 14      | 7       |
| 2 <sup>e</sup> nuit.....                                     | 11     | 10      | 18      | 9       |
| 1 <sup>re</sup> nuit.....<br><i>Stylocheiron carinatum</i>   | 15     | 86      | 89      | 54      |
| 2 <sup>e</sup> nuit.....                                     | 7      | 19      | 41      | 20      |
| 1 <sup>re</sup> nuit.....<br><i>Stylocheiron abbreviatum</i> | 9      | 36      | 40      | 33      |
| 2 <sup>e</sup> nuit.....                                     | 7      | 13      | 31      | 21      |
| 1 <sup>re</sup> nuit.....<br><i>Euphausia diomedae</i>       | 366    | 242     | 67      | 57      |
| 2 <sup>e</sup> nuit.....                                     | 94     | 66      | 98      | 786     |
| 1 <sup>re</sup> nuit.....<br><i>Euphausia tenera</i>         | 101    | 55      | 33      | 11      |
| 2 <sup>e</sup> nuit.....                                     | 14     | 8       | 4       | 14      |
| 1 <sup>re</sup> nuit.....<br><i>Euphausia paragibba</i>      | 8      | 7       | 8       | 3       |
| 2 <sup>e</sup> nuit.....                                     | 3      | 5       | 7       | 2       |
| 1 <sup>re</sup> nuit.....<br><i>Nematoscelis tenella</i>     | 0      | 1       | 18      | 23      |
| 2 <sup>e</sup> nuit.....                                     | 0      | 1       | 19      | 9       |
| 1 <sup>re</sup> nuit.....<br><i>Nematoscelis microps</i>     | 1      | 1       | 20      | 10      |
| 2 <sup>e</sup> nuit.....                                     | 1      | 2       | 17      | 5       |
| 1 <sup>re</sup> nuit.....<br><i>Nematoscelis gracilis</i>    | 0      | 1       | 15      | 9       |
| 2 <sup>e</sup> nuit.....                                     | 1      | 0       | 14      | 12      |
| 1 <sup>re</sup> nuit.....<br>TOTAL EUPHAUSIACÉS              | 714    | 719     | 531     | 453     |
| 2 <sup>e</sup> nuit.....                                     | 164    | 171     | 370     | 952     |

*Thysanopoda*, composé d'animaux de grande taille bien échantillonnés par le IKMT, y est surestimé par rapport aux genres *Stylocheiron* et *Euphausia*

TABLEAU 3

Faunistiques comparées des régions I et II : nombres moyens d'individus récoltés par station et pourcentages correspondants

| Zones<br>Espèces*                                                                     | Zone I<br>(d'après<br>20 traits<br>IKMT 10,<br>0-250 m à<br>0-400 m Nuit) |      | Zone II<br>(d'après<br>20 traits<br>IKMT 10,<br>0-250 m à<br>0-450 m Nuit) |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|------|----------------------------------------------------------------------------|------|
|                                                                                       | Nbres                                                                     | %    | Nbres                                                                      | %    |
| <i>Thysanopoda cristata</i> .....                                                     | 0.9                                                                       | 0.2  | 0.1                                                                        | —    |
| <i>Thysanopoda tricuspidata</i> ...                                                   | 108                                                                       | 24.6 | 76                                                                         | 24.6 |
| <i>Thysanopoda orientalis</i> .....                                                   | 0.3                                                                       | 0.1  | 1.7                                                                        | 0.6  |
| <i>Thysanopoda monacantha</i> ...                                                     | 20                                                                        | 4.6  | 0.1                                                                        | —    |
| <i>Thysanopoda pectinata</i> .....                                                    | 2.6                                                                       | 0.6  | 0.8                                                                        | 0.3  |
| <i>Thysanopoda oblusifrons</i> ....                                                   | 6.7                                                                       | 1.5  | 2.8                                                                        | 0.9  |
| <i>Thysanopoda aequalis</i> .....                                                     | 31                                                                        | 7.1  | 6.5                                                                        | 2.1  |
| TOTAL <i>Thysanopoda</i> .....                                                        | 170                                                                       | 38.7 | 88                                                                         | 28.5 |
| <i>Stylocheiron carinatum</i> .....                                                   | 63                                                                        | 14.4 | 17                                                                         | 5.5  |
| <i>Stylocheiron abbreviatum</i> ....                                                  | 27                                                                        | 6.2  | 61                                                                         | 19.7 |
| <i>Stylocheiron maximum</i> .....                                                     | 2.2                                                                       | 0.5  | 0.2                                                                        | —    |
| <i>Stylocheiron elongatum</i> .....                                                   | 1.0                                                                       | 0.2  | 3.0                                                                        | 1.0  |
| <i>Stylocheiron affine</i> .....                                                      | 2.5                                                                       | 0.6  | 4.2                                                                        | 1.4  |
| <i>Stylocheiron longicorne</i> .....                                                  | 8.6                                                                       | 2.0  | 1.9                                                                        | 0.6  |
| <i>Stylocheiron suhmii</i> .....                                                      | 0.4                                                                       | 0.1  | 0.1                                                                        | —    |
| TOTAL <i>Stylocheiron</i> .....                                                       | 105                                                                       | 23.9 | 87                                                                         | 28.2 |
| <i>Euphausia diomedae</i> }<br><i>Euphausia brevis</i> }<br><i>Euphausia mulica</i> } | 90                                                                        | 20.5 | 27                                                                         | 8.7  |
| <i>Euphausia fallax</i> .....                                                         | 0                                                                         | 0    | 59                                                                         | 19.1 |
| <i>Euphausia paragibba</i> }<br><i>Euphausia gibba</i> }                              | 14                                                                        | 3.2  | 12                                                                         | 3.9  |
| <i>Euphausia tenera</i> .....                                                         | 17                                                                        | 3.9  | 3.3                                                                        | 1.1  |
| TOTAL <i>Euphausia</i> .....                                                          | 121                                                                       | 27.6 | 101                                                                        | 32.8 |

TABLEAU 3 (fin)

| Zones<br>Espèces*                                                                                       | Zone I<br>(d'après<br>20 traits<br>IKMT 10,<br>0-250 m à<br>0-400 m Nuit) |     | Zone II<br>(d'après<br>20 traits<br>IKMT 10,<br>0-250 m à<br>0-450 m Nuit) |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-----|----------------------------------------------------------------------------|-----|
|                                                                                                         | Nbres                                                                     | %   | Nbres                                                                      | %   |
| <i>Nematoscelis tenella</i> .....                                                                       | 14                                                                        | 3.2 | 2.8                                                                        | 0.9 |
| <i>Nematoscelis microps</i> }<br><i>Nematoscelis gracilis</i> }<br><i>Nematoscelis atlantica</i> } .... | 22                                                                        | 5.0 | 26                                                                         | 8.4 |
| TOTAL <i>Nematoscelis</i> .....                                                                         | 36                                                                        | 8.2 | 29                                                                         | 9.4 |
| <i>Nematobranchion flexipes</i> ....                                                                    | 5.2                                                                       | 1.2 | 0.5                                                                        | 0.2 |
| <i>Nematobranchion sexspinosus</i> ..                                                                   | 1.7                                                                       | 0.4 | 0.8                                                                        | 0.3 |
| <i>Nematobranchion boopis</i> .....                                                                     | 0.8                                                                       | 0.2 | 2.0                                                                        | 0.6 |
| TOTAL <i>Nematobranchion</i> ....                                                                       | 7.7                                                                       | 1.8 | 3.3                                                                        | 1.1 |
| TOTAL EUPHASIACÉS.....                                                                                  | 439                                                                       | 100 | 309                                                                        | 100 |

\* *Bentheuphausia amblyops* (profond) et *Stylocheiron micropthalma* (très mal échantillonné par le IKMT en raison de sa très petite taille) ne figurent pas dans ce tableau, bien qu'ils soient présents dans la région.

dont les représentants, beaucoup plus petits, échappent en grande partie au filet. L'analyse du tableau 3 permet de confirmer une très grande analogie entre les deux régions sur le plan faunistique, à quelques exceptions près :

— D'une part, les « groupes » d'espèces sont représentés par des espèces homologues dans les deux régions :

. « groupe *gibba* » : *E. paragibba* domine en zone I, *E. gibba* en zone II,

. « groupe *diomedae* » : *E. diomedae* et *E. brevis* dominant en zone I, *E. mulica* en zone II,

. genre *Nematoscelis* : *N. microps* et *N. gracilis* dominant en zone I, *N. atlantica* en zone II.

— D'autre part, quelques espèces sont nettement plus fréquentes dans l'une des zones (*T. monacantha* notamment), et *E. fallax* est strictement limitée à la zone II.

— On notera enfin que la zone I, plus proche de la divergence équatoriale, est sensiblement plus riche.

A ces réserves près, on peut considérer que le Pacifique tropical sud de 140° W à 170° E constitue sur le plan de la faune d'euphausiacés une entité assez homogène.

### 3.3. Résultats qualitatifs.

Il ne sera ici question que des adultes, et, pour les plus grosses espèces, des juvéniles, mais on ne traitera pas des répartitions verticales des formes larvaires. En effet, d'une part, ces petits organismes échappent presque complètement au IKMT, d'autre part, les auteurs s'accordent à considérer que les larves demeurent en subsurface et que le comportement migratoire n'apparaît que progressivement au cours de la croissance (LEWIS, 1954; LACROIX, 1961; PONOMAREVA, 1963; MAUCHLINE et FISHER, 1969; BAKER, 1970; CASANOVA, 1970). Ce fait a, d'ailleurs, été constaté au cours de la campagne DIAPHUS 10 : à l'occasion d'essais méthodologiques, un filet à plancton à mailles 0.33 mm a été traîné à une profondeur de 15 à 30 mètres, de 13 h 45 à 14 h 15 environ. L'échantillon recueilli est très riche en petit plancton; les euphausiacés, qui en constituent environ 20 %, sont représentés par des larves de *Nematoscelis atlantica* (80 %), *Thysanopoda tricuspidata* (15 %) et *Stylocheiron sp.* (5 %).

Le tableau 4 schématise les situations observées dans les trois régions. Bien que des disparités existent au niveau des différentes espèces, on constate que le même schéma se retrouve dans les trois zones; tout au plus peut-on déceler une tendance à des répartitions plus profondes dans l'ensemble en zone II et plus superficielles en zone III, cette dernière étant la plus proche de terre (côte à 15 milles, fonds de 2000 mètres). Il ne semble donc pas que la structure hydrologique agisse très nettement sur les distributions verticales; du moins, aucune corrélation, du type de celle décrite par BRINTON (1967) par exemple, n'a été observée. Il est particulièrement frappant de constater que la stratification thermique extrêmement serrée qui existait en zone I au moment des prélèvements (cf. fig. 2) ne se répercute absolument pas sur les répartitions verticales des espèces : dans cette région comme dans les autres, les espèces migratrices effectuent des déplacements verticaux de grande amplitude, qui impliquent, pour la plupart d'entre elles, une variation thermique bi-quotidienne d'une quinzaine de degrés.

Les limites inférieures des répartitions n'ont pu être définies que dans la zone III, où le filet ouvrant-fermant a été utilisé. Deux faits importants apparaissent clairement.

— D'une part, les euphausiacés sont pratiquement absents, même de jour, au-delà de 900 mètres, à l'exception probable des espèces bathypélagiques peu

TABLEAU 4

Limites supérieures et inférieures estimées, diurnes et nocturnes, des distributions verticales (en mètres). Pour chaque espèce et dans chaque colonne :

— le 1<sup>er</sup> nombre concerne la zone I (Campagne CARIDE, engin IKMT non ouvrant-fermant. 108 stations, 12-16/9/69. Phase Nouvelle Lune) ;

— le 2<sup>e</sup> nombre concerne la zone II (Campagne DIAPHUS 10, engin IKMT non ouvrant-fermant. 173 stations, 28/6-2/7/72. Phase Pleine Lune) ;

— le 3<sup>e</sup> nombre concerne la zone III (Campagne MOLA 5, engin Larval Net ouvrant-fermant. 27 stations, 5-11/4/74. Phase Pleine Lune).

Les tirets traduisent l'absence de données fiables.

| Espèces                               | JOUR       |            |            |            | NUIT       |            |            |            |
|---------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|                                       | Présence   |            | Abondance  |            | Présence   |            | Abondance  |            |
|                                       | Supérieure | Inférieure | Supérieure | Inférieure | Supérieure | Inférieure | Supérieure | Inférieure |
| <i>Thysanopoda cristata</i>           | 200        | —          | —          | —          | 150        | —          | 250        | —          |
|                                       | —          | —          | —          | —          | —          | —          | —          | —          |
|                                       | —          | —          | —          | —          | —          | —          | —          | —          |
| <i>Thysanopoda tricuspidata</i>       | 300*       | —          | 400        | —          | 0          | —          | 0          | —          |
|                                       | 300*       | —          | 400        | —          | 0          | —          | 0          | —          |
| * quelques juvéniles dès 100 mètres   | 400        | 600        | 400        | 500        | 0          | 200        | 0          | 200        |
| <i>Thysanopoda orientalis</i>         | 500        | —          | —          | —          | 250        | —          | —          | —          |
|                                       | 450        | —          | 650        | —          | 450        | —          | 450        | —          |
|                                       | 400        | 700 ?      | 450        | 600        | 300        | 700 ?      | 500        | 600        |
| <i>Thysanopoda monacantha</i>         | 500*       | —          | —          | —          | 0          | —          | 0          | —          |
|                                       | 700        | —          | —          | —          | 150        | —          | —          | —          |
| * quelques juvéniles dès 100 mètres   | 400        | 600        | —          | —          | 0          | 600 ?      | —          | —          |
| <i>Thysanopoda pectinata</i>          | 500        | —          | —          | —          | 200        | —          | —          | —          |
|                                       | 600        | —          | —          | —          | 250        | —          | —          | —          |
|                                       | 500        | 600        | —          | —          | 150        | 400        | —          | —          |
| <i>Thysanopoda obtusifrons</i>        | 550        | —          | —          | —          | 100        | —          | —          | —          |
|                                       | 550        | —          | —          | —          | 150        | —          | —          | —          |
|                                       | 400        | 800 ?      | —          | —          | 150        | 450        | 150        | 250        |
| <i>Thysanopoda aequalis</i>           | 500*       | —          | —          | —          | 0          | —          | —          | —          |
|                                       | 600**      | —          | —          | —          | 50         | —          | —          | —          |
| quelques juvéniles dès { 300 mètres * | 350        | 700 ?      | 500        | 600        | 0          | 400        | 0          | 200        |
|                                       |            |            |            |            |            |            |            |            |
| <i>Stylocheiron carinalum</i>         | 0          | —          | 100        | —          | 0          | —          | 100        | —          |
|                                       | 0          | —          | —          | —          | 0          | —          | 50         | —          |
|                                       | 0          | 500        | 100        | 300        | 0          | 500        | 0          | 200        |
| <i>Stylocheiron abbreviatum</i>       | 0          | —          | 200        | —          | 0          | —          | 100        | —          |
|                                       | 100        | —          | 300        | —          | 0          | —          | 150        | —          |
|                                       | —          | 450        | —          | —          | 0          | 450        | 100        | 450        |
| <i>Stylocheiron elongatum</i>         | 300        | —          | —          | —          | 300        | —          | —          | —          |
|                                       | 250*       | —          | —          | —          | 250        | —          | —          | —          |
| * 1 spécimen récolté à 150 mètres     | 250        | 500        | 300        | 400        | 200        | 500        | 200        | 500        |
| <i>Stylocheiron longicorne</i>        | 200*       | —          | 200        | —          | 50         | —          | 200        | —          |
|                                       | 250*       | —          | —          | —          | 250        | —          | —          | —          |
| * 2 spécimens récoltés à 150 mètres   | 200        | 400        | —          | —          | 200        | 500        | 200        | 400        |
| <i>Stylocheiron affine</i>            | 200        | —          | —          | —          | 100        | —          | —          | —          |
|                                       | 150        | —          | 200        | —          | 100        | —          | 200        | —          |
|                                       | —          | 400        | —          | —          | 0          | 400        | 0          | 300        |

| Espèces                                                                                                                         | Limites → | JOUR                |                 |                   |               | NUIT              |                 |                   |               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|---------------------|-----------------|-------------------|---------------|-------------------|-----------------|-------------------|---------------|
|                                                                                                                                 |           | Présence            |                 | Abondance         |               | Présence          |                 | Abondance         |               |
|                                                                                                                                 |           | Supérieure          | Inférieure      | Supérieure        | Inférieure    | Supérieure        | Inférieure      | Supérieure        | Inférieure    |
| <i>Stylocheiron submii</i>                                                                                                      |           | 100<br>100<br>0     | —<br>—<br>200   | —<br>—<br>0       | —<br>—<br>200 | 100<br>50<br>0    | —<br>—<br>200   | —<br>—<br>0       | —<br>—<br>200 |
| <i>Stylocheiron microphthalmum</i>                                                                                              |           | 0<br>150<br>—       | —<br>—<br>—     | —<br>—<br>—       | —<br>—<br>—   | 0<br>—<br>—       | —<br>—<br>—     | —<br>—<br>—       | —<br>—<br>—   |
| <i>Euphausia fallax</i>                                                                                                         |           | —<br>300<br>200     | —<br>—<br>400   | —<br>—<br>200     | —<br>—<br>400 | —<br>50<br>0      | —<br>—<br>200   | —<br>100<br>0     | —<br>—<br>200 |
| <i>Euphausia mutica</i> /E. diomedae/E. brevis<br>* quelques spécimens dès 150 mètres<br>** individus isolés jusqu'à 700 mètres |           | 100<br>300*<br>300  | —<br>—<br>600   | 400<br>400<br>400 | —<br>—<br>500 | 0<br>0<br>0       | —<br>—<br>300** | 0<br>0<br>0       | —<br>—<br>150 |
| <i>Euphausia gibba</i><br>* quelques spécimens dès 150 mètres                                                                   |           | 500<br>400*<br>350  | —<br>—<br>800 ? | 500<br>—<br>400   | —<br>—<br>600 | 0<br>0<br>0       | —<br>—<br>900   | —<br>100<br>0     | —<br>—<br>200 |
| <i>Euphausia tenera</i><br>* quelques spécimens dès 150 mètres<br>** individus isolés jusqu'à 700 mètres                        |           | 350*<br>400*<br>300 | —<br>—<br>600   | —<br>—<br>—       | —<br>—<br>—   | 0<br>0<br>0       | —<br>—<br>300** | 0<br>0<br>0       | —<br>—<br>150 |
| <i>Nematoscelis lenella</i>                                                                                                     |           | 200<br>300<br>350   | —<br>—<br>800 ? | 500<br>400<br>400 | —<br>—<br>600 | 100<br>150<br>200 | —<br>—<br>800 ? | 200<br>350<br>250 | —<br>—<br>600 |
| <i>Nematoscelis microps</i><br>* quelques spécimens dès 50 mètres                                                               |           | 150*<br>—<br>350    | —<br>—<br>800 ? | 500<br>—<br>—     | —<br>—<br>—   | 50<br>—<br>50     | —<br>—<br>600 ? | 150<br>—<br>—     | —<br>—<br>—   |
| <i>Nematoscelis gracilis</i>                                                                                                    |           | 500<br>—<br>400     | —<br>—<br>800 ? | 600<br>—<br>—     | —<br>—<br>—   | 50<br>—<br>200    | —<br>—<br>700   | 200<br>—<br>—     | —<br>—<br>—   |
| <i>Nematoscelis allanica</i><br>* individus isolés jusqu'à 700 mètres                                                           |           | —<br>150<br>400     | —<br>—<br>600   | —<br>500<br>400   | —<br>—<br>600 | —<br>50<br>100    | —<br>—<br>400*  | —<br>100<br>200   | —<br>—<br>400 |
| <i>Nematobrachion flexipes</i>                                                                                                  |           | 250<br>450<br>—     | —<br>—<br>—     | —<br>—<br>—       | —<br>—<br>—   | 50<br>50<br>—     | —<br>—<br>—     | 250<br>—<br>—     | —<br>—<br>—   |
| <i>Nematobrachion seepinosus</i>                                                                                                |           | 400<br>—<br>—       | —<br>—<br>—     | —<br>—<br>—       | —<br>—<br>—   | 250<br>150<br>—   | —<br>—<br>—     | —<br>250<br>—     | —<br>—<br>—   |
| <i>Nematobrachion boopis</i><br>* 1 juvénile récolté à 150 mètres                                                               |           | 450<br>400*<br>400  | —<br>—<br>800 ? | —<br>—<br>500     | —<br>—<br>600 | 300<br>400<br>400 | —<br>—<br>700   | —<br>—<br>500     | —<br>—<br>600 |
| <i>Bentheuphausia amblyops</i>                                                                                                  |           | 900<br>900<br>—     | —<br>—<br>—     | —<br>—<br>—       | —<br>—<br>—   | 300<br>600<br>—   | —<br>—<br>—     | —<br>—<br>—       | —<br>—<br>—   |

Remarques :

1) Les juvéniles étant en général situés plus superficiellement que les adultes, ils sont souvent seuls responsables de la « limite supérieure diurne de présence » de l'espèce.

2) Le chiffre 0 signifie que l'espèce a été capturée au cours des traits les plus superficiels (0-50 mètres environ), mais n'implique pas sa présence jusqu'en surface.

3) Lorsque la limite supérieure nocturne se situe dans les 200 premiers mètres, elle peut varier d'une centaine de mètres en fonction de la phase lunaire (cf. ROGER, 1974 b).

4) Il semble que, pour beaucoup d'espèces migratrices, les individus atteignent des niveaux particulièrement superficiels tout de suite après le coucher du soleil, et redescendent ensuite rapidement de 50 ou 100 mètres pour gagner leur immersion nocturne normale.



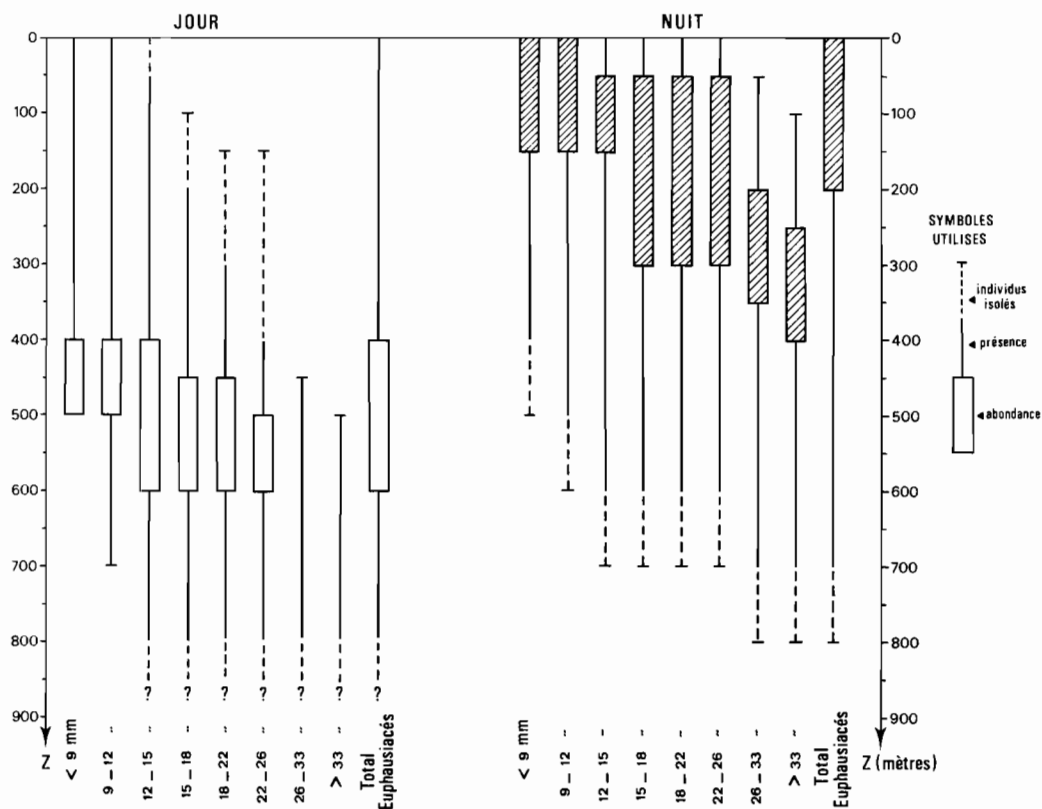


Fig. 3. — Répartition bathymétrique schématisée des différentes classes de tailles et de l'ensemble des euphausiacés (situation moyenne pour les zones I, II et III).

abondantes (*Bentheuphausia amblyops*, *Thysanopoda egregia*, *T. cornuta*, *T. spinicaudata*), dont aucun spécimen n'a été récolté au cours de cette campagne. Toutefois, il n'est pas exclu que cette limite inférieure soit plus profonde dans les autres régions, la zone III étant relativement proche de terre bien que le fond y soit à 2000 mètres; les auteurs ont en effet remarqué fréquemment que l'immersion des espèces est d'autant plus grande qu'on s'éloigne de la côte (PERES, 1958; BRINTON, 1966).

— D'autre part, contrairement aux situations décrites ou suggérées par plusieurs auteurs (PONOMAREVA, 1963; LE RESTE, 1969; BAKER, 1970), il apparaît que la totalité de la population des espèces qui effectuent une migration nyctémérale de grande amplitude, entreprend chaque nuit cette migration : chez la plupart d'entre elles, aucun individu ne demeure pendant la nuit à la même immersion que pendant le jour (*T. tricuspidata*, *T. pectinata*, *T. obtusifrons*, *T. aequalis*, *E. fallax*). Quelques spécimens isolés, ne représentant tout au plus que 1‰ du total, peuvent rester de nuit en profondeur chez *T. monacantha*, *E. mulica*, *E. tenera*,

*N. atlantica*. *E. gibba* a été la seule espèce, effectuant une ample migration verticale, chez laquelle une fraction quantifiable (environ 3 %) de la population semble ne pas entreprendre chaque nuit le déplacement vers la surface. On est, de toutes façons, très loin des « 50 % au moins » de migrants restant en profondeur pendant la nuit, que PONOMAREVA (1963) décrit pour le Pacifique Nord.

Dans la mesure où les situations observées dans les trois zones apparaissent peu différentes, on peut synthétiser l'ensemble des observations. La figure 3 schématise les répartitions diurnes et nocturnes de l'ensemble des euphausiacés par catégories de tailles. Il apparaît que la masse des euphausiacés se concentre de jour entre 400 et 600 mètres; toutefois, alors que les plus gros individus sont totalement absents des couches plus superficielles, une partie non négligeable des plus petits occupe les 400 premiers mètres pendant le jour, ce qui leur confère un rôle particulier en tant que proies des poissons épipélagiques dont la nutrition est essentiellement diurne (ROGER, 1973). De nuit, au contraire, la plus grande partie de la population se rassemble dans les

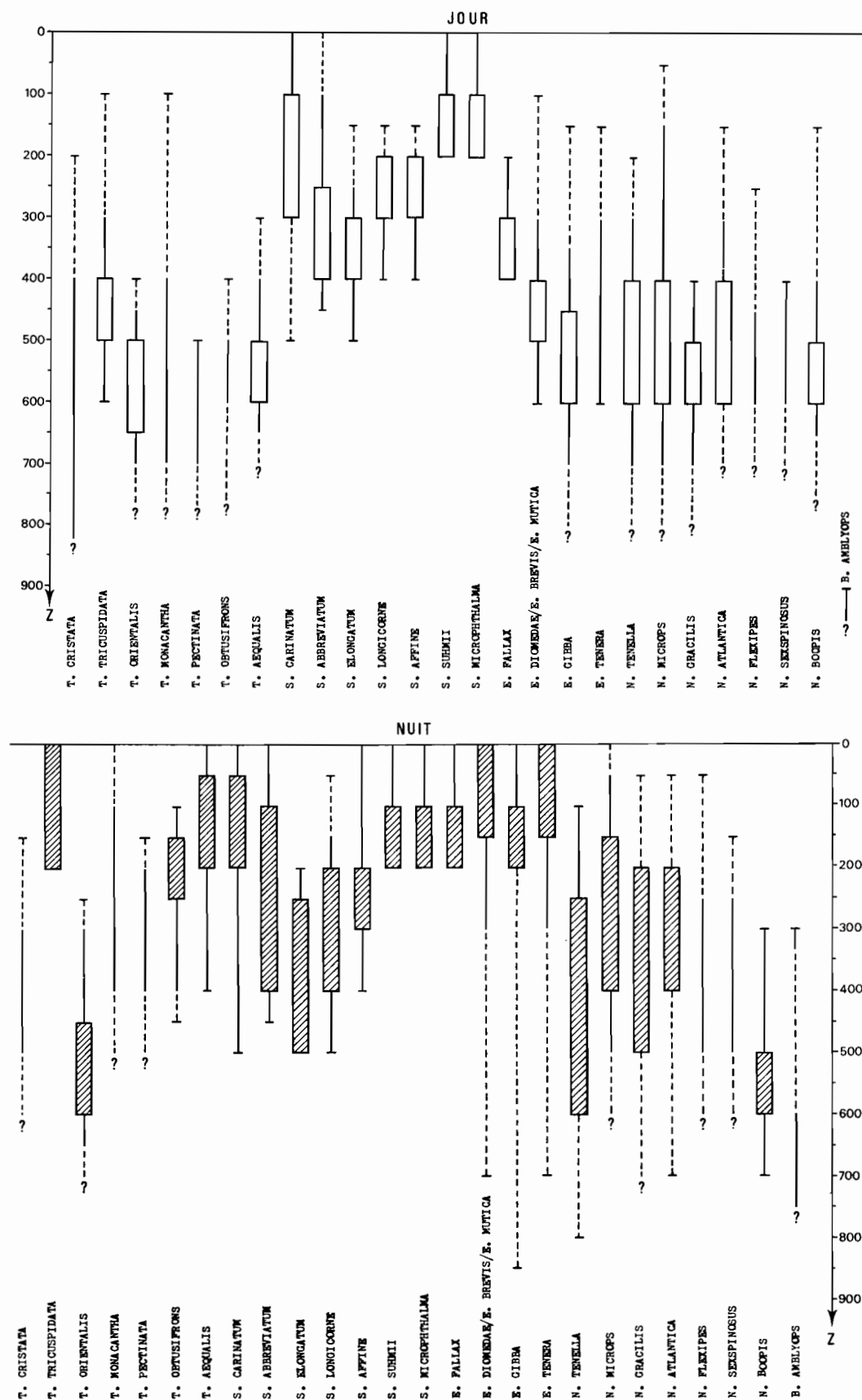


Fig. 4. — Répartition bathymétrique schématisée des différentes espèces (situation moyenne pour les zones I, II et III). Mêmes symboles que pour la figure 3.

TABLEAU 5

Niveaux de concentration maximale estimés (en mètres), diurnes et nocturnes, et classement des espèces selon leur comportement bathymétrique. Situation moyenne pour les zones I, II et III.

| Grands migrants<br>(Amplitude de migration $\geq 200$ m) |      |      | Petits migrants<br>(Amplitude de migration 50 à 150 m) |      |      | Non migrants<br>ou amplitude de migration $\leq 50$ m |        |       |                                |        |
|----------------------------------------------------------|------|------|--------------------------------------------------------|------|------|-------------------------------------------------------|--------|-------|--------------------------------|--------|
|                                                          | Jour | Nuit |                                                        | Jour | Nuit |                                                       |        |       |                                |        |
| <i>Thysanopoda tricuspidata</i> ...                      | 450  | 100  | — MÉSOPÉLAGIQUE :                                      | 300  | 200  | — ÉPIPÉLAGIQUES :                                     |        |       |                                |        |
| <i>Thysanopoda monacantha</i> ...                        | 600  | 250  |                                                        |      |      | <i>Stylocheiron suhmii</i>                            | -- 150 |       |                                |        |
| <i>Thysanopoda pectinala</i> .....                       | 600  | 300  |                                                        |      |      | <i>Stylocheiron microphthalma</i>                     | — 150  |       |                                |        |
| <i>Thysanopoda obtusifrons</i> ....                      | 600  | 250  |                                                        |      |      | <i>Stylocheiron carinalum</i>                         | -- 150 |       |                                |        |
| <i>Thysanopoda aequalis</i> .....                        | 550  | 100  |                                                        |      |      | <i>Stylocheiron affine</i>                            | -- 200 |       |                                |        |
| <i>Euphausia fallax</i> .....                            | 350  | 150  | — PROFONDS :                                           | 500  | 350  | — MÉSOPÉLAGIQUES :                                    |        |       |                                |        |
| <i>Euphausia diomedae</i>                                | 450  | 50   |                                                        |      |      | <i>Nematoscelis tenella</i> .....                     | 600    | 500   | <i>Stylocheiron longicorne</i> | — 300  |
| <i>Euphausia brevis</i>                                  |      |      |                                                        |      |      | <i>Nematobranchion flexipes</i> ....                  | 500    | 400   | <i>Stylocheiron elongatum</i>  | -- 350 |
| <i>Euphausia mulica</i>                                  |      |      |                                                        |      |      | <i>Nematobranchion sexspinosus</i> ..                 | 500    | 400   |                                |        |
| <i>Euphausia gibba</i> .....                             | 600  | 150  |                                                        |      |      | <i>Nematobranchion boopis</i> .....                   | 600    | 500   |                                |        |
| <i>Euphausia tenera</i> .....                            | 450  | 100  |                                                        |      |      | <i>Thysanopoda orientalis</i> .....                   | 600    | 500   |                                |        |
| <i>Nematoscelis microps</i> .....                        | 500  | 250  |                                                        |      |      | <i>Thysanopoda cristata</i> .....                     | 600 ?  | 400 ? |                                |        |
| <i>Nematoscelis gracilis</i> .....                       | 550  | 350  |                                                        |      |      | <i>Bentheuphausia amblyops</i> ....                   | 900 ?  | 700 ? |                                |        |
| <i>Nematoscelis atlantica</i> .....                      | 500  | 300  |                                                        |      |      |                                                       |        |       |                                |        |

TABLEAU 6

Répartitions verticales diurnes schématiques des espèces. Situation moyenne pour les zones I, II et III.

|                                        | couche 0-200 m                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | couche 200-400 m                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | couche 400-800 m                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Espèces<br>abondamment<br>représentées | <i>Stylocheiron carinalum</i><br><i>Stylocheiron suhmii</i><br><i>Stylocheiron microphthalmum</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <i>Stylocheiron carinalum</i><br><i>Stylocheiron affine</i><br><i>Stylocheiron longicorne</i><br><i>Stylocheiron abbreviatum</i><br><i>Stylocheiron elongatum</i><br><i>Euphausia fallax</i><br><i>Euphausia diomedae/brevis/mulica</i> *                                                                                                                                                                                                  | <i>Thysanopoda cristata</i><br><i>Thysanopoda tricuspidata</i><br><i>Thysanopoda orientalis</i><br><i>Thysanopoda monacantha</i><br><i>Thysanopoda pectinata</i><br><i>Thysanopoda oblusifrons</i><br><i>Thysanopoda aequalis</i><br><i>Euphausia diomedae</i><br><i>Euphausia brevis</i><br><i>Euphausia mulica</i><br><i>Euphausia gibba</i><br><i>Euphausia tenera</i><br><i>Nematoscelis tenella</i><br><i>Nematoscelis microps</i><br><i>Nematoscelis gracilis</i><br><i>Nematoscelis atlantica</i><br><i>Nematobrachion flexipes</i><br><i>Nematobrachion sepsipinosus</i><br><i>Nematobrachion boopis</i><br><i>Bentheuphausia amblyops</i> |
| Espèces présentes<br>en petits nombres | <i>Thysanopoda tricuspidata</i><br><i>Thysanopoda monacantha</i><br><i>Stylocheiron abbreviatum</i><br><i>Stylocheiron elongatum</i><br><i>Stylocheiron longicorne</i><br><i>Stylocheiron affine</i><br><i>Euphausia diomedae</i><br><i>Euphausia brevis</i><br><i>Euphausia mulica</i><br><i>Euphausia gibba</i><br><i>Euphausia tenera</i><br><i>Nematoscelis microps</i><br><i>Nematoscelis atlantica</i><br><i>Nematobrachion boopis</i> ** | <i>Thysanopoda cristata</i> **<br><i>Thysanopoda tricuspidata</i><br><i>Thysanopoda monacantha</i><br><i>Thysanopoda aequalis</i><br><i>Euphausia diomedae</i><br><i>Euphausia brevis</i><br><i>Euphausia mulica</i><br><i>Euphausia gibba</i><br><i>Euphausia tenera</i><br><i>Nematoscelis tenella</i><br><i>Nematoscelis microps</i><br><i>Nematoscelis atlantica</i><br><i>Nematobrachion boopis</i><br><i>Nematobrachion flexipes</i> | <i>Stylocheiron carinalum</i><br><i>Stylocheiron elongatum</i><br><i>Stylocheiron abbreviatum</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

\* au-delà de 300 mètres seulement

\*\* exceptionnellement

TABLEAU 7

Nombres moyens d'individus par 1000 m<sup>3</sup>, et pourcentages correspondants. Zone III

| Espèces*                                                         | JOUR    |     |           |     | NUIT    |      |           |     |           |     |
|------------------------------------------------------------------|---------|-----|-----------|-----|---------|------|-----------|-----|-----------|-----|
|                                                                  | 0-400 m |     | 400-800 m |     | 0-200 m |      | 200-400 m |     | 400-800 m |     |
|                                                                  | nb      | %   | nb        | %   | nb      | %    | nb        | %   | nb        | %   |
| <i>T. tricuspidata</i> .....                                     | 0.7     | 0.4 | 6.8       | 2.7 | 15      | 2.1  | 0         | 0   | 0         | 0   |
| <i>T. orientalis</i> .....                                       | 0       | 0   | 2.7       | 1.1 | 0       | 0    | 0.7       | 1.0 | 2.3       | 19  |
| <i>T. monacantha</i> }<br><i>T. pectinala</i> }                  | 0       | 0   | 1.0       | 0.4 | 0       | 0    | 2.0       | 2.9 | 0         | 0   |
| <i>T. aequalis</i> }<br><i>T. obtusifrons</i> }                  | 0.3     | 0.2 | 4.3       | 1.7 | 6.7     | 0.9  | 2.7       | 3.9 | 0         | 0   |
| TOTAL <i>Thysanopoda</i> .....                                   | 1.0     | 0.6 | 15        | 6.0 | 22      | 3.1  | 5.4       | 7.7 | 2.3       | 19  |
| <i>S. carinalatum</i> .....                                      | 67      | 42  | 0         | 0   | 133     | 18.5 | 1.0       | 1.4 | 0         | 0   |
| <i>S. abbreviatum</i> }<br><i>S. maximum</i> }                   | 5.0     | 3.2 | 0         | 0   | 3.3     | 0.5  | 6.7       | 9.6 | 0         | 0   |
| <i>S. elongatum</i> .....                                        | 0       | 0   | 6.7       | 2.7 | 0       | 0    | 13        | 19  | 0         | 0   |
| <i>S. affine</i> .....                                           | 30      | 19  | 0         | 0   | 60      | 8.3  | 0         | 0   | 0         | 0   |
| <i>S. longicorne</i> .....                                       | 3.3     | 2.1 | 0         | 0   | 0       | 0    | 6.7       | 9.6 | 0         | 0   |
| <i>S. suhmii</i> .....                                           | 3.3     | 2.1 | 0         | 0   | 6.7     | 0.9  | 0         | 0   | 0         | 0   |
| TOTAL <i>Stylocheiron</i> .....                                  | 109     | 69  | 6.7       | 2.7 | 203     | 28   | 27        | 39  | 0         | 0   |
| <i>E. fallax</i> .....                                           | 3.3     | 2.1 | 0.3       | 0.1 | 7.3     | 1.0  | 0         | 0   | 0         | 0   |
| <i>E. mulica</i> }<br><i>E. brevis</i> }<br><i>E. diomedae</i> } | 27      | 17  | 140       | 56  | 333     | 46   | 0.7       | 1.0 | 0         | 0   |
| <i>E. gibba</i> .....                                            | 0.3     | 0.2 | 29        | 12  | 50      | 6.9  | 6.7       | 9.6 | 1.3       | 10  |
| <i>E. tenera</i> .....                                           | 17      | 11  | 35        | 14  | 100     | 14   | 3.3       | 4.7 | 0         | 0   |
| TOTAL <i>Euphausia</i> .....                                     | 47      | 30  | 205       | 82  | 491     | 68   | 11        | 16  | 1.3       | 10  |
| <i>N. lenella</i> .....                                          | 0.3     | 0.2 | 3.6       | 1.4 | 0       | 0    | 2.7       | 3.9 | 2.7       | 22  |
| <i>N. microps</i> }<br><i>N. gracilis</i> }                      | 0       | 0   | 3.3       | 1.3 | 1.0     | 0.1  | 3.6       | 5.1 | 1.0       | 8.1 |
| <i>N. atlantica</i> .....                                        | 0.7     | 0.4 | 11        | 4.4 | 4.0     | 0.6  | 20        | 29  | 0         | 0   |
| TOTAL <i>Nematoscelis</i> .....                                  | 1.0     | 0.6 | 18        | 7.2 | 5.0     | 0.7  | 26        | 37  | 3.6       | 29  |
| <i>N. boopis</i> .....                                           | 0.3     | 0.2 | 5.0       | 2.0 | 0       | 0    | 0.7       | 1.0 | 5.0       | 40  |
| TOTAL EUPHAUSIACÉS.....                                          | 158     | 100 | 249       | 100 | 720     | 100  | 70        | 100 | 12        | 100 |

\* les espèces rares, quantitativement négligeables, n'ont pas été figurées ici (*B. amblyops*, *T. cristata*, *N. sexspinosus*).

TABLEAU 8  
Nombres moyens d'individus par 1000 m<sup>3</sup> et pourcentages correspondants. Zone III

| Groupes de tailles       | JOUR    |     |           |     | NUIT    |     |           |     |           |     |
|--------------------------|---------|-----|-----------|-----|---------|-----|-----------|-----|-----------|-----|
|                          | 0-400 m |     | 400-800 m |     | 0-200 m |     | 200-400 m |     | 400-800 m |     |
|                          | nb      | %   | nb        | %   | nb      | %   | nb        | %   | nb        | %   |
| < 9 mm<br>< 4 mg         | 93      | 59  | 43        | 17  | 267     | 37  | 6.7       | 9.6 | 0         | 0   |
| 9 - 12 mm<br>4 - 11 mg   | 58      | 37  | 137       | 55  | 352     | 49  | 35        | 50  | 3.0       | 24  |
| 12 - 15 mm<br>11 - 20 mg | 5.0     | 3.2 | 43        | 17  | 77      | 11  | 13        | 19  | 3.3       | 27  |
| 15 - 18 mm<br>20 - 37 mg | 0.7     | 0.4 | 13        | 5.2 | 12      | 1.7 | 10        | 14  | 2.7       | 22  |
| 18 - 22 mm<br>37 - 65 mg | 0.3     | 0.2 | 7.3       | 2.9 | 8.3     | 1.2 | 3.3       | 4.7 | 1.7       | 14  |
| > 22 mm<br>> 65 mg       | 0       | 0   | 5.3       | 2.1 | 5.3     | 0.7 | 2.0       | 2.9 | 1.7       | 14  |
| TOTAL EUPHAUSIACÉS.....  | 157     | 100 | 249       | 100 | 722     | 100 | 70        | 100 | 12        | 100 |

300 premiers mètres, seuls les plus gros organismes ayant tendance à demeurer un peu plus profondément.

La figure 4 schématise la situation de chaque espèce, qu'il paraît inutile de commenter en détail. On en a déduit les niveaux de concentration maximale, de jour et de nuit, et groupé les espèces selon leur comportement migratoire; ces estimations sont reportées dans le tableau 5. Sur le plan de la disponibilité vis-à-vis des prédateurs, on notera que seules les espèces du genre *Stylocheiron*, auxquelles s'ajoute peut-être *E. fallax* et, au-delà de 300 mètres, les *Euphausia* du « groupe *diomedae* », sont abondantes de jour dans les 400 premiers mètres. Le tableau 6 résume pour l'ensemble des espèces la situation bathymétrique diurne, dont l'influence sur la structure des réseaux trophiques est fondamentale (VINOGRADOV, 1968; LEGAND *et al.*, 1972; ROGER, 1973).

### 3.4. Résultats quantitatifs.

Le nombre et la biomasse d'organismes par unité de volume aux différentes immersions, de jour et de nuit, sont des données nécessaires à l'estimation de la richesse d'une zone océanique, et à l'évaluation des ressources que représente un groupe déterminé

vis-à-vis de telle ou telle catégorie de prédateurs. Ces données ne nous sont malheureusement accessibles que pour la zone III, pour laquelle on dispose d'échantillons d'un filet ouvrant-fermant constitué de mailles d'une même dimension. Cette origine plus localisée du matériel explique l'existence de légères différences au niveau de chaque espèce entre ces résultats quantitatifs, issus de la seule zone III, et les résultats qualitatifs précédemment exposés, pour lesquels on a réalisé la synthèse des données des zones I, II et III. En outre, il faut souligner que les valeurs données ci-dessous ne sont que des estimations.

En effet, trois points méritent d'être soulignés :

— Le nombre de stations effectuées est réduit (27).

— La population totale de chaque espèce étant supposée constante pendant la période de quelques jours représentant la durée de la campagne, on a ramené à une même valeur les effectifs diurnes et nocturnes, dont les disparités sont considérées comme provenant d'artefacts d'échantillonnage. Dans la comparaison des situations diurne et nocturne, il faut également noter qu'il a été tenu compte de l'épaisseur des couches bathymétriques; ainsi, la couche 400-800 mètres (épaisseur 400 mètres) où une espèce serait présente à raison de 10 individus/

TABLEAU 9

Biomasses moyennes (poids humide) en mg/1000 m<sup>3</sup>, et pourcentages correspondants. Zone III.

| Espèces                                                          | Poids indiv. moyen (mg) | JOUR    |     |           |     | NUIT    |     |           |     |           |     |
|------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------|-----|-----------|-----|---------|-----|-----------|-----|-----------|-----|
|                                                                  |                         | 0-400 m |     | 400-800 m |     | 0-200 m |     | 200-400 m |     | 400-800 m |     |
|                                                                  |                         | Biom.   | %   | Biom.     | %   | Biom.   | %   | Biom.     | %   | Biom.     | %   |
| <i>T. tricuspidata</i> .....                                     | 55                      | 39      | 5.4 | 374       | 13  | 825     | 16  | 0         | 0   | 0         | 0   |
| <i>T. orientalis</i> .....                                       | 110                     | 0       | 0   | 297       | 9.9 | 0       | 0   | 77        | 6.8 | 253       | 41  |
| <i>T. monacantha</i> }<br><i>T. pectinata</i> }                  | 110                     | 0       | 0   | 110       | 3.7 | 0       | 0   | 220       | 19  | 0         | 0   |
| <i>T. aequalis</i> }<br><i>T. obtusifrons</i> }                  | 30                      | 9       | 1.3 | 129       | 4.3 | 201     | 4.0 | 81        | 7.2 | 0         | 0   |
| TOTAL <i>Thysanopoda</i> .....                                   | —                       | 48      | 6.7 | 910       | 30  | 1026    | 20  | 378       | 33  | 253       | 41  |
| <i>S. carinatum</i> .....                                        | 2                       | 134     | 19  | 0         | 0   | 266     | 5.3 | 2         | 0.2 | 0         | 0   |
| <i>S. abbreviatum</i> }<br><i>S. maximum</i> }                   | 12                      | 60      | 8.4 | 0         | 0   | 40      | 0.8 | 80        | 7.1 | 0         | 0   |
| <i>S. elongatum</i> .....                                        | 8                       | 0       | 0   | 54        | 1.8 | 0       | 0   | 104       | 9.2 | 0         | 0   |
| <i>S. affine</i> .....                                           | 2                       | 60      | 8.4 | 0         | 0   | 120     | 2.4 | 0         | 0   | 0         | 0   |
| <i>S. longicorne</i> .....                                       | 8                       | 26      | 3.6 | 0         | 0   | 0       | 0   | 54        | 4.8 | 0         | 0   |
| <i>S. suhmii</i> .....                                           | 1                       | 3       | 0.4 | 0         | 0   | 7       | 0.1 | 0         | 0   | 0         | 0   |
| TOTAL <i>Stylocheiron</i> .....                                  | —                       | 283     | 40  | 54        | 1.8 | 433     | 8.6 | 240       | 21  | 0         | 0   |
| <i>E. fallax</i> .....                                           | 35                      | 115     | 16  | 11        | 0.4 | 256     | 5.1 | 0         | 0   | 0         | 0   |
| <i>E. mutica</i> }<br><i>E. brevis</i> }<br><i>E. diomedae</i> } | 8                       | 216     | 30  | 1120      | 37  | 2664    | 53  | 6         | 0.5 | 0         | 0   |
| <i>E. gibba</i> .....                                            | 10                      | 3       | 0.4 | 290       | 9.7 | 500     | 9.9 | 67        | 5.9 | 13        | 2.1 |
| <i>E. tenera</i> .....                                           | 1                       | 17      | 2.4 | 35        | 1.2 | 100     | 2.0 | 3         | 0.3 | 0         | 0   |
| TOTAL <i>Euphausia</i> .....                                     | —                       | 351     | 49  | 1456      | 49  | 3520    | 70  | 76        | 6.7 | 13        | 2.1 |
| <i>N. tenella</i> .....                                          | 15                      | 5       | 0.7 | 54        | 1.8 | 0       | 0   | 41        | 3.6 | 41        | 6.6 |
| <i>N. microps</i> }<br><i>N. gracilis</i> }                      | 15                      | 0       | 0   | 50        | 1.7 | 15      | 0.3 | 54        | 4.8 | 15        | 2.4 |
| <i>N. atlantica</i> .....                                        | 15                      | 11      | 1.5 | 165       | 5.5 | 60      | 1.2 | 300       | 27  | 0         | 0   |
| TOTAL <i>Nematoscelis</i> .....                                  | —                       | 16      | 2.2 | 269       | 9.0 | 75      | 1.5 | 395       | 35  | 56        | 9.0 |
| <i>N. boopis</i> .....                                           | 60                      | 18      | 2.5 | 300       | 10  | 0       | 0   | 42        | 3.7 | 300       | 48  |
| TOTAL EUPHAUSIACÉS.....                                          | —                       | 716     | 100 | 2989      | 100 | 5054    | 100 | 1131      | 100 | 622       | 100 |

TABLEAU 10

Biomasses moyennes (poids humide) en mg/1000 m<sup>3</sup>, et pourcentages correspondants. Zone III

| Groupes de tailles           | Poids indiv. moyen (mg) | JOUR    |     |           |     | NUIT    |     |           |     |           |     |
|------------------------------|-------------------------|---------|-----|-----------|-----|---------|-----|-----------|-----|-----------|-----|
|                              |                         | 0-400 m |     | 400-800 m |     | 0-200 m |     | 200-400 m |     | 400-800 m |     |
|                              |                         | Biom.   | %   | Biom.     | %   | Biom.   | %   | Biom.     | %   | Biom.     | %   |
| < 9 mm<br>< 4 mg             | 2                       | 186     | 29  | 86        | 2.8 | 534     | 10  | 13        | 1.1 | 0         | 0   |
| 9 - 12 mm<br>4 - 11 mg       | 6                       | 348     | 53  | 822       | 27  | 2112    | 40  | 210       | 18  | 18        | 4.0 |
| 12 - 15 mm<br>11 - 20 mg     | 16                      | 80      | 12  | 688       | 23  | 1232    | 23  | 208       | 18  | 53        | 12  |
| 15 - 18 mm<br>20 - 37 mg     | 31                      | 22      | 3.4 | 403       | 13  | 372     | 7.0 | 310       | 27  | 84        | 19  |
| 18 - 22 mm<br>37 - 65 mg     | 54                      | 16      | 2.5 | 394       | 13  | 448     | 8.4 | 178       | 15  | 92        | 20  |
| > 22 mm<br>> 65 mg           | 120                     | 0       | 0   | 636       | 21  | 636     | 12  | 240       | 21  | 204       | 45  |
| TOTAL* EUPHAUSIACÉS, . . . . | —                       | 652     | 100 | 3029      | 100 | 5334    | 100 | 1159      | 100 | 451       | 100 |

\* les différences avec le tableau 9 proviennent :

- 1) du fait que les poids individuels moyens estimés par espèce et par groupe de tailles ne peuvent coïncider exactement ;
- 2) de ce que, les juvéniles étant distribués plus superficiellement que les adultes, le poids individuel moyen utilisé pour une espèce est surestimé en ce qui concerne les couches superficielles et sous-estimé pour les couches profondes.

TABLEAU 11

Bilan schématique des principales caractéristiques des répartitions verticales des euphausiacés (zone III)

|                                                                                  |                     | JOUR    |           | NUIT              |           |           |
|----------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------|-----------|-------------------|-----------|-----------|
|                                                                                  |                     | 0-400 m | 400-800 m | 0-200 m           | 200-400 m | 400-800 m |
| Répartition de l'ensemble des euphausiacés                                       | En nombre           | 39 %    | 61 %      | 88 %              | 9 %       | 3 %       |
|                                                                                  | En biomasse         | 18 %    | 82 %      | 72 %              | 16 %      | 12 %      |
| Répartition des tailles : pourcentage des petits euphausiacés (<12 mm et <11 mg) | En nombre           | 96 %    | 72 %      | 86 %              | 60 %      | 24 %      |
|                                                                                  | En biomasse         | 82 %    | 30 %      | 50 %              | 19 %      | 4 %       |
| Répartition des espèces : pourcentages des deux genres principaux (en nombre)    | <i>Stylocheiron</i> | 69 %    | 3 %       | 0-400 m :<br>29 % |           | 0         |
|                                                                                  | <i>Euphausia</i>    | 30 %    | 82 %      | 0-400m :<br>64 %  |           | 10 %      |

1000 m<sup>3</sup>, serait considérée comme renfermant le même nombre total d'individus que la couche 200-400 mètres (épaisseur 200 mètres) où l'espèce serait présente à raison de 20 individus/1000 m<sup>3</sup>.

— Enfin, le calcul des biomasses a été fait en utilisant un poids individuel moyen estimé par catégorie de tailles (tableau 10) ou par espèce (tableau 9), qui est obligatoirement approximatif, d'où les légères différences existant dans les deux approches d'évaluation.

Le tableau 7 présente les nombres d'organismes par 1000 m<sup>3</sup>, de jour et de nuit, pour les différentes espèces. De jour, dans les 400 premiers mètres, le genre *Stylocheiron* domine largement (69 %), suivi par le genre *Euphausia* (30 %); les autres genres sont pratiquement absents; le peuplement total est de l'ordre de 158 individus/1000 m<sup>3</sup>. Entre 400 et 800 mètres, le genre *Euphausia* est de loin le plus représenté (82 %), suivi de *Nematoscelis* (7 %) et *Thysanopoda* (6 %); les *Stylocheiron* ont presque disparu (3 %). Au total, on rencontre environ 250 individus/1000 m<sup>3</sup> au-delà de 400 m pendant le jour.

De nuit, au contraire, la plus grande partie de la population (720 individus/1000 m<sup>3</sup>) se concentre dans les 200 premiers mètres (*Euphausia* 68 %, *Stylocheiron* 28 %); en profondeur, l'abondance des euphausiacés décroît très vite : 70 individus/1000 m<sup>3</sup> entre 200 et 400 m (*Stylocheiron* 39 %, *Nematoscelis* 37 %, *Euphausia* 16 %), et seulement 12/1000 m<sup>3</sup> au-delà (*N. boopis* 40 %, *Nematoscelis* 29 %, *T. orientalis* 19 %).

Le tableau 8 reprend la même analyse pour l'ensemble des euphausiacés, par catégories de tailles. On observe très nettement la tendance des petits organismes à dominer dans la partie supérieure du biotope, alors que les gros individus constituent une fraction importante de la population en profondeur; cette caractéristique se retrouve aussi bien de jour que de nuit.

La répartition des biomasses est décrite dans le tableau 9 au niveau spécifique et dans le tableau 10

par catégories de tailles. A moins de 400 mètres pendant le jour, la biomasse est inférieure à 1 g/1000 m<sup>3</sup>, alors qu'elle est, en moyenne, 4 à 5 fois plus forte au-delà. De nuit, les euphausiacés représentent environ 5 g/1000 m<sup>3</sup> entre 0 et 200 m et 1 g/1000 m<sup>3</sup> plus profondément. Ces valeurs confirment, en outre, que les régions tropicales oligotrophes du Pacifique sud-ouest sont 2 à 3 fois moins riches que la région équatoriale à la même longitude, où l'on trouve en moyenne dans les 300 premiers mètres de nuit environ 13 g d'euphausiacés par 1000 m<sup>3</sup> (ROGER, 1974 a).

## CONCLUSIONS

Les principales caractéristiques de répartition verticale du groupe des euphausiacés dans la zone III (qui peuvent être extrapolées, à quelques nuances près, à l'ensemble du Pacifique Sud Tropical), sont figurées dans le tableau 11. Sur le plan de la participation des euphausiacés aux réseaux trophiques, on notera le point essentiel que constitue la composition spécifique des différentes couches. Alors que, dans l'ensemble de la région (représentée par la couche 0-400 mètres pendant la nuit, la quasi-totalité du peuplement y étant alors concentrée), il y a 2,2 fois plus d'*Euphausia* (64 %) que de *Stylocheiron* (29 %), la proportion est exactement inverse dans les 400 premiers mètres pendant la période diurne, c'est-à-dire aux lieux et heures de nutrition des prédateurs épipelagiques qui sont à leur tour les proies des grands thonidés subsuperficiels pêchés à la longue ligne. De même, au-delà de 400 mètres de jour, le genre *Euphausia* représente à lui seul 82 % (en nombre) du total des euphausiacés. La connaissance de ces caractéristiques de répartition s'avère essentielle dans la compréhension des circuits trophiques, en permettant de reconstituer leur structure à partir des analyses de contenus stomacaux.

Manuscrit reçu au S.C.D. le 28 octobre 1974

## BIBLIOGRAPHIE

AIZAWA (Y.) et MARUMO (R.), 1967. — Vertical distribution of zooplankton and micronekton biomass in Sagami Bay, Central Japan. *Inform. Bull. Planktol. Japan*, Commemorative Number of Dr. Y. Matsue : 1-7.

BAKER (A. de C.), 1970. — The vertical distribution of Euphausiids near Fuerteventura, Canary Islands (DISCOVERY SOND Cruise 1965). *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 50 : 301-342.



- BERNARD (F.), 1955. — Densité du plancton vu au large de Toulon depuis le bathyscaphe FNRS III. *Bull. Inst. Océanogr. Monaco* 1063 : 1-16.
- BERNARD (F.), 1958. — Plancton et benthos observés durant 3 plongées en bathyscaphe au large de Toulon. *Ann. Inst. Océanogr. Monaco* 35 (4) : 287-326.
- BODEN (B. P.), 1962. — Plankton and Sonic Scattering. *Rapp. Cons. Explor. Mer* 153 : 171-177.
- BODEN (B. P.) et KAMPA (E. M.), 1965. — An aspect of Euphausiid ecology revealed by echo-sounding in a fjord. *Contr. Scripps Instn. Oceanogr.* 35 : 875-893.
- BODEN (B. P.), KAMPA (E. M.) et ABBOT (B.), 1959. — Light relationships in a euphausiid community. *Proc. int. congr. zool.* 15 : 276-277.
- BODEN (B. P.), KAMPA (E. M.) et ABBOT (B.), 1961. — Photo-reception of a planktonic crustacean in relation to light penetration in the sea. *Int. Photobiol. Congr.* 1960 : 189-196.
- BRINTON (E.), 1962. — The distribution of Pacific Euphausiids. *Bull. Scripps Instn. Oceanogr.* 8 (2) : 51-270.
- BRINTON (E.), 1966. — Vertical distribution of Euphausiid crustaceans in the California current. *Divisional Meeting of Chemical and Biological Oceanography* 11 (2) : 1 p. *multigr.*
- BRINTON (E.), 1967. — Vertical migration and avoidance capability of Euphausiids in the California current. *Limnol. and Oceanogr.* 12 (3) : 451-483.
- BURUKOVSKIY (R. N.) et YAGOROV (B. A.), 1967. — Studying the Antarctic Krill for the purpose of organizing Krill fisheries. *Soviet Fishery Research on the Antarctic Krill* : 5-17.
- CASANOVA (B.), 1970. — Répartition bathymétrique des Euphausiacés dans le bassin occidental de la méditerranée. *Rev. Trav. Inst. Pêches Marit.* XXXIV (2) : 205-219.
- FRANQUEVILLE (C.), 1970. — Étude comparative de macroplancton en Méditerranée nord-occidentale par plongées en soucoupe SP 350 et pêches au chalut pélagique. *Mar. Biol.* 5 (3) : 172-179.
- FRANQUEVILLE (C.), 1971. — Macroplancton profond (invertébrés) de la Méditerranée nord-occidentale. *Tethys* 3 (1) : 11-56.
- GROISMAN (M. Ya), KARPENKO (E. A.) et STEPANOV (G. N.), 1969. — The experimental fishing of krill in the Scotia Sea. *Trudy VNIRO* 66 : 276-283.
- HICKLING (C. F.), 1925. — Notes on Euphausiids. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.* 13 (3) : 735-745.
- KINZER (J.), 1966. — Organisms of deep-scattering layers in extremely oxygen deficient waters. (Abstract). *2<sup>o</sup> Int. Oc. Congr. Moscou* : 194.
- KINZER (J.), 1969. — On the quantitative distribution of zooplankton in deep-scattering layers. *Deep-sea Res.* 16 : 117-125.
- KINZER (J.), 1971. — On the contribution of Euphausiids and other plankton organisms to Deep-scattering layers in the Eastern North Atlantic. In: *The Ocean World*, M. UDA ed. : 446-447.
- LACROIX (G.), 1961. — Les migrations verticales journalières des Euphausiides à l'entrée de la Baie des Chaleurs. *Nat. Canad.* 93 (11) : 257-317.
- LEAVITT (B. B.), 1935. — A quantitative study of the vertical distribution of the larger zooplankton in deep water. *Biol. Bull.* 68 : 115-130.
- LEAVITT (B. B.), 1938. — The quantitative vertical distribution of macro-zooplankton in the Atlantic ocean basin. *Biol. Bull.* 74 : 376-394.
- LEGAND (M.), BOURRET (P.), FOURMANOIR (P.), GRAND-PERRIN (R.), GUEREDRAT (J. A.), MICHEL (A.), RANCUREL (P.), REPELIN (R.) et ROGER (C.), 1972. — Relations trophiques et distributions verticales en milieu pélagique dans l'Océan Pacifique Intertropical. *Cah. O.R.S.T.O.M., Sér. Océanogr.*, vol. X, n° 4 : 303-393.
- LE RESTE (L.), 1969. — Contribution à l'étude du zooplancton et plus particulièrement des Euphausiacea au large de Nosy-Bé (Madagascar). *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*, vol. VII, n° 4 : 39-50.
- LEWIS (J. B.), 1954. — The occurrence and vertical distribution of the Euphausiacea of the Florida current. *Bull. Mar. Sci. Gulf. Caribbe* 6 (3) : 179-199.
- MASUDA (T.), RAHAJU (S.) et TANAKA (M.), 1972. — Biological studies on the deep-scattering layer in the Indian Ocean. I : Constituent of DSL. *La mer* 10 (3) : 113-118.
- MAUCHLINE (J.) et FISCHER (L. R.), 1969. — The biology of Euphausiids. *Advances in Marine Biology* 7 : 1-454.
- MOORE (H. B.), 1950. — The relation between the scattering layer and the Euphausiacea. *Biol. Bull.* 99 (2) : 181-212.
- NEMOTO (T.), 1965. — Euphausiids in the Kuroshio region. *Inform. Bull. Planktol. Japan* 12 : 24-36.
- OMORI (M.), 1965. — A 160-cm opening-closing plankton net. I : Description of the gear. *J. Oceanogr. Soc. Japan* 21 (5) : 212-218.
- PEARCY (W. G.) et HUBBARD (L.), 1964. — A modification of the Isaacs-Kidd midwater trawl for sampling at different depth intervals. *Deep-sea Res.* 11 (2) : 263-264.
- PERES (J. M.), 1958. — Remarques générales sur un ensemble de 15 plongées effectuées avec le bathyscaphe FNRS III. *Ann. Inst. Océanogr. Monaco* 35 (4) : 260-285.
- PONOMAREVA (L. A.), 1963. — Euphausiids of the North Pacific, their distribution and ecology. *Trudy Inst. okeanol.* : 1-154 (IPST n° 1368).
- RAGULIN (A. G.), 1969. — Underwater observations of Krill. *Trudy VNIRO* 66 : 231-234.
- ROGER (C.), 1971. — Distribution verticale des euphausiacés (crustacés) dans les courants équatoriaux de l'Océan Pacifique. *Mar. Biol.* 10 (2) : 134-144.
- ROGER (C.), 1973. — Recherches sur la situation trophique d'un groupe d'organismes pélagiques (Euphausiacea). VI : Conclusions sur le rôle des euphausiacés dans les circuits trophiques de l'Océan Pacifique intertropical. *Mar. Biol.* 19 (1) : 66-68.
- RÔGER (C.), 1974a. — Les Euphausiacés du Pacifique équatorial et sud-tropical : zoogéographie, écologie, biologie et situation trophique. *Mémoires O.R.S.T.O.M.* 71 (ISBN. 2.7099.0335.0) : 1-265.
- ROGER (C.), 1974b. — Influence de la phase et de l'éclairement lunaire sur les répartitions verticales nocturnes superficielles de crustacés macroplanctoniques (Euphausiacea). *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*, vol. XII, n° 3 : 159-171.
- SAKAMOTO (I.), AMANO (R.), OKADA (Y.) et TOMINAGA (Y.), 1967. — Deep-scattering layers as biological resources in the Southern sea of Japan (I). *J. coll. Mar. Sci. Techn. Tokai* 2 : 179-196.

- SAMEOTO (D. D.), 1972. — Gulf of St. Lawrence Euphausiid study. *Bedford Institute of Oceanography, Biennial Review 1971-72* : 251.
- SEMENTOV (V. N.), 1969. — Observations of Krill behaviour in an aquarium. *Trudy VNIRO* 66 : 235-239.
- STASENKO (V. D.), 1967. — Determining the rational Krill fishing methods and the commercial effectiveness of the chosen fishing gear. *Soviet Fishery Research on the Antarctic Krill* : 61-78.
- SUZUKI (T.) et ITO (J.), 1967. — On the Deep-scattering layer in the northwestern area of the north Pacific ocean. I : Relationship between vertical migration of DSL, submarine illumination and plankton biomass. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 33 (4) : 325-337.
- TREGUBOFF (G.), 1958. — Le Bathyscaphe au service de la planctonologie. *Ann. Inst. Oceanogr. Monaco* 35 (4) : 327-341.
- VINOGRADOV (M. E.), 1968. — Vertical distribution of the oceanic zooplankton. *IPST* 5513 : 1-339.
- ZELICKMAN (E. A.), 1961. — The behaviour pattern of the Barents sea Euphausiacea, and possible causes of seasonal vertical migrations. *Int. Revue Ges. Hydrobiol.* 46 (2) : 276-281.



# LES PARTICULARITÉS DE LA COUCHE 0-600 m DANS L'OUEST DE L'OCÉAN INDIEN SUD-ÉQUATORIAL

YVES MAGNIER et BERNARD PITON

*Océanographes au Centre O.R.S.T.O.M. de Nosy-Bé (Madagascar)*

## RÉSUMÉ

*Certains critères physico-chimiques sont proposés pour délimiter les couches caractéristiques et apprécier les limites d'influence des différentes masses d'eau qui composent les 650 premiers mètres de la région océanique s'étendant entre 5° S et 15° S, de la côte africaine jusqu'à 54° E. Il apparaît que la « structure équatoriale de transition » y est beaucoup moins marquée que dans l'océan Indien central et que l'influence de l'eau tropicale et subtropicale sud se fait sentir préférentiellement dans la couche de 100 à 500 mètres de profondeur, le long de la côte nord-est de Madagascar et dans la bande 11° S-13° S dans le canal de Mozambique.*

## ABSTRACT

*The vertical and horizontal extension of the main layers and water masses to 650 m deep is defined by physico-chemical characteristics for the oceanic area between the African coast and 54° E from 5° S to 15° S. It appears that the "equatorial transition structure" is attenuated and that the influence of tropical and subtropical water from the south is strengthened, in the layer 100-500 m along the N.E. coast of Madagascar and between 11° S-13° S in the Madagascar Channel.*

## I. INTRODUCTION.

Dans tout l'Océan Indien, la zone entre 5° S et 15° S, qui inclut les frontières des courants zonaux du système sud-équatorial, présente des particularités qui l'ont fait considérer comme une structure océanique distincte, en particulier par TCHERNIA (1951), TCHERNIA *et al.* (1958), IVANOV-FRANKSTEVITCH (1961) et SHCHERBININ (1969). Selon ces auteurs, cette « structure équatoriale de transition » marque le passage entre la région « centrale indienne » typiquement océanique au sud de 15° S et la région « nord-indienne » aux caractères de mer continentale, au nord de 5° S.

SHCHERBININ (déjà cité) déplore que le manque de profils méridiens dans l'ouest de l'Océan Indien ne permette pas la description de la structure équatoriale de transition à l'ouest de 54° E. Cette lacune se trouve en grande partie comblée par certaines campagnes exécutées par le N.O. VAUBAN du Centre O.R.S.T.O.M. de Nosy-Bé. La position et la date d'exécution des stations océanographiques utilisées dans cet article sont indiquées, figure 1. Les planches I à VII représentent la distribution le long des coupes matérialisées figure 1, dans les 650 premiers mètres, de la température (a), de la salinité (b), de la densité (c), de l'oxygène dissous (d), du phosphate minéral dissous (e), du nitrate (f) et

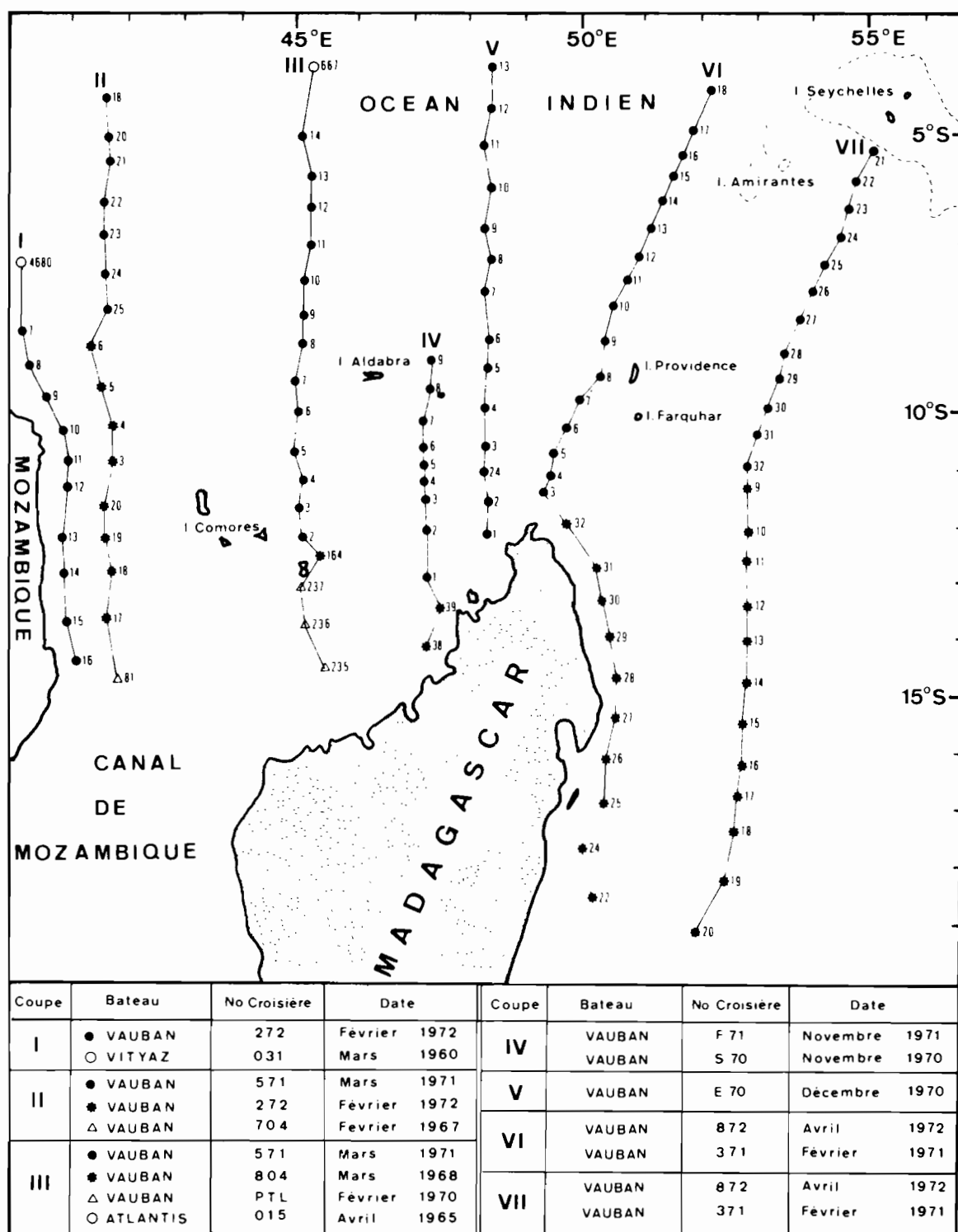


Fig. 1. — Position des stations utilisées. Indication des radiales méridiennes (I à VII).

de l'anomalie de hauteur dynamique ( $g$ ) pour certaines coupes sélectionnées entre la côte africaine et  $54^\circ$  E. Certaines coupes ont été composées avec des mesures provenant de deux croisières différentes effectuées à la même époque de l'année, dans le but de couvrir un plus grand intervalle de latitude.

## II. LA STRUCTURE ÉQUATORIALE DE PART ET D'AUTRE DE $54^\circ$ E.

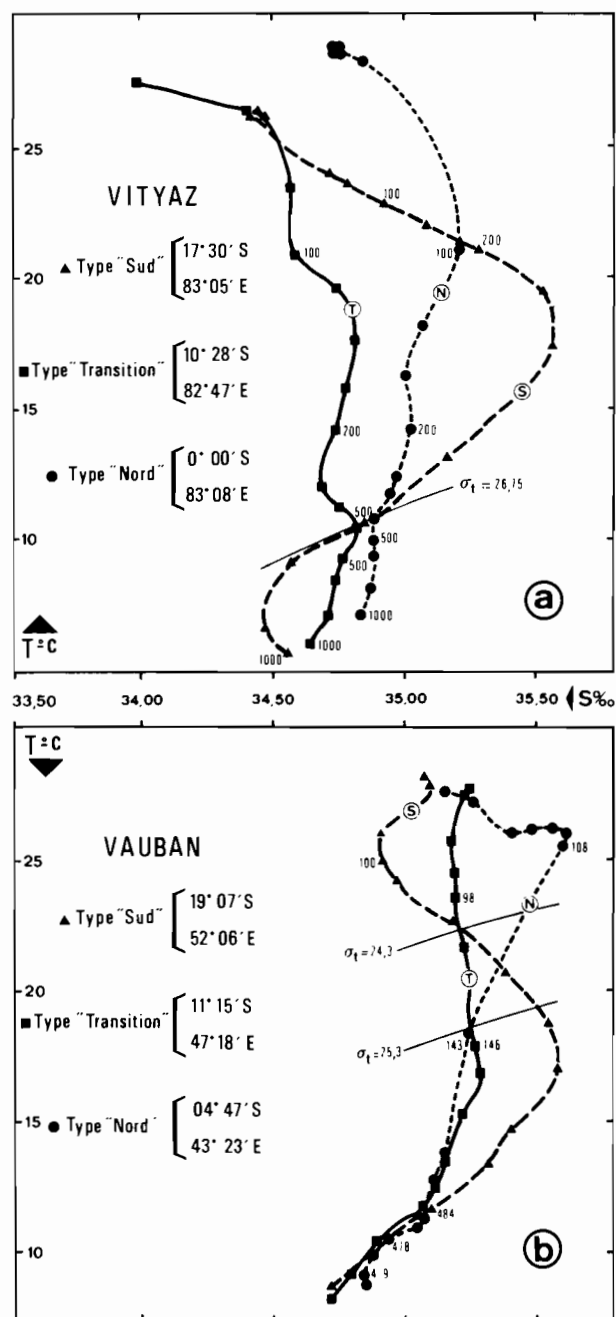
Dans l'article de SHCHERBININ, est résumé l'essentiel des particularités de la zone  $5^\circ$  S- $15^\circ$  S à l'est de  $54^\circ$  E : l'axe du courant sud-équatorial ( $15^\circ$  S) et celui du contre-courant équatorial ( $6-7^\circ$  S) sont des « fronts » pour la plupart des propriétés physico-chimiques; en particulier ils constituent les limites d'une masse d'eau distincte, dessalée par l'influence du courant sud-équatorial, où les gradients verticaux de toutes les propriétés sont atténués par la divergence (front dynamique) entre ces deux courants zonaux, vers  $10^\circ$  S. L'originalité de la structure équatoriale de transition se traduit très clairement sur les courbes T-S, reproduites sur la figure 2 a, où l'on voit l'importante dessalure de la courbe typique de l'eau de transition par rapport aux deux autres jusqu'à l'immersion de l'isopycne  $\sigma_t = 26,75$ .

De part et d'autre de la bande d'eau de transition, les structures en présence peuvent être reconnues, outre la forme de leurs courbes T-S, par :

- les hautes teneurs en sels nutritifs et les basses teneurs en oxygène dissous des eaux d'origine nord-indienne,
- les basses teneurs en sels nutritifs et les hautes teneurs en oxygène dissous des eaux sud-indiennes originaires des convergences sub-tropicale et antarctique.

A l'ouest de  $54^\circ$  E, la « structure de transition » est très atténuée comme l'indiquent les courbes T-S de 3 stations du VAUBAN typiques des 3 structures présentes (fig. 2 b). En outre, la salinité dans cette zone de transition n'est simultanément inférieure à celle des deux autres que dans la couche limitée par les isopycnes 24,3 et 25,3. On notera enfin que la salinité de l'eau de la couche superficielle ne descend pas au-dessous de  $34,8\text{‰}$  à l'ouest de  $54^\circ$  E tandis qu'à l'est elle peut être inférieure à  $34\text{‰}$ . Cette zone de « transition atténuée » centrée sur  $10^\circ$  S n'est pas une région de formation d'une masse d'eau particulière et n'a pas ce caractère de « barrière infranchissable » pour les eaux venant du nord ou du sud, mais elle est un lieu de rencontre des principales masses d'eau de l'Océan Indien

dont les caractères physico-chimiques originaux sont « amortis » du fait de l'éloignement de leur lieu de formation.



### III. LES CARACTÉRISTIQUES DES EAUX DE L'OUEST DE L'Océan Indien SUD-ÉQUATORIAL.

La nomenclature utilisée par les principaux auteurs : SVERDRUP *et al.* (1942), IVANENKOV et GUBIN (1960), ROCHFORD (1966), IVANOV-FRANK-TSEVITCH (1968), KIMITSA (1968), SHCHERBININ (1969), STEPANOV (1969), WYRTKI (1971) manque d'uniformité. Leurs appellations ne se recouvrant jamais parfaitement, il a paru nécessaire de dresser le tableau complet des caractéristiques retenues par nous pour différencier les couches ayant une individualité suffisante; les parentés éventuelles de dénomination seront signalées ultérieurement. De 0 à 650 mètres de profondeur, de la côte africaine à

54° E et de 4° S à 16° S, on peut individualiser les couches suivantes :

1. l'eau de surface dessalée par le courant sud-équatorial,
2. l'eau de surface ayant conservé les hautes salinités de la mer d'Arabie,
3. l'eau sud-superficielle à maximum de salinité,
4. l'eau sub-superficielle à maximum d'oxygène,
5. la partie de l'eau intermédiaire influencée surtout par l'eau antarctique intermédiaire,
6. la partie de l'eau intermédiaire influencée surtout par l'eau de la mer d'Arabie.

Les caractéristiques de chaque type d'eau sont données tableau I :

TABLEAU I

Caractéristiques des différentes eaux de l'ouest de l'Océan Indien sud-équatorial

|   | T °C            | S ‰             | O <sub>2</sub> ml/l | PO <sub>4</sub> matg/m <sup>3</sup> | NO <sub>3</sub> matg/m <sup>3</sup> |
|---|-----------------|-----------------|---------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | >23,0           | <35,1           | >4,0                | <0,4                                | <5,0                                |
| 2 | >23,0           | >35,3           | >4,0                | <0,4                                | <5,0                                |
| 3 | 12,5 < T < 22,5 | >35,1           | <4,0                | 0,4 < PO <sub>4</sub> < 1,6         | >5,0                                |
| 4 | 9,0 < T < 12,5  | 34,8 < S < 35,1 | >4,0                | 0,9 < PO <sub>4</sub> < 1,6         | <25,0                               |
| 5 | <8,0            | <34,8           | >3,0                | >1,7                                | >25,0                               |
| 6 | <9,5            | >34,8           | <3,0                | >2,0                                | >30,0                               |

Si l'on délimite sur les coupes verticales des planches I à VII les contours à l'intérieur desquels les valeurs mesurées correspondent strictement à chaque ensemble précédemment défini (un par type d'eau), on obtient les schémas « h » de ces mêmes planches montrant les domaines d'extension de chaque eau. Ces schémas indiquent que la seule couche continue de part et d'autre de 10° S sur toutes les coupes présentées est celle de l'eau de la couche sub-superficielle à maximum de salinité du type 3. Pour les autres, la latitude 10° S est la plupart du temps une frontière pour les influences provenant du nord comme du sud. Cette frontière coïncide généralement avec le sommet du dôme des isopycnes sub-superficielles (coupes « c » des planches I à VII).

### IV. RÉPARTITION DES MASSES D'EAU.

*La Couche superficielle.* — Les deux masses d'eau en présence se différencient par leur salinité : eau

dessalée (<35,1 ‰) du courant sud-équatorial, eau à plus haute salinité (> 35,3 ‰) venant de la mer d'Arabie et dont l'extension vers le sud d'après PRON *et al.* (sous presse) est variable selon les années (jusqu'à 11° S-12° S sur la coupe IV, b, novembre 1971). Le front de salinité qui les sépare est plus ou moins net, plus flou près de la côte africaine (coupes I b et II b), où aboutit le courant sud-équatorial, qu'à l'est de 47° E.

Ces deux masses d'eau ont une épaisseur de 50 à 100 mètres et sont transportées par le courant sud-équatorial et le contre-courant équatorial. La limite entre ces deux courants est à 6°30' S à 45° E (coupe III), à 6° S à 48°30' E (coupe V), et vers 10° S sur les coupes VI et VII. Ailleurs, il n'apparaît pas de limite nette bien que d'après CITEAU *et al.* (1973), elle soit entre 5° S et 10° S quelle que soit la saison (mousson du nord-est ou mousson du sud-ouest) dans l'ensemble de la région étudiée. Cette limite correspond à une divergence des courants de surface qui se traduit par un dôme des isoplèthes

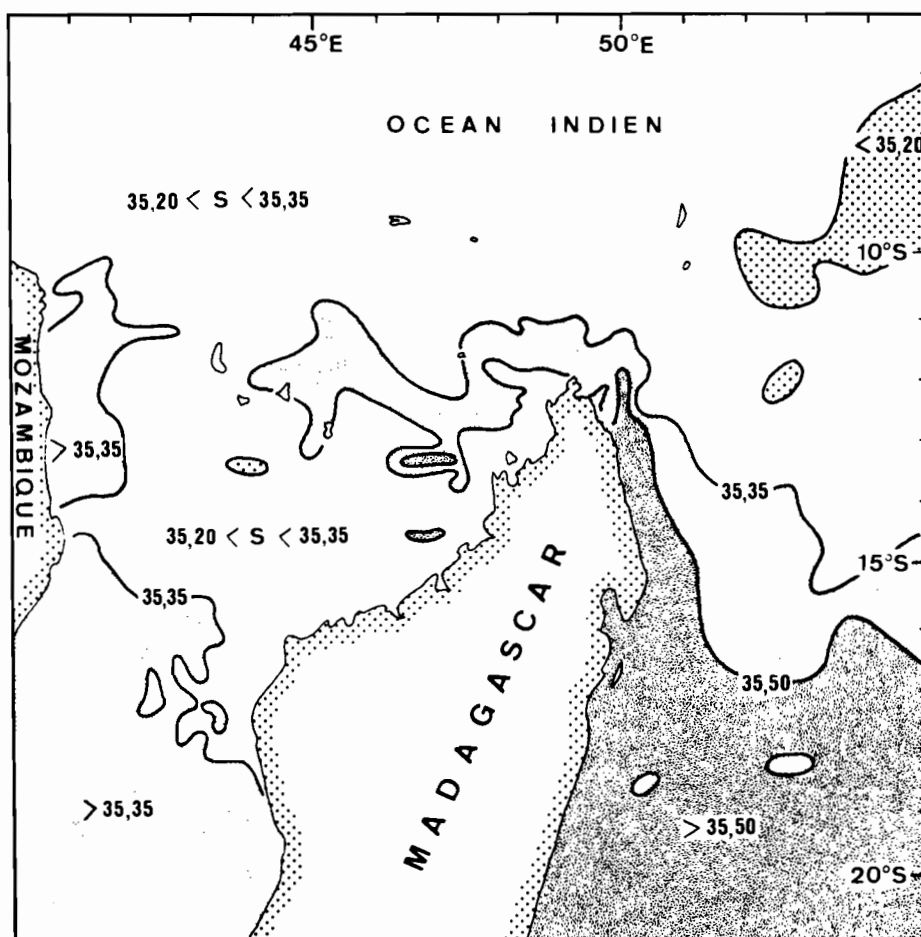


Fig. 3. — Distribution horizontale du maximum de salinité de la couche subsuperficielle.

de sels nutritifs en particulier (planches I à VII) avec enrichissement de la partie inférieure de la couche superficielle.

*La Couche à maximum de salinité.* — Elle se caractérise par une salinité supérieure à 35,1 ‰ et un minimum d'oxygène inférieur à 4,0 ml/l. D'après SHCHERBININ (1969), l'eau qui la compose « doit apparemment son origine à des processus très compliqués de mélange entre les eaux adjacentes à la zone de transition ». Pour WYRTKI (1971), deux masses d'eau contribuent à la formation de la couche à maximum de salinité : « l'eau de surface du vortex subtropical sud et l'eau de surface de la mer d'Arabie qui se rencontrent vers 10° S, région où le maximum de salinité est atténué par l'influence du courant sud-équatorial ».

La carte de la figure 3 montre la répartition de la salinité dans le maximum de la couche subsuperficielle. En fait, si l'on se rapporte à la répartition verticale, on constate que dans la partie nord de

la région étudiée, le maximum de salinité que l'on suit jusqu'à 4° S sur la coupe V b peut être « caché » par la salinité élevée de l'eau superficielle descendant vers le sud (PITON *et al.*, sous-*presse*) jusqu'à 11° S (Coupe IV b). Dans ce cas, il est soit en surface soit très proche de la surface. La basse salinité du courant équatorial ne l'atténue très nettement qu'à l'est de 52° E où il est inférieur à 35,2 ‰ (fig. 3)

Par contre, cette carte fait apparaître, accolée à la pointe nord-est de Madagascar, une langue de salinité renforcée ( $> 35,35$  ‰) qui se prolonge de façon discontinue à 12° S jusqu'à la côte africaine. A l'ouest de Madagascar, cette salinité supérieure à 35,35 ‰ est associée à une température et à une concentration de l'oxygène dissous plus élevées et à des teneurs en nitrate et en phosphate plus basses que celles des eaux immédiatement contiguës au nord ou au sud; ces dernières ne peuvent donc être responsables de ces anomalies. Il est par contre possible de relier les valeurs des paramètres physico-



chimiques de ce noyau salé à celles de l'eau « tropicale de surface », au sens de KIMITSA (1968), passée en subsurface vers 20° S, et dont le maximum de salinité supérieur à 35,3 ‰ peut s'observer sur la coupe VI b jusqu'à 11°30' S. Cette eau, de caractéristiques approximatives :

$$\begin{aligned} S &> 35,35 \text{ ‰} \\ 15,3^\circ \text{ C} &< T < 16,8^\circ \text{ C} \\ 7 \text{ matg/m}^3 &< \text{NO}_3 < 12 \text{ matg/m}^3 \\ 3,5 \text{ ml/l} &< \text{O}_2 < 4,5 \text{ ml/l} \\ 0,6 \text{ matg/m}^3 &< \text{PO}_4 < 1,0 \text{ matg/m}^3 \end{aligned}$$

peut être entraînée vers l'ouest dans la frange sud du courant sud-équatorial lorsque celui-ci déborde le cap d'Ambre et faire sentir son influence le long de 12° S, vers 190-250 m de profondeur jusqu'à la côte africaine, dans la couche de densité  $25,8 < \sigma_t < 26,1$  (Tableau II).

La carte de la figure 4 montre l'extension du minimum relatif du nitrate (teneurs inférieures à 10 matg/m<sup>3</sup>) associé à ce maximum de salinité.

Mais ce cheminement de l'eau tropicale venant de l'est de Madagascar n'est peut-être pas le seul

TABLEAU II

Observations caractéristiques dans la bande de diffusion de l'eau tropicale venant de l'est de Madagascar, de 50° E à 40° E

| Campagnes           | Code NODC 55 | N° Stations | Longi-tude | Latitude | Mois | Année | Zm  | NO <sub>3</sub> matg/m <sup>3</sup> | PO <sub>4</sub> matg/m <sup>3</sup> | O <sub>2</sub> ml/l | T °C  | S ‰   | $\sigma_t$ |
|---------------------|--------------|-------------|------------|----------|------|-------|-----|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------|-------|-------|------------|
| <i>Tromelin</i>     | 0012         | 31          | 50°17' E   | 12°46' S | 2    | 1971  | 244 | 8,06                                | 0,69                                | 4,07                | 16,49 | 35,51 | 26,05      |
| <i>Tromelin</i>     | 0012         | 32          | 49°54' E   | 12°07' S | 2    | 1971  | 197 | 8,98                                | 0,69                                | 4,00                | 16,81 | 35,50 | 25,96      |
| <i>Seychelles I</i> | 0019         | 2           | 49°44' E   | 11°26' S | 4    | 1972  | 186 | 7,92                                | 0,68                                | 4,45                | 16,42 | 35,47 | 26,03      |
| <i>Ambre I</i>      | 0014         | 3           | 48°55' E   | 11°40' S | 5    | 1971  | 195 | 9,41                                |                                     | 4,07                | 16,59 | 35,43 | 25,96      |
| <i>Équateur</i>     | 0011         | 2           | 48°23' E   | 11°30' S | 12   | 1970  | 227 | 9,01                                | 0,69                                | 3,96                | 17,22 | 35,43 | 25,81      |
| <i>B P T L 2</i>    | 0006         | 40          | 47°18' E   | 12°35' S | 3    | 1970  | 200 | 7,00                                |                                     | 3,98                | 16,77 | 35,44 | 25,93      |
| <i>Ambre II</i>     | 0016         | 1           | 47°17' E   | 13°00' S | 11   | 1971  | 215 | 11,93                               | 0,85                                | 3,56                | 16,30 | 35,35 | 25,97      |
| <i>Monbassa</i>     | 0013         | 3           | 45°00' E   | 11°48' S | 3    | 1971  | 234 | 9,24                                | 0,76                                | 4,11                | 16,75 | 35,43 | 25,92      |
| <i>Monbassa</i>     | 0013         | 33          | 43°57' E   | 12°00' S | 3    | 1971  | 243 | 7,80                                | 0,55                                | 4,01                | 16,57 | 35,45 | 25,98      |
| <i>Monbassa</i>     | 0013         | 30          | 41°30' E   | 11°29' S | 3    | 1971  | 247 | 9,36                                | 0,75                                | 4,17                | 15,89 | 35,42 | 26,11      |
| <i>Delgado I</i>    | 0017         | 12          | 40°56' E   | 11°28' S | 2    | 1972  | 219 | 11,52                               | 0,98                                | 3,68                | 16,55 | 35,39 | 25,94      |

facteur qui provoque l'apparition des noyaux à salinité renforcée de l'axe 12° S. En effet, dans le cas d'une grande extension vers le sud d'une eau superficielle très salée (jusqu'à 35,5 ‰), ce que l'on observe quelquefois, on peut noter des indices de plongées de cette eau nord-équatoriale de surface dans une couche de densité voisine de  $\sigma_t = 25,50$ . Sur la coupe IV b par exemple, l'eau à 9° S et 96 m d'immersion (St. 9) a presque les mêmes caractéristiques (Tableau III) que celle à 13° S et 182 m (St. 1); l'eau du noyau salé à 12-13° S peut donc dériver de l'eau subsuperficielle salée ( $S > 35,35 \text{ ‰}$ ) située à 9° S.

L'interprétation du paragraphe qui attribuait l'origine de ce noyau à un entraînement d'eau tropicale provenant de l'est du Cap d'Ambre est donc à nuancer à la lumière de cette possibilité, les deux processus pouvant concourir à créer la situation observée.

En dehors de ces noyaux particuliers, les influences respectives de l'eau venant du nord (pauvre en oxygène, riche en sels nutritifs) et celle venant du sud (riche en oxygène, pauvre en sels nutritifs) peuvent être considérées comme s'arrêtant à la latitude où le gradient horizontal des sels nutritifs est le plus grand; cette limite se repère aisément

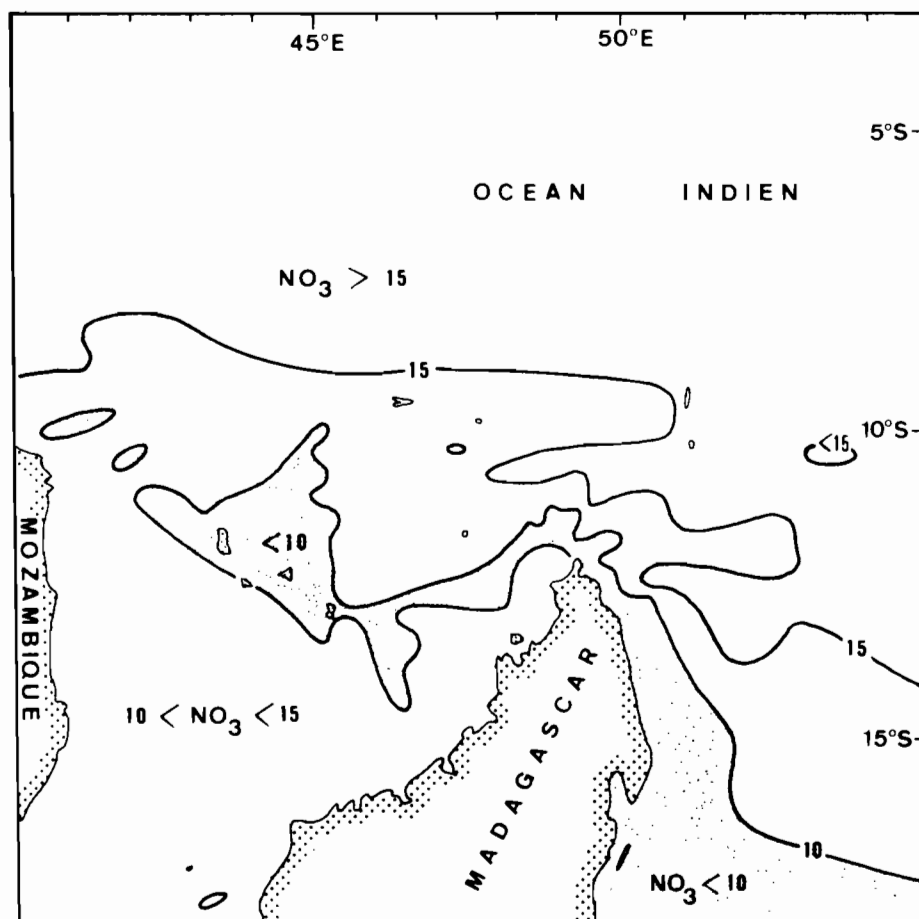


Fig. 4. — Distribution horizontale de la teneur en nitrate de l'eau à maximum de salinité subsuperficielle.

TABLEAU III

Caractéristiques physico-chimiques de l'eau subsuperficielle à 2 stations (Croisière « *AMBRE II* »)COUPE IV — CROISIÈRE « *AMBRE II* » — Novembre 1971

|                | Zm  | T °C  | S ‰   | $\sigma_t$ | O <sub>2</sub> ml/l | PO <sub>4</sub> -P<br>matg/m <sup>3</sup> | NO <sub>3</sub> -N<br>matg/m <sup>3</sup> |
|----------------|-----|-------|-------|------------|---------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Station 9..... | 96  | 18,38 | 35,35 | 25,46      | 3,44                | 0,83                                      | 13,4                                      |
| Station 1..... | 182 | 18,04 | 35,33 | 25,53      | 3,37                | 0,79                                      | 11,7                                      |

sur les coupes verticales par la très grande pente de l'isoplethe 15 matg/m<sup>3</sup> NO<sub>3</sub>-N.

*La Couche subsuperficielle à maximum d'oxygène.* — Cette couche inclut l'eau centrale indienne (SVERDRUP *et al.*, 1942) baptisée également eau subtropicale subsuperficielle (KIMITSA, 1968) ou eau du maximum d'oxygène subtropical (ROCHFORD, 1966 et WYRTKI,

1971). Elle correspond à la partie linéaire de la courbe T-S entre le maximum subsuperficiel et le minimum intermédiaire de la salinité (DONGUY et PIRON, 1969); la salinité de cette eau est comprise entre 34,8 ‰ et 35,1 ‰. Sa teneur en oxygène est supérieure à 4 ml/l et le maximum d'oxygène est lié de façon étroite à l'isopycne 26,8 (fig. 5).

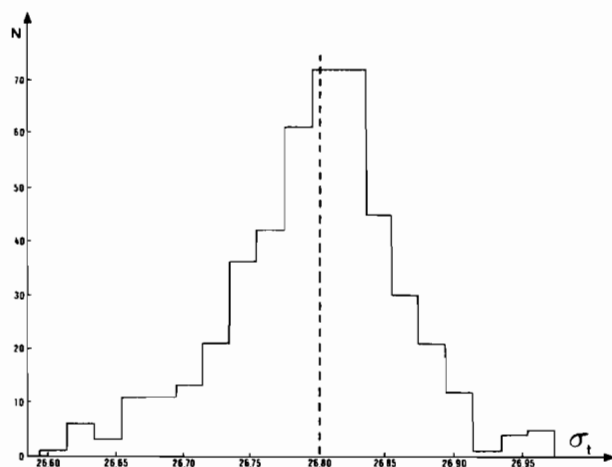


Fig. 5. — Fréquence des valeurs de  $\sigma_t$  associées au maximum d'oxygène de l'eau centrale Indienne (stations du VAUBAN).

Pour IVANOV-FRANKTSEVITCH (1960), ce maximum d'oxygène originaire du sud persiste, bien qu'inférieur à 4 ml/l, jusqu'à 2° S dans la partie occidentale de l'océan Indien alors que dans sa partie centrale on ne le trouve pas au nord de 9° S. La répartition

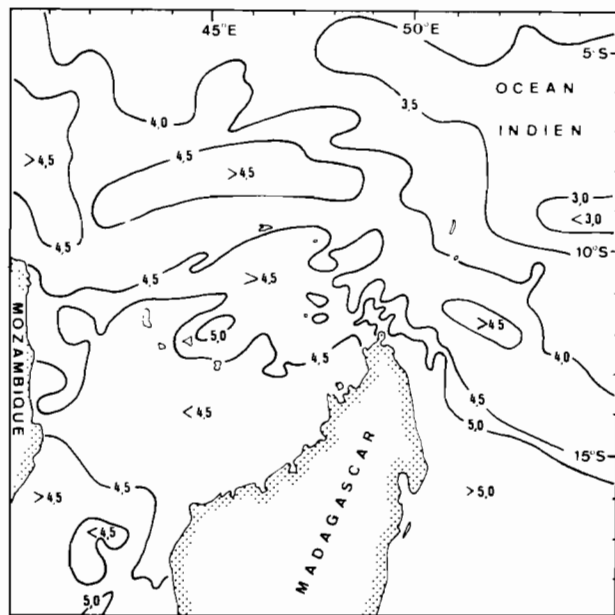


Fig. 6. — Distribution horizontale de l'oxygène dans le maximum de l'eau centrale Indienne.

de l'oxygène dans la zone étudiée confirme cette dissymétrie entre l'est et l'ouest : dans le nord du canal de Mozambique (Coupes I d à V d) la valeur du maximum d'oxygène diminue légèrement de 4,5 ml/l en moyenne vers 14-15° S jusqu'à 4 ml/l vers 5-6° S; par contre, dans l'est de Madagascar, à 52° E, elle s'atténue rapidement (Coupe VI d et VII d) de 5,0 ml/l à 3,5 ml/l en moins de 5° de latitude. Mais le socle malgache introduit une perturbation supplémentaire dans la répartition horizontale de l'oxygène : comme on peut le voir sur la figure 6, on trouve encore des teneurs en oxygène supérieures à 5 ml/l le long de la côte nord-est de Madagascar jusqu'au large du Cap d'Ambre; ce mouvement de débordement du Cap d'Ambre par l'eau centrale riche en oxygène enrichit l'eau du nord du canal de Mozambique dans la bande 11° S-13° S. La distribution de l'eau centrale indienne à ce niveau ressemble donc à celle de l'eau tropicale au niveau du maximum de salinité subsuperficiel.

*La Couche intermédiaire.* — Dans la partie inférieure de la couche d'eau centrale indienne, le gradient vertical de tous les paramètres est très atténué de sorte que l'assignation d'une limite inférieure à cette couche est forcément arbitraire. On peut toutefois distinguer, au niveau 550-600 mètres, l'influence de l'eau antarctique intermédiaire de celle de l'eau de la mer d'Arabie, la première étant relativement moins salée, plus froide, plus riche en oxygène, moins riche en nitrate et en phosphate que la seconde.

Avec les critères adoptés dans le tableau 1, les limites des influences de ces deux eaux (coupes « h » des planches I à VII) se situent presque toujours vers 10° S, à une profondeur de 600-650 mètres.

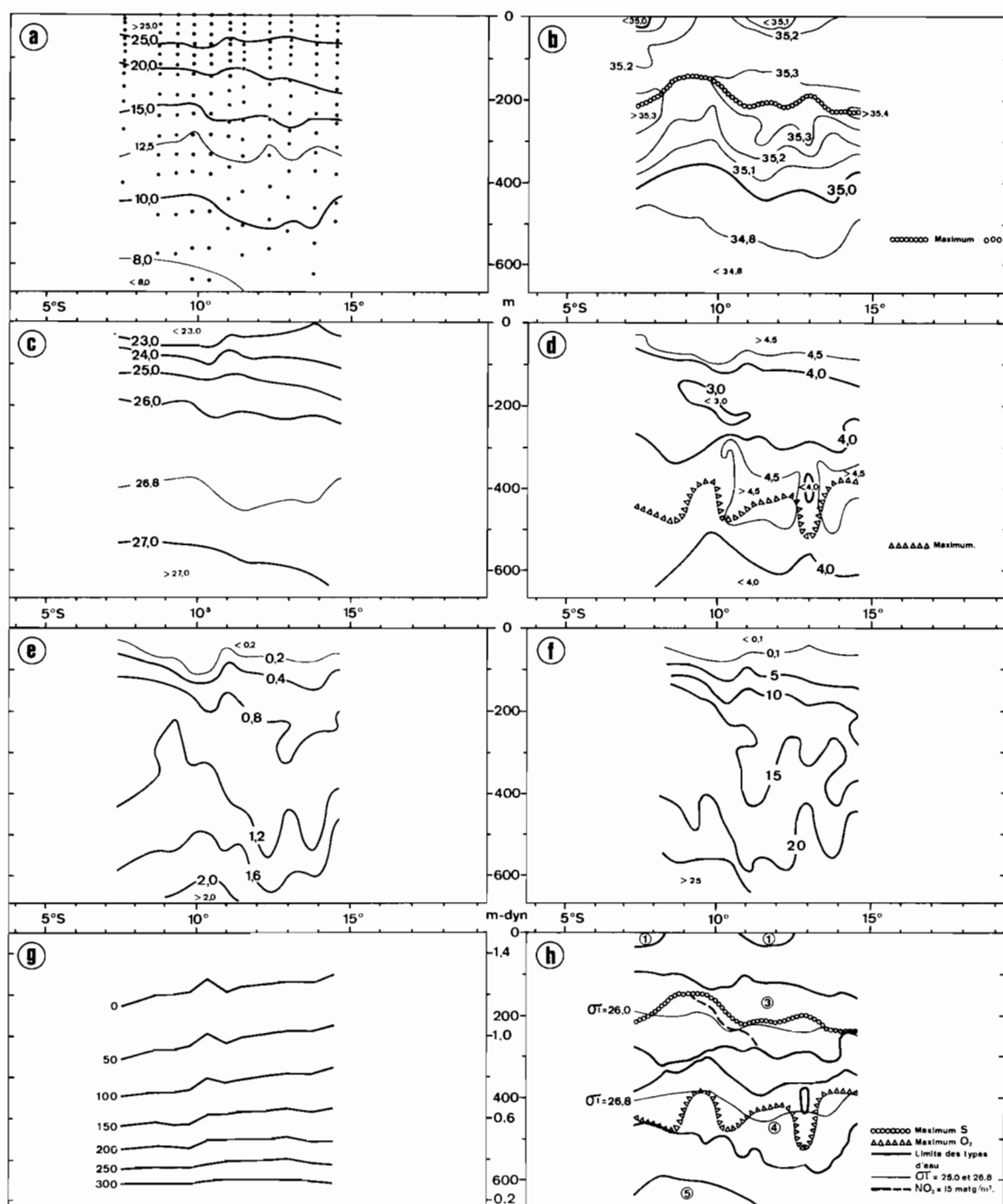
## V. CONCLUSION.

La dessalure provoquée à 10° S dans tout l'océan Indien central par l'eau du courant sud-équatorial n'est que faiblement ressentie à l'ouest. Par contre, la couche de 100-500 m est influencée par deux eaux sud-tropicales qui remontent, à des profondeurs différentes, le long de la côte nord-est de Madagascar et sont ensuite entraînées à l'ouest du Cap d'Ambre le long du parallèle 12° S.

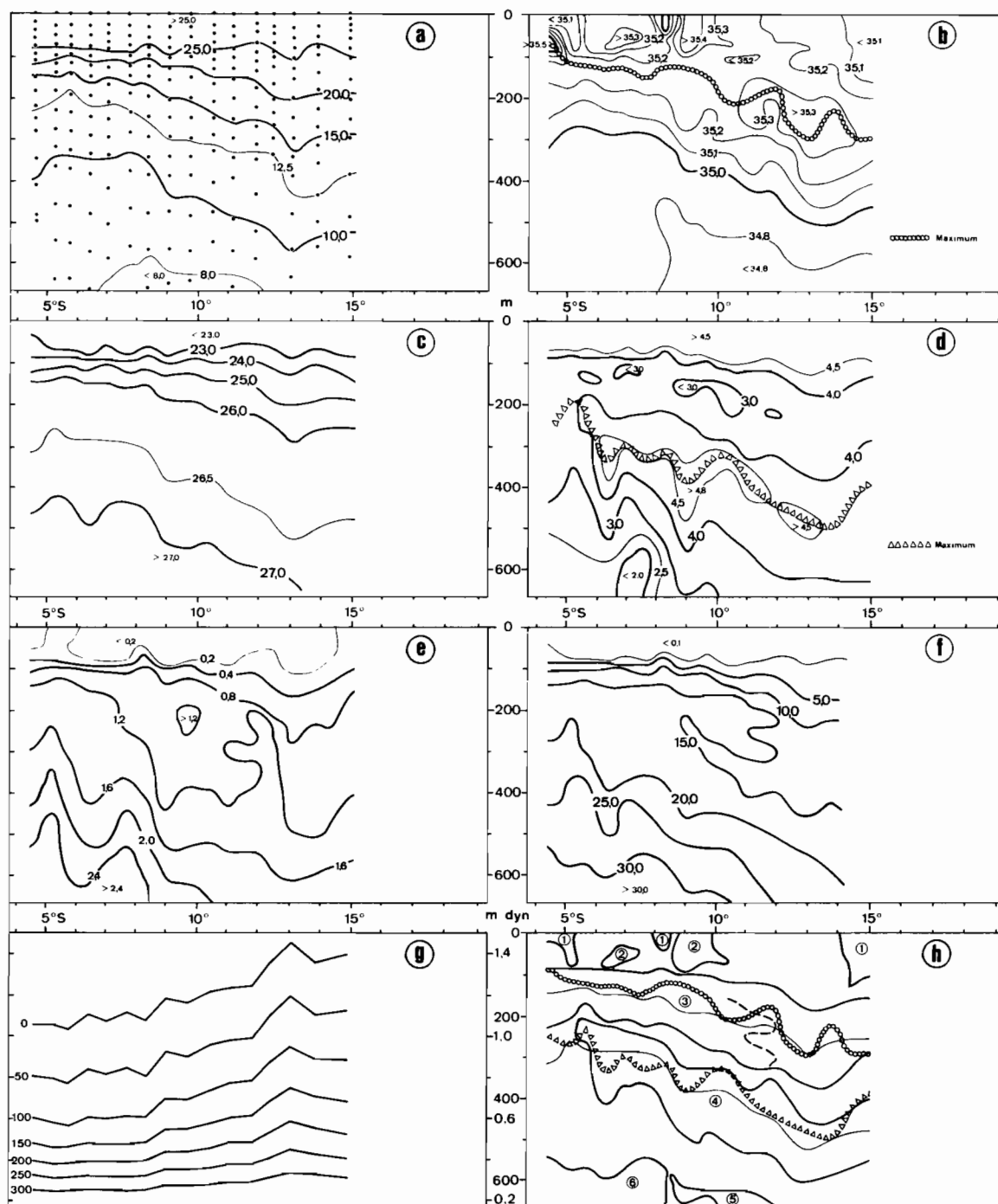
*Manuscrit reçu au S.C.D. le 3 juillet 1974*

## BIBLIOGRAPHIE

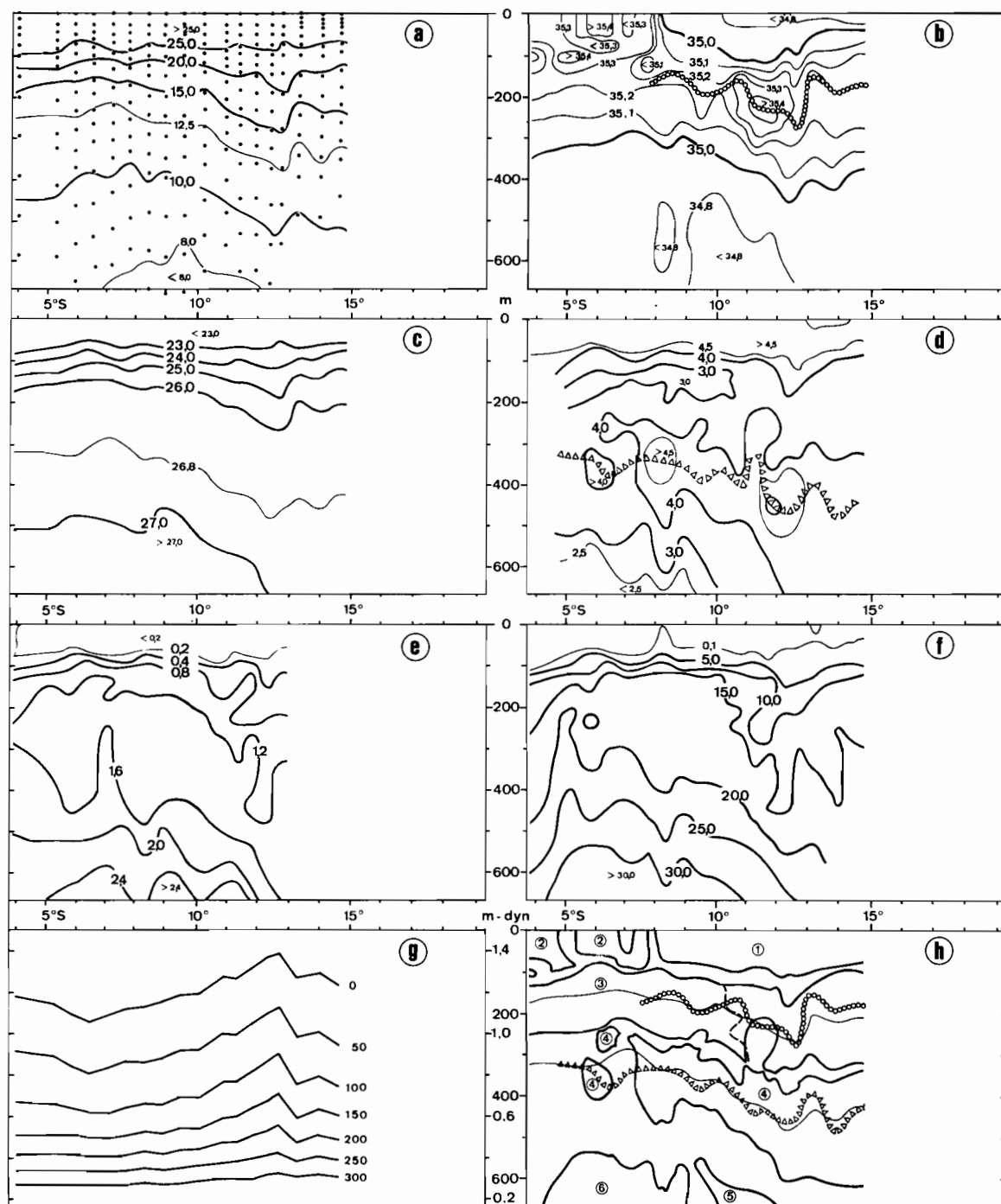
- CITEAU (J.), PITON (B.), MAGNIER (Y.), 1973. — Sur la circulation géostrophique dans l'ouest de l'Océan Indien sud-équatorial. Centre O.R.S.T.O.M. de Nosy-Bé, doc. 31 (*multigr.*).
- DONGUY (J.-R.), PITON (B.), 1969. — Aperçu des conditions hydrologiques de la partie nord du canal de Mozambique. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*, vol. 7, n° 2 : 3-26.
- IVANENKOV (V. N.), GUBIN (F. A.), 1960. — Water masses and hydrochemistry of the western and southern parts of the Indian ocean. *Trans. Mar. Hydrophysical Inst.*, vol. 22 : 33-115.
- IVANOV-FRANTSKEVITCH (G. N.), 1966. — Some features of hydrological structure and of the water masses in the Indian ocean. *Okeanol. Issled.*, n° 4 : 7-17.
- KIMITSA (V. A.), 1968. — On water masses and hydrochemistry of the Mozambique strait. *Okeanol. Issled.*, n° 19 : 180-188.
- MAGNIER (Y.), PITON (B.), 1973. — Les masses d'eau de l'océan Indien à l'ouest et au nord de Madagascar au début de l'été austral (novembre-décembre). *Cahiers O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*, vol. 11, n° 1 : 97-113.
- PITON (B.), MAGNIER (Y.), sous presse. — Remarques sur la circulation et les caractéristiques hydrologiques de la couche superficielle entre Madagascar et l'équateur. *Cahiers O.R.S.T.O.M., série Océanogr.*
- ROCHFORD (D. I.), 1966. — Source regions of oxygen maxima in intermediate depths of the Arabian sea. *Austr. J. Mar. Fresh. Res.*, vol. 17, n° 1 : 1-30.
- SHCHERBININ (A. O.), 1969. — Water structure of the equatorial Indian Ocean. *Okeanologiya*, vol. 9, n° 4 : 597-607.
- STEPANOV (V. N.), 1969. — General classification of the water masses of the world ocean their formation and transport. *Okeanologiya*, vol. 9, n° 5 : 755-766.
- SVERDRUP (H. U.), JOHNSON (M. W.), FLEMING (R. H.), 1942. — The oceans, their physics, chemistry and general biology. Prentice Hall, Inc. New York, 1087 p.
- TCHERNIA (P.), 1951. — La structure hydrologique de l'océan Indien d'après les observations faites à bord du « Commandant CHARCOT » en 1949 et 1950. *Bull. Inf. COEC*, année III, n° 10 : 422-432.
- TCHERNIA (P.), LACOMBE (H.), GUIBOUT (P.), 1958. — Sur quelques nouvelles observations hydrologiques relatives à la région équatoriale de l'océan Indien. *Bull. Inf. COEC*, année X, n° 3 : 115-143.
- WYRTKI (K.), 1971. — Oceanographic atlas of the International Indian Ocean Expedition. National Sci. Found., Washington, 531 p.



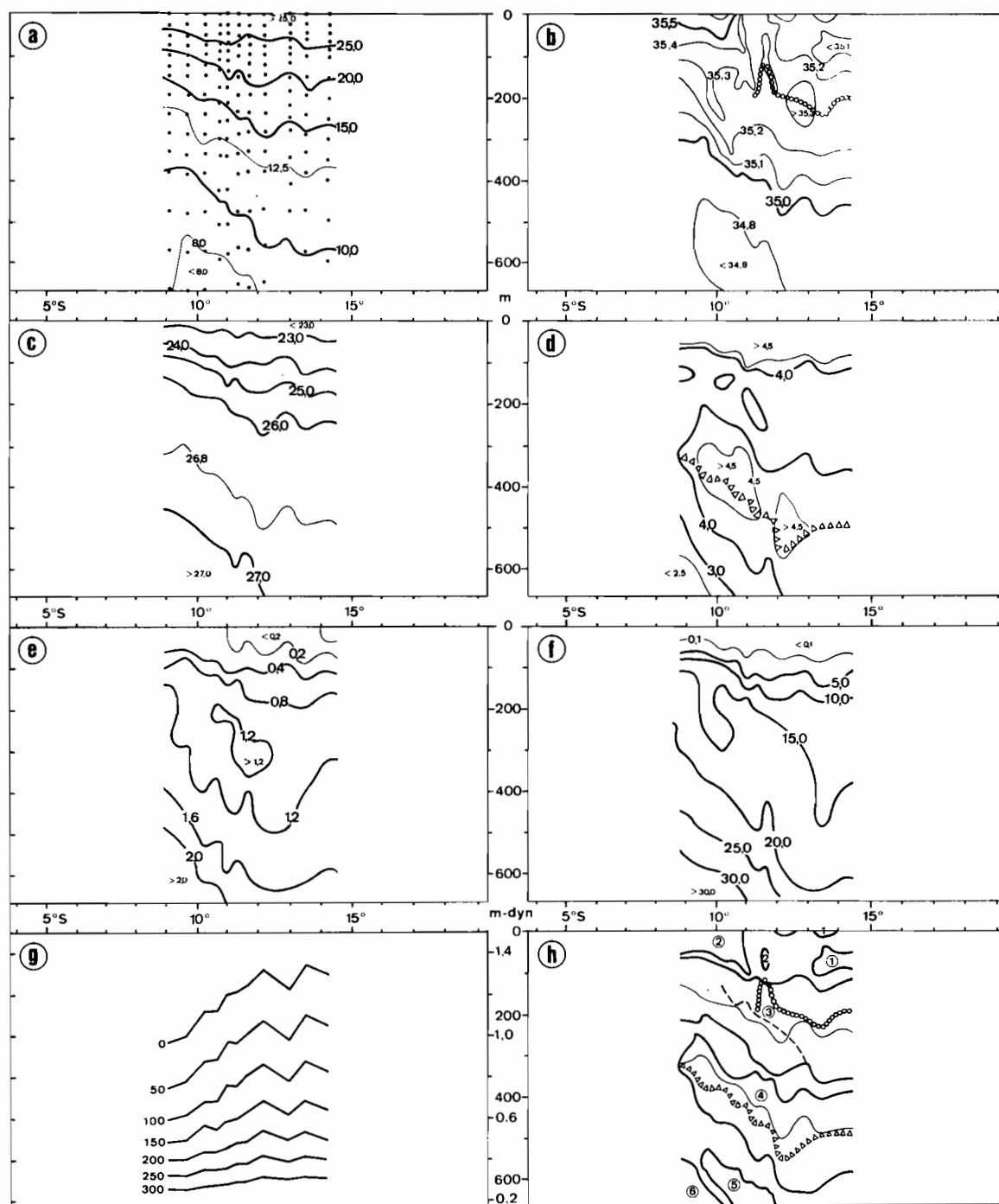
Pl. 1. — Distribution verticale le long de la coupe 1, a) de la température, b) de la salinité, c) de la densité, d) des teneurs en oxygène dissous, e) des teneurs en phosphate, f) des teneurs en nitrate ; hauteurs dynamiques à 0,50, 100, 150, 200, 250, et 300 mètres par rapport à 500 décibars (g) et extension des différentes masses d'eau (h).



Pl. II. — Distribution verticale, le long de la coupe II.

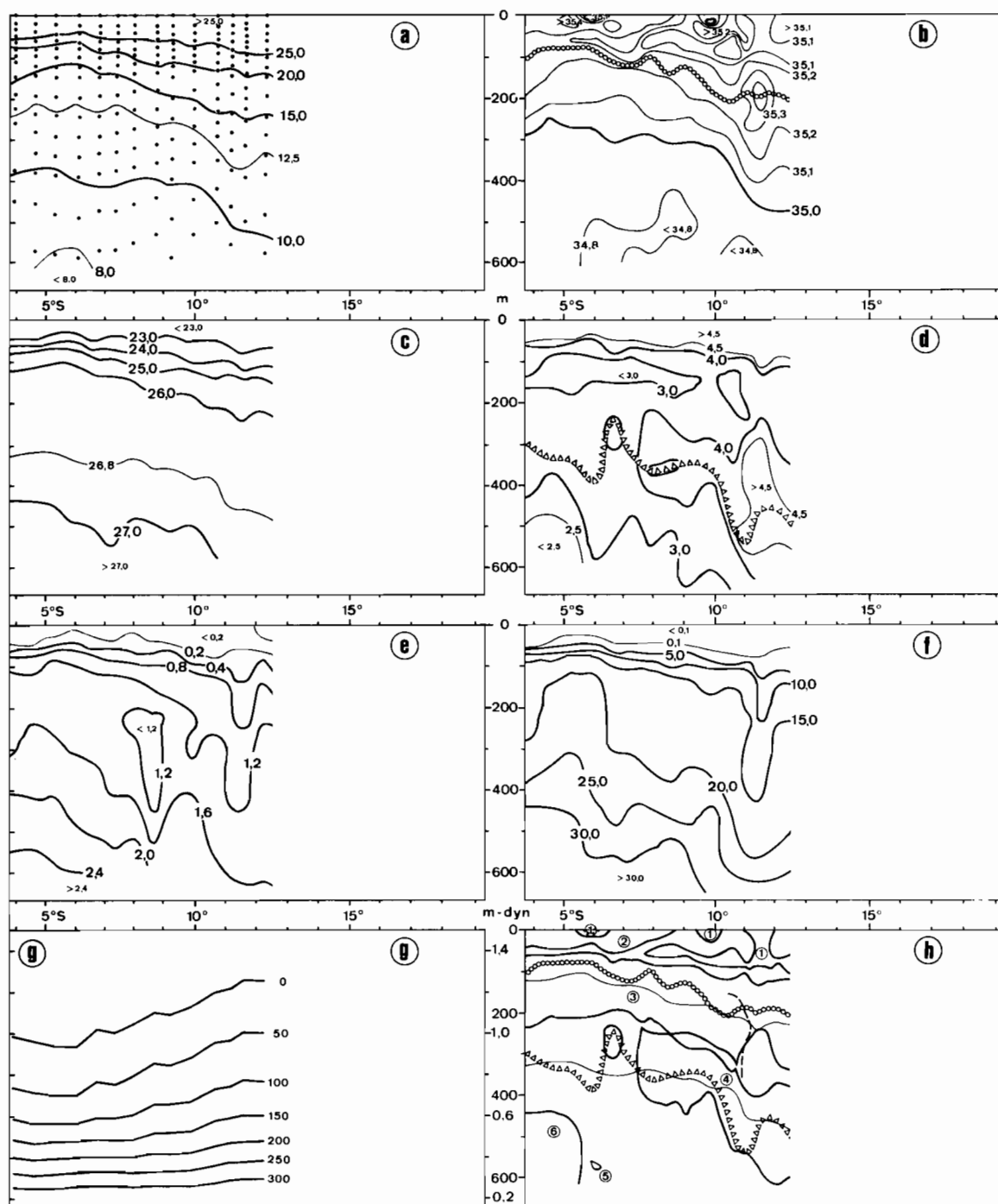


Pl. III. — Distribution verticale, le long de la coupe III.

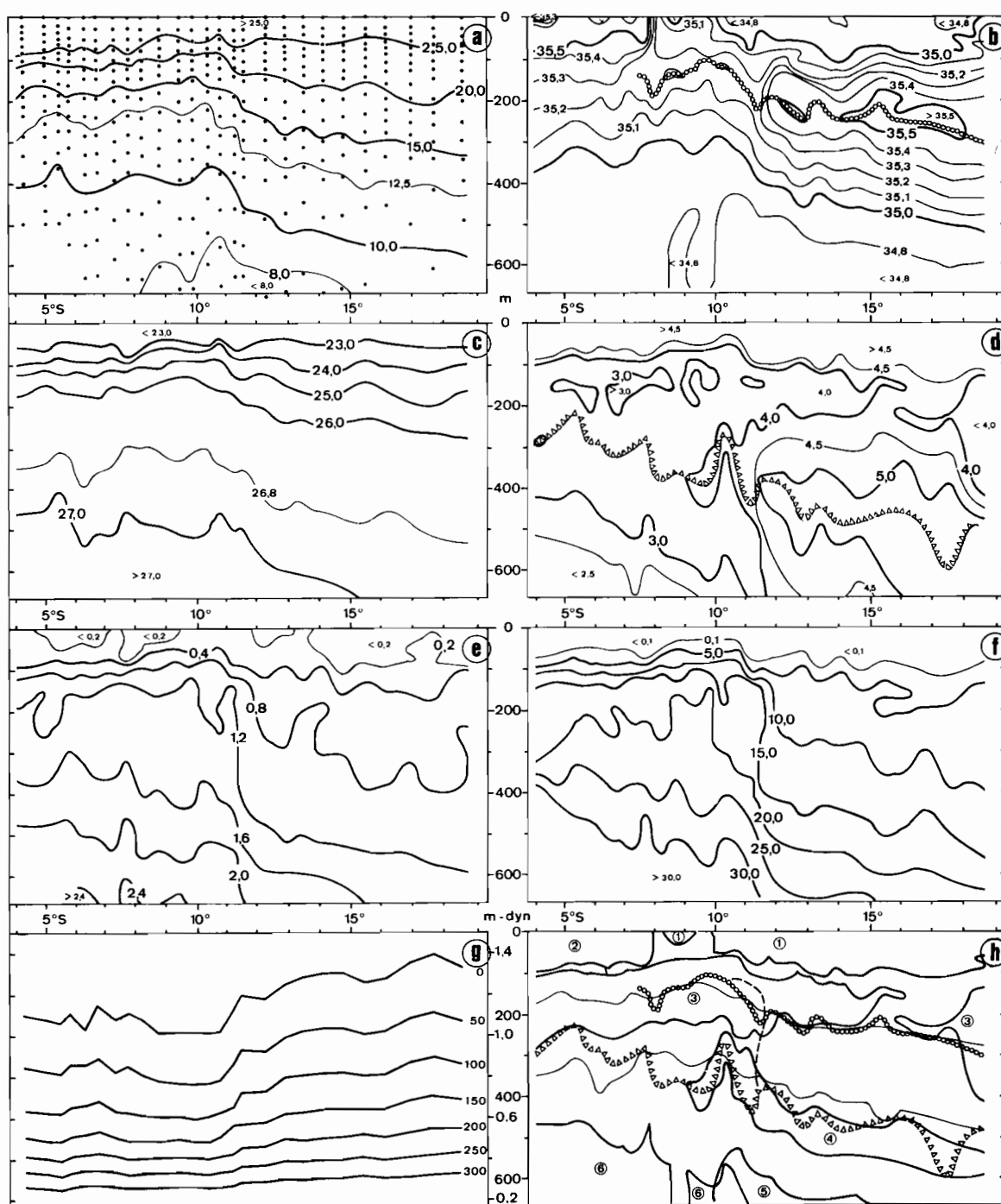


Pl. IV, — Distribution verticale, le long de la coupe IV.

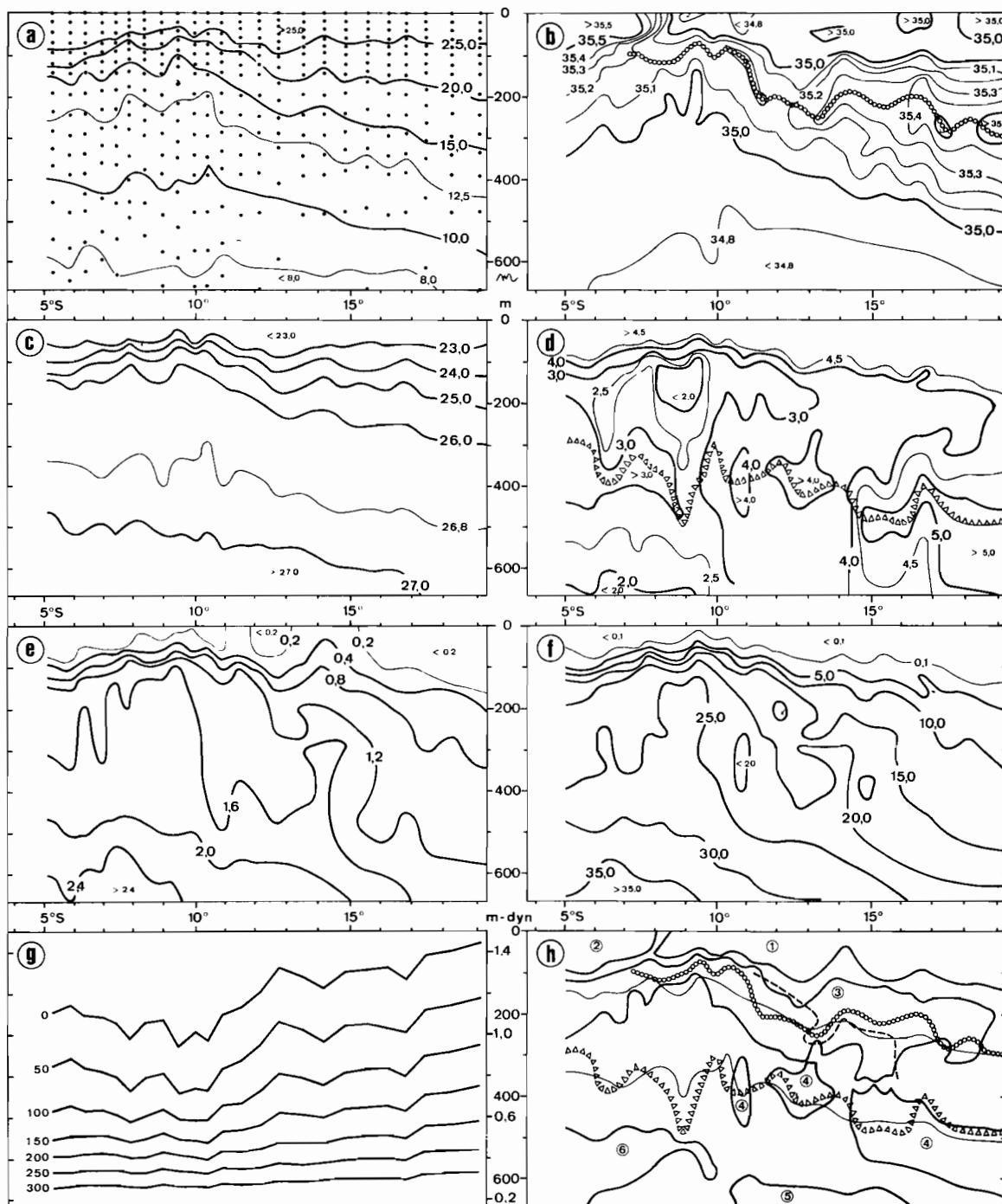




Pl. V. — Distribution verticale, le long de la coupe V.



PI. VI. — Distribution verticale, le long de la coupe VI.



Pl. VII. — Distribution verticale, le long de la coupe VII.



# LES PRINCIPAUX ASPECTS DE LA DESSALURE DES EAUX SUPERFICIELLES DU PACIFIQUE TROPICAL SUD-OUEST

J. R. DONGUY, C. HENIN, F. ROUGERIE

*Océanographes de l'O.R.S.T.O.M., Centre de Nouméa - BP. A5 - Nouméa-Cedex*

## RÉSUMÉ

*Dans le Pacifique tropical sud-ouest, l'eau dessalée a deux origines : la partie occidentale du Pacifique et le nord-est de la Polynésie. Elle est généralement formée dans des zones où les précipitations sont fortes, puis transportée par advection zonale ; cependant la zone dessalée située au nord de la Polynésie pourrait aussi être alimentée par l'advection méridienne de l'eau boréale à travers l'équateur.*

## ABSTRACT

*In the south-western tropical Pacific, the desalted water has two origins : the western part of the Pacific Ocean and the north of Polynesia. The desalted water is usually generated in areas where rainfall is strong, and then carried away by zonal advection ; however, the desalted area located north of Polynesia could also be supplied by meridian advection through the equator.*

## I. INTRODUCTION.

Les données océanographiques concernant le Pacifique sud sont rares car il a peu bénéficié, contrairement au Pacifique nord, des travaux entrepris par les nations à forte vocation maritime que sont le Japon, les États-Unis et l'U.R.S.S. D'après SVERDRUP *et al.* (1942), le Pacifique sud-ouest est la zone de contact entre l'eau subtropicale salée formée dans le Pacifique central au sud des îles Tuamotu et l'eau dessalée provenant de la bordure occidentale du Pacifique. REID (1969) a dressé deux cartes saisonnières des salinités superficielles de tout le Pacifique : l'une à l'aide d'observations faites de novembre à avril (été austral), l'autre à l'aide d'observations faites de mai à octobre (hiver austral). Elles montrent qu'en été le prin-

cipal gradient horizontal se trouve entre 180° et 160° W alors qu'en hiver il est situé plus à l'ouest entre 170° E et 180°. L'isohaline 36,0 ‰, dont le tracé peut être considéré comme une schématisation de l'extension de l'eau subtropicale, atteint 10° S et 170° W en hiver ; plus à l'ouest, le maximum de salinité a tendance à se scinder en deux parties dont la principale est située au sud de 15° S.

## II. LES DEUX ZONES DESSALÉES DU PACIFIQUE SUD-OUEST.

Aux croisières américaines faites de 1950 à 1960 a succédé, dans le Pacifique sud-ouest, un gros effort de recherche fourni par les océanographes du

CSIRO (Australie) et du Centre O.R.S.T.O.M. de Nouméa. Les nouvelles observations apportent un complément efficace aux schémas existants. C'est ainsi qu'a été établie (fig. 1) la carte des salinités superficielles moyennes avec les données déjà utilisées en grande partie par REID (*op. cit.*), dont on a pris la moyenne le long des méridiens  $174^{\circ}$  W,  $167^{\circ}$  W,  $160^{\circ}$  W,  $153^{\circ}$  W,  $140^{\circ}$  W,  $132^{\circ}$  W et que l'on a complétées par celles fournies entre 1966 et 1968 par les croisières du N.O. *CORIOLIS* aux longitudes  $170^{\circ}$  E et  $180^{\circ}$ . Sur cette carte, limitée à  $170^{\circ}$  E à l'ouest, à  $130^{\circ}$  W à l'est et à  $20^{\circ}$  S au

sud, on distingue deux zones dessalées : l'une, à l'ouest, atteint  $170^{\circ}$  W ; l'autre, au nord-est, beaucoup moins étendue, atteint  $155^{\circ}$  W. D'après MERLE, ROTSCHI, VOITURIEZ (1969), la zone dessalée occidentale est associée à la présence du contre-courant équatorial sud dont la largeur peut dépasser plusieurs degrés de latitude à  $170^{\circ}$  E ; les eaux de faible salinité seraient donc entraînées vers l'est jusqu'à la masse subtropicale plus salée. Dans la zone de contact, de nouvelles données étaient nécessaires pour combler le vide qui apparaît entre  $180^{\circ}$  et  $160^{\circ}$  W.

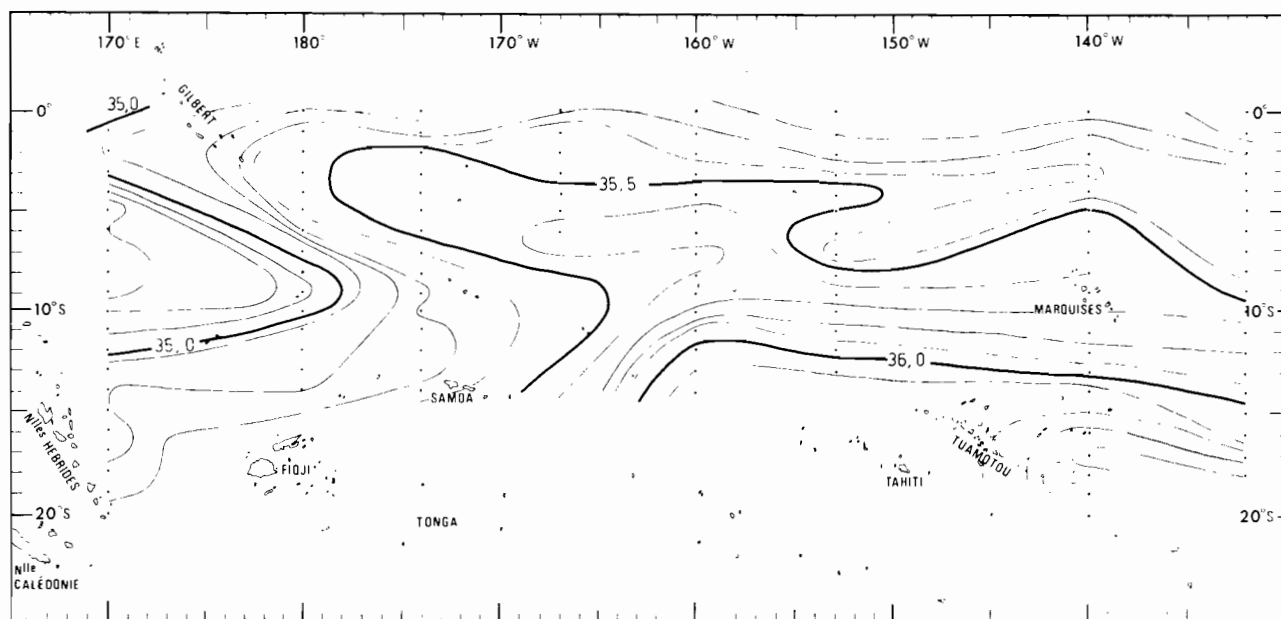


Fig. 1. — Salinité moyenne superficielle dans le Pacifique tropical sud évaluée le long des méridiens  $170^{\circ}$  E,  $180^{\circ}$ ,  $174^{\circ}$  W,  $160^{\circ}$  W,  $153^{\circ}$  W,  $140^{\circ}$  W et  $132^{\circ}$  W.

Le N.O. *CORIOLIS* a donc effectué en juin-juillet 1970 la croisière *DANAÏDES* de  $6^{\circ}$  S à  $20^{\circ}$  S et de  $177^{\circ}$  W à  $164^{\circ}$  W. La distribution superficielle de la salinité (fig. 2) obtenue pendant cette croisière et complétée par les observations faites un mois plus tard à  $167^{\circ}$  E (croisière *ÉPONITE*) ressemble à la distribution des salinités moyennes (fig. 1) : les zones dessalées ont une forme semblable et les minima de salinité sont à peu près à la même latitude. De même, les renseignements apportés par les croisières *STYX* et *BURTON ISLAND* de la Scripps Institution of Oceanography (fig. 3) faites en 1968 à peu près à la même saison que la croisière *DANAÏDES*, révèlent un champ de salinité superficielle présentant une grande similitude avec le tracé de la figure 2. Cependant, la zone dessalée, pendant la croisière *DANAÏDES*, apparaît beaucoup

plus étendue que sur la carte de distribution moyenne des salinités superficielles (fig. 1) et que sur celle de la distribution des salinités superficielles des croisières *STYX* et *BURTON ISLAND* (fig. 3). En début d'hiver austral, les valeurs mesurées sont aussi basses que celles indiquées par REID (*op. cit.*) pour l'été austral. D'après la topographie dynamique de la surface de la mer relative à 1000 décibars de la croisière *DANAÏDES* (DONGUY, HENIN, JARRIGE, ROUGERIE, 1974), la partie méridionale de l'eau dessalée est entraînée vers l'est par le contre-courant équatorial sud tandis que l'eau subtropicale plus salée est emmenée vers l'ouest par le courant équatorial. Cependant, il semble que l'advection ne puisse expliquer totalement une avancée aussi importante de l'eau dessalée dans le Pacifique central ni sa persistance à une date aussi tardive.

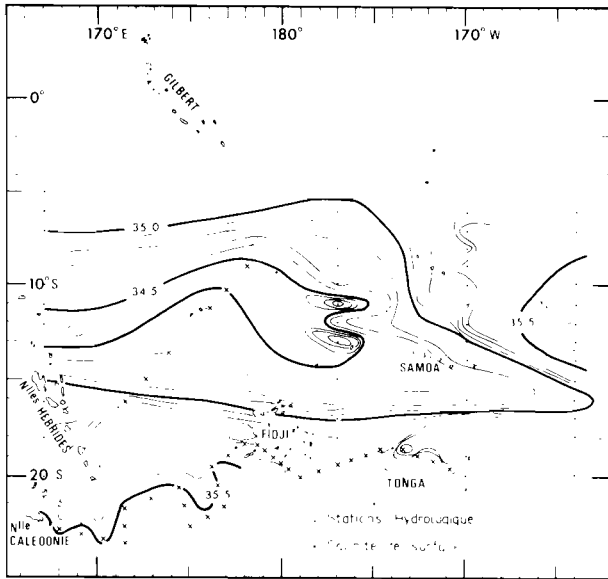


Fig. 2. — Salinité superficielle pendant les croisières *DANAÏDES* (juin-juillet 1970) et *ÉPONITE* (août 1970).

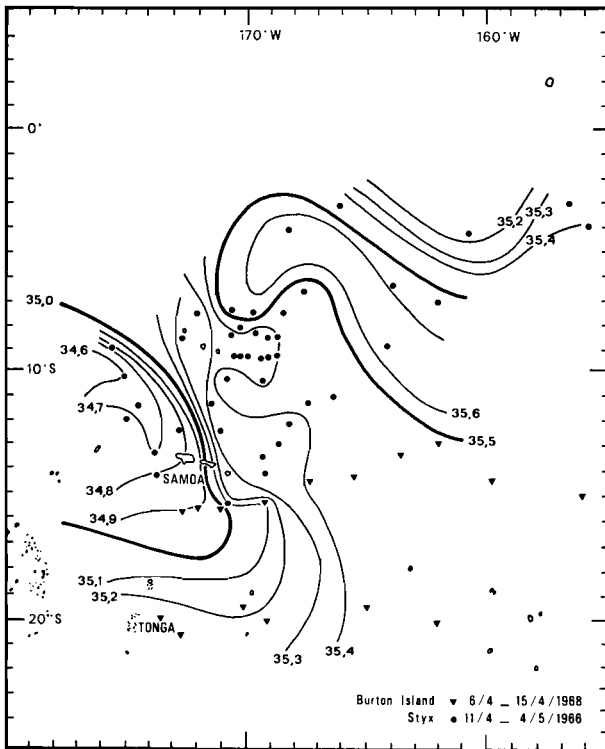


Fig. 3. — Salinité superficielle pendant les croisières *BURTON ISLAND* (avril 1968) et *STYX* (avril-mai 1968) de la *Scripps Institution of Oceanography*.

La figure 1 met aussi en évidence une deuxième zone dessalée, située au nord de la Polynésie, et particulièrement nette sur la carte (fig. 4) qui groupe les salinités superficielles de trois croisières différentes faites entre septembre et décembre 1961 : une importante zone dessalée s'étend au sud de l'équateur entre 155° W et 140° W. Des données de surface recueillies à des dates différentes font apparaître une situation similaire; l'origine de cette eau reste à déterminer.

La formation de ces deux zones dessalées sera étudiée ci-après en commençant par celle de la partie occidentale du Pacifique sud.

### III. FORMATION DES EAUX DESSALÉES SUPERFICIELLES.

#### 1. Les eaux dessalées de la partie occidentale du Pacifique sud.

Pendant la croisière *DANAÏDES* (fig. 2), les eaux de salinité inférieure à 35,0 ‰ atteignaient 164° W et celles de salinité inférieure à 34,5 ‰, 180°. La présence de cette nappe d'eau très dessalée aussi loin à l'est constitue un phénomène dont l'ampleur était peu prévisible et dont les mécanismes d'entretien, advection aussi bien que dilution locale, méritent d'être élucidés.

Depuis 1970, l'observation continue de la salinité de surface entre la Nouvelle-Calédonie et le Japon montre qu'en février, au voisinage des îles Salomon, apparaît une eau de salinité inférieure à 34,5 ‰ qui suit le déclenchement de la mousson de nord-ouest dans le Pacifique occidental. Le transport en 4 ou 5 mois de 160° E à 170° W de cette eau dessalée suppose une vitesse moyenne de 0,6 à 0,8 nœuds. Les observations directes et les calculs des vitesses géostrophiques faites à 170° E permettent d'estimer la vitesse maximale du contre-courant équatorial sud à 0,5-0,6 nœuds, limite inférieure de l'hypothèse précédente. Cependant, l'estimation des vitesses géostrophiques du flux Est d'après les mesures faites pendant la croisière *DANAÏDES* donnent une vitesse maximale de 0,4 nœuds, vitesse peu compatible avec la présence d'eau dessalée jusqu'à 164° W. La considération des flux géostrophiques évalués de la surface à 200 mètres de profondeur (fig. 5) montre aussi que le flux Est du contre-courant équatorial sud diminue brusquement à l'est de 170° W où ses eaux sont reprises par le flux Ouest le bordant au nord et au sud. Sans remettre en cause le transport par advection, prouvé par la continuité de la nappe dessalée entre l'ouest du Pacifique sud et 164° W, il paraît donc nécessaire de faire intervenir une dessalure locale pour justifier l'importance de cette nappe dessalée.

Les mesures mensuelles des précipitations relevées aux Iles Ellice (Funafuti 8°31 S, 179°13 E), Wallis (13°14 S, 176°10 W) et Samoa (Apia 13°48 S, 171°47 W, Pago-Pago 14°20 S, 170°43 W), montrent que le maximum de pluies a lieu généralement en décembre-janvier. D'après HIRÉS et MONTGOMERY (1972), un minimum de salinité homogène peut apparaître localement trois mois après une période de précipitation marquée, ce qui dans le cas général se produirait donc en mars-avril. En 1970, au contraire, les données pluviométriques des stations ci-dessus indiquent que le maximum de précipitation a eu lieu en mars, ce qui dans l'hypothèse précédente, ferait apparaître une dessalure superficielle locale en juin-juillet, concordant bien avec les mesures de salinité de la croisière *DANAÏDES*.

En résumé, entre 180° et 160° W, il apparaît une dessalure locale qui se superpose, en la renforçant, à celle que le contre-courant équatorial sud transporte; sa date d'apparition dépend de la saison des pluies observée dans la région.

## 2. Les eaux dessalées superficielles au nord de la Polynésie.

Les mesures faites fin 1961 (fig. 4) font apparaître entre 140° W et 155° W et de l'équateur à 10° S une zone où la salinité s'abaisse de 35,5 ‰ à 35,3 ‰ de 9° S à 8° S; cette zone semble reliée par continuité aux eaux de faible salinité du Pacifique nord. L'origine de cette eau n'est pas claire.

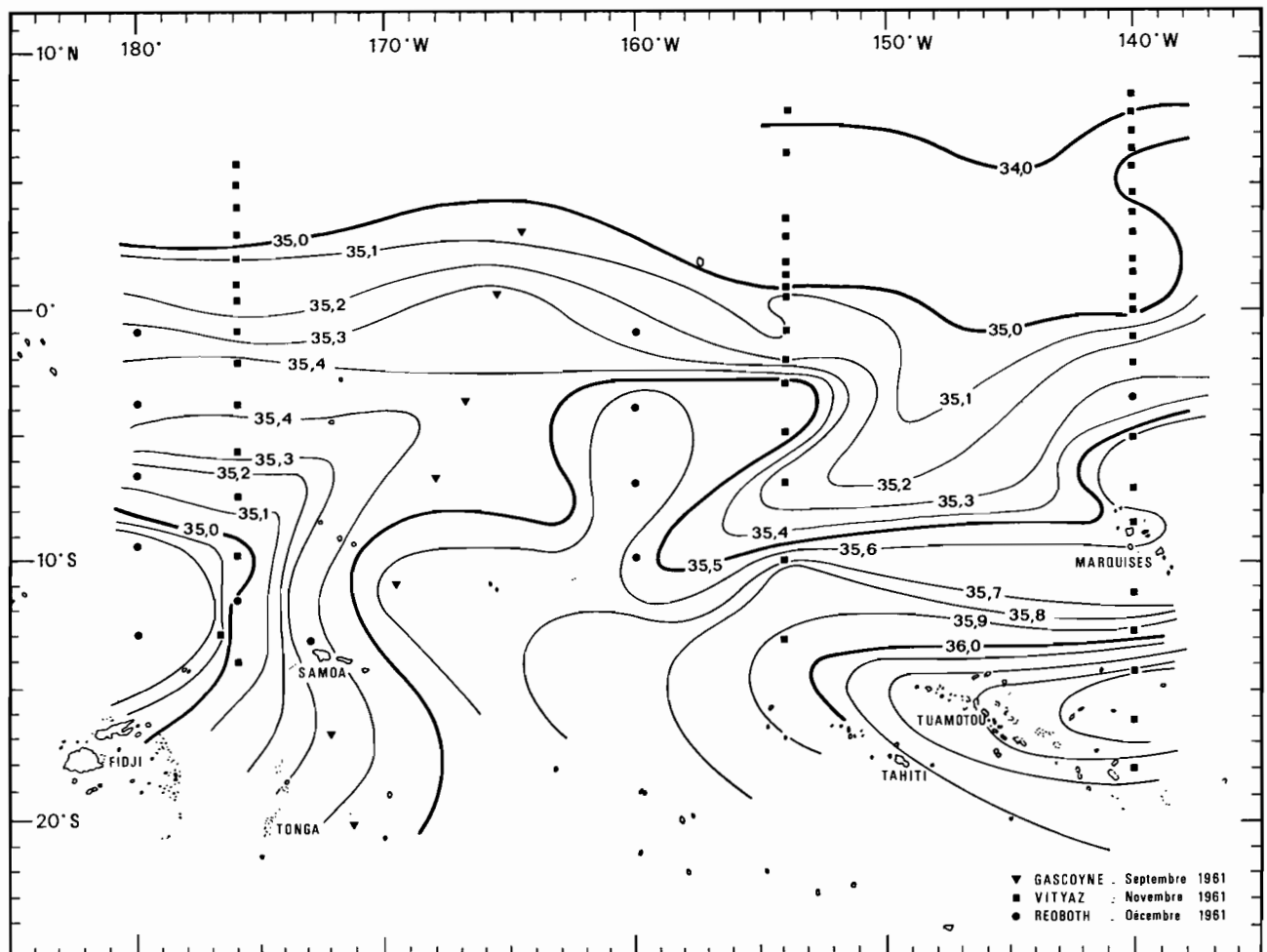


Fig. 4. — Salinité superficielle de septembre à décembre 1961 dans le Pacifique tropical sud à partir des données du *GASCOYNE* (septembre 1961), *VITYAZ* (novembre 1961) et *REOBOTH* (décembre 1961).



L'hypothèse de la formation sur place semble exclue. D'après TAYLOR (1973), cette zone est une des moins arrosées du Pacifique sud avec des précipitations annuelles de 500 millimètres alors qu'à la même longitude, vers 5° N, on observe 4000 millimètres et 2000 millimètres vers 15° S.

L'advection d'eau dessalée de l'est vers l'ouest ne semble possible que de mai à juillet. En effet, de février à avril, d'après TAYLOR (*op. cit.*), il apparaît un maximum de précipitation dans l'hémisphère sud vers 5° S, 90° W, maximum qui se prolonge vers l'ouest jusqu'à 140° W. C'est ce que confirme le régime pluviométrique de l'île San Cristobal (0°54 S, 89°57 W) dans l'archipel Galapagos. D'après HIRE et MONTGOMERY (*op. cit.*), l'eau dessalée doit apparaître dans cette région en mai et, le courant équatorial favorisant son advection vers l'ouest avec une vitesse de l'ordre de 1 nœud, elle peut arriver trois mois plus tard à 140° W, c'est-à-dire en juillet. En 1967, cependant, les données pluviométriques de l'île San Cristobal indiquent que le maximum de

précipitation a eu lieu en janvier, ce qui peut expliquer la forte dessalure superficielle ( $S < 34,50 ‰$ ) de l'équateur à 10° S et de la côte américaine à 110° W mise en évidence en février-mars par la carte de la distribution superficielle de l'Atlas Eastropac (1972).

En revanche, dans le cas général, le reste de l'année, les précipitations sont extrêmement faibles de l'équateur à 10° S et de 150° W à la côte américaine (TAYLOR, *op. cit.*) et la formation d'eau dessalée n'est pas possible dans cette région. Pendant la deuxième partie de l'année, il n'y a pas non plus de possibilité d'advection de l'est à l'ouest d'eau dessalée déjà formée car des prélèvements de surface réguliers effectués entre Tahiti et Panama pendant trois ans font apparaître de juillet à décembre vers 110° W une eau de salinité supérieure à 35,0 ‰ au sud de l'équateur; de même la distribution de la salinité superficielle en août-septembre 1967 a montré qu'à 110° W la salinité était supérieure à 35,0 ‰ au sud de l'équateur. Il faut donc envisager la formation de la zone dessalée située au nord de la Polynésie par advection de l'hémisphère nord à l'hémisphère sud. En effet, on distingue toute l'année vers 150° W, dans l'hémisphère boréal entre l'équateur et 10° N, une zone de précipitation maximum (5000 millimètres par an) (TAYLOR, *op. cit.*) et les cartes mensuelles de salinité de surface (BENNETT, 1966) montrent que cette zone est associée à une dessalure superficielle permanente. Des données recueillies entre septembre 1968 et juin 1969 au cours des croisières CARIDE du N.O. CORIOLIS (fig. 6 a et 6 b) ont montré la présence à l'équateur entre 140° W et 150° W d'une masse d'eau de salinité inférieure à 35,1 ‰ et pouvant atteindre une épaisseur de 100 mètres. Il semblerait donc qu'il y ait passage d'eau dessalée de l'hémisphère nord à l'hémisphère sud mais un tel phénomène est difficile à concevoir. En effet, la divergence équatoriale devrait repousser vers le nord les eaux de l'hémisphère nord et les empêcher de passer dans l'hémisphère sud. Cependant, comme le montrent les données de la croisière SWAN SONG en septembre 1961 (STROUP 1969), l'upwelling équatorial peut coexister avec la nappe dessalée (fig. 4). On peut donc imaginer que, si l'eau dessalée de l'hémisphère nord atteint l'équateur, elle peut le franchir sous l'effet de la divergence équatoriale qui lui donne une composante Sud dans l'hémisphère austral. Ce mécanisme reste néanmoins à vérifier.

En résumé, si la formation sur place de la nappe dessalée est exclue, on peut envisager sa formation par advection de l'est à l'ouest entre mai et juillet et peut-être lui donner une origine boréale le reste de l'année.

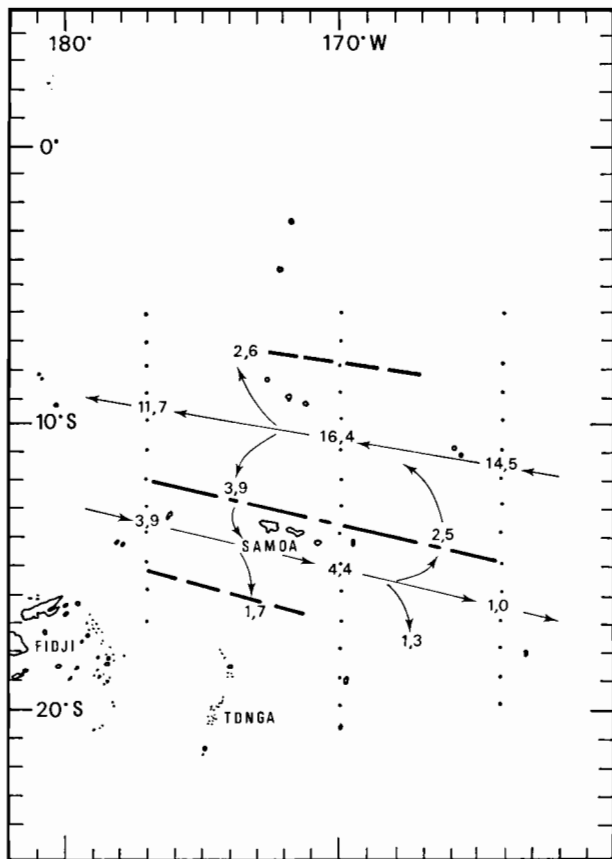


Fig. 5. — Flux géostrophiques relatifs à 1000 décibars évalués de la surface à 200 mètres de profondeur en  $10^6 \text{ m}^3/\text{s}$  pendant la croisière DANAÏDES.

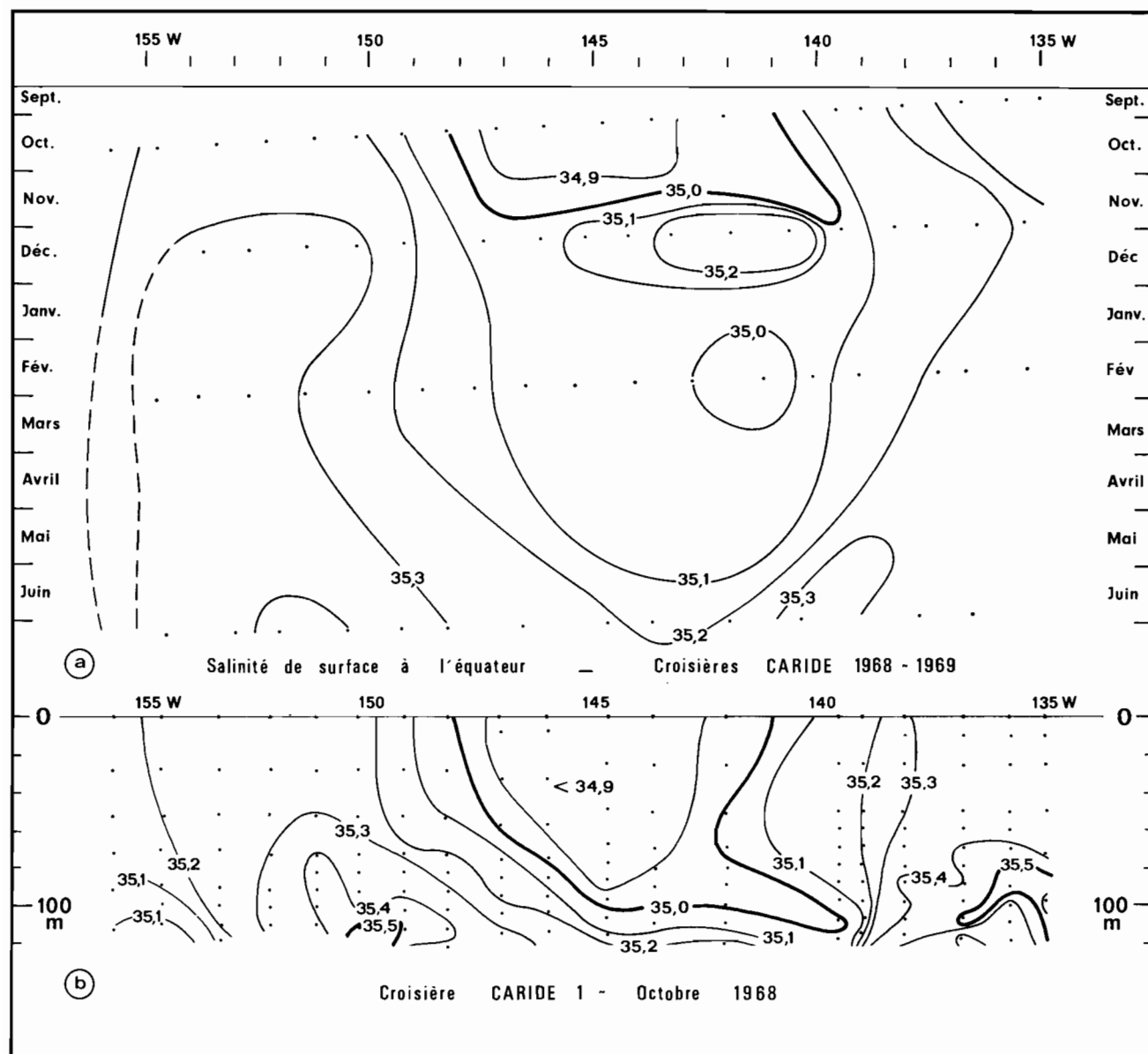


Fig. 6. — a) Salinité superficielle pendant les croisières équatoriales *CARIDE* de 135° W à 155° W et de septembre 1968 à juin 1969 ; b) Distribution verticale de la salinité pendant la croisière équatoriale *CARIDE 1* en octobre 1968.

#### IV. CONCLUSION.

L'hydrologie des eaux superficielles du Pacifique tropical sud-ouest est caractérisée par le contact entre les eaux subtropicales salées et celles moins salées provenant de la partie occidentale du Pacifique et du nord de la Polynésie. Cependant l'abondance et même la présence de ces masses d'eau sont étroitement liées aux conditions météorologiques régnant sur toute la zone où elles sont observées. La dessalure

superficielle dépend donc à la fois du transport advectif et des précipitations locales. L'enclave dessalée du nord de la Polynésie semble également alimentée par l'arrivée d'eau boréale qui franchit l'équateur de juillet à avril suivant un mécanisme non élucidé. Cependant, la vérification du rôle de ces mécanismes et l'appréciation de leur importance respective en termes d'advection et de dilution ne pourra reposer que sur une meilleure connaissance de l'hydro-climat du Pacifique sud.

*Manuscrit reçu au S.C.D. le 27 août 1974*

## DONNÉES UTILISÉES

| <i>Navires</i>                         | <i>Institutions</i>                 | <i>Croisières</i>            | <i>Dates</i>                       | <i>Références</i>                          |
|----------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------|
| <i>GASCOYNE</i>                        | CSIRO Australie                     | G3/61                        | Sept. 1961                         | Oceanographical Cruise Report n° 12        |
| <i>VITYAZ</i>                          | Acad. des Sciences URSS             | VI 34                        | Nov. 1961                          | National Oceanographic Data Center         |
| <i>REOBOTH</i>                         | Naval Oceanographic Office USA      |                              | Déc. 1961                          | National Oceanographic Data Center         |
| <i>ARGO</i>                            | Scripps Institution of Oceanography | <i>SWAN SONG</i>             | Sept.-déc. 1961                    | S I O, Ref 66-1                            |
| <i>BURTON ISLAND</i><br><i>AGASSIZ</i> | Scripps Institution of Oceanography | Burton Island<br><i>STYX</i> | Fév.-avril 1968<br>Avril-août 1968 | Data Report<br>S I O Réf. 71-25            |
| <i>CORIOLIS</i>                        | Centre O.R.S.T.O.M.<br>Nouméa       | Caride 1.2.3.                | Sept. 1968<br>Mars 1969            | Rapp. Sci.<br>O.R.S.T.O.M.<br>Nouméa n° 36 |
| <i>CORIOLIS</i>                        | Centre O.R.S.T.O.M.<br>Nouméa       | Caride 4.5.6.                | Juin 1969<br>Déc. 1969             | Rapp. Sci.<br>O.R.S.T.O.M.<br>Nouméa n° 40 |
| <i>CORIOLIS</i>                        | Centre O.R.S.T.O.M.<br>Nouméa       | <i>DANAÏDES I</i>            | Juin-juil. 1970                    | Rapp. Sci.<br>O.R.S.T.O.M.<br>Nouméa n° 52 |
| <i>CORIOLIS</i>                        | Centre O.R.S.T.O.M.<br>Nouméa       | <i>ÉPONITE</i>               | Août-sept. 1970                    | Rapp. Sci.<br>O.R.S.T.O.M.<br>Nouméa n° 48 |

## BIBLIOGRAPHIE

ANONYME, 1972. — Eastropac Atlas. Vol. 1 et vol. 5. US Department of Commerce.

BENNETT (E. B.), 1966. — Monthly charts of surface salinity in the Eastern Tropical Pacific Ocean. *Bull. Inter. Amer. Trop. TUNA Comm.* Vol. 11, n° 1 : 1-44.

DONGUY (J. R.), HENIN (C.), JARRIGE (F.), ROUGERIE (F.), 1974. — Esquisse dynamique et hydrologique du Pacifique Central sud. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.* Vol. 12 n° 2 : 129-139.

HIRES (R. J.), MONTGOMERY (R. B.), 1972. — Navifacial temperature and salinity along the Track from Samoa to Hawaii, 1957-1965. *J. Mar. Res.* Vol. 30, n° 2 : 177-200.

MERLE (J.), ROTSCHI (H.), VOITURIEZ (B.), 1969. — Zonal circulation in the tropical western South Pacific.

in « Perspectives in Fisheries Oceanography » *Jap. Soc. Fish. Oceanogr.* : 91-98.

REID (J. L.), 1969. — Sea surface temperature, salinity and density of the Pacific Ocean in Summer and in Winter. *Deep Sea Res. Suppl.* Vol. 16 : 215-224.

STROUP (E. D.), 1969. — The thermostat of the 13 °C water in the Equatorial Pacific Ocean. P. H. D. Thesis, Baltimore.

SVERDRUP (H. V.), JOHNSON (M. W.), FLEMING (R. H.), 1942. — The Ocean. Prentice Hall-Englewood Cliff N.J. 1087 p.

TAYLOR (R. C.), 1973. — An Atlas of Pacific islands rainfall. Data Report n° 25. HIG 73-9 Hawaii. Institute of Geophysics, University of Hawaii.



## Surface Waters in the North of the Coral Sea

*J. R. Donguy and C. Henin*

Centre ORSTOM de Noumea, B.P. A 5 Noumea, New Caledonia.

### *Abstract*

North of New Guinea, the eastward flow is not fast enough to bring the diluted water from the westernmost Pacific to the Coral Sea where, in the north, from February to June, the surface salinity is less than 34.5‰. This low salinity is always associated with a west wind component bringing rainfall. The surface salinity chart in January–February 1971 shows a salinity minimum isolated from its once supposed western origin by saltier water in the north of New Guinea. These features suggest local formation of this low salinity.

### **Introduction**

Many Japanese ore carriers load nickel ore in New Caledonia to Japan, and, since August 1969, four ships have made regular surface observations every 60 nautical miles, measuring temperature and salinity along a route passing through the Coral Sea and crossing the equator at almost 150°E. From these data, surface salinity has already been studied at the equator and in the North Equatorial Counter-Current zone (Donguy and Henin 1974).

Jarrige (1968) described the South Equatorial Counter-Current at 170°E. and pointed out that the upper part of the flow is always associated with a salinity minimum. He suggested that the origin of this diluted water is the westernmost part of the equatorial Pacific, particularly the Celebes Sea. Donguy *et al.* (1970) in an earlier paper give the same origin of the low salinity water north of the Coral Sea. Nevertheless, this point disagrees with several features.

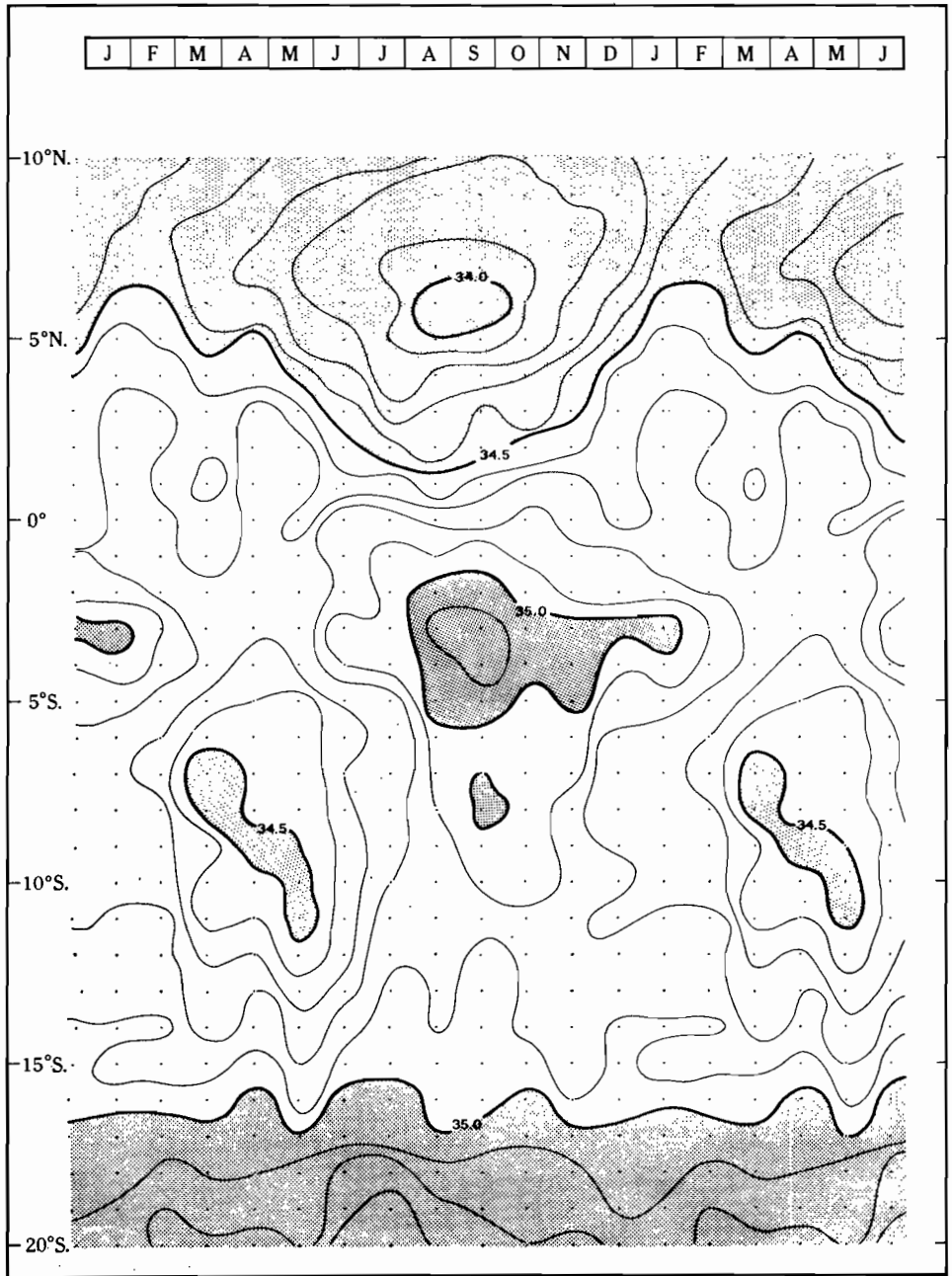
### **Surface Salinity in the North of the Coral Sea**

From 4 years' data (August 1969–August 1973) collected by the Japanese ore carriers, the surface salinities have been averaged each month between 20°S. and 10°N. The results (Fig. 1) establish clearly that low values (less than 34.5‰) appear consistently from February to June between 5°S. and 12°S. approximately. The hypothesis that this low salinity water is brought by advection to the Coral Sea along the north coast of New Guinea from the westernmost part of the equatorial Pacific is not consistent with two facts, one in connection with the continuity, the other one with the time needed.

The surface salinity chart in January–February 1971 for this area (Fig. 2) drawn from all data available (ships of opportunity, ORSTOM cruise 'FOC 1' (ref. NODC 350058)) shows clearly that the low salinity water (less than 34.4 north of 15°S.) is isolated: in the westernmost part of the Coral Sea, the salinity at this time is 35.0‰

and, north of New Guinea, it is more than 34.8‰. So there is a discontinuity between the Coral Sea and the hypothetical western source of low salinity.

The maximum rainfall in the Philippines occurs in January (Fig. 3). Assuming instant dilution of the seawater, the velocity of the low salinity water arriving in



**Fig. 1.** Mean salinity along the track of the ships from data collected between 20 August 1969 and 10 August 1973.

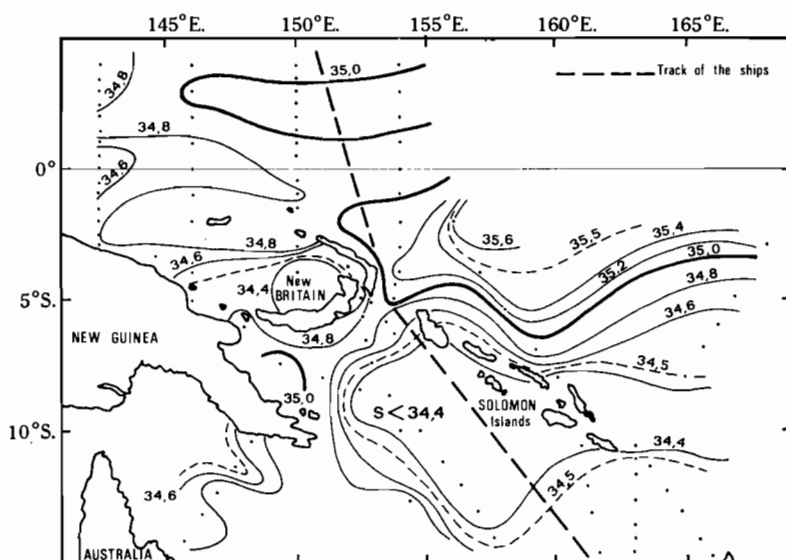


Fig. 2. Surface salinity chart in January–February 1971.

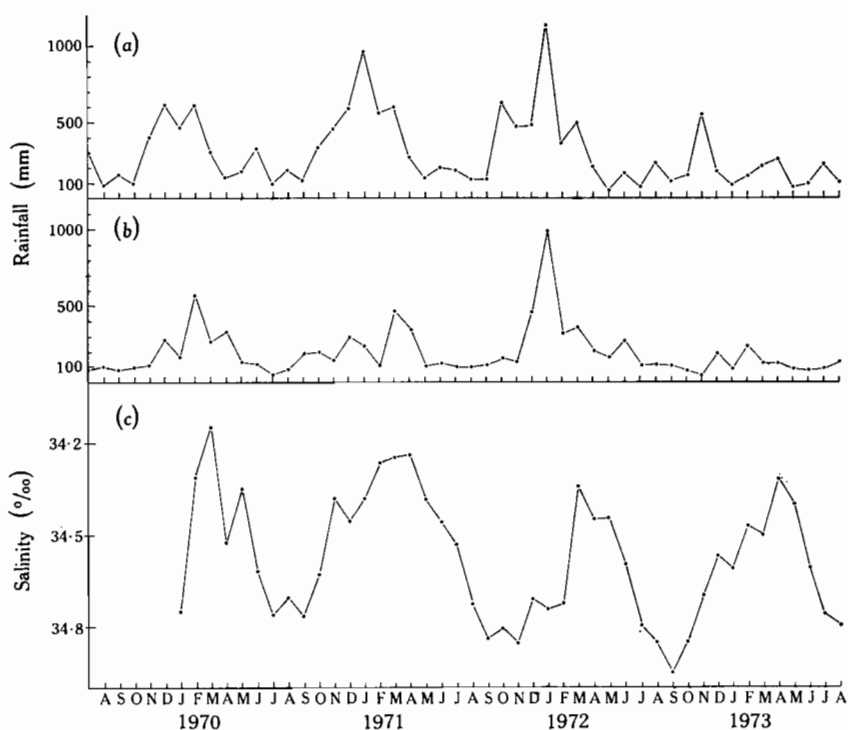


Fig. 3. Rainfall at (a) Surigao (Philippines) ( $9^{\circ}48'N$ ,  $125^{\circ}30'E$ ) and (b) Honiara (Solomon Islands) ( $9^{\circ}25'S$ ,  $159^{\circ}58'E$ ) and (c) salinity minimum in the Coral Sea from August 1969 to August 1973.

February at 158°E. would be 2.5 knots. This is twice the velocity observed north of New Guinea.

Consequently, the western origin of the low salinity water in the Coral Sea does not seem possible. The study of the variations in the surface salinity at 10°S. in relation with local wind leads to another explanation.

In Fig. 4 have been included:

The surface salinity in the Coral Sea at about 10°S., 158°E. from August 1969 to June 1973;

the zonal and meridian components of the wind at Honiara (Solomon Islands) from the 'Tropical Strip Surface Charts' supplied by the National Climatic Center, Asheville, USA.

The low salinities ( $<34.5\text{‰}$ ) occur generally, after some delay, with a west component wind bringing rainfall. In 1970, the wind appeared from January to April and the diluting from February to June. It prevailed from October 1970 to April 1971, and the low salinity was observed from November to June. In 1972, it occurred from January to April and the diluted water appeared from March to June. Finally, in 1973, there was a south-west wind from January to March and low salinity from February to May. Therefore, the diluted water occurs almost 1 month after the start of the west wind component and persists 2 months after the winds have changed. This feature compares with the 3 months' delay calculated by Hires and Montgomery (1972) between the maximum rainfall and the spreading at the sea surface of an homogenous salinity minimum. Consequently, the diluted water in the north of the Coral Sea would be due to local precipitation.

## Conclusion

It does not seem possible that the low salinity water found in the Coral Sea from February to June comes from the westernmost part of the Pacific Ocean by advection along the New Guinea coast. This water has probably a local formation by dilution following heavy rainfall during the west wind period.

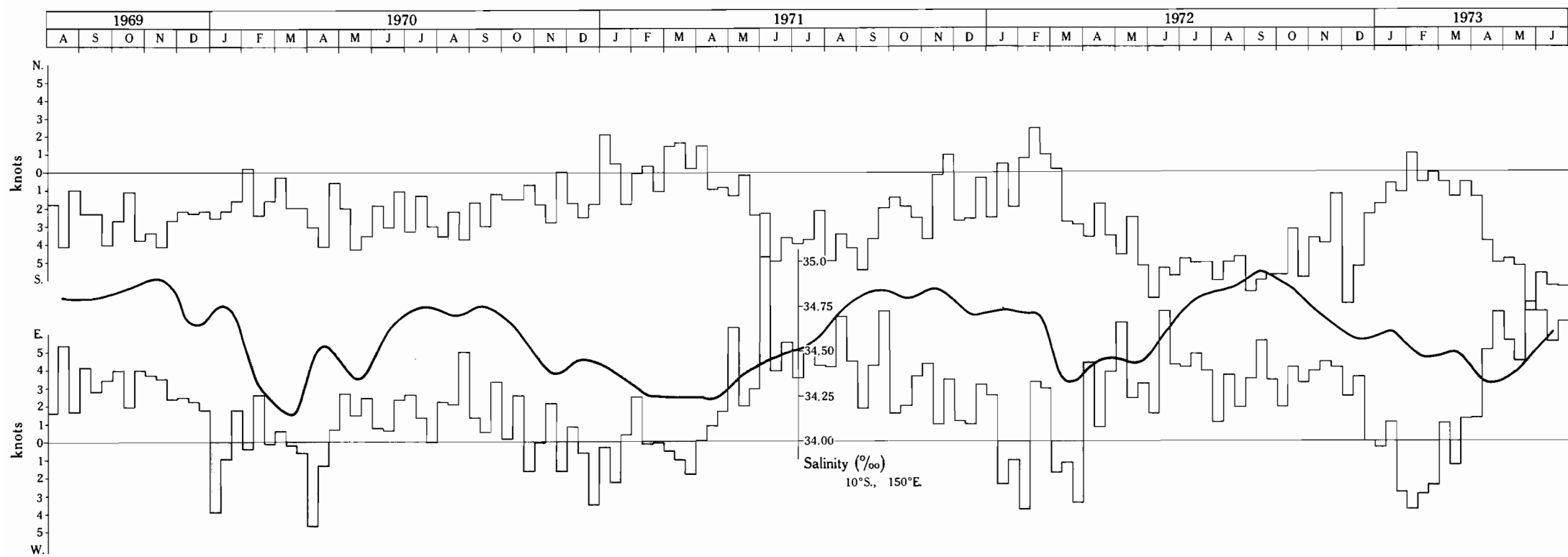
## Acknowledgments

The authors wish to thank the Captain and the crew of the vessels Gyokuryu Maru, Horyu Maru, Koryu Maru from the Taiheiyo Kisen Kaisha Company; Koyo Maru from the Shinwa Kaiun Kaisha Company; Hasshin Maru and Nanyo Maru from the Nippon Yusen Kaisha Company; and also Etablissements Ballande and Groupe P. Pentecost, consignees of these ships.

## References

- Donguy, J. R., and Henin, C. (1974). Salinités de surface caractéristiques du Courant Equatorial et du Contre Courant Equatorial Nord à 150°E–160°E. *La Mer (Bull. Soc. Fr. Jap. Oceanog.)* 12(2), 88–94.
- Donguy, J. R., Oudot, C., and Rougerie, F. (1970). Circulation superficielle et subsuperficielle en Mer du Corail et à 170°E. *Cah. ORSTOM sér. Oceanogr.* 8(1), 3–20.
- Hires, R. I., and Montgomery, R. B. (1972). Navifacial temperature and salinity along the track from Samoa to Hawaii, 1957–1965. *J. mar. Res.* 30, 177–200.
- Jarrige, F. (1968). On the eastward flow of water in the Western Pacific south of the equator. *J. mar. Res.* 26, 286–9.





**Fig. 4.** Surface salinity in the Coral Sea from August 1969 to June 1973 and components of the wind at Honiara (Solomon Islands).



# ESQUISSE DYNAMIQUE ET HYDROLOGIQUE DU PACIFIQUE CENTRAL SUD

J. R. DONGUY, C. HENIN,  
F. JARRIGE, F. ROUGERIE

*Centre O.R.S.T.O.M. de Nouméa. Nouvelle Calédonie*

## RÉSUMÉ

*La circulation de surface dans le Pacifique central sud est constituée par deux cellules tourbillonnaires situées de part et d'autre de 170° W ; dans chacune d'elles, un contre-courant coule vers l'est à 10° S environ. Dans la cellule occidentale, une convergence orientée approximativement WNW-ESE établit une frontière hydrologique dont l'influence est encore ressentie par les eaux intermédiaires.*

## ABSTRACT

*The surface circulation in the Southern Central Pacific consists in two cells located on both sides of 170° W ; in each of them a countercurrent flows eastward at about 10° S. In the western one, a convergence with a WNW-ESE direction settles an hydrographic boundary influencing the waters down to the intermediate level.*

## 1. INTRODUCTION.

Les études entreprises entre 1965 et 1968 à bord du navire de recherche Coriolis du Centre O.R.S.T.O.M. de Nouméa dans le Pacifique occidental le long du méridien 170° E ont conduit à l'identification vers 10° S et 20° S respectivement, de deux flux portant à l'est, opposés à la circulation générale ouest et transportant, dans leur couche superficielle des eaux de salinité réduite. Le premier est le contre-courant équatorial sud mis en évidence ailleurs antérieurement (REID 1959, 1961); le second a été appelé contre-courant tropical sud (MERLE, ROTSCHI, VOITURIEZ 1969). Les études faites avec le même navire dans le Pacifique central, au nord de la Polynésie française, entre 1968 et 1970, ont permis de mettre aussi en évidence, vers 10° S, un flux

portant à l'est (DONGUY, ROTSCHI 1970) et pouvant être assimilé également au contre-courant équatorial sud (WOOSTER 1961).

Afin d'avoir une idée plus générale de la circulation superficielle, toutes les observations océanographiques postérieures à 1950 ont été regroupées par classes de longitude, l'anomalie dynamique moyenne de la surface relative à 1000 décibars étant évaluée le long des méridiens moyens 170° E, 180°, 174° W, 160° W, 153° W, 140° W, 132° W. La topographie dynamique moyenne annuelle (fig. 1) montre effectivement un contre-courant vers 10° S, de 170° E à 170° W ainsi qu'entre 150° W et 136° W. Il semble cependant que ces deux flux soient discontinus, la dispersion des données dans le Pacifique central de 180° à 160° W laissant toutefois planer un doute sur cette hypothèse.

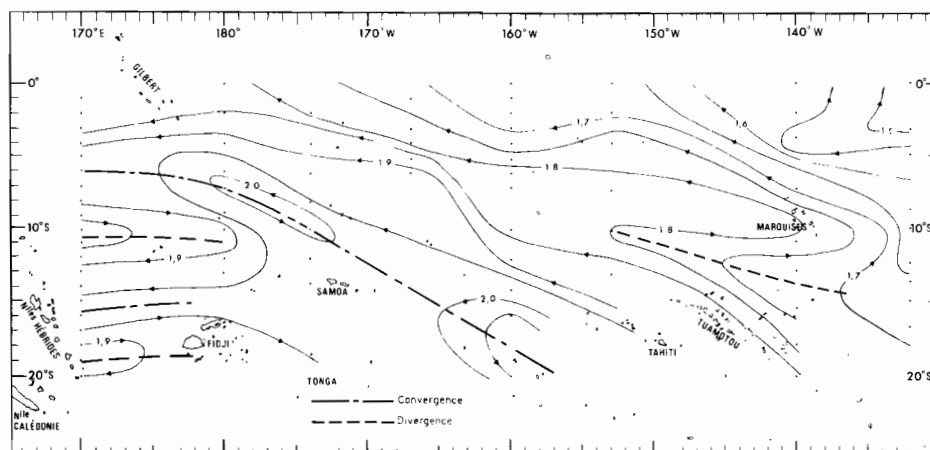


Fig. 1. — Topographie dynamique moyenne de la surface de la mer, relative à 1000 décibars, en mètres dynamiques, dans le Pacifique central sud, l'anomalie dynamique moyenne de la surface étant évaluée le long des méridiens 170° E, 180°, 174° W, 160° W, 153° W, 140° W et 132° W.

REID (1961) a confirmé la présence possible en été austral, vers 10° S, d'un contre-courant géostrophique de surface relatif à 1000 décibars à travers tout le Pacifique, ce que conteste BURKOV (1966) qui ne fait apparaître, en février, relativement à 1500 décibars un courant similaire qu'à l'ouest de 160° W.

La continuité dans le Pacifique sud du contre-courant équatorial sud est donc loin d'être assurée, les observations disponibles étant inégalement réparties dans le temps et l'espace et devant être complétées. Ce fut un des objectifs de la croisière Danaïdes 1 effectuée par le N.O. Coriolis du 12 juin au 25 juillet 1970. Cette croisière a couvert une zone marine délimitée par les latitudes 6° S et 20° S et par les longitudes 164° W et 177° W; elle a comporté trois radiales nord-sud de 15 stations chacune avec mesures de la température, de la salinité, de l'oxygène, du phosphate minéral, du nitrite, du nitrate et du silicate à 24 immersions entre la surface et une profondeur de 1500 mètres.

## 2. ASPECTS GÉNÉRAUX DE LA CIRCULATION.

### (a) Circulation superficielle dans le Pacifique central.

La topographie dynamique superficielle relative à 1000 décibars révélée (fig. 2) par cette croisière Danaïdes dans le Pacifique central indique une succession de divergences et de convergences. Vers 7° S, une divergence est orientée approximativement suivant un axe E-W; entre 12° S et 15° S, une convergence est orientée approximativement

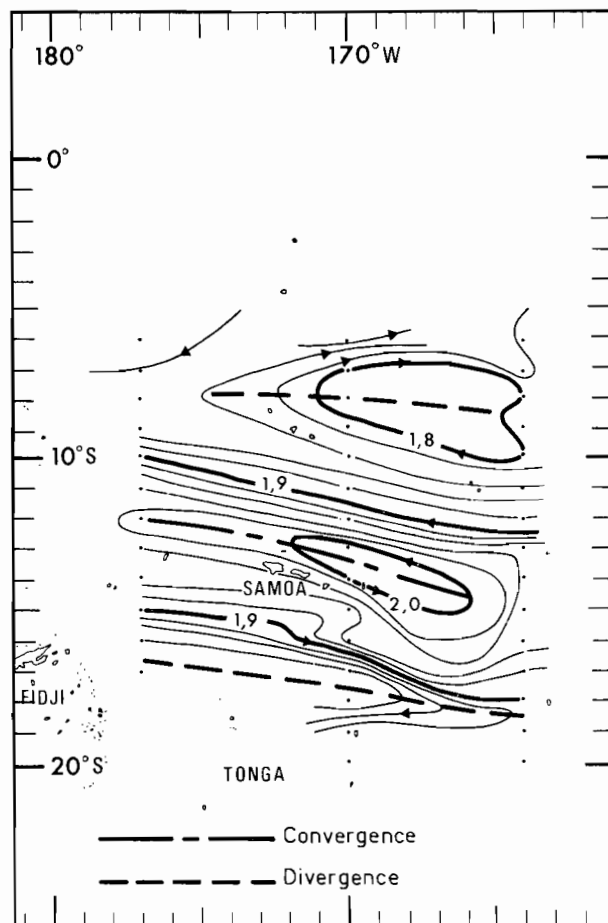


Fig. 2. — Topographie dynamique de la surface de la mer, relative à 1000 décibars, en mètres dynamiques, pendant la croisière Danaïdes (juin-juillet 1970).

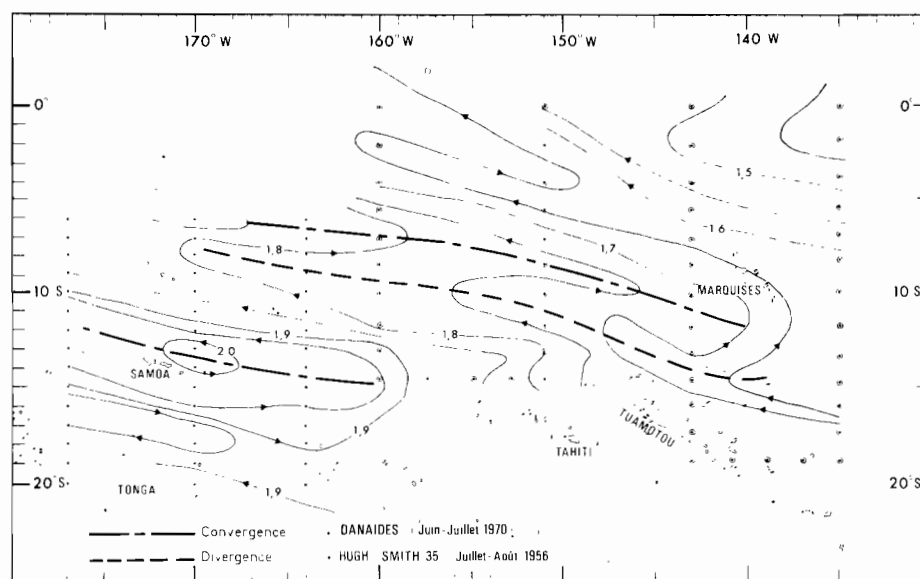


Fig. 3. — Topographie dynamique de la surface de la mer, relative à 1000 décibars, en mètres dynamiques, pendant la croisière Danaïdes (juin-juillet 1970), et pendant la croisière 35 du R. V. HUGH M. SMITH (juillet-août 1956).

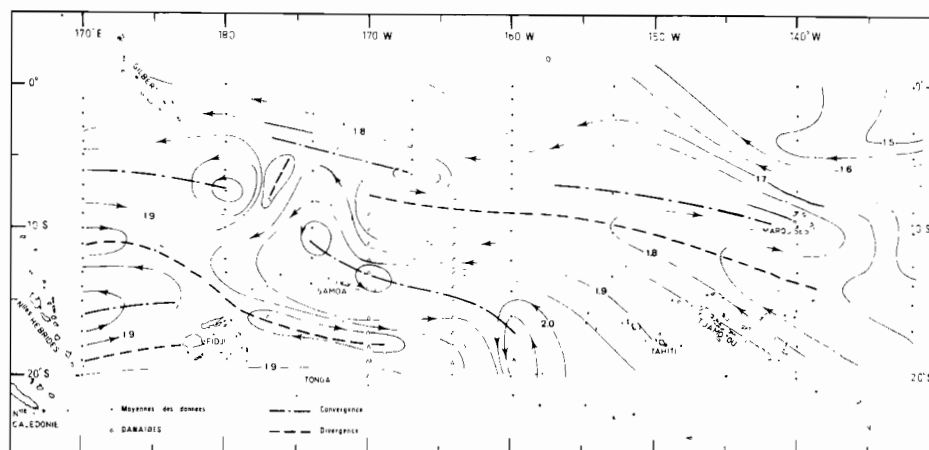


Fig. 4. — Topographie dynamique moyenne de la surface de la mer, relative à 1000 décibars, en mètres dynamiques, complétée avec les hauteurs dynamiques de surface de la croisière Danaïdes.

suivant un axe WNW-ESE; vers 17° S, une autre divergence est orientée approximativement suivant un axe E-W. La circulation superficielle est donc approximativement zonale. C'est à 170° W que les flux sont les plus marqués; en surface, la vitesse des courants est de l'ordre de 20 cm/s.

On retrouve dans les figures 1 et 2 des traits communs tels la divergence la plus septentrionale et la convergence, ce qui suggère la permanence dans le temps de certains traits de la circulation géostrophique. La juxtaposition à la figure 2 de la

topographie dynamique observée au cours de la croisière 35 du R. V. HUGH M. SMITH en juillet-août 1956 à la même saison que la croisière Danaïdes (fig. 3) précise l'extension vers l'est de la convergence et de la divergence remarquées par BURKOV (*op. cit.*) entre 180° et 170° W.

La topographie dynamique moyenne superficielle complétée avec celle de la croisière Danaïdes (fig. 4) révèle l'existence de deux systèmes indépendants de circulation. A l'est de 180°, entre 10° S et 20° S, apparaît une convergence orientée approxima-

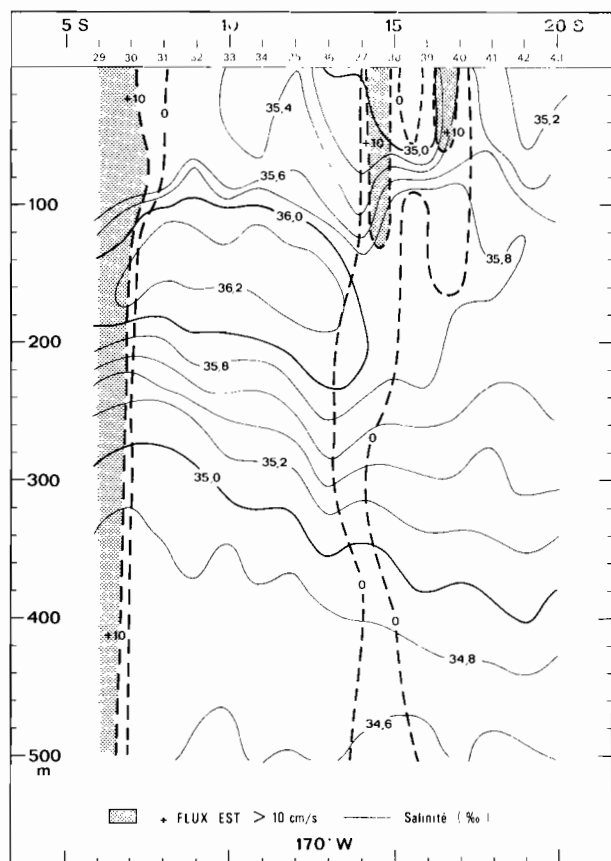


Fig. 5. — Distribution verticale à 170°W, de la salinité et de la composante zonale des courants géostrophiques en cm/s relatifs à 1000 décibars de la croisière Danaïdes. En ombre légère, le flux Est supérieur à 10 cm/s.

vement WNW-ESE. Au nord de celle-ci, on distingue une divergence vers 10° S et, entre 5° S et 10° S, une autre convergence; toutes deux semblent se prolonger plus loin que ne l'indique BURKOV (*op. cit.*) et entre elles, on reconnaît le flux portant à l'est mis en évidence par DONGUY et ROTSCHI (*op. cit.*) au nord de la Polynésie française. Ce flux semble appartenir à une cellule cyclonique limitée à l'ouest aux environs de 170° W et être donc indépendant du flux de même direction observé à 170° E, ce que confirmera l'analyse hydrologique. A l'ouest de 180°, c'est un autre système de circulation qui a été mis en évidence par JARRIGE (1968) et MERLE *et al.*, (*op. cit.*). La discontinuité de flux est située entre 180° et 170° W; elle est extrêmement nette mais probablement mobile.

#### (b) Circulation subsuperficielle dans le Pacifique central.

A une profondeur supérieure à 150 mètres (fig. 5), le flux Est le plus sud a pratiquement disparu au

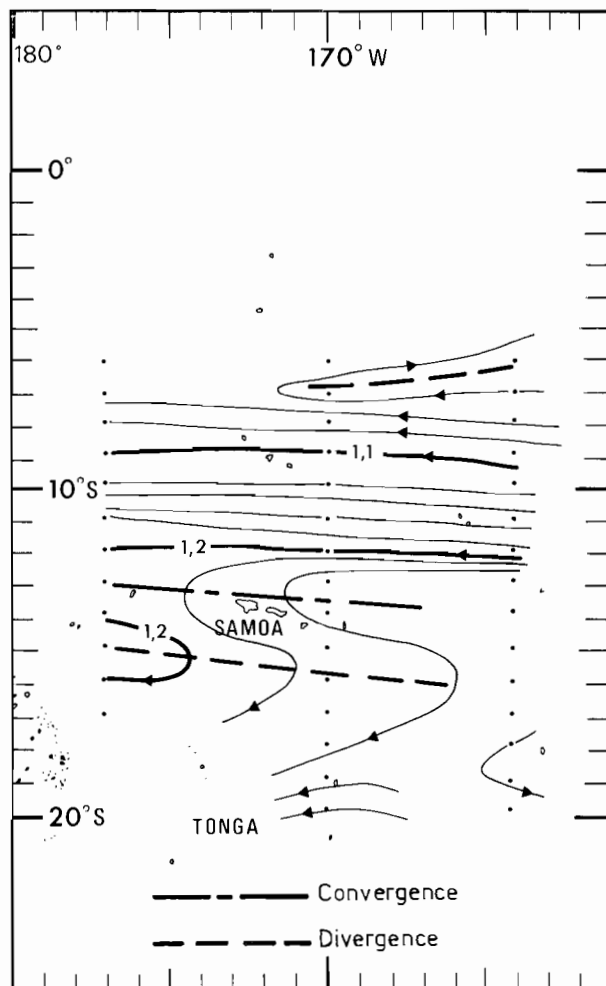


Fig. 6. — Topographie dynamique à 150 mètres de profondeur relative à 1000 décibars, en mètres dynamiques, pendant la croisière Danaïdes.

sud de 12° S; en revanche, au nord de 10° S, le flux Est le plus nord semble persister jusqu'à 500 mètres de profondeur. MERLE *et al.*, (*op. cit.*) ont aussi remarqué qu'à 170° E la vitesse des contre-courants décroissait rapidement avec la profondeur. A 150 mètres de profondeur (fig. 6), la circulation subsuperficielle relative à 1000 décibars pendant la croisière Danaïdes était quelque peu différente de celle de la surface, en particulier au sud de 14° S où le flux Est diminuait d'ouest en est; en revanche, au nord de 14° S, ces deux circulations étaient les mêmes.

### 3. STRUCTURES HYDROLOGIQUES.

#### (a) Hydrologie superficielle de l'Océan Pacifique central.

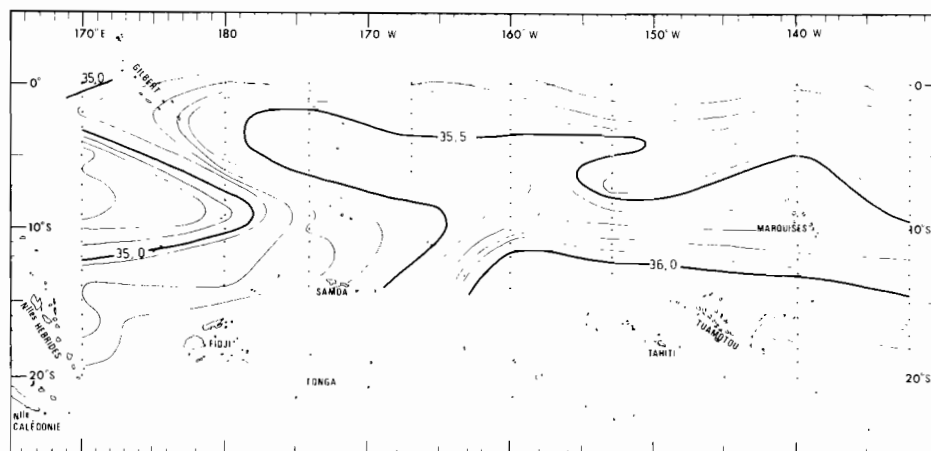


Fig. 7. — Salinité moyenne de la surface de la mer dans le Pacifique central sud évaluée le long des méridiens 170° E, 180°, 174° W, 160° W, 153° W, 140° W et 132° W.

D'après SVERDRUP *et al.*, (1942) et ISAKOV *et al.*, (1950), le Pacifique central tropical sud est la zone de contact entre l'eau subtropicale salée située à l'est de 160° W vers 20° S et l'eau dessalée provenant de la partie occidentale du Pacifique. REID (1969) avec des données récentes présente un schéma similaire.

Les mêmes données que celles utilisées pour évaluer la topographie dynamique moyenne de surface peuvent servir à dresser une carte de la salinité moyenne dans le Pacifique central (fig. 7). Malgré

l'absence d'observations au sud de 14° S, de 170° E à 153° W, cette carte confirme l'existence d'un fort gradient horizontal de salinité entre l'eau salée du Pacifique central et l'eau dessalée du Pacifique occidental.

La distribution de la salinité de surface au cours de la croisière Danaïdes, complétée avec les observations de la croisière Eponite faite un mois plus tard à 167° E par le N. O. Coriolis (fig. 8), montre que l'eau dessalée ( $S < 35,0 ‰$ ) couvrait une grande partie de la zone et pénétrait comme un coin dans l'eau plus salée, délimitant ainsi deux noyaux d'eau salée. Comme sur la figure 7, la salinité du noyau septentrional est supérieure à  $35,5 ‰$ ; cependant la zone dessalée était plus étendue pendant la croisière Danaïdes puisque l'isohaline  $35,0 ‰$  atteignait 164° W alors qu'elle ne dépasse pas 178° W sur la carte des salinités moyennes. Corrélativement, la zone de forte salinité était moins étendue en juillet 1970 que sur la carte des salinités moyennes.

#### (b) Hydrologie subsuperficielle et intermédiaire.

L'hydrologie des eaux subsuperficielles et intermédiaires du Pacifique central a été étudiée par TSUCHIYA (1968) et REID (1965). Cependant, il y a peu de détails discernables dans la zone étudiée à cause de la faible densité des mesures. La croisière Danaïdes a permis de jeter quelques lumières sur des points demeurés obscurs. Comme en surface, flux Ouest et flux Est ont des caractéristiques différentes qui peuvent donner des indications sur leur origine.

L'évaluation à 5 % près des flux par classe de salinité ou d'oxygène et par tranche d'anomalie

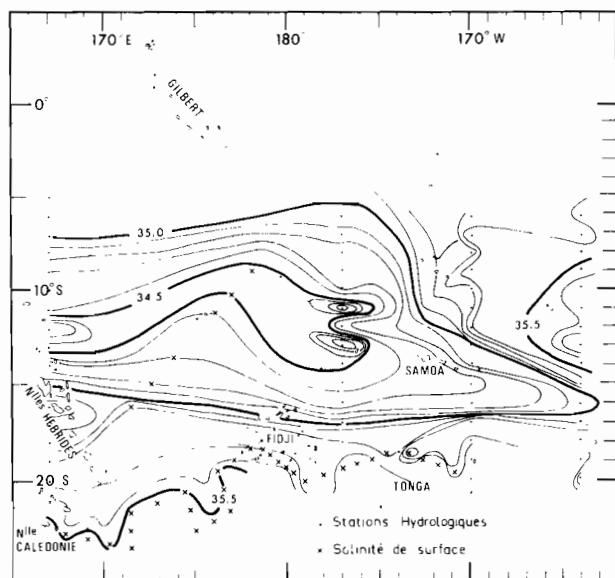


Fig. 8. — Salinité de la surface de la mer pendant les croisières Danaïdes (juin-juillet 1970) et Eponite (août 1970).

TABLEAU 1

Évaluation du flux Ouest par classe de salinité et d'oxygène par tranche d'anomalie thermostérique entre 200 cl/t et la surface de la mer.

FLUX OUEST en 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/s

|        |     | SALINITÉ ‰ |      |      |      |      |                     | OXYGÈNE |     |     |     |     |     |     |                     |
|--------|-----|------------|------|------|------|------|---------------------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------------------|
|        |     | 34,4       | 34,8 | 35,2 | 35,6 | 36,0 | Σ                   | 2,5     | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 4,5 | 5,0 | 5,5 | Σ                   |
| 177° w |     |            |      |      |      |      |                     |         |     |     |     |     |     |     |                     |
|        | 500 |            | 135  | 260  | 43   | 12   | 450                 |         |     |     |     | 245 | 205 |     | 450                 |
|        | 400 |            |      |      | 28   | 117  | 24                  | 169     |     | 3   | 78  | 78  | 19  |     | 178                 |
|        | 300 |            |      |      |      | 28   | 318                 | 346     |     | 1   | 140 | 206 |     |     | 347                 |
|        | 200 |            |      |      | 176  | 249  | 7                   | 432     |     | 47  | 343 | 50  |     |     | 440                 |
| Σ      |     | 135        | 260  | 247  | 406  | 349  | <u>1397</u><br>1397 |         | 51  | 561 | 334 | 264 | 205 |     | <u>1415</u><br>1415 |

|        |     |  |    |     |     |     |                     |     |    |     |     |     |     |  |                     |
|--------|-----|--|----|-----|-----|-----|---------------------|-----|----|-----|-----|-----|-----|--|---------------------|
| 170° w |     |  |    |     |     |     |                     |     |    |     |     |     |     |  |                     |
|        | 500 |  |    | 65  | 606 | 90  |                     | 761 |    |     |     | 115 | 669 |  | 784                 |
|        | 400 |  |    |     |     | 107 | 160                 | 267 |    |     |     | 238 |     |  | 238                 |
|        | 300 |  |    |     |     |     | 386                 | 386 |    |     | 278 | 129 |     |  | 407                 |
|        | 200 |  |    |     | 206 | 249 | 128                 | 583 |    | 11  | 172 | 408 |     |  | 591                 |
| Σ      |     |  | 65 | 812 | 446 | 674 | <u>1997</u><br>1997 |     | 11 | 172 | 686 | 482 | 669 |  | <u>2020</u><br>2020 |

|        |     |  |  |     |     |     |                     |     |  |    |     |     |     |    |                     |
|--------|-----|--|--|-----|-----|-----|---------------------|-----|--|----|-----|-----|-----|----|---------------------|
| 164° w |     |  |  |     |     |     |                     |     |  |    |     |     |     |    |                     |
|        | 500 |  |  |     | 45  | 259 |                     | 304 |  |    |     |     | 250 | 44 | 294                 |
|        | 400 |  |  |     |     | 307 | 139                 | 446 |  |    |     | 35  | 410 |    | 445                 |
|        | 300 |  |  |     |     |     | 479                 | 479 |  |    | 46  | 397 |     |    | 443                 |
|        | 200 |  |  |     | 227 | 260 | 120                 | 607 |  |    | 95  | 343 | 153 |    | 591                 |
| Σ      |     |  |  | 272 | 826 | 738 | <u>1836</u><br>1836 |     |  | 95 | 389 | 585 | 660 | 44 | <u>1773</u><br>1773 |

thermostérique entre l'isanostère 200 cl/t et la surface montre (Tableau 1) que le flux portant à l'ouest est associé à une forte salinité qui diminue vers l'ouest : entre 500 cl/t et la surface de la mer, la salinité de la classe modale du flux passe de 35,8 ‰ à 164° W à 35,0 ‰ à 177° W; entre 300 cl/t et 400 cl/t, la salinité est comprise entre 36,0 ‰ et 36,4 ‰ et le flux transportant cette eau diminue vers l'ouest. De même la concentration en oxygène de la classe modale du flux Ouest diminue de l'est vers l'ouest : entre 400 cl/t et 300 cl/t, elle est comprise entre 4,0 ml/l et 4,5 ml/l à 164° W et entre 3,5 ml/l et 4,0 ml/l à 177° W. Le flux portant à l'ouest entraîne donc une eau salée et moyennement oxygénée, l'eau subtropicale du Pacifique sud formée en surface vers 140° W et 20° S; dans cette région, sa localisation et ses caractéristiques inclinent à le considérer comme partie intégrante du flux général ouest qu'est le courant équatorial sud.

Le flux portant à l'est vers 6° S ne peut être évalué quantitativement car sa limite nord n'est pas définie. En revanche, celui situé vers 15° S l'est parfaitement à 177° W et 170° W, bien que son

intensité soit faible. De la surface de la mer à 500 cl/t (Tableau 2), la salinité du mode du flux augmente vers l'est de 177° W à 170° W, par évaporation et par échanges turbulents avec le flux ouest et passe de 34,6 ‰ à 35,0 ‰. Sans varier de façon aussi importante, la teneur en oxygène semble néanmoins plus faible à 177° W qu'à 164° W entre 200 cl/t et 400 cl/t. Enfin le mode du flux est toujours situé entre 500 cl/t et la surface de la mer. La distribution verticale de l'oxygène (fig. 9) montre clairement que le flux Est le plus sud est associé en subsurface, entre 300 et 400 cl/t, à un minimum de teneur en oxygène qui croît d'ouest en est; il lui correspond un maximum de concentration en sels nutritifs. De telles caractéristiques permettent d'identifier ce flux comme le contre-courant équatorial sud déjà mis en évidence à 170° E (JARRIGE, *op. cit.*) et dont l'origine est la partie occidentale du Pacifique.

Transportées par le flux Ouest, les eaux intermédiaires, avec une anomalie thermostérique inférieure à 200 cl/t, ont une faible teneur en oxygène au nord de 10° S. Deux minima sont observés, l'un vers 140

TABLEAU 2

Évaluation du flux Est à 15° S par classe de salinité et d'oxygène par tranche d'anomalie thermostérique entre 200 cl/t et la surface de la mer.

FLUX EST à 15° S en 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/s

|        |     | SALINITÉ ‰ |      |      |      |      |     |     |
|--------|-----|------------|------|------|------|------|-----|-----|
|        |     | 34,4       | 34,8 | 35,2 | 35,6 | 36,0 |     | Σ   |
| 177° w |     |            |      |      |      |      |     |     |
|        | 500 | 169        | 33   | 8    |      |      | 210 |     |
|        | 400 | 5          | 8    | 20   | 35   | 3    | 71  |     |
|        | 300 |            |      |      | 22   | 29   | 51  |     |
|        | 200 |            |      | 5    | 12   |      | 17  |     |
|        | Σ   | 174        | 41   | 33   | 69   | 32   | 349 | 349 |

|  |  | OXYGÈNE |     |     |     |     |     |     |     |   |
|--|--|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|
|  |  | 2,5     | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 4,5 | 5,0 | 5,5 |     | Σ |
|  |  |         |     |     |     |     |     |     |     |   |
|  |  |         |     |     | 4   | 170 | 12  |     | 18  |   |
|  |  |         | 4   | 9   | 24  | 46  |     |     | 83  |   |
|  |  |         | 18  | 27  |     |     |     |     | 45  |   |
|  |  |         | 1   | 15  |     |     |     |     | 16  |   |
|  |  | 23      | 51  | 28  | 216 | 12  |     | 330 | 330 |   |

|        |     | SALINITÉ ‰ |     |     |     |     |    |     |
|--------|-----|------------|-----|-----|-----|-----|----|-----|
|        |     | 63         | 185 | 39  |     |     |    | 287 |
| 170° w | 500 |            |     | 63  | 53  |     |    | 116 |
|        | 400 |            |     |     | 41  | 5   | 46 |     |
|        | 300 |            |     | 8   | 8   | 1   | 17 |     |
|        | 200 |            |     |     |     |     |    |     |
|        |     | Σ          | 63  | 185 | 110 | 102 | 6  | 466 |

|  |  | OXYGÈNE |    |    |    |     |  |  |     |  |
|--|--|---------|----|----|----|-----|--|--|-----|--|
|  |  |         |    |    | 16 | 269 |  |  | 285 |  |
|  |  |         |    |    |    |     |  |  |     |  |
|  |  |         | 3  | 6  | 34 | 64  |  |  | 107 |  |
|  |  |         | 16 | 11 | 13 | 4   |  |  | 44  |  |
|  |  |         | 2  | 6  |    |     |  |  | 8   |  |
|  |  |         | 21 | 23 | 63 | 337 |  |  | 444 |  |
|  |  |         |    |    |    |     |  |  | 444 |  |

|        |     | SALINITÉ ‰ |    |    |    |      |      |
|--------|-----|------------|----|----|----|------|------|
|        |     | 28         | 17 | 18 |    | 63   |      |
| 164° w | 500 |            |    |    |    |      |      |
|        | 400 |            | 4  | 10 | 35 | 2    | 51   |
|        | 300 |            |    |    | 2  | 18   | 20   |
|        | 200 |            |    | 6  | 5  | 0,5  | 11,5 |
|        |     | Σ          | 32 | 33 | 60 | 20,5 | 145  |

|  |  | OXYGÈNE |  |    |    |    |    |    |     |  |
|--|--|---------|--|----|----|----|----|----|-----|--|
|  |  |         |  |    |    | 61 | 6  | 67 |     |  |
|  |  |         |  |    |    |    |    |    |     |  |
|  |  |         |  |    | 3  | 35 | 11 | 49 |     |  |
|  |  |         |  | 8  | 11 |    |    |    | 19  |  |
|  |  |         |  | 9  | 2  |    |    |    | 11  |  |
|  |  |         |  | 17 | 16 | 96 | 17 |    | 146 |  |
|  |  |         |  |    |    |    |    |    | 146 |  |



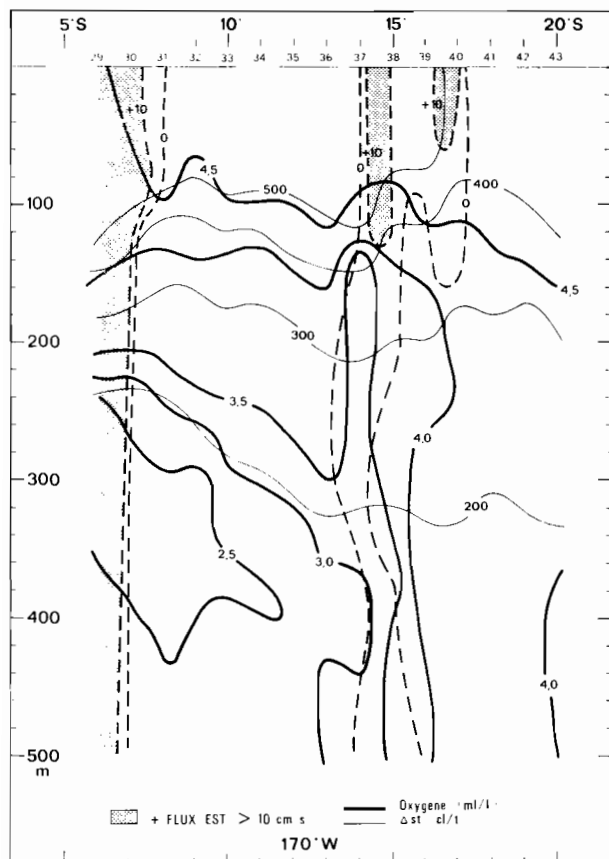


Fig. 9. — Distribution verticale à 170° W de l'oxygène dissous en ml/l et de la composante zonale des courants géostrophiques en cm/s relatifs à 1000 décibars de la croisière Danaïdes. En pointillé, le flux Est supérieur à 10 cm/s ; en trait fin les isanostères 200, 300, 400 et 500 cl/t.

cl/t, l'autre vers 80 cl/t ; la concentration de l'oxygène y croît d'est en ouest. L'existence de ces deux minima semble résulter de l'intrusion de l'eau antarctique intermédiaire dans l'eau équatoriale pauvre en oxygène.

#### 4. CONFIRMATIONS PHYSICO-CHIMIQUES.

##### (a) Sels nutritifs et mouvements des masses d'eau.

Les eaux superficielles du Pacifique central sud sont extrêmement pauvres en sels nutritifs : vers 15° S, de la surface à 100 mètres de profondeur environ, les teneurs en phosphate, nitrate et silicate sont respectivement inférieures à 0,2, 0,5 et 1,5  $\mu\text{atg/l}$  et la couche euphotique a un caractère oligotrophe marqué. Pendant la croisière Danaïdes seules les eaux situées au nord de 7° S avaient des

teneurs relativement élevées en phosphate et en nitrate. L'enrichissement de la couche superficielle est lié à la présence d'un flux Est ; dans ce milieu tropical fortement stratifié, il y a en effet corrélation entre la distribution des sels nutritifs et celle des courants : à la limite sud des courants Est, les eaux subsuperficielles ont tendance à monter vers la surface, ce mouvement se matérialisant par un doming des isoplèthes des sels nutritifs. Pendant la croisière Danaïdes, ce phénomène n'était sensible qu'à 170° W et à 164° W (fig. 10) mais il est possible qu'à 177° W le courant Est le plus nord ait été plus proche de l'équateur que plus à l'est et qu'un doming existât au nord de 6° S.

La distribution des nitrites est totalement différente de celle des autres sels nutritifs : absents en surface, ils forment, de 80 à 180 mètres de profondeur, une poche dont la concentration peut atteindre 1,0  $\mu\text{atg/l}$ , disposition similaire à celle décrite par OUDOT, HISARD, VOITURIEZ (1969) à 170° E. Les

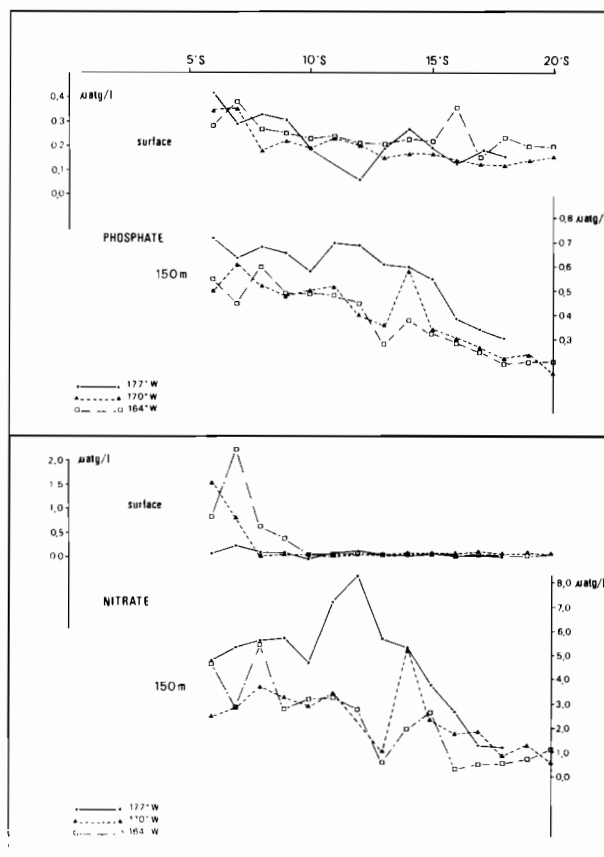


Fig. 10. — Concentration en  $\mu\text{atg/l}$  en surface et à 150 mètres de profondeur pendant la croisière Danaïdes du phosphate minéral dissous et du nitrate minéral dissous le long des méridiens 177° W, 170° W, 164° W.

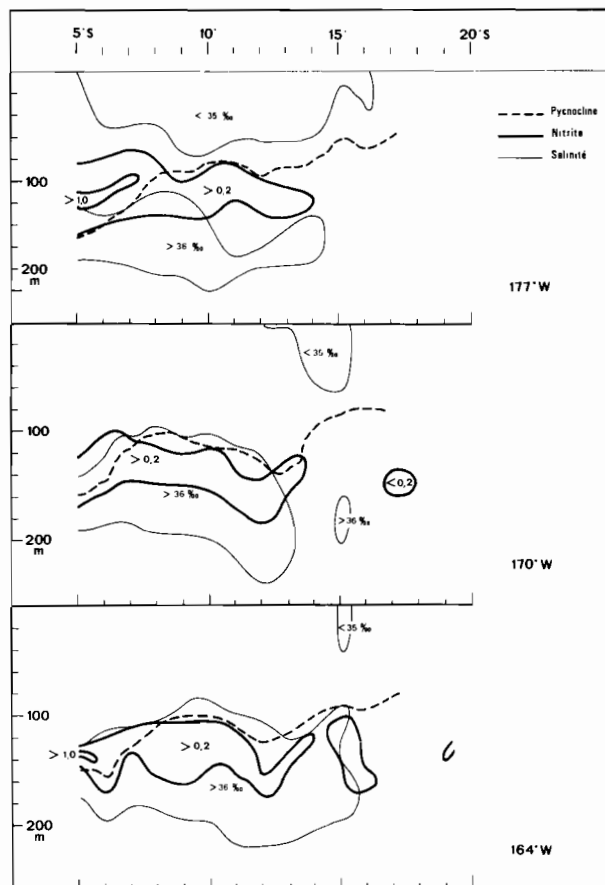


Fig. 11. — Distribution verticale du nitrite en  $\mu\text{atg/l}$  pendant la croisière Danaïdes le long des méridiens  $177^\circ\text{W}$ ,  $170^\circ\text{W}$  et  $164^\circ\text{W}$ . En pointillé, pycnocline et en trait fin noyau de salinité maximum.

teneurs les plus élevées sont (fig. 11) au nord de  $8^\circ\text{S}$ , juste au-dessus de la pycnocline due à la présence vers 150 mètres de profondeur du noyau de salinité maximum. On pense que les eaux superficielles, chargées de matière organique issues de l'upwelling équatorial s'écartent de l'équateur et plongent vers  $5^\circ\text{N}$  et  $5^\circ\text{S}$ ; elles sont le siège d'un important mécanisme d'oxydo-réduction qui aboutit à la formation de nitrite (ROTSCHI et WAUTHY 1973). Au sud de  $8^\circ\text{S}$ , la poche d'accumulation est située au-dessous de la pycnocline. Son extension méridienne est plus importante que dans le Pacifique sud-ouest et tend à augmenter vers l'est : à  $177^\circ\text{W}$ , l'isoplethe  $0,2\ \mu\text{atg/l}$  ne dépasse pas  $15^\circ\text{S}$  alors qu'à  $170^\circ\text{W}$  des indices d'enrichissement existent au sud de cette latitude. A  $164^\circ\text{W}$ , la poche atteint  $20^\circ\text{S}$  mais avec des discontinuités.

### (b) Corrélations UAO (1) — $\text{PO}_4\text{-P}$ .

Bien que les tests de normalité sur la répartition de l'échantillonnage indiquent qu'un traitement statistique satisfaisant des données chimiques n'est pas possible, la corrélation UAO —  $\text{PO}_4\text{-P}$  à  $170^\circ\text{W}$  fait apparaître deux systèmes de droites de régression. Le premier (figure 12a) est caractéristique des stations à  $10^\circ\text{S}$  et  $11^\circ\text{S}$  dans le courant équatorial sud d'une part, ainsi que de celles à  $6^\circ\text{S}$  et  $7^\circ\text{S}$  dans le courant Est le plus nord d'autre part. Ces deux courants appartiennent donc à une cellule fermée de circulation cyclonique dans laquelle le taux de renouvellement de l'eau est lent. Le second (figure 12 b) est caractéristique des stations à  $15^\circ\text{S}$  et  $16^\circ\text{S}$  dans le contre-courant équatorial sud d'une part ainsi que de celles à  $19^\circ\text{S}$  et  $20^\circ\text{S}$  dans le courant

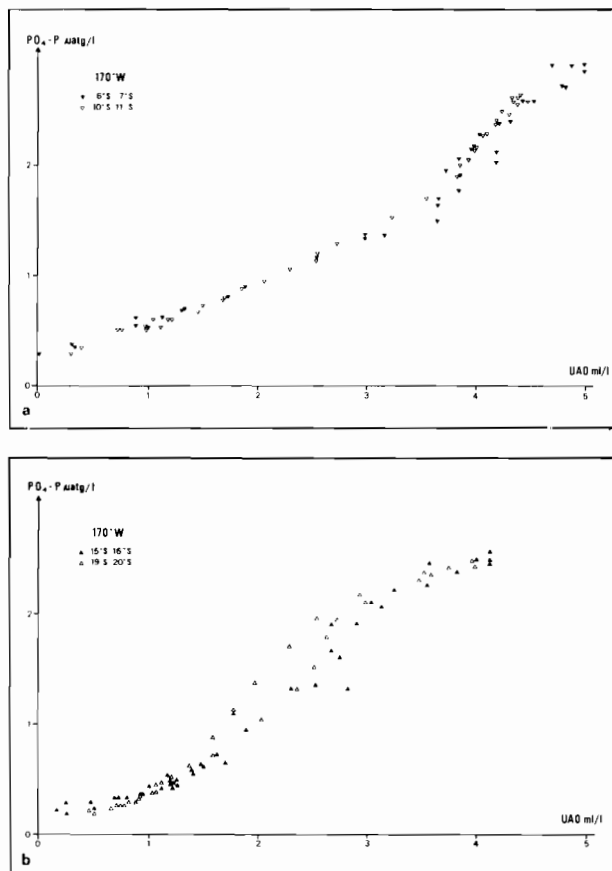


Fig. 12. — Corrélation UAO- $\text{PO}_4\text{-P}$  à  $170^\circ\text{W}$  pendant la croisière Danaïdes. a) stations situées à  $6^\circ\text{S}$ - $7^\circ\text{S}$  et  $10^\circ\text{S}$ - $11^\circ\text{S}$ . b) stations situées à  $15^\circ\text{S}$ - $16^\circ\text{S}$  et  $19^\circ\text{S}$ - $20^\circ\text{S}$ .

(1) UAO, utilisation apparente de l'oxygène.

Ouest le plus sud d'autre part. Ces deux courants appartiennent donc également à une cellule de circulation cyclonique. Ces deux cellules caractérisées par des valeurs différentes du phosphate préformé, 0,25-0,30  $\mu\text{atg/l}$  dans la première, 0,15  $\mu\text{atg/l}$  dans la seconde, sont séparées par la convergence proche de  $14^\circ \text{ S}$ . Cette situation peut être rapprochée de celle décrite par DONGUY, OUDOT, ROUGERIE (1970) à  $170^\circ \text{ E}$  où de part et d'autre de  $16^\circ \text{ S}$  existent deux types d'eau, bien distincts sur 340 cl/t.

Vers  $14^\circ \text{ S}$ , la même convergence sépare aussi deux types d'eau intermédiaire : sur 80 cl/t, la droite de régression  $\text{O}_2 - \text{PO}_4\text{-P}$  (fig. 13) a une rupture de pente entre  $14^\circ \text{ S}$  et  $15^\circ \text{ S}$  : au sud, sa pente est caractéristique de l'eau antarctique intermédiaire; au nord, de valeur proche de la pente théorique  $\frac{\Delta \text{O}}{\Delta \text{P}} = -276$ , elle est caractéristique d'une eau intermédiaire d'origine antarctique mais qui provient de l'est après avoir longé les côtes américaines et traversé le Pacifique oriental. Dans le Pacifique central l'influence de la convergence située à  $14^\circ \text{ S}$  environ n'est donc pas limitée aux eaux superficielles et subsuperficielles mais atteint l'eau intermédiaire.

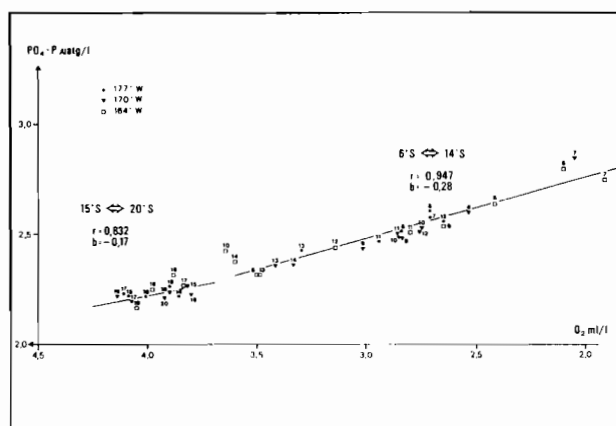


Fig. 13. — Corrélation  $\text{O}_2 - \text{PO}_4\text{-P}$  à  $170^\circ \text{ W}$  sur l'isanostré 80 cl/t pendant la croisière Danaïdes.

### (c) Comparaison des diagrammes T-S et T- $\text{O}_2$ .

Le diagramme T-S (fig. 14 a) à  $164^\circ \text{ W}$  et  $6^\circ \text{ S}$  (croisière Danaïdes) présente à 180 cl/t, sur la droite de mélange entre le maximum de salinité de l'eau subtropicale (340 cl/t) et le minimum de salinité de l'eau intermédiaire (80 cl/t), une rupture de pente qui n'existe pas à  $20^\circ \text{ S}$ . A  $141^\circ \text{ W}$ , la station

proche de cette latitude ( $6^\circ \text{ S}$ ) faite pendant la croisière Diadème du N. O. Coriolis montre que cette rupture de pente s'accroît vers l'est. Le diagramme T-S d'une station du R. V. ROCKAWAY présente à 180 cl/t un minimum de salinité à  $20^\circ \text{ S}$  et  $95^\circ \text{ W}$ ; celui-ci est encore plus marqué sur les stations du R. V. ELTANIN de la croisière Scorpio (1969) par  $28^\circ \text{ S}$  et  $77^\circ \text{ W}$ ; on le trouve en surface par  $43^\circ \text{ S}$  et  $75^\circ \text{ W}$  près des côtes d'Amérique du Sud. Cette masse d'eau, caractérisée par un minimum de salinité et une forte concentration en oxygène (fig. 14 b), est l'eau de surface des latitudes tempérées sud (WYRTKI, 1967). Comme sa teneur en oxygène peut être modifiée au contact du minimum équatorial d'oxygène, la trace de cette masse d'eau ne peut être suivie en subsurface des côtes américaines au Pacifique central qu'à l'aide du diagramme T-S.

La comparaison des diagrammes T-S et T- $\text{O}_2$  confirme les conclusions des relations  $\text{O}_2 - \text{PO}_4\text{-P}$ . Vers  $14^\circ \text{ S}$ , la convergence est une frontière entre deux types d'eau intermédiaire : au sud, l'eau antarctique intermédiaire, son noyau à 90 cl/t ayant une salinité d'environ 34,4 ‰ et une concentration de l'oxygène supérieure à 4 ml/l; au nord l'eau antarctique intermédiaire à caractère équatorial avec un noyau à 80 cl/t où la salinité est environ 34,5 ‰ et la concentration en oxygène inférieure à 2 ml/l. Cette frontière est parfaitement visible sur la distribution verticale de l'oxygène (fig. 9) de la croisière Danaïdes; à l'emplacement de la convergence, il existe un fort gradient méridien de la concentration de l'oxygène. Au nord de la convergence, vers 800 mètres de profondeur et sur l'isanostré 80 cl/t (fig. 14 a), la salinité est supérieure à 34,5 ‰; elle est plus faible au sud. Cela confirme WYRTKI (1967) qui pense que l'eau antarctique intermédiaire participe à la circulation cyclonique. En revanche, d'après REID (1965), la convergence vers  $14^\circ \text{ S}$  n'atteint pas 80 cl/t et la circulation dans les couches intermédiaires semble différente de la circulation superficielle.

## 5. CONCLUSION.

La croisière Danaïdes a permis de recueillir des données dans une zone peu connue du Pacifique sud et de combler le hiatus existant entre les observations effectuées dans le Pacifique sud ouest (croisières Bora et Cyclone) et au nord de la Polynésie (croisières Diadème et Caride).

On a ainsi prouvé l'existence vers  $170^\circ \text{ W}$  d'une discontinuité dans le déplacement des eaux superficielles; cette longitude semble constituer la limite

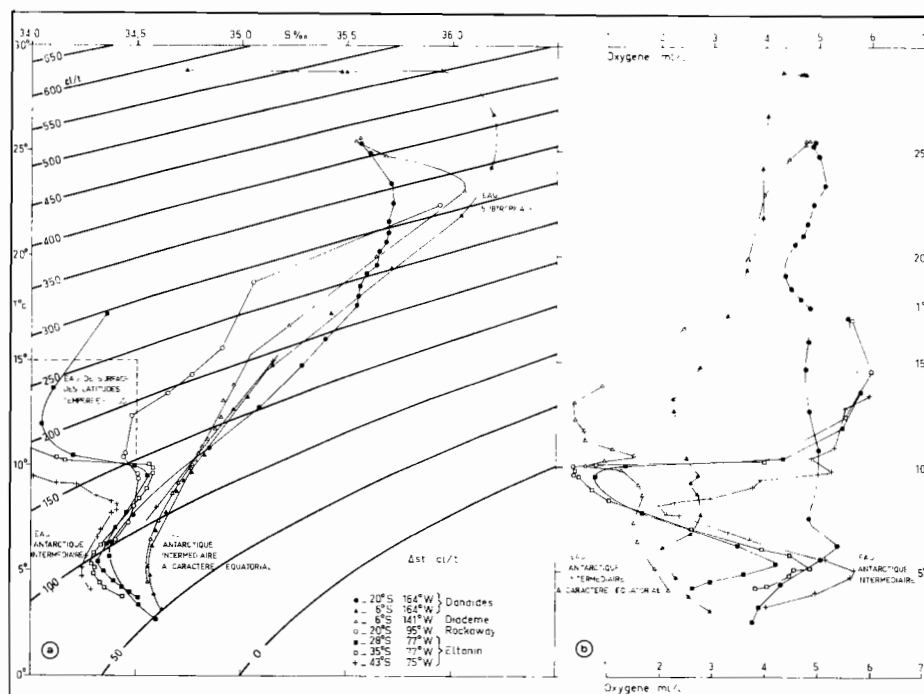


Fig. 14. — a) Diagramme T-S dans le Pacifique tropical sud entre 75° W et 164° W. b) Diagramme T-O<sub>2</sub> dans le Pacifique tropical sud.

extrême de l'extension vers le sud-est du contre-courant équatorial sud alors que plus à l'est une vaste cellule tourbillonnaire de type cyclonique crée vers 10° S un autre contre-courant bien établi à 140° W. Aux limites nord et sud de ces contre-courants, des cellules convectives perturbent le champ de densité et modifient la répartition verticale des sels nutritifs.

Le modèle de circulation proposé rend également compte des données plus anciennes obtenues à la

même saison et des moyennes globales des données du Pacifique central. Toutefois bien des imprécisions demeurent et seule une action concertée englobant tout le Pacifique tropical, comme Equalant le fut pour l'Atlantique, pourrait donner des résultats indiscutables. Il reste que des mesures effectuées en été austral devraient permettre de confirmer certains résultats obtenus pendant Danaïdes 1 et fournir quelques indications sur la variabilité de l'hydroclimat du Pacifique central sud.

Manuscrit reçu au S.C.D. le 24 juin 1974.

## BIBLIOGRAPHIE

- BURKOV (V. A.), 1966. — Structure and nomenclature of Pacific Ocean currents. *Oceanology*, vol. 6, n° 1 : 1-10 (traduction anglaise).
- DONGUY (J. R.), OUDOT (C.), ROUGERIE (F.), 1970. — Circulation superficielle et subsuperficielle en Mer du Corail et à 170° E. *Cah. O.R.S.T.O.M. sér. Océanogr.*, vol. VIII n° 1 : 3-20.

- DONGUY (J. R.), ROTSCH (H.), 1970. — Sur un courant Est dans le Pacifique central tropical sud. *C. R. Acad. Sc. Paris*, vol. 271 : 869-872.

- ISAKOV (I. S.), SHULEIKIN (V. V.), DEMIN (L. A.), 1950. — Atlas de la mer. Vol. II Géographie physique. Ministère de la Marine URSS (en russe).

- JARRIGE (F.), 1968. — On the eastward flow of water in the western Pacific south of the equator. *J. Mar. Res.*, vol. 26 n° 3 : 281-303.
- MERLE (J.), ROTSCHI (H.), VOITURIEZ (B.), 1969. — Zonal circulation in the tropical western south Pacific. In « Perspectives in Fisheries Oceanography », *Jap. Soc. Fish. Oceanogr.*, Special Number : 91-98.
- LOUDOT (C.), HISARD (P.), VOITURIEZ (B.), 1969. — Nitrite et circulation méridienne à l'équateur dans l'Océan Pacifique occidental. *Cah. O.R.S.T.O.M. sér., Océanogr.*, vol. VII, n° 4 : 67-82.
- REID (J. L.), 1959. — Evidence of a south equatorial counter-current in the Pacific Ocean. *Nature*, vol. 184 : 209-210.
- REID (J. L.), 1961. — On the geostrophic flow at the surface of the Pacific Ocean with respect to the 1000 decibars surface. *Tellus*, vol. XIII : 489-502.
- REID (J. L.), 1965. — Intermediate waters of the Pacific Ocean. *The John Hopkins Oceanogr. Studies*, n° 2, 85 p.
- REID (J. L.), 1969. — Sea surface temperature, salinity and density of the Pacific Ocean in summer and in winter. *Deep Sea Res.*, Suppl. vol. 16 : 215-224.
- ROTSCHI (H.), WAUTHY (B.), 1973. — Hydrologie et dynamique dans le Pacifique occidental tropical, en relation avec les mécanismes de fertilisation. *Bull. Mus. Hist. nat., Paris*, 3<sup>e</sup> sér. n° 147 : 65-81.
- SVERDRUP (H. V.), JOHNSON (M. W.), FLEMING (R. H.), 1942. — The Oceans, Prentice Hall, 1087 p.
- TSUCHIYA (M.), 1968. — Upper water of the Intertropical Pacific Ocean. *The John Hopkins Oceanogr. Studies*, n° 4 : 50 p.
- WOOSTER (W. S.), 1961. — Further evidence of a Pacific south equatorial countercurrent. *Deep Sea Res.*, vol. 8, n° 3/4 : 294-297.
- WYRTKI (K.), 1967. — Circulation and water masses in the eastern Equatorial Pacific Ocean. *Int. J. Oceanol. and Limnol.*, vol. I, n° 2 : 117-147.



# EQUATORIAL CIRCULATION IN THE WESTERN PACIFIC (170° E).

(Abstract)

---

MAGNIER, Y., H. ROTSCHI, P. RUAL and C. COLIN.

---

(Progress in Oceanography, B.A. Warren ed., Vol. 6, 1973 : 29-46).

---

Current measurements taken in the equatorial zone at 170°E aboard R.V. CORIOLIS reveal equatorial dynamics peculiar to the western Pacific. The west equatorial surface current has several speed cores on either side of the equator; the Equatorial Undercurrent has one speed core at 100 m and another at 200 m; the North Equatorial Countercurrent is connected with the Equatorial Undercurrent, which has two deep extensions on either side of the equator; beneath the Equatorial Undercurrent lies a weak west current which appears to reach a depth below 1000 m. The flows of these currents are very variable : the Equatorial Undercurrent may double its flow in 20 days.

---





# CURRENTS AT THE EQUATOR IN THE WESTERN PACIFIC :

## LACUNAE AND PROBLEMS (Abstract)

---

HENIN, C., F. JARRIGE, H. ROTSCHI and P. RUAL

---

(Contribution presented at the 13th. Pacific Science Congress,  
Vancouver, Canada, August 1975).

---

A complex structure of the currents at the equator has been described at 170°E from the data of eleven cruises between 5°S and 5°N.

While the reversal of the currents of the well mixed surface layer has been observed several times at 170°E and north of New Guinea its extent to the east is not known. Besides the reversal itself has not yet been observed.

The influence of the wind is quite different for the circulation in the Western and Central Pacific.

The lower cell in the Western Pacific and the Undercurrent in the Central Pacific lies close to 200-300 cl/t but the first one is always in geostrophic balance and does not seem to be influenced by the local wind as is the second.

The westward Intermediate Equatorial current whose existence seems to be well established through out the Pacific may reverse or disappear temporarily for unknown reason.

The lower limit of the Intermediate Equatorial Current is not determined.

Deep current datas are very scarce and very little is known about them but they seem to be more variable with respect to depth and more important than previously thought.

Most of these problems cannot be solved without the use of several observation platforms and thus do imply some kind of international cooperation. The First Global Garp experiment (FGGE) in 77-78 giving an exceptional meteorological coverage of the world might be a very good opportunity for such cooperation.

---



HYDROLOGICAL INTERPRETATION OF THE SURFACE CIRCULATION IN THE  
SOUTH TROPICAL PACIFIC BASED ON EIGHTEEN YEARS OF SURFACE SAMPLING

(Abstract)

---

DONGUY, J.R. and C. HENIN

---

(Contribution presented at the 13th Pacific Science Congress,  
Vancouver, Canada, August 1975).

---

From 1956 to 1974 all available surface data have been gathered to draw two charts per year of surface salinity between 170°E and 130°W and from 10°N to 25°S. On each chart, the main following features are observed : south of 10°S and east of 160°W a salinity maximum, along the equator a secondary salinity maximum, from 5°S to 20°S and west of 170°W a salinity minimum. The oscillations of the position and intensity of these features do not seem seasonal. This situation was inverted in 1957-1958 and 1972-1973 : a salinity minimum spread on both sides of the equator reaching 10°S and 150°W and was associated with west winds wich bring rainfall and eastward current, the salinity maximum extended westward to 180° between 10°S and 20°S and was associated with trade-winds bringing drought and westward current. The arrival of unsalted water in the Central South Pacific pushed away eastward the salinity maximum. This contrasted situation induced an upwelling at 10°S. At these periods, other drastic changes have also occured in several areas of the Pacific, such as the apparition of the EL NINO counter-current along the South American coast.

---



# SHORT PERIOD VARIATIONS OF EQUATORIAL CURRENTS AT 170°E. (Abstract)

---

COLIN, C., C. HENIN and F. JARRIGE

---

(Contribution presented at the 13th. Pacific Science Congress,  
Vancouver, Canada, August 1975).

---

Current time series were collected during three weeks in november/  
december 1973 at five different depths (20, 80, 110, 140, 220 m) at the  
equator (170°E); the results of the statistical analysis of these data  
are given. In the frequency band 0.1-6.0 eph, the flow at all depths is  
found to be turbulent and the spectral density of the components a  
decreasing linear function of the  $-5/3$  power of the frequency. Within  
the thermocline, there occur occasional oscillations of the two compo-  
nents of the current with periods of about 1.5 hours. At lower frequency,  
oscillations in the semi diurnal band are observed the amplitude maximum  
is found at the top of the thermocline which spreads vertically because  
of the existence of the Equatorial Undercurrent. In the homogeneous  
superficial layer, the direction of the semi-diurnal oscillation is in  
good agreement with model predictions of the M2 tide (north-east,  
south-west), while in the Undercurrent, these oscillations have the  
same direction as the current itself (east-west).

---



# EQUATORIAL UPWELLING ORIGINALITY (PACIFIC OCEAN)

(Abstract)

---

B. WAUTHY

---

(Contribution presented at the 13th Pacific Science Congress,  
Vancouver, Canada, August 1975).

---

Upwelling has been evidenced along the equator by its secondary effects at the surface : cooling, nutrient enrichment, enhanced production; yet the most important feature seems to have been overlooked : namely, the high salinity of upwelled water. Upwellings are generally known to bring up low-salinity water, but in the intertropical zone they are fed with high salinity subsurface water of subtropical origin. Thus, at the Pacific equator, upwelled water appears as a surface salinity maximum and in spite of warming during the horizontal advection by divergence flow, it remains denser than the low-salinity displaced equatorial water and must dive as soon as it leaves the area of active upwelling or as soon as upwelling weakens or stops. High salinity of equatorial upwelled water explains the quickness of upwelling to collapse in response to abatement of the wind and the narrowness in latitude of the enrichment zone.

However, this upwelled water which acquires new characteristics while at the surface and which occurs across a large part of the Pacific equator, should be considered an important genuine "primary surface water" and we propose to name it "Equatorial Upwelling Surface Water". (140°W; 2°N-5°S to 140°E; 2°N-3°S / 35,6 to 35,0 S‰ / 6 to 1  $\mu\text{Atg/l NO}_3$  / 0.2  $\mu\text{Atg/l NO}_2$ ). Its importance is stressed by analysing two examples of its subsurface extension after leaving its area of formation :

- it can be tracked in the Central Pacific as a salinity maximum of southern origin as far as 8°N
- it is thought to be responsible for the accumulation of nitrite up to 2.5  $\mu\text{Atg/l}$  near 5°S in the thermocline of western Pacific.

It is suggested that the same high salinity upwelling process could be of importance in intertropical circulation of other oceans.

---





RELATION BETWEEN RAINFALL AND SEA SURFACE SALINITY IN THE  
SOUTH WEST TROPICAL PACIFIC BASED ON 1956-1973 SAMPLING

(Abstract)

---

DONGUY, J.R. and C. HENIN

---

(Communication presented at the 16th. IUGG General Assembly,  
August 25 - September 6, 1975, Grenoble, France).

---

The climate of the South-West Tropical Pacific is characterized by a rainy season (October-March) and a dry season (April-September); at each season, a mean rainfall is pointed out for each station. The local influence is eliminated by referring the amount of rainfall to the seasonal average. Two main kinds of charts are resulting. One with an equatorial rainfall shortage, other with an equatorial rainfall excess. An equatorial upwelling is associated with the equatorial shortage but generally not with the equatorial excess. The rainfall influence on the surface salinity may be estimated by referring the observed surface salinity to the mean one. This influence is maximum when the wind is weak and when the equatorial upwelling is missing or not very active. However, the equatorial upwelling may coexist with strong rainfall, the surface desalted waters being pushed away to the north.

---



# THE COUNTER-CURRENTS IN THE SOUTH TROPICAL PACIFIC (Abstract)

---

DONGUY, J.R., C. HENIN and F. ROUGERIE

---

(Communication presented at the 16th IUGG General Assembly,  
August 25 - September 6, 1975, Grenoble, France).

---

In the south tropical Pacific, two counter-currents (South Equatorial Counter-Current and South Tropical Counter-Current) have been pointed out west of  $180^\circ$  and only one east of this longitude. The formation of such eastward flows seems connected with the wind features. From Australia to  $130^\circ\text{W}$ , their positions and their transports are examined with the available data. A counter-current exists at about  $10^\circ\text{S}$  from  $170^\circ\text{E}$  to  $180^\circ$  and between  $170^\circ\text{W}$  and  $140^\circ\text{W}$  but these two flows have different hydrographic properties and are discontinuous. During the abnormal year 1958, the surface circulation of the South Tropical Pacific has been modified mainly about the position and the transport of the counter-currents.

---



## CURRENTS IN THE LAGOON OFF NOUMEA (Abstract)

---

JARRIGE, F., R. RADOK, G. KRAUSE and P. RUAL

---

(Technical Report, 5 pp. multigr. + 7 fig., 1975)

---

During five weeks in December 1974 and January 1975, currents were recorded at eleven different locations and sea level at five other locations in the lagoon off Noumea (New Caledonia). The data are described. Their interpretation throws some light on the knowledge of the circulation in the lagoon. At all times, the currents are modulated by the tide, local South Easterly winds drive a general NW drift and in the absence of local wind there exists an average circulation, probably due to some external forces. In conclusion, certain important questions are posed and means for answering them suggested.

---



MARINE TURTLES OF NEW CALEDONIA (Abstract)

---

(Extension Documents Series)

P. RANCUREL

---

(Nature Calédonienne 7 : 13-16, 1974. In French)

---

Marine turtles encountered on the coasts of New Caledonia are listed, and the biological cycle of the green turtle Chelonia mydas described. An appeal is made for the protection of this endangered species, and to promote protected breeding and raising of juveniles.

---





FUR SEALS OF THE ISLE OF PINES (Abstract)

---

(Extension Documents Series)

P. RANCUREL

---

(Nature Calédonienne 6 : 21-24, 1974. In French)

---

During the years 1972-1973, three young fur seals were stranded on the South Coast of New Caledonia (Isle of Pines, 22° South) in the middle of the Austral Winter. These animals are known, in the South-western Pacific, only from South New Zealand and south Australia (Arctocephalus forsteri and A. doriferus = A. pusillus). Were the stranded fur seals coming from these areas ? The juvenile state of the skulls did not provide any information about their specific status, but meteorological evidence suggests that these animals could be stragglers of Australian population. About one month before strandings, the Tasman Sea exhibited rough gales and strong winds resulting in waves and currents directed toward the New Caledonian coasts.

---



A MASS STRANDING OF THE PORPOISE  
PEPONOCEPHALA ELECTRA IN NEW HEBRIDES

---

P. RANCUREL

---

(Biological Conservation 6 (3), 1974. In French)

---

└ This article develops the facts reported in the following :  
Smithsonian Institution : Center for short-lived Phenomena.  
Event n° 29-73, 8 March 1973, Report 1579.  
See also : ORSTOM, Noumea, Oceanogr. - Rec. Trav. 5, 1973,  
Contribution n° 144.┐

---



CHARTS OF BATHYMETRIC DISTRIBUTIONS AND VERTICAL  
MIGRATIONS OF EUPHAUSIID CRUSTACEANS IN THE TUNA  
FISHING GROUNDS OF THE SOUTH TROPICAL PACIFIC (Abstract)

---

C. ROGER

---

(5 pp. multigr. + 109 plates - 1974)

---

These charts complement the article published in Cahiers ORSTOM XII (4) 1974, which constitutes the Contribution n° 162 of the present volume of Collected Reprints. Detailed description of the vertical distribution of each species (and sometimes size group) is given for each cruise.

---



FEEDING RHYTHMS AND TROPHIC ORGANIZATION OF  
A POPULATION OF PELAGIC CRUSTACEA (EUPHAUSIACEA)

(Abstract)

---

C. ROGER

---

(Contribution presented at the 13th. Pacific Science Congress,  
Vancouver, Canada, August 1975).

---

The trophic behaviour of almost all the euphausiid species of the tropical Pacific has been studied; 18620 individuals have been dissected. The feeding rhythm is typical for each species, and a given species exhibits the same behaviour in different regions. As a rule, species belonging to the same genus have the same feeding type : nutrition most active by night in Euphausia, permanent in Thysanopoda, mostly restricted to light hours in Stylocheiron, principally from noon to midnight in Nematoscelis and Nematobrachion. The food requirements are fulfilled through an extended feeding period in Euphausia and Thysanopoda, and through a large stomach content in Nematoscelis and Nematobrachion.

The daily vertical migration goes with continuous feeding : in most cases, the feeding rhythms are weak or non-existent in migrant species, widest in non-migrant species. Nevertheless, the vertical migration does not appear to provide any "bonus" to species which perform it. Assuming that the duration of the stomachal transit is the same for all the species (a speculative proposition), one has calculated the amount of food eaten by each species in the different bathymetric levels by day and night. It has been found that the efficiency (total biomass of species / food consumed during 24 hours, i.e. biomass available for the upper link / biomass eaten daily at the expense of the lower link) was 4 times better in non-migrating species than in migrating ones.





IMPORTANCE OF BATHYMETRIC DISTRIBUTIONS OF  
MACROPLANKTONIC ORGANISMS UPON THE STRUCTURE  
OF PELAGIC FOOD WEBS (Abstract)

---

C. ROGER and R. GRANDPERRIN

---

(Contribution presented at the 13th. Pacific Science Congress,  
Vancouver, Canada, August 1975).

---

Trophic webs leading to the long-line Albacore (Thunnus alalunga) and Yellowfin (T. albacares) tunas from the tropical Pacific have been investigated by analysis of their stomach contents and that of their preys. In 365 tuna stomachs, there have been identified 1399 micronektonic epipelagic fishes which usually avoid nets because they are fast swimmers. In the stomachs of these fishes, the best known group of organisms from the point of view of its vertical distribution, i.e. the Euphausiid crustaceans, has been determined at the specific level. These Euphausiids mainly belong to the genus Stylocheiron (64%), which stays in the 0-400m layer even during daytime; in contrast, Euphausia species, more numerous than Stylocheiron but inhabiting the first 400 metres only at night, account for only 10% of the Euphausiids preyed upon. Thus, these fishes seem to eat mainly during day light and in depths of less than 400 metres; the main part of the biomass of diurnally vertically migrating macroplankton escapes them, and thus participates little in the trophic webs leading to tunas. Although the independence between the trophic webs involving, on the one hand, epipelagic fauna and, on the other hand, migrating fauna, is certainly not total (Cephalopods, which are an important food source for tuna, very likely feed to some extent on migrating fauna), it appears that combined action of vertical distributions and of feeding rhythms decides the structure of the pelagic food webs, and thus preferential paths of energy transfer in the pelagic environment. The continuous or mainly nocturnal feeding of migrating fauna, together with the mainly diurnal feeding of epipelagic fauna results in an accelerated energy transfer from surface to deep layers, and a slackening of reverse transfer. It is also considered that a detailed knowledge of vertical distributions of macroplanktonic species is essential to an understanding of pelagic food webs, because it permits their use as "tracers" when they figure in the stomach contents of their predators, thus providing information on the latter's trophic behavior.

---



# DEEP-FISHING IN SOME SOUTHWEST PACIFIC ISLANDS (Abstract)

---

P. FOURMANDIR

---

(Lettre d'Information sur les Pêches dans les Iles du Pacifique Sud,  
10 : 22-26 - 1973 - In French).

---

Different gears for deep sea fishing (120m-400m), bottom set line, handline, reel, are commented. Descriptions of the deep fishes found in New-Caledonia are given; they concern Pristipomoides (flavipinnis, filamentosus, typus, sieboldi), Etelis (carbunculus, oculatus), Epinephelus (chlorostigma, compressus, morrhua), Seriola purpurascens.

---



ICHTHYOLOGICAL FAUNA OF GAMBIE ISLANDS (Abstract)

---

P. FOURMANDIR, J.M. GRIESSINGER and Y. PLESSIS

---

(Cahiers du Pacifique 18 : 543-578, 1974-In French)

---

Local methods of catching fish by nets and lines are explained.  
A list of 246 fishes from these South Pacific Islands (135°E.,  
23°S.) is given, with both scientific and local names.

---



SPACE-TIME RELATIONSHIPS BETWEEN PLANKTONIC COMMUNITIES  
AND EQUATORIAL CURRENTS SYSTEM IN THE WESTERN PACIFIC  
(Abstract)

---

J.A. GUEREDRAT and H. VELAYOUDON

---

(Contribution presented at the 13th Pacific Science Congress,  
Vancouver, Canada, August 1975).

---

Meridians 170°E and 167°E were explored from 12°S to 4°N during two cruises of the R.V. CORIOLIS of ORSTOM Center of Noumea. The layers 0-25, 25-50, 50-100, 100-150 and 150-200m were sampled from 12.00 to 16.00 and from 00.00 to 04.00 hours by 200 hauls.

The hydrographic structure of this region displays a doming about 10°S and the upwelling connected with the equatorial divergence. This structure is numerically expressed by different parameters such as the depth of the 0,5  $\mu$ mol/l phosphate isoline.

Chl a has two maxima connected with the hydrographic structure, which are shifted northward about 60 and 120 miles from phosphate maxima.

Likewise, the zooplankton biomass (mainly herbivorous) are displaced with respect to the Chl a maxima.

In addition to these shifts in the biomass maxima, there is observed, away from the upwelling, a space evolution of the trophic structure of the zooplankton community. A study near the equator has shown that starting with the formation of the upwelling the trophic level of the whole community increases in time.

---





ECOLOGY OF THE PELAGIC COPEPODS IN THE TROPICAL INDO-PACIFIC  
(EVOLUTION AND STRUCTURE OF THE COMMUNITY IN THE EASTERN INDIAN OCEAN)  
(Abstract)

---

J.A. GUEREDRAT

---

(Ph. D. Thesis - Paris, 1975 - CNRS n° AD. 9524 <sup>1</sup>/ 2 -)

---

The planktonic Copepods have a very great importance because of their tremendous number and play the chief role at the lower level of the food web. However their ecological features are still little known in the tropical Pacific and Indian oceans.

The present study deals with two series of plankton samples made in the 0-200m layer along the equator across the whole Pacific ocean, and in the Indian ocean along the 110°E from 32°S to 9°S. In these areas 116 species of Calanoid Copepods were listed, 39 of them that constitute 84% of the whole number, have been counted for each station.

The four water masses recognizable along the 110°E are fundamental characteristics of the Indian Ocean hydrographical structure. Because it is not possible to use these synthetic features in mathematical analysis, we have selected 13 physical parameters as ecological factors. The study of space-time evolutions of these parameters shows that these are representatives of the hydrography of the area under study.

In the Pacific Ocean we recall as main hydrographical and ecological features of the equatorial currents system the westward decrease in intensity of the equatorial upwelling as the main cause of the impoverishment in nutrient salts and resulting decrease in chlorophyll a.

For each of the 39 species we carry out, or complete, autoecological study in the tropical regions, based on :

- general geographical distribution and trophic level knowledge from litterature;
- latitudinal, longitudinal, vertical and annual variations, and diurnal migration from our data.

This work clearly shows that the Copepod taxon cannot be considered as an ecological entity. So for Copepods it is necessary to enter the ecological studies at the level of groups of species.

This part of the study deals only with the Indian Ocean samples, that is to say with a 52 x 88 data matrix. A brief statistical study of these 2 series of distributions shows that :

- for the 88 distributions in station the independence between variance and mean is better after the variable was transformed with  $X'' = \sqrt{\log(x + 1)}$  than with the simple log transformation. But there is not improvement in skewness and Kurtosis expressed by the Pearson coefficients  $\beta_1$ , and  $\beta_2$ , nor in the adjustment to the normal curve as tested by the  $\chi^2$ .

- for the 39 species distributions the log-transformation leads to the independence of variance to mean and allows a reasonable adjustment to normal for the most abundant species.

Although we retain the log transformation for our principal components analysis, we point out that this transformation cannot be considered as suitable to improve any planktonic distribution for statistical studies.

The multiclass analysis based upon a quantitative non-parametric metric and represented by a dendrogram allows us to distinguish in the whole Copepod population six groups of species. Likewise six groups have been recognized from the principal component analysis. From one series to the other the species in the groups differ just slightly and their similar position along the 110°E allows us to retain easily one of the two series. These groups are considered as taxocenoses because of their distinctive ecology as revealed by the interpretation of the first three principal components and by the setting up of multivariate models with stepwise regression analysis.

From the stations defined only by their faunistic variables, the multiclass and principal components analysis set apart 3 groups of stations. On the one hand the ecological features of these zones, on the other hand their relative homogeneity revealed by a differentiation test on the means, show them as distinctive biotopes well linked with the water masses set up by classical hydrological studies.

Thus along the 110°E, the "taxigeocenose" formed by the northern taxicenose and the biotope is completely different from the southern one, and the middle one presents the characteristics of an ecotone.

For the equatorial Pacific and the eastern Indian ocean taken separately, a synthetic approach of the ecosystems is made with species diversity as a mesure of the "structure, dynamism and evolution of the community". After a review of the different expressions of species diversity, the Shannon Wiener formula :  $H = - \sum p_i \log_2 p_i$  is retained.

Across the Pacific ocean the results are particularly clear for the longitudinal evolution. In the oriental zone the low diversity agrees well with :

- the influence of the widely spread out equatorial divergence,
- the high concentration of nutrient salts,
- the important primary production,
- the arrival of water coming from southern latitudes.

All these represent an ecosystem in an early stage of succession where biomass is large and herbivores prevail.

Going westward these features decrease or disappear with the increase of diversity.

Along the 110°E meridian the spatial changes in species diversity account to a slight extent for the latitudinal evolution of the ecosystem but much more for the change in time of the taxocenose maturity.

Most of the results coming from the Copepod taxocenose study (and mainly those from the species diversity) when extrapolated to the ecosystem as a whole lead to conclusions close enough to those obtained by our studies based on 18 other taxons which complete the whole biocenose sampled in the tropical zones in Indian and Pacific oceans.

This study emphasizes, on the one hand, the need of mathematical methods in tropical regions because the communities structures are peculiarly complex and their changes in time are very weak, and on the other hand, that synthetic approach must be of greater interest because of the lack of dominant species.

---



PHYTOPLANKTON AND CIRCULATION NORTH OF  
NEW GUINEA IN SUMMER 1971 (Abstract)

---

B. WAUTHY

---

(The Kuroshio III. Proceedings of the 3<sup>rd</sup> CSK Symposium -  
Bangkok - Thailand. 1973 : 315-325).

---

Phytoplankton biomass was measured as "active Chlorophyll a" along with detritus of phytal origin as "phaeopigments" by the fluorescence method. Samples were taken from hydrological samplers. Both Chlorophyll a and phaeopigments vertical distributions show a clear stratification with a well-marked deep maximum. The relations of this stratification with density, production and vertical circulation are discussed. Nitrite accumulation in the pycnocline is presented and its possible connection with the mineralization of organic matter emphasized.

---



# PRELIMINARY REPORT ON THE SWALLOW FLOATS EXPERIMENT

AT 0°, 170°E IN NOVEMBER-DECEMBER 1973 (Abstract)

COLIN, C., B.V. HAMON, C. HENIN and F. JARRIGE

(Communication presented at the IAPSO 1st. Special Assembly, January 1974, Melbourne, Australia).

During the VATE cruise (Nov. 6-Dec. 16, 1973) the distribution of absolute current velocity was measured from 500m down to 3000m at 0°, 170°E by tracking 8 neutrally buoyant free floats (SWALLOW floats) during 15 days.

The different float fixes were computed both from successive radar positions on radar reflectors mounted on a surface buoy of the mooring and by using the satellite navigation system ITT 6000 (especially when the SWALLOW floats were too far from the mooring).

| Float n° | Nominal Depth (m) | Estimated Depth (m) | Accuracy (m) | $\theta$ (deg) | $\bar{V}$ (cm/s) | $\bar{U}$ (cm/s) | $\bar{V}$ (cm/s) |
|----------|-------------------|---------------------|--------------|----------------|------------------|------------------|------------------|
| 5        | 500               | 512                 | -            | 357            | 9                | 0                | 9                |
| 4        | 500               | 543                 | + 27         | 007            | 11               | 1                | 11               |
| 11       | 800               | 859                 | + 20         | 177            | 7                | 0                | -7               |
| 10       | 1000              | 1109                | + 58         | 295            | 19               | -17              | 5                |
| 7        | 1000              | 1157                | + 28         | 285            | 18               | -17              | 5                |
| 3        | 1200              | 1207                | +102         | 050            | 7                | 6                | 5                |
| 6        | 2000              | 2358                | +148         | 232            | 5                | -4               | -3               |
| 12       | 3000              | 3056                | +358         | 111            | 10               | 9                | -3               |

Note :  $\bar{U}$  and  $\bar{V}$  represent the averaged velocity components in the zonal and meridional directions (eastward and northward are taken positive).

A comparison with the results of ARIES Expedition (April 1971) at 1°S - 150°W and with current shear measurements during CYCLONE 6 cruise (August 1967) at 0° - 170°E shows that if the zonal components appear to be steady in the deep layers, it seems that meridional components are subject to variations which remain very often, so far, unexplained.

So they have to be used with caution.