

RECUEIL de TRAVAUX

COLLECTED REPRINTS

N° 7

Adresse : CENTRE ORSTOM — B.P. A 5 — NOUMEA — Nlle-Caledonie (NEW CALEDONIA)

SOMMAIRE

Contents

(* Contributions with English Abstract)

- Informations sur l'activité du laboratoire (1976 à 1977).
(*Progress report for 1976 - 1977*).
- Carte des croisières effectuées (1976-1977).
(*Cruises carried out 1976 - 1977*).
- * 186 — DONGUY, J.R. — Une année d'observations de surface dans la zone de mousson de la partie occidentale de l'océan Indien. (*A year of surface observations in the monsoon zone of the western part of the Indian ocean*).
- * 187 — ROUGERIE, F. et DONGUY, J.R. — La mer du corail en régime d'alizé de sud-est. (*The Coral sea in south-east tradewinds conditions*).
- * 188 — DONGUY, J.R. — Les eaux superficielles tropicales de la partie occidentale de l'océan Indien en 1966-1967. (*The tropical surface waters in the western part of the Indian ocean in 1966-1967*).
- * 189 — DESROSIERES, R. — Quelques observations sur le phytoplancton océanique des abords de la Nouvelle-Calédonie (océan Pacifique sud-ouest). (*Some observations on the oceanic phytoplankton collected in the vicinity of New Caledonia (Southwestern Pacific ocean)*).
- * 190 — ROGER, C. — Rythmes nutritionnels et organisation trophique d'une population de crustacés pélagiques (Euphausiacea). (*Feeding rythms and trophic organisation of a population of pelagic crustaceans (Euphausiacea)*).
- * 191 — PITON, B. et MAGNIER, Y. — Remarques sur la circulation et les caractéristiques hydrologiques de la couche superficielle entre Madagascar et l'équateur. (*On the currents and hydrographic features of the upper oceanic layer between Madagascar and the Equator*).
- * 192 — DONGUY, J.R. et HENIN, C. — Evidence of the South Tropical Counter-Current in the Coral sea (in English).
- * 193 — RANCUREL, P. — Echouage en masse du cétacé *Peponocephala electra* aux Nouvelles-Hébrides. (*Mass stranding of the Cetaces Peponocephala electra at the New-Hebridae*).
- * 194 — DONGUY, J.R., HENIN, C. et ROUGERIE, F. — Les contre-courants dans le Pacifique tropical sud-ouest. (*The counter-currents in the tropical south west Pacific*).
- * 195 — OUDOT, C. et WAUTHY, B. — Upwelling et dôme dans le Pacifique tropical occidental : distributions physico-chimiques et biomasse végétale. (*Upwelling and doming in western tropical Pacific ocean : physico-chemical distributions and phytoplankton biomass*).
- * 196 — RANCUREL, P. — Présence dans le sud-ouest Pacifique du calmar géant *Ommastrephes caroli* Furtado 1887 (Cephalopoda-oegopsida et description du mâle. (*Presence in the southwest Pacific of the giant squid Ommastrephes caroli Furtado 1887 (Cephalopoda-oegopsida) and description of male*).
- * 197 — RANCUREL, P. — Note sur les céphalopodes des contenus stomacaux de *Thunnus albacares* (Bonnaterre) dans le sud-ouest Pacifique. (*Note on the cephalopods of the stomach contents of Thunnus albacares (Bonnaterre) in the southwest Pacific*).
- * 198 — DONGUY, J.R. et HENIN, C. — Anomalous navifacial salinities in the tropical Pacific ocean (In English).
- * 199 — RANCUREL, P. — Notes ornithologiques. Liste préliminaire des oiseaux de mer des îles et îlots voisins de la Nouvelle-Calédonie. (*Ornithological notes : preliminary list of sea birds of New Caledonia islands and neighbouring islets*).
- * 200 — ROGER, C. et GRANDPERRIN, R. — Pelagic food webs in the tropical Pacific (In English).
- * 201 — ROGER, C. — Fecundity of tropical euphausiids from the central and western Pacific ocean (In English).

- 202 — RANCUREL, P. — Echouage d'otaries à fourrure dans le sud de la Nouvelle-Calédonie. (*Stranding of fur seals in the south of New Caledonia*).
- 203 — LE GUEN, J.C., DONGUY, J.R. et HENIN, C. — Perspectives thonières dans le Pacifique sud. (*Thuna fishing perspectives in the south Pacific*).
- 204 — DONGUY, J.R. et HENIN, C. — Relations entre les précipitations et la salinité de surface dans l'océan Pacifique sud-ouest basées sur un échantillonnage de surface de 1956 à 1973. (*Relations between the precipitations and the surface salinity in the South West Pacific ocean based upon a surface sampling from 1956 to 1973*).
- * 205 — DONGUY, J.R. — Utilisation des navires marchands pour la récolte des données scientifiques dans la zone intertropicale. (*Use of merchant ships for the gathering of the scientific data in the intertropical zone*).

RESUMES Abstracts

- * 206 — DONGUY, J.R. — Utilisation des données des navires non spécialisés en océanographie. (*Use of data from ships of opportunity in oceanography*).
- * 207 — DONGUY, J.R. — L'utilisation des navires marchands pour la récolte des données scientifiques débutera en janvier 1977 au Havre. (*The use of merchant ships for collecting scientific data will begin in January 1977*).
- * 208 — DONGUY, J.R. — Marines et mesures océanographiques. (*Navy and oceanographic measurements*).
- * 209 — DONGUY, J.R. — La collaboration des navires de la compagnie avec l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM) conduit à une meilleure connaissance du Pacifique et de l'océan Indien. (*A greater knowledge of the Pacific and Indian oceans in being obtained by the cooperation of the ships of our company with the Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM)*).
- * 210 — FOURMANOIR, P. — Requins de Nouvelle-Calédonie. (*New Caledonia sharks*).
- * 211 — DONGUY, J.R., HENIN, C. et ROUGERIE, F. — Surface waters in the northern Coral sea.
- * 212 — DONGUY, J.R., HENIN, C. et ROUGERIE, F. — Surface water exchanges between the Coral Sea and the Pacific ocean.
- * 213 — DONGUY, J.R., HENIN, C. et ROUGERIE, F. — Dynamic interpretation of surface salinities between New Caledonia and New Zealand.

INFORMATIONS SUR L'ACTIVITE DU LABORATOIRE D'OCEANOGRAPHIE DU CENTRE ORSTOM DE NOUMEA EN 1976 - 1977

1. Travail à la mer

En 1976, 82 jours ont été consacrés aux opérations en mer, dont 42 pour la biologie et 40 pour la physique. En biologie, on a poursuivi le programme MOLA : étude de l'influence du cycle lunaire sur les déplacements nycthémeraux des organismes du micronecton à l'aide d'un chalut pélagique ouvrant-fermant grâce à un mécanisme mis au point au laboratoire. Le travail à la mer s'est divisé en trois croisières au cours desquels un total de 200 traits a été réalisé dans des couches comprises entre la surface et 1000 m de profondeur. En physique, la croisière EPONITE 2 de 40 jours, a été effectuée pour récolter les données utiles à la description de l'extension zonale de la couche d'accumulation de nitrite en vue d'obtenir une meilleure compréhension des mécanismes de transformation de la matière organique et de régénération des sels nutritifs.

En 1977 112 jours de mer ont été consacrés aux études au large. En biologie la croisière ECOTON qui a duré 20 jours a servi à récolter des échantillons planctoniques et des données hydrologiques dans le cadre de l'étude de la survie des larves de thons. Le programme d'étude hydrologique globale et saisonnière de la zone tropicale du Pacifique Sud-Ouest s'est poursuivi par la réalisation de deux croisières DANAIDES 2, de 48 jours dans le Pacifique Central et GORGONE 3 de 44 jours en mer du Corail et mer des Salomon.

Durant ces deux années l'étude du lagon calédonien au voisinage de Nouméa a donné lieu à un certain nombre d'opération en mers : 12 campagnes de mesures des paramètres physico-chimiques en 20 positions géographiques différentes, 2 séries de mesures de courants, des récoltes planctoniques bimensuelles le long de deux radiales allant de la côte à la barrière récifale ainsi qu'un certain nombre de campagne de pêches.

2. Recherches au laboratoire

L'étude des récoltes faites dans le cadre de la synécologie des poissons micronectoniques a montré que les associations de l'ichtyofaune profonde du Pacifique Central équatorial devaient être distinguées de celles de la zone tropicale Sud du Pacifique central. De même, l'étude de la répartition bathymétrique des poissons mésopélagiques a montré des variations des comportements migratoires en un point suivant l'espèce, le stade de développement et la phase lunaire. L'écologie du zooplancton en milieu lagunaire a été abordée grâce aux premiers résultats obtenus dans l'étude du lagon de Takapoto et de celui des environs de Nouméa. L'étude de la biologie des pêches a porté d'une part sur l'interprétation des statistiques de pêche du thon et notamment celles de Polynésie Française, et d'autre part sur le dépouillement de mesures faites sur un certain nombres d'espèces de poissons pêchés dans le lagon de Nouvelle-Calédonie.

Dans le domaine de l'océanographie physique, l'interprétation des données recueillies au cours des croisières ALIOPEE et EPONITE 2 a permis de décrire, à des échelles d'espace différentes, les variations zonales du système des courants équatoriaux et des phénomènes qui leur sont liés comme la production et la reminéralisation de la matière organique. L'étude hydrologique de la zone tropicale du Pacifique Sud-Ouest a permis de dresser un bilan des connaissances du système des contre courants et d'approfondir la connaissance de la mer du Corail. Notamment l'existence du contre courant tropical Sud a été confirmée et il a été montré que ce contre courant transportait des eaux originaires du nord de la mer du Corail. La zone d'étude hydroclimatique faite à l'aide des données de surface recueillies par des navires marchands a été étendue à l'ensemble du Pacifique intertropical. L'exploitation de ces données a permis de mettre en évidence des années où les conditions hydroclimatiques sont anormales.

3. Prévisions

Les programmes d'étude du lagon seront poursuivis et intensifiés grâce à la collaboration de l'Université d'Hawaii et du Laboratoire de Biologie Marine d'Endoume. Le champ d'étude sera élargi dans le but d'obtenir les connaissances permettant de contrôler la pollution. Au large une orientation nouvelle des programmes conduira à aborder l'étude du milieu physique en liaison avec la pêche dans les zones de convergences et de fronts, notamment dans la collecte des paramètres de surface l'accent sera mis sur l'utilisation des résultats de radiométrie aéroportée.

4. Personnel ayant participé aux recherches en 1976 - 1977

Océanographes physiciens :

J.R. DONGUY, C. HENIN, F. JARRIGE, Y. MAGNIER, C. OUDOT, H. ROTSCHI, F. ROUGERIE, P. RUAL.

Océanographes biologistes :

P. BOURRET, Y. DANDONNEAU, R. DESROSIERES, P. FOURMANOIR, J.A. GUEREDRAT, A. INTES, J.C. LEGUEN, G. LOUBENS, P. RANCUREL.

Techniciens :

G. BARGIBANT, B. DE GEOFFROY, M. DUBOIS (Mme), H. FERRER, J. GARBE, J.M. GUILLERM, C. HOFFSCHIR, P. LABOÛTE, J. RIVATON, M. SICARD (Mme), H. VELAYOUDON (Mme), P. WAIMA, H. WALICO.

V.A.T. :

E. JOSSE, J. POPULUS.

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 congrés) sous forme de résumés.

UNE ANNÉE D'OBSERVATIONS DE SURFACE DANS LA ZONE DE MOUSSON DE LA PARTIE OCCIDENTALE DE L'OcéAN INDIEN

J.-R. DONGUY

Centre O.R.S.T.O.M. de Nouméa, Nouvelle Calédonie

RÉSUMÉ

En 1966 et 1967, de nombreuses observations météorologiques (direction et force du vent) et océanographiques (température et salinité superficielles) ont été faites le long des lignes de navigation dans la zone de mousson de l'Océan Indien occidental et ont aidé à éclaircir la circulation due aux moussons de sud-ouest et de nord-est: le flux induit par la mousson de sud-ouest est alimenté par l'eau des courants équatoriaux chaude et dessalée; celui induit par la mousson de nord-est entraîne successivement l'eau méridionale de la Mer d'Arabie, chaude et salée et l'eau septentrionale de la Mer d'Arabie, tempérée et très salée. Entre 5° S et 5° N, on observe un système complexe de circulation équatoriale dans lequel courants et contre-courants se juxtaposent. L'upwelling de Somalie se manifeste pendant toute la mousson de sud-ouest et, pendant le mois de mars au moins, il existe un upwelling équatorial.

ABSTRACT

During 1966 and 1967, many meteorological (force and direction of the wind) and oceanographical (surface temperature and salinity) observations have been done along sailing routes in the monsoon zone of the Western Indian Ocean and have helped to explain the current system due to the South-West and North-East monsoon: the surface flow of the South-West monsoon is supplied by the Equatorial Current Water, warm and desalted, the surface flow of the North-East monsoon by the Southern Water from Arabian Sea, warm and salted and by the Northern Water from Arabian Sea, temperate and very salted. From 5° S to 5° N, there is a complex system of equatorial circulation in which equatorial currents and counter-currents are juxtaposed. The Somalian upwelling is observed during the whole South-West monsoon and an equatorial upwelling exists at least during March.

1. INTRODUCTION.

De mars 1966 à juin 1967, de nombreux navires marchands ont effectué des observations superficielles de température et salinité, de force et direction du vent ainsi que d'état de la mer le long des lignes de navigation dans la partie occidentale de l'Océan Indien, entre Djibouti et les Iles Mascareignes. Après étude des variations saisonnières de la température et de la salinité (DONGUY, 1970), on a recherché

les relations entre les données météorologiques et les masses d'eau mises en évidence principalement en zone de mousson. Deux types de représentation des observations superficielles sont possibles: le diagramme espace-temps (BERRIT, 1961) et la carte. Le premier permet de schématiser le long d'une route fixe l'évolution temporelle des caractéristiques observées. Le second présente la distribution, à un moment donné, des mêmes caractéristiques, à condition que les observations soient suffisamment

dispersées dans l'espace, c'est-à-dire que les navires empruntent des routes différentes. Dans le Golfe d'Aden, le diagramme espace-temps paraît bien adapté à l'itinéraire Djibouti-Cap Guardafui qui est à peu près fixe. En revanche, à l'est de la côte africaine, les cartes mensuelles semblent mieux appropriées car les routes des navires reliant le Cap Guardafui à Madagascar, aux Iles Comores ou aux Iles Mascareignes varient suivant le port de destination; de même, selon la mousson, les navires allant du Cap Guardafui à Monbasa passent le long de la côte à une distance de quelques milles ou de quelques dizaines de milles. Pour cette zone, lorsque le nombre d'observations le permet, il a donc été dressé deux cartes de distribution mensuelle, l'une de la salinité et du vent, l'autre de la température.

2. GOLFE D'ADEN.

En été boréal, pendant la mousson de sud-ouest, c'est-à-dire entre mai et novembre, la température atteint un maximum entre deux périodes de transition au cours desquelles elle varie de plusieurs degrés en un mois (fig. 1); c'est la saison chaude. Cette eau chaude également très salée (fig. 2) est l'eau de la Mer Rouge. De 45° E à 48° E en juillet-août ainsi qu'à l'est de 51° E de juillet à octobre,

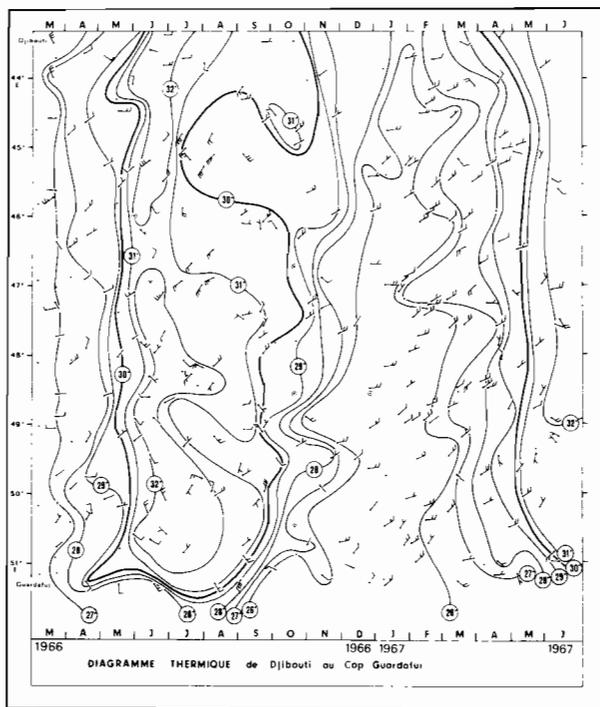


Fig. 1. — Diagramme thermique et vents de Djibouti au Cap Guardafui.

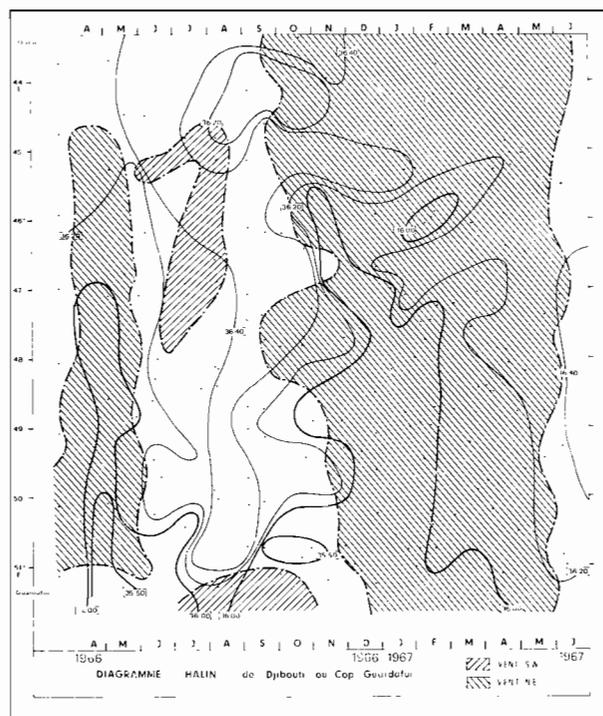


Fig. 2. — Diagramme halin et vents de Djibouti au Cap Guardafui.

un vent assez fort de sud-ouest souffle; ailleurs, le vent ne semble pas avoir de direction privilégiée.

La saison fraîche (fig. 1) dure de novembre à avril (hiver boréal et mousson de nord-est). L'eau relativement froide a une salinité inférieure à 36,0 ‰ (fig. 2) entre 46° E et le Cap Guardafui. Pendant toute cette période et dans tout le Golfe d'Aden le vent souffle du nord-est. L'eau de la Mer Rouge est alors repoussée et remplacée par de l'eau du sud de la Mer d'Arabie dont la température descend à 26° C. Cependant la saison fraîche peut se prolonger au-delà d'avril comme le montrent les observations d'avril-mai 1966 où une période de vent de nord-est a provoqué l'arrivée dans le Golfe d'Aden d'une eau de salinité inférieure à 36,0 ‰. D'après WYRTKI (1971), le Golfe d'Aden ne serait occupé qu'en janvier-février par une eau d'une telle salinité.

3. COTE EST D'AFRIQUE.

Dans cette zone, les navires ont suivi deux itinéraires : l'un côtier du Cap Guardafui à Monbasa (4°00 S), l'autre océanique du Cap Guardafui à Madagascar, la route des navires différant quelque peu suivant la mousson ou le port de destination.

Malgré ces écarts, parce que la météorologie était relativement uniforme, on a choisi de présenter sous forme de diagrammes espace-temps certaines conditions météorologiques rencontrées sur ces itinéraires. Celles-ci sont en général conformes aux indications des « Pilot Charts ».

Conditions météorologiques.

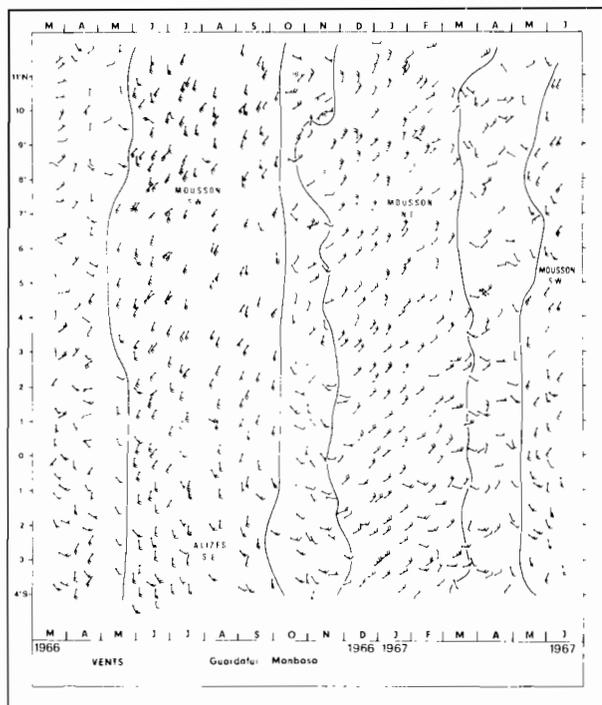


Fig. — 3. Direction et force du vent du Cap Guardafui à Monbasa.

Du Cap Guardafui à Monbasa (fig. 3), le régime des vents est celui de l'alternance bien marquée des moussons. La mousson de sud-ouest est établie de juin à octobre avec un vent assez fort à fort (échelle Beaufort 6-7) au nord de 4° N, modéré au sud; au sud de l'équateur, il a tendance à tourner au sud-est, c'est-à-dire à se transformer en alizé. La mousson de nord-est est établie de novembre à mars; le vent, assez constant, reste modéré. Chaque mousson s'établit de manière soudaine et à peu près simultanément sur tout l'itinéraire. En octobre-novembre et en avril-mai, le vent est faible sans direction privilégiée au nord de 3° N mais, au sud, il montre une tendance à s'établir au sud-est. Pendant la mousson de sud-ouest la mer est agitée, très forte en juin-juillet au nord de 6° N. Pendant la mousson de nord-est, la mer n'est agitée qu'en décembre-janvier. Le reste de l'année elle est belle ou peu agitée.

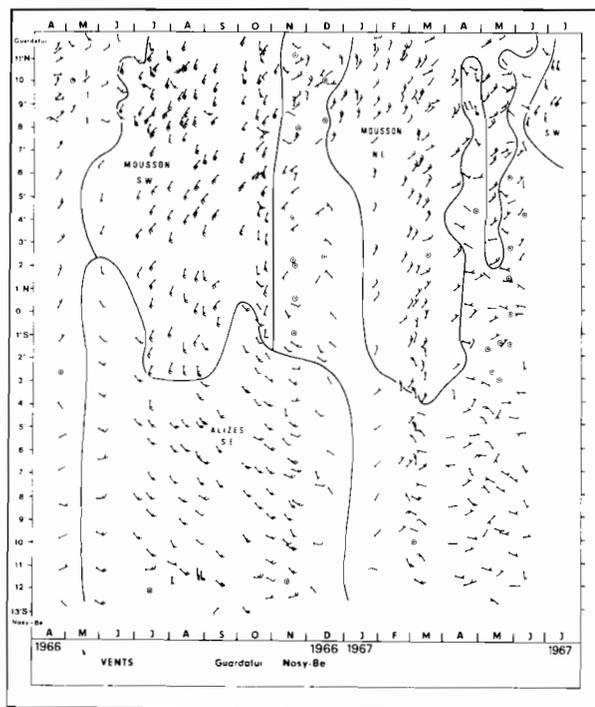


Fig. 4. — Direction et force du vent du Cap Guardafui à Nosy-Bé.

Du Cap Guardafui à Madagascar (fig. 4), l'alternance des moussons n'est marquée qu'au nord de 4° S où le régime est semblable à celui de la côte. Au sud de 4° S, on distingue une période d'alizé modéré de mai à décembre; le reste de l'année le vent est faible et sans direction privilégiée. De juin à octobre, c'est-à-dire pendant la mousson de sud-ouest et l'hiver austral, la mer est agitée. Pendant la mousson de nord-est, la mer n'est agitée qu'au nord de 3° N et pendant des périodes limitées.

Conditions hydrologiques.

Au large de la côte orientale d'Afrique, les routes des navires se déployant en éventail vers le sud, il a été possible, lorsque le nombre d'observations était suffisant, de dresser des cartes mensuelles de température et de salinité superficielles, complétées par les indications des « Pilot Charts » concernant les courants de surface. Seules seront discutées les conditions hydrologiques de juin (mousson de sud-ouest), octobre (renverse mousson de sud-ouest — mousson de nord-est), novembre (première phase de la mousson de nord-est) février (deuxième phase de la mousson de nord-est), mars (période d'upwelling équatorial) et mai (renverse mousson de nord-est — mousson de sud-ouest).

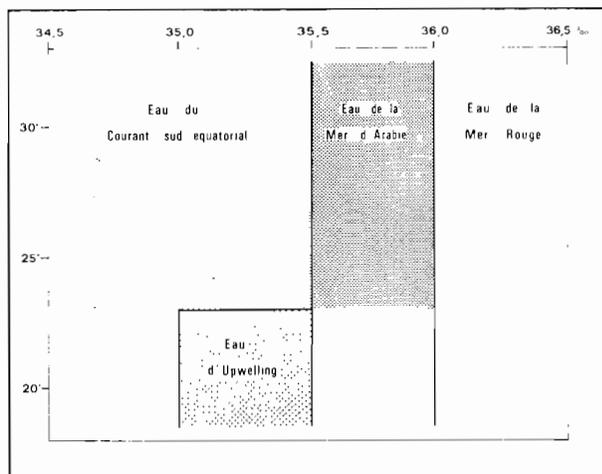


Fig. 5. -- Masses d'eau de surface d'après DONGUY (1970).

DONGUY (*op. cit.*) a classé en quatre masses les eaux de la zone de mousson (fig. 5) :

- (1) Eaux du courant équatorial sud $T > 23,0^{\circ}\text{C}$
 $34,5 \text{ ‰} < S < 35,5 \text{ ‰}$
- (2) Eaux de la Mer d'Arabie $T > 23,0^{\circ}\text{C}$ $35,5 \text{ ‰}$
 $< S < 36,0 \text{ ‰}$
- (3) Eaux de la Mer Rouge $T > 23,0^{\circ}\text{C}$ $S > 36,0 \text{ ‰}$
- (4) Eaux d'upwelling $T < 23,0^{\circ}\text{C}$ $35,0 \text{ ‰} < S < 35,5 \text{ ‰}$

Les eaux dessalées rencontrées au voisinage des côtes n'existent pas en quantité importante dans la zone de mousson. Les eaux de la Mer Rouge ne semblent pas s'étendre à l'extérieur du Golfe d'Aden. Au large de la côte d'Afrique, on rencontre, selon la mousson, les eaux du courant équatorial sud ou celles de la Mer d'Arabie. Les eaux d'upwelling sont localisées de 12°N à 8°N le long de la côte et n'apparaissent que pendant la mousson de sud-ouest. Ces définitions permettent de décrire les situations mensuelles.

JUIN 1966.

La mousson de sud-ouest est établie. Au sud de l'équateur (fig. 6 et 7), au large, on distingue l'eau du courant équatorial sud ($35,0 \text{ ‰} < S < 35,5 \text{ ‰}$, $T < 28,0^{\circ}\text{C}$). Près de la côte, au sud de 5°N , une eau chaude ($T > 28,0^{\circ}\text{C}$) et peu salée ($S < 35,0 \text{ ‰}$), mélange d'eau côtière et d'eau du courant équatorial sud, est entraînée vers le nord-est par le vent de sud-ouest; d'après les « Pilot Charts » le courant atteint $1,5$ nœud le long de la côte; vers 5°N , il s'écarte de la côte et devient le contre-courant équatorial nord; cette tendance est marquée en

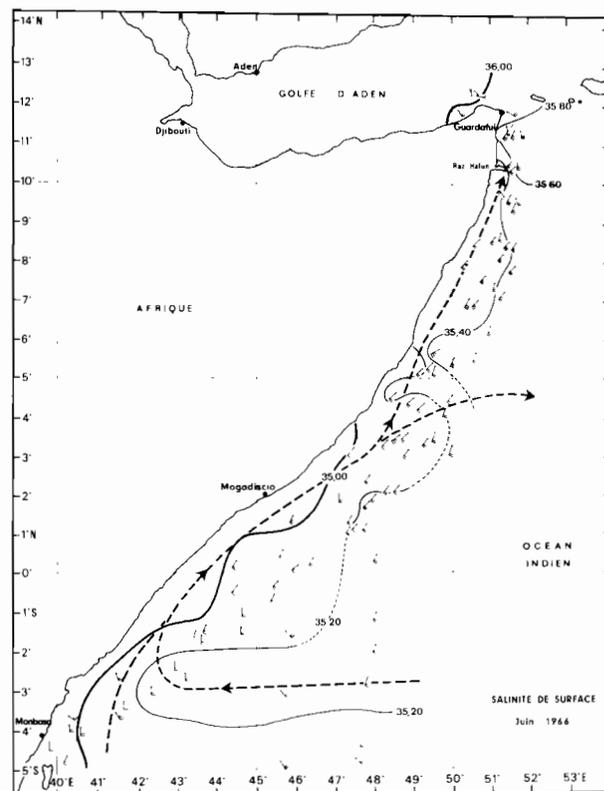


Fig. 6. — Salinité de surface, vent et flux déduits des « Pilot Charts » et des conditions hydrologiques en juin 1966.

1966. Au nord de 5°N , le vent de sud-ouest a déclenché l'upwelling : les températures sont inférieures à $24,0^{\circ}\text{C}$ avec un minimum de $20,0^{\circ}\text{C}$; l'eau refroidie s'étend quelque peu vers le large; la salinité issue de l'upwelling est comprise entre $35,0 \text{ ‰}$ et $35,5 \text{ ‰}$. Au nord-ouest du Cap Guardafui, un front thermique important sépare l'upwelling des eaux chaudes du Golfe d'Aden. WYRTKI (1971) confirme les valeurs de températures observées dans le courant équatorial sud. Au nord de 3°N environ, il indique un upwelling marqué par une température côtière inférieure à $25,0^{\circ}\text{C}$; en revanche, au sud, il n'observe pas d'eau chaude le long de la côte.

De juin à octobre, la mousson de sud-ouest persiste. Au sud de l'équateur, du fait du refroidissement hivernal, la température de l'eau du courant équatorial sud est inférieure à $26,0^{\circ}\text{C}$. Au nord de 5°N , c'est en août que l'upwelling est le plus intense avec un minimum de température de $19,0^{\circ}\text{C}$; de même la salinité qui y est associée est minimum ($35,0 \text{ ‰}$ - $35,2 \text{ ‰}$). WYRTKI (1971) montre que cette faible salinité est due à l'upwelling qui apporte en surface de l'eau intermédiaire peu salée.

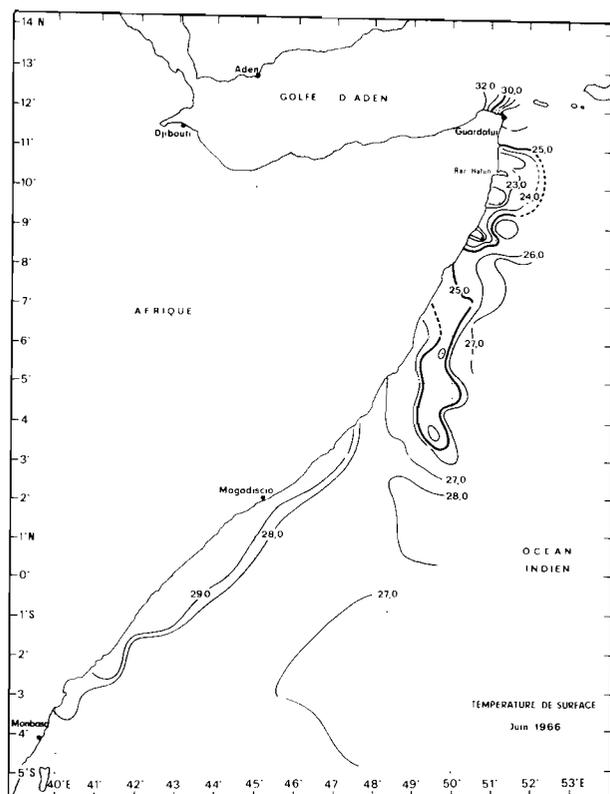


Fig. 7. - Température de surface en juin 1966.

OCTOBRE 1966.

La mousson de sud-ouest persiste le long de la côte; au large le vent souffle du nord-est (fig. 8). La zone de convergence des vents (ATKINSON, SADLER, 1970) est habituellement présente vers 10° N. Près de la côte l'eau du courant équatorial sud (fig. 8 et 9) avec une température voisine de 27,0 °C et une salinité de 35,3 ‰ environ, est entraînée vers le nord par la mousson de sud-ouest jusque vers 9° N où on note des traces d'upwelling. Au large, à l'équateur, on distingue un faible maximum de salinité bien que la température ne montre aucun indice d'upwelling équatorial; les « Pilot Charts », au contraire, indiquent l'existence d'un contre-courant. Vers 4° N, on distingue l'amorce possible du contre-courant équatorial nord. Au large, venant du nord et poussée par la mousson de nord-est, une eau chaude et salée ($T > 28,0$ °C, $35,5$ ‰ $< S < 36,0$ ‰) atteint 4° N. C'est, d'après DONGUY (*op. cit.*), l'eau de la Mer d'Arabie, mais son origine exacte sera précisée ultérieurement. A 7° N et 55° E, les « Pilot Charts » montrent un courant d'environ 1 nœud vers le sud-ouest. WYRTKI (*op. cit.*) signale pour octobre 1963 un upwelling peu marqué, indice

de la persistance de la mousson de sud-ouest le long de la côte; la mousson de nord-est n'y semble donc pas parvenue.

NOVEMBRE 1966.

La mousson de nord-est a remplacé la mousson de sud-ouest (fig. 10). A l'équateur, le vent est faible et mal orienté; c'est l'emplacement de la zone de convergence des vents. L'eau du courant équatorial sud (fig. 10 et 11) s'est réchauffée atteignant 28,0 °C au large mais seulement 27,0 °C près de la côte. Au nord, la mousson de nord-est entraîne jusqu'à l'équateur une eau chaude et salée ($T > 28,0$ °C, $35,5$ ‰ $< S < 36,0$ ‰) qui provient de la Mer d'Arabie. A l'équateur, la zone de convergence favorise sans doute la formation d'un contre-courant équatorial alimenté à la fois par le courant équatorial sud et par le courant de sud-ouest induit par la mousson de nord-est; son existence est confirmée par les « Pilot Charts ». En novembre 1963, pour WYRTKI (*op. cit.*), le réchauffement du courant équatorial sud est sensible au large; en revanche, aucune arrivée d'eau chaude venant du nord n'est perceptible; pour ce qui est de la salinité superficielle en novembre-décembre, l'arrivée d'eau salée le long de la côte jusqu'à proximité de l'équateur est parfaitement claire.

En décembre 1966 et janvier 1967, la mousson de nord-est est bien établie : l'eau chaude et salée originaire de la Mer d'Arabie progresse vers le sud le long de la côte jusqu'à 3° S.

Il convient de souligner que de juin à janvier, le déplacement des masses d'eau induit par la mousson de sud-ouest et la mousson de nord-est est parfaitement conforme à la théorie d'Ekman. En mousson de sud-ouest, au sud de l'équateur, il y a accumulation d'eau chaude et dessalée, c'est-à-dire de faible densité, le long de la côte, ce qui correspond bien à une situation de convergence; au nord de l'équateur, il y a apparition d'upwelling. L'influence de la mousson de nord-est est faible au sud de l'équateur; au nord de celui-ci, il y a accumulation près de la côte d'eau chaude et salée de densité inférieure à celle des eaux du large, ce qui correspond bien encore à une situation de convergence.

FÉVRIER 1967.

La mousson de nord-est persiste (fig. 12). Il faut signaler la présence probable d'une zone de convergence des vents vers 7° S. Près de la côte (fig. 12 et 13), une eau tempérée et très salée ($T < 25,0$ °C, $S > 36,0$ ‰) remplace, en la repoussant vers le

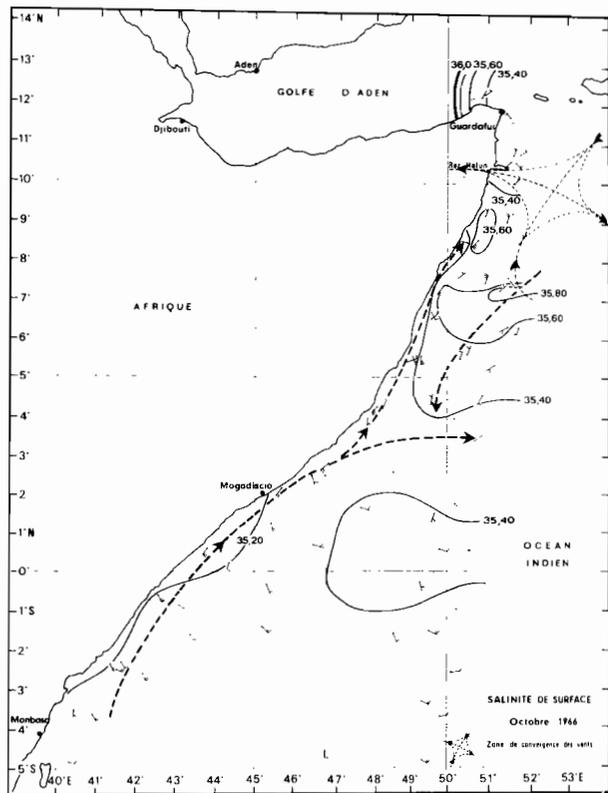


Fig. 8. — Salinité de surface, vent et flux déduits des « Pilot Charts » et des conditions hydrologiques en octobre 1966.

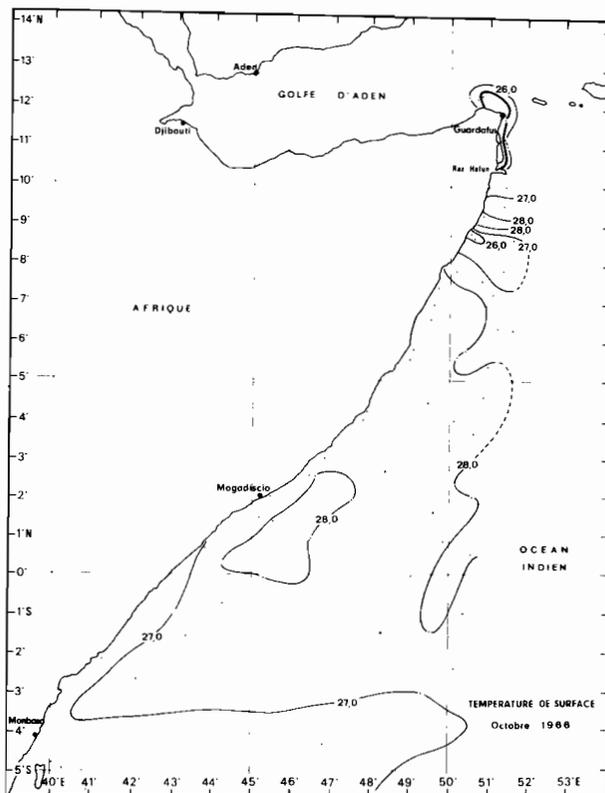


Fig. 9. — Température de surface en octobre 1966.

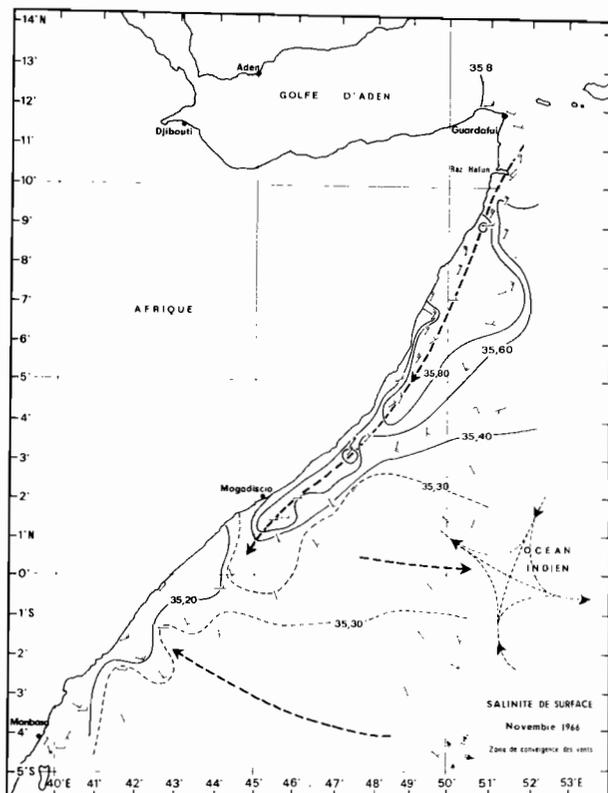


Fig. 10. — Salinité de surface, vent et flux déduits des « Pilot Charts » et des conditions hydrologiques en novembre 1966.

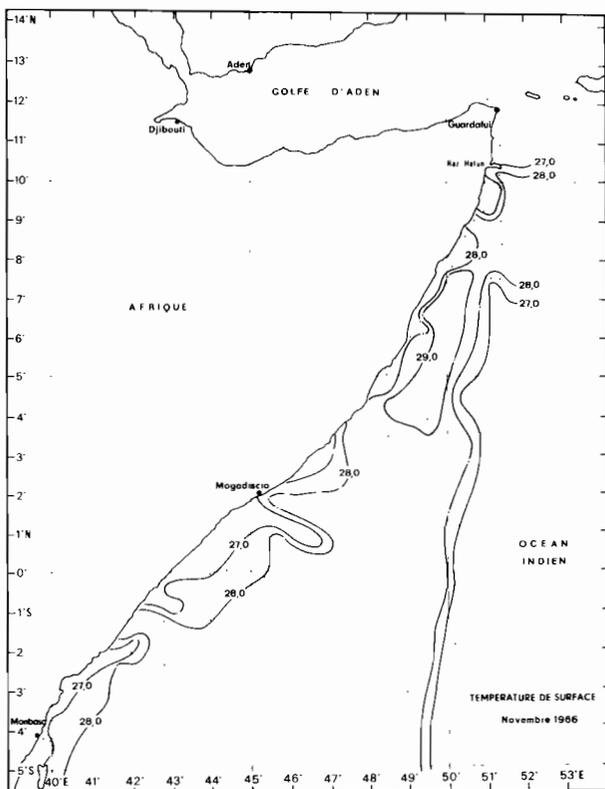


Fig. 11. — Température de surface en novembre 1966.

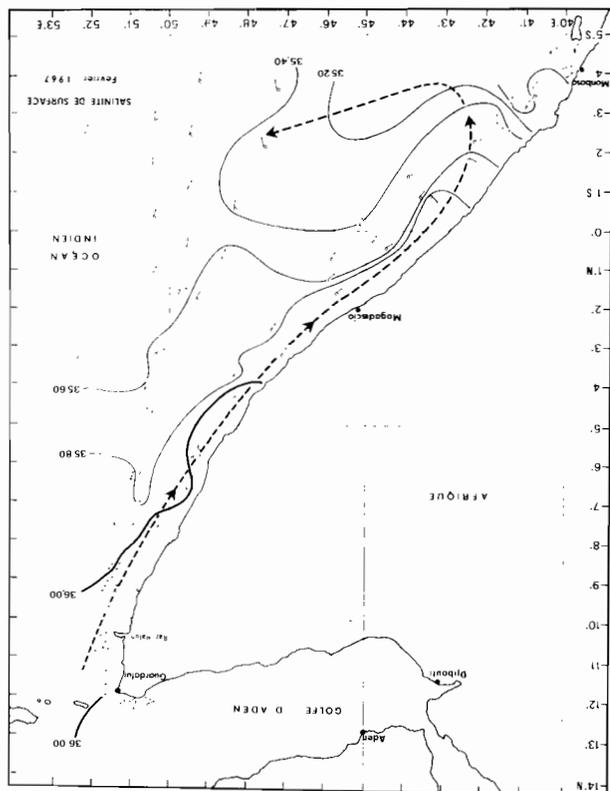


Fig. 12. — Salinité de surface, vent et flux déduits des « Pilot Charts » et des conditions hydrologiques en février 1967.

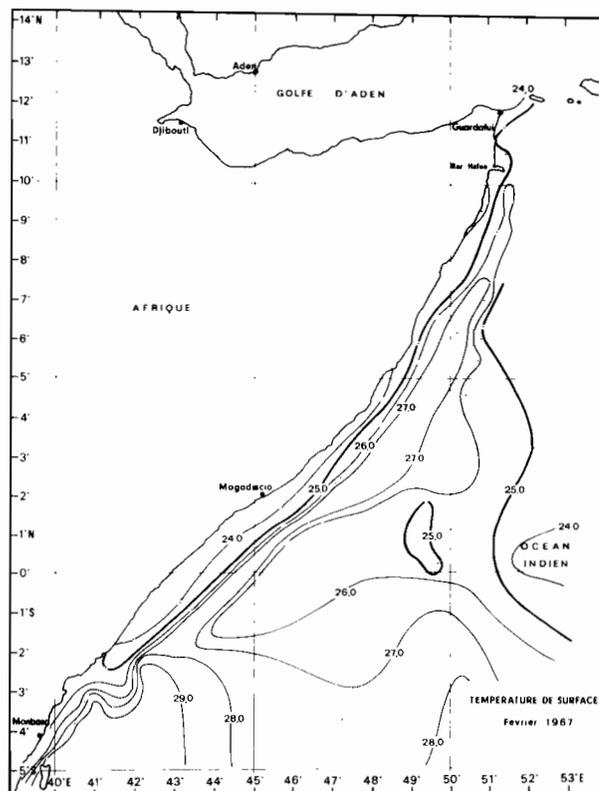


Fig. 13. — Température de surface en février 1967.

large, l'eau plus chaude et moins salée. C'est une eau qui vient du nord mais dont l'origine exacte sera précisée ultérieurement. A l'équateur, on observe un abaissement de température qui pourrait être l'indice d'un upwelling; cependant il n'y a pas simultanément de maximum de salinité; d'après les « Pilot Charts », le courant équatorial est incertain et la direction du vent (NNE) n'est pas très favorable au déclenchement d'une remontée d'eau. Vers 5° S, la proximité de la zone de convergence favorise l'établissement du contre-courant équatorial sud bien développé sur les « Pilot Charts ». WYRTKI (*op. cit.*) indique en février 1963 un réchauffement par rapport à janvier; vers 5° N un minimum inférieur à 26,0 °C est cependant visible à quelque distance de la côte.

MARS 1967.

La mousson de nord-est persiste près de la côte (fig. 14). Il y a probablement une zone de convergence des vents au sud de l'équateur. Comme en février (fig. 14 et 15), on distingue, venant du nord, une masse d'eau tempérée et très salée collée à la côte. Au nord de l'équateur, au large, le courant équatorial nord, bien marqué sur les « Pilot Charts », amène

une eau chaude et peu salée ($T > 27,0$ °C, $35,0$ ‰ $< S < 35,5$ ‰). A l'équateur, au large, l'alizé quoique faible induit un upwelling caractérisé en surface par un minimum de température et un maximum de salinité. D'après TAFT (1971), un tel upwelling, non encore mis en évidence est possible à la fin de la mousson de nord-est. WYRTKI (*op. cit.*) distingue en mars 1963 près de la côte, une eau de température inférieure à 28,0 °C venant du nord, à l'équateur un minimum de température et un retrait vers le nord des eaux salées.

La présence pendant deux mois près de la côte d'eau tempérée et salée, de forte densité et, au large, d'eau chaude et moins salée, de densité plus faible, ne semble pas conforme à la théorie d'Ekman. Les observations faites au cours de la croisière 15 de l'Atlantis (mars 1965) confirment ces particularités et permettent d'avancer une explication; pendant cette croisière, la topographie de la surface de la mer a vers 54° E un creux dynamique correspondant à une divergence (BRUCE, VOLKMAN, 1969); à l'ouest de celle-ci le courant porte au sud, à l'est il porte au nord; la divergence ainsi créée repousse vers l'ouest les eaux froides et salées et vers l'est les eaux de densité plus faible, empêchant celles-ci de recouvrir les premières.

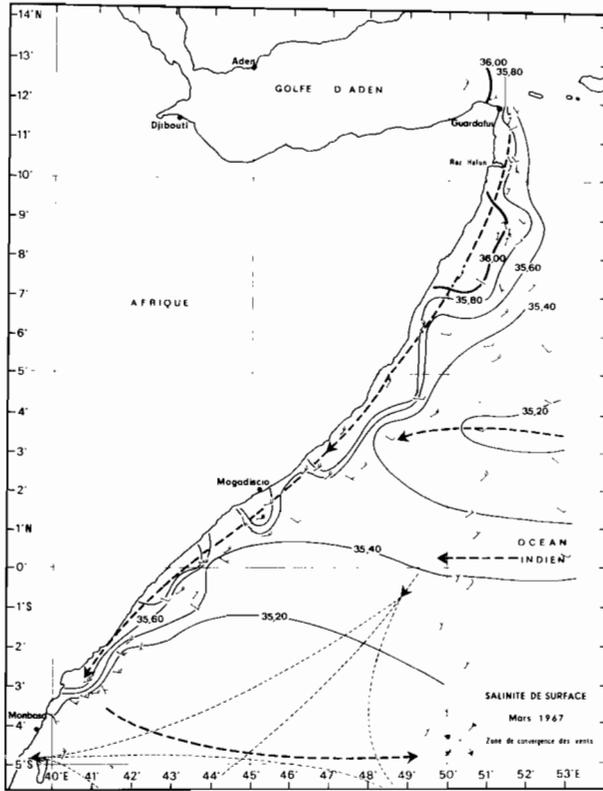


Fig. 14. — Salinité de surface, vent et flux déduits des « Pilot Charts » et des conditions hydrologiques en mars 1967.

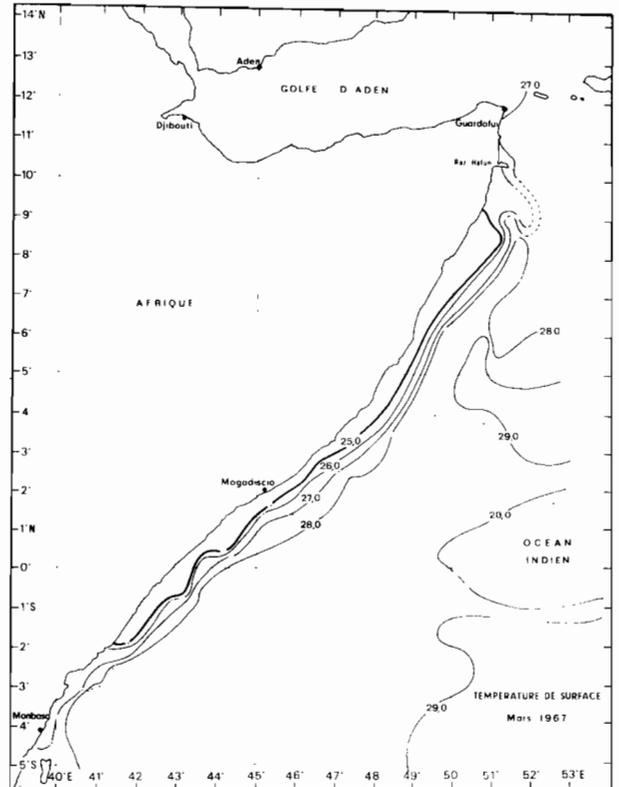


Fig. 15. — Température de surface en mars 1967.

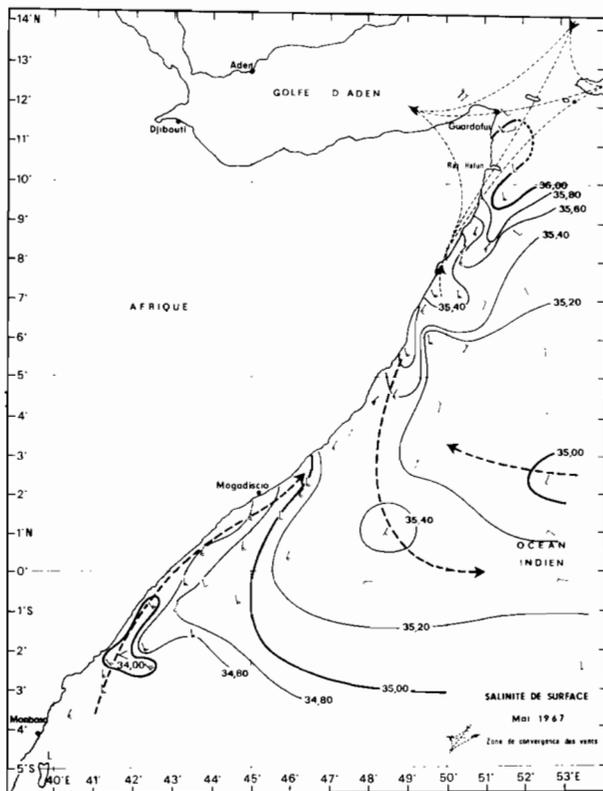


Fig. 16. — Salinité de surface, vent et flux déduits des « Pilot Charts » et des conditions hydrologiques en mai 1967.

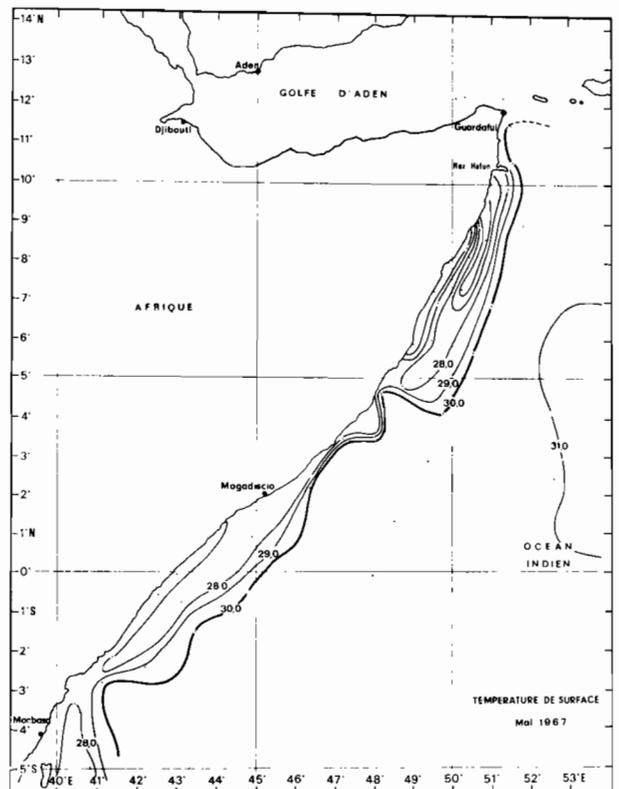


Fig. 17. — Température de surface en mai 1967.

En avril, entre l'équateur et 5° N, le vent de nord-est est remplacé par un faible alizé; l'eau tempérée et très salée fait place à de l'eau chaude et peu salée amenée par le courant équatorial nord. Les travaux de LETMAA (1972, 1973) ont montré que la renverse de la mousson avait eu lieu fin mars-début avril en 1970 et 1971. En 1967, il est possible que la mousson de sud-ouest se soit établie avec retard.

Mai 1967.

La mousson de nord-est est terminée (fig. 16). La mousson de sud-ouest est sensible jusqu'à 5° N. La convergence des vents est localisée au nord de 10° N. Comme en avril (fig. 16 et 17) au nord de l'équateur, le courant équatorial nord entraîne de l'eau chaude et peu salée ($T > 28,0^{\circ}\text{C}$, $35,0\text{‰} < S < 35,5\text{‰}$) venant de l'est; les « Pilot Charts » cependant indiquent plutôt la présence du contre-courant équatorial nord. Au sud de l'équateur, l'eau chaude et dessalée ($T > 27,0^{\circ}\text{C}$, $S < 35,0\text{‰}$) entraînée par la mousson de sud-ouest, est un mélange d'eau côtière et d'eau du courant équatorial sud. Près de la côte vers 2° S, on distingue une eau très dessalée ($S < 34,0\text{‰}$) due sans doute aux précipitations abondantes observées dans la région (223 mm en mai 1967 à Monbasa). À l'équateur, il existe un contre-courant induit par le vent d'ouest et alimenté à la fois par le courant équatorial nord et par le courant équatorial sud. En mai 1963, WYRTKI (*op. cit.*) montre au nord de l'équateur un minimum côtier de température ($T < 27,0^{\circ}\text{C}$) indice de déclenchement précoce de l'upwelling. Au large, la température reste supérieure à 29,0°C.

4. MASSES D'EAU.

DONGUY (*op. cit.*) a attribué à l'eau de la Mer d'Arabie une température supérieure à 23,0°C et une salinité comprise entre 35,5‰ et 36,0‰. D'après WYRTKI (*op. cit.*), la Mer d'Arabie est occupée par de l'eau dont la salinité varie de 35,5‰ au sud à 36,5‰ au nord. Une nouvelle considération des données de surface montre qu'au large de la côte d'Afrique, de novembre à janvier, l'eau chaude ($T > 27,0^{\circ}\text{C}$) a une salinité comprise entre 35,5‰ et 36,0‰; en revanche, de janvier à mars, l'eau tempérée ($T < 25,0^{\circ}\text{C}$) a une salinité supérieure à 36,0‰. Au début donc, la mousson de nord-est entraîne le long de la côte d'Afrique l'eau méridionale de la Mer d'Arabie réchauffée pendant l'été boréal. Deux mois après, l'eau septentrionale plus salée et refroidie pendant l'hiver boréal atteint à son tour la côte d'Afrique. Ainsi dans cette zone, il ne semble pas possible de confondre l'eau de la Mer Rouge et l'eau septentrionale de la Mer d'Arabie qui

toutes deux ont une salinité supérieure à 36,0‰, la première étant plus chaude ($T > 28,0^{\circ}\text{C}$) que la seconde ($T < 25,0^{\circ}\text{C}$).

D'après DONGUY (*op. cit.*), la salinité de l'eau du courant équatorial sud est comprise entre 34,5‰ et 35,5‰. Cependant, comme au large, dans la zone étudiée, on ne rencontre jamais d'eau de salinité inférieure à 35,0‰, ce type d'eau peut être caractérisé par une salinité comprise entre 35,0‰ et 35,5‰. De plus, il est clair que la masse d'eau amenée par le courant équatorial nord est du même type que celle charriée par le courant équatorial sud. Par suite, la masse d'eau définie précédemment comme l'eau du courant équatorial sud peut s'appeler eau des courants équatoriaux.

La classification des eaux de surface proposée par DONGUY (*op. cit.*) a donc subi quelques modifications (fig. 18) :

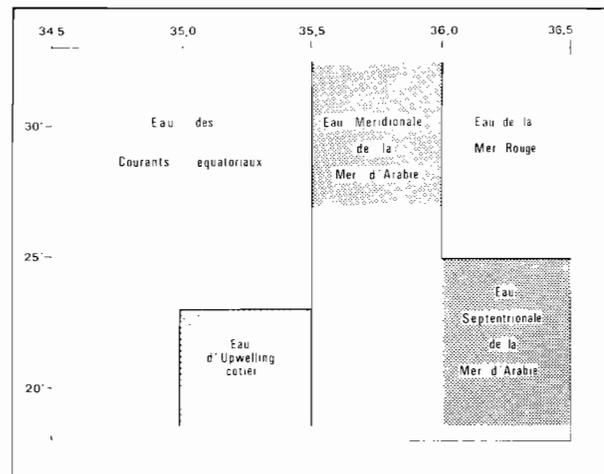


Fig. 18. - Masses d'eau dans la zone de mousson.

— l'eau du courant équatorial sud doit prendre le nom plus général d'eau des courants équatoriaux

— la salinité de l'eau de la Mer d'Arabie est comprise entre 35,5‰ et 36,5‰. On distingue l'eau méridionale de la Mer d'Arabie ($T > 27,0^{\circ}\text{C}$, $35,5\text{‰} < S < 36,0\text{‰}$) et l'eau septentrionale de la Mer d'Arabie ($T < 25,0^{\circ}\text{C}$, $36,0\text{‰} < S < 36,5\text{‰}$).

Dans l'année, quatre masses d'eau se succèdent le long de la côte d'Afrique : l'eau des courants équatoriaux, l'eau d'upwelling côtier, l'eau méridionale de la Mer d'Arabie et l'eau septentrionale de la Mer d'Arabie. À l'aide des discussions précédentes et des données des « Pilot Charts », il est possible de schématiser en cinq figures l'évolution annuelle de la situation superficielle.

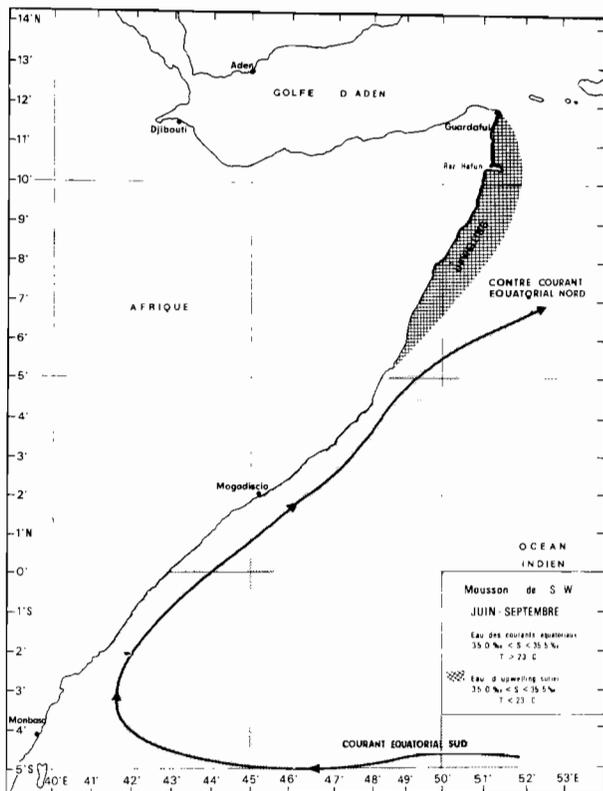


Fig. 19. — Circulation schématique et masses d'eau pendant la mousson du sud-ouest (juin-septembre).

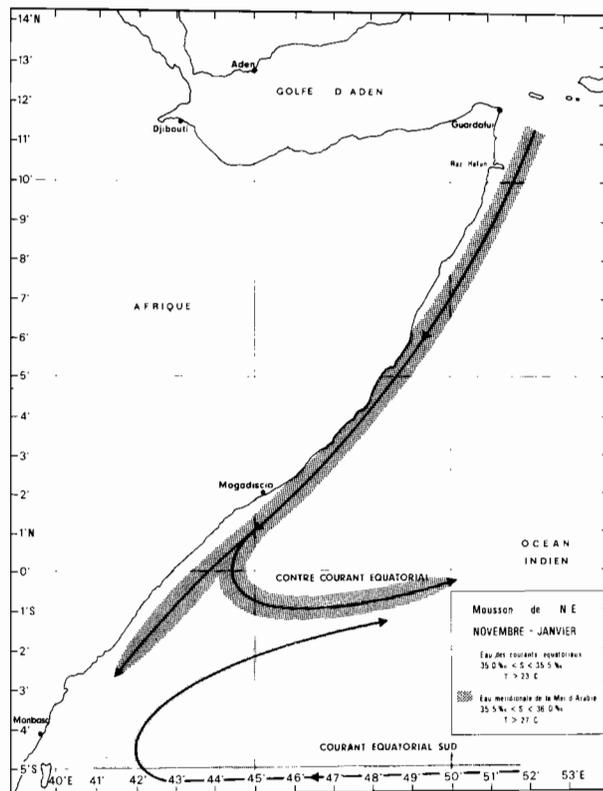


Fig. 21. — Circulation schématique et masses d'eau pendant la mousson de nord-est (novembre-janvier).

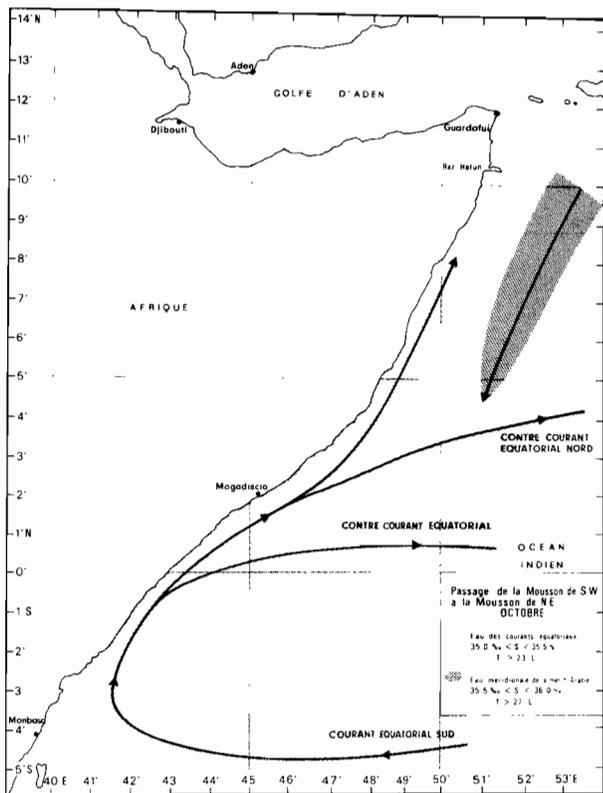


Fig. 20. — Circulation schématique et masses d'eau pendant le passage de la mousson de sud-ouest à la mousson de nord-est (octobre).

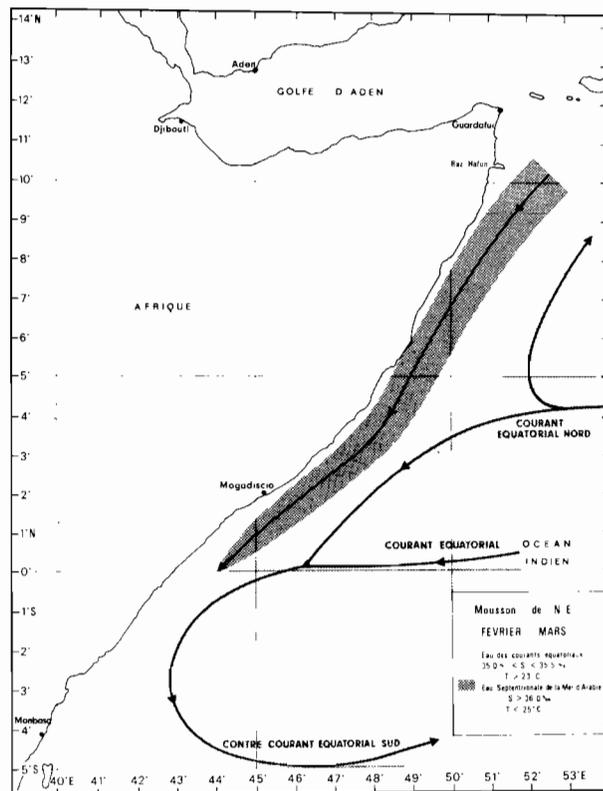


Fig. 22. — Circulation schématique et masses d'eau pendant la mousson de nord-est (février-mars).

La mousson de sud-ouest (fig. 19) dure de juin à octobre. Le courant équatorial sud amène de l'eau chaude et peu salée appelée eau des courants équatoriaux. Cette eau est entraînée le long de la côte d'Afrique par la mousson de sud-ouest puis, à 5° N, par le contre-courant équatorial nord. Au nord de 5° N, l'upwelling amène en surface de l'eau froide et peu salée.

Le passage de la mousson de sud-ouest à la mousson de nord-est (fig. 20) a lieu généralement en octobre. Entre l'équateur et 5° N, l'eau des courants équatoriaux est entraînée vers le large par le contre-courant équatorial et le contre-courant équatorial nord. Au nord de 5° N, au large, poussée par la mousson de nord-est, apparaît l'eau méridionale de la Mer d'Arabie chaude et salée.

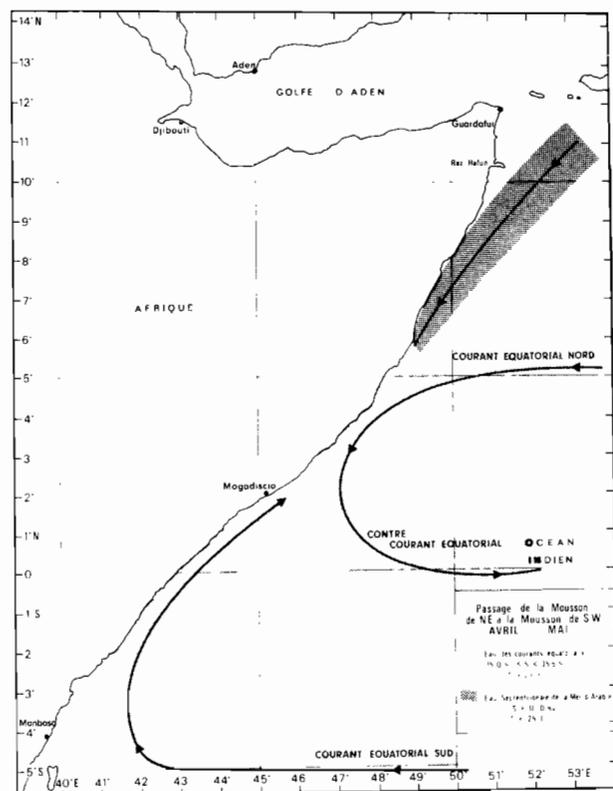


Fig. 23. — Circulation schématique et masses d'eau pendant le passage de la mousson de nord-est à la mousson de sud-ouest (avril-mai).

De novembre à janvier (fig. 21), la mousson de nord-est entraîne le long de la côte d'Afrique l'eau méridionale de la Mer d'Arabie. Au sud de l'équateur, l'eau des courants équatoriaux amenée par le courant équatorial sud se mélange à l'eau méridionale de la Mer d'Arabie pour former le contre-courant équatorial.

En février et mars (fig. 22), la mousson de nord-est entraîne le long de la côte d'Afrique l'eau septentrionale de la Mer d'Arabie tempérée et très salée. Plus au large, l'eau des courants équatoriaux, amenée par le courant équatorial nord et par le courant équatorial sud, est emportée vers l'est par le contre-courant équatorial sud.

Le passage de la mousson de nord-est à la mousson de sud-ouest (fig. 23) a lieu généralement en avril-mai. L'eau septentrionale de la Mer d'Arabie persiste au nord de 5° N. Le courant équatorial nord vers 5° N et le courant équatorial sud vers 5° S entraînent l'eau des courants équatoriaux qui est ensuite emportée vers l'est par le contre-courant équatorial.

5. CONCLUSION.

Le Canal de Suez ayant été fermé en juin 1967, les données superficielles de cette région sont devenues rares. Les observations de surface faites en 1966 et 1967 ont permis de préciser les résultats présentés par l'Océanographic Atlas of the International Indian Ocean Expedition (WYRTKI, *op. cit.*). C'est ainsi que le phénomène de renverse des flux de surface entre chacune des deux moussons est particulièrement net. L'entraînement par la mousson de nord-est d'eau chaude et salée puis d'eau tempérée et très salée a été mis en évidence et expliqué. Enfin, il semble que, pendant un mois au moins, il y ait un upwelling équatorial, ce qui avait été prévu mais jamais observé.

REMERCIEMENTS.

L'auteur adresse ses remerciements au commandant et à l'équipage des navires de la Compagnie des Messageries Maritimes, de la Nouvelle Compagnie Havraise Péninsulaire et de la Compagnie Auxiliaire de Navigation de Madagascar qui ont participé à cette étude.

Manuscrit reçu au S.C.D. le 4 juin 1974.

BIBLIOGRAPHIE

- ANONYME, 1966. — Atlas of Pilot Charts. South Pacific and Indian Ocean. H.O. Pub n° 107.
- ATKINSON (F. D.), SADLER (J. C.), 1970. — Mean-Cloudiness and Gradient-level wind charts over the tropics. Air Weather Service, United States Air Force.
- BERRIT (G. R.), 1961. — Contribution à la connaissance des variations saisonnières dans le Golfe de Guinée. Observations de surface le long des lignes de navigation — 1^{re} partie — *Cah. Océanogr.*, vol. 13, 10 : 715-727.
- BRUCE (J. G.), VOLKMANN (G. H.), 1969. — Some measurements of current off the Somali Coast during the NE monsoon. *J. Geophys. Res.*, vol. 74, 8 : 1958-1967.
- DONGUY (J. R.), 1970. — Observations de surface le long des lignes de navigation dans la partie Ouest de l'Océan Indien. *Cah. Océanogr.*, 22, 4 : 353-366.
- LETMAA (A.), 1972. — The response of the Somali Current to the Southwest monsoon of 1970. *Deep Sea Res.*, 19, 4 : 319-325.
- LETMAA (A.), 1973. — The response of the Somali Current at 2° S to the Southwest monsoon of 1971 — *Deep Sea Res.*, 20, 4 : 397-401.
- TAFT (B.), 1971. — Ocean circulation in monsoon areas. *Internat. Symposium on the Fertility of the Sea*. Sao Paulo Brazil 1969 — *Proceedings*, 2, : 565-579.
- WYRTKI (K.), 1971. — Oceanographic Atlas of the International Indian Ocean Expedition — National Science Foundation, Washington D. C.

LA MER DU CORAIL EN RÉGIME D'ALIZÉ DE SUD-EST

F. ROUGERIE et J.-R. DONGUY

Centre O.R.S.T.O.M. de Nouméa, B.P. A 5 - Nouméa-Cedex, Nouvelle-Calédonie

RÉSUMÉ

Les données recueillies en Mer du Corail et en Mer des Salomon pendant la croisière « GORGONE » du N. O. CORIOLIS en novembre-décembre 1972 à la fin de la période des alizés de sud-est, ont permis de préciser les conditions hydrologiques particulières de cette zone et de les rattacher aux grands traits de la circulation de l'Océan Pacifique. Plusieurs types d'eau ont été décrits, les uns originaires du Pacifique occidental équatorial ou du Pacifique central sud, les autres résultant d'un processus de mélange local. Le rôle des détroits des îles Salomon et celui des ouvertures orientales et méridionales se sont avérés importants dans l'équilibre des échanges avec l'Océan Pacifique.

ABSTRACT

The data gathered in the Coral and Solomon Seas during « GORGONE » cruise of R/V CORIOLIS in November-December 1972 at the end of S.E. trade-winds season, have allowed to state precisely the peculiar hydrographic conditions in this area and to connect them to the great features of the Pacific circulation. Several types of water has been described, ones coming from the equatorial western Pacific or from the central southern Pacific, others formed by local mixing. The straits of the Solomon islands and the western and southern openings are important for the exchange rate with the Pacific Ocean.

1. INTRODUCTION.

La Mer du Corail (fig. 1) forme la bordure occidentale de la partie tropicale de l'Océan Pacifique sud; elle est presque fermée à l'ouest par les côtes de l'Australie et de la Nouvelle-Guinée et au nord par les îles des archipels Bismark et Salomon. En revanche, elle est ouverte à l'influence de l'Océan Pacifique à l'est, si l'on excepte les obstacles formés par les Nouvelles-Hébrides et la Nouvelle-Calédonie. Au sud, vers 20° S, les hauts fonds Chesterfield forment un important obstacle à la circulation des eaux. La limite géographique entre la Mer du Corail et la Mer de Tasman a été fixée au parallèle 30° S (FAIRBRIDGE 1966) et la zone marine située au nord de

12° S, limitée au nord par les îles Salomon et l'archipel Bismark, est appelée Mer des Salomon. Ainsi l'ensemble Mer du Corail — Mer des Salomon est une région où les relations avec l'Océan Pacifique sont assez aisées par l'est et le sud et seulement possibles au nord par des passages étroits et peu nombreux.

C'est aussi une zone qui, au moins dans sa partie nord-ouest, est soumise à l'alternance de la mousson. De décembre à avril en général, des vents de nord-ouest amènent des précipitations abondantes sur la Mer des Salomon. De juin à novembre, les alizés de sud-est soufflent sur toute la Mer du Corail et leur force croît avec la latitude jusque vers 30° S.

Dans un précédent travail, DONGUY, OUDOT, ROUGERIE (1970) ont précisé les types de circulation

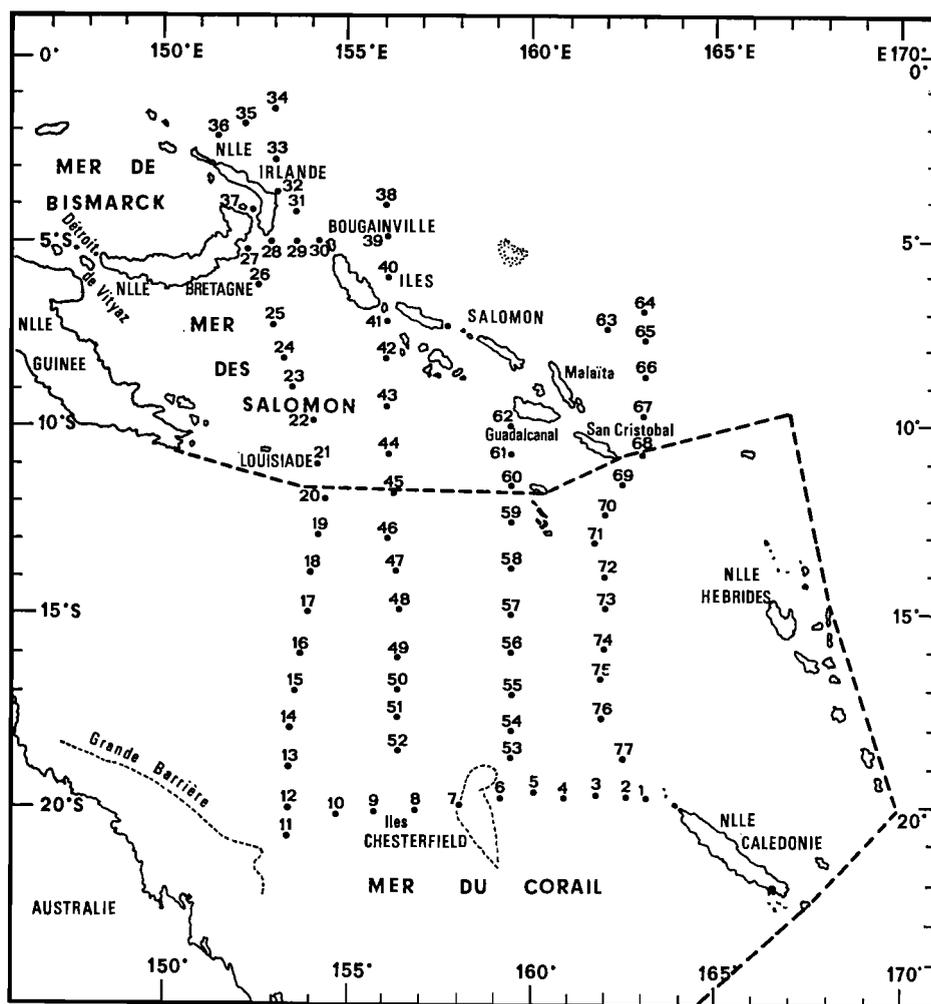


Fig. 1. — Position des stations de la croisière GORGONE. En tireté, les limites de la Mer du Corail.

induits par chaque régime de vent, en utilisant des données très espacées géographiquement et chronologiquement. Seules des mesures faites dans un temps assez court et couvrant la totalité de la zone marine pouvaient en donner une bonne description. C'est dans ce but que la croisière GORGONE fut réalisée avec le N. O. CORIOLIS du 14 novembre au 20 décembre 1972, c'est-à-dire à la fin du régime des alizés de sud-est. Elle fut limitée en latitude par les parallèles 2° S et 20° S et en longitude par les méridiens 153° E et 163° E; elle a comporté quatre radiales nord-sud et 77 stations avec mesures de la température, de la salinité, de l'oxygène, du phosphate minéral, du silicate, du pH et de l'alcalinité à 24 immersions entre la surface et une profondeur de 1200 mètres.

2. CARACTÉRISATION ET DÉFINITION DES EAUX-TYPES.

2.1. Caractéristiques hydrologiques.

La partie supérieure des diagrammes T-S de la zone étudiée pendant la croisière GORGONE est très dispersée (fig. 2 a). Au-dessous d'un niveau isanostérique proche de 230 cl/t situé à une profondeur voisine de 200 mètres, les diagrammes T-S se rapprochent; à partir d'un niveau proche de 170 cl/t, ils peuvent être assimilés à la droite définie par SVERDRUP *et al.* (1942), pour caractériser l'eau équatoriale; vers 80 cl/t, on observe le minimum de salinité de l'eau antarctique intermédiaire. Les diagrammes T-O₂ (fig. 2 b) et S-O₂ (fig. 3) complètent

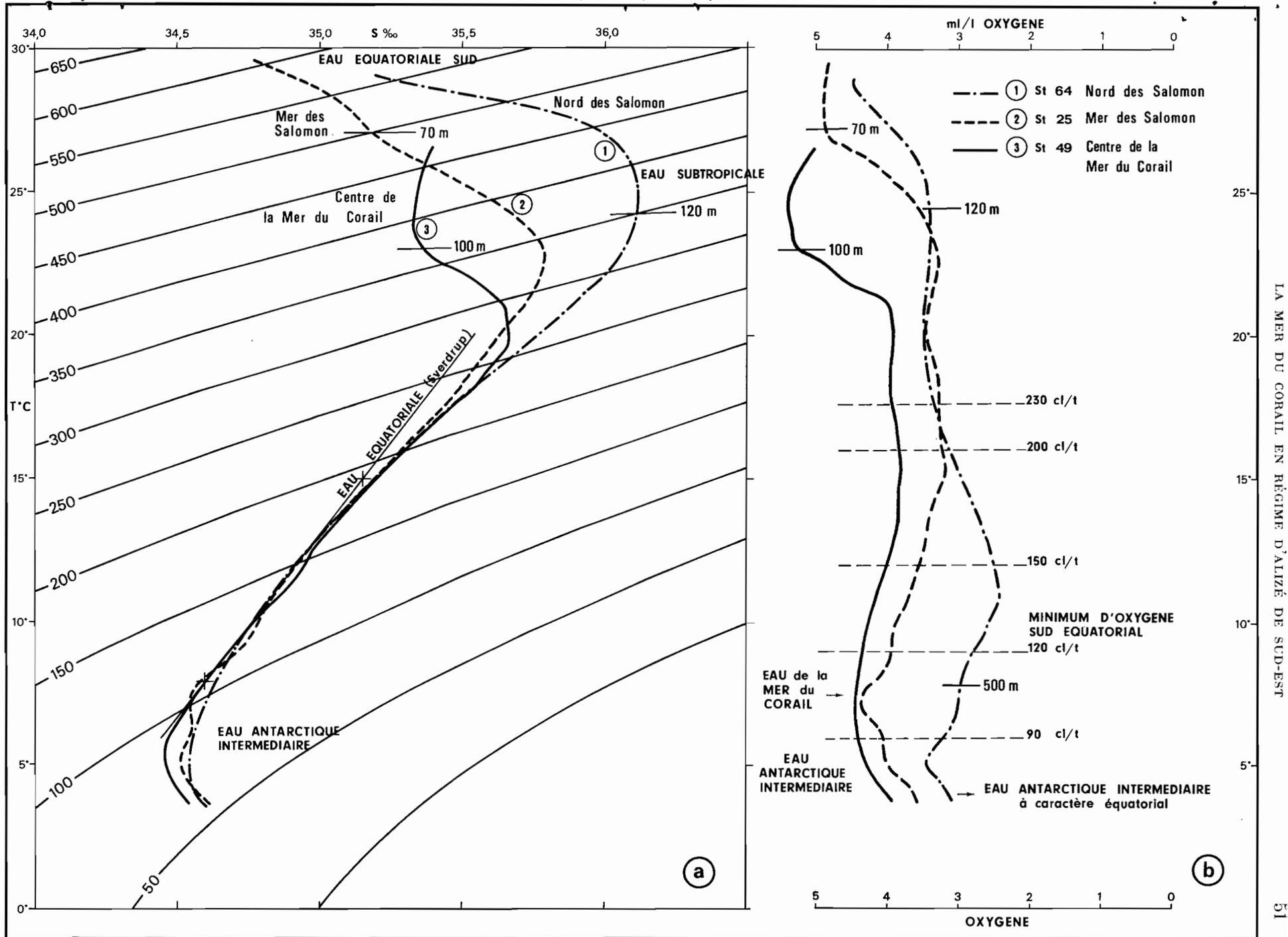


Fig. 2. — Diagramme T-S (a) et T-O² (b) de trois stations types de la croisière GORGONE : 1) au nord des îles Salomon ; 2) en Mer des Salomon ; 3) au centre de la Mer du Corail.

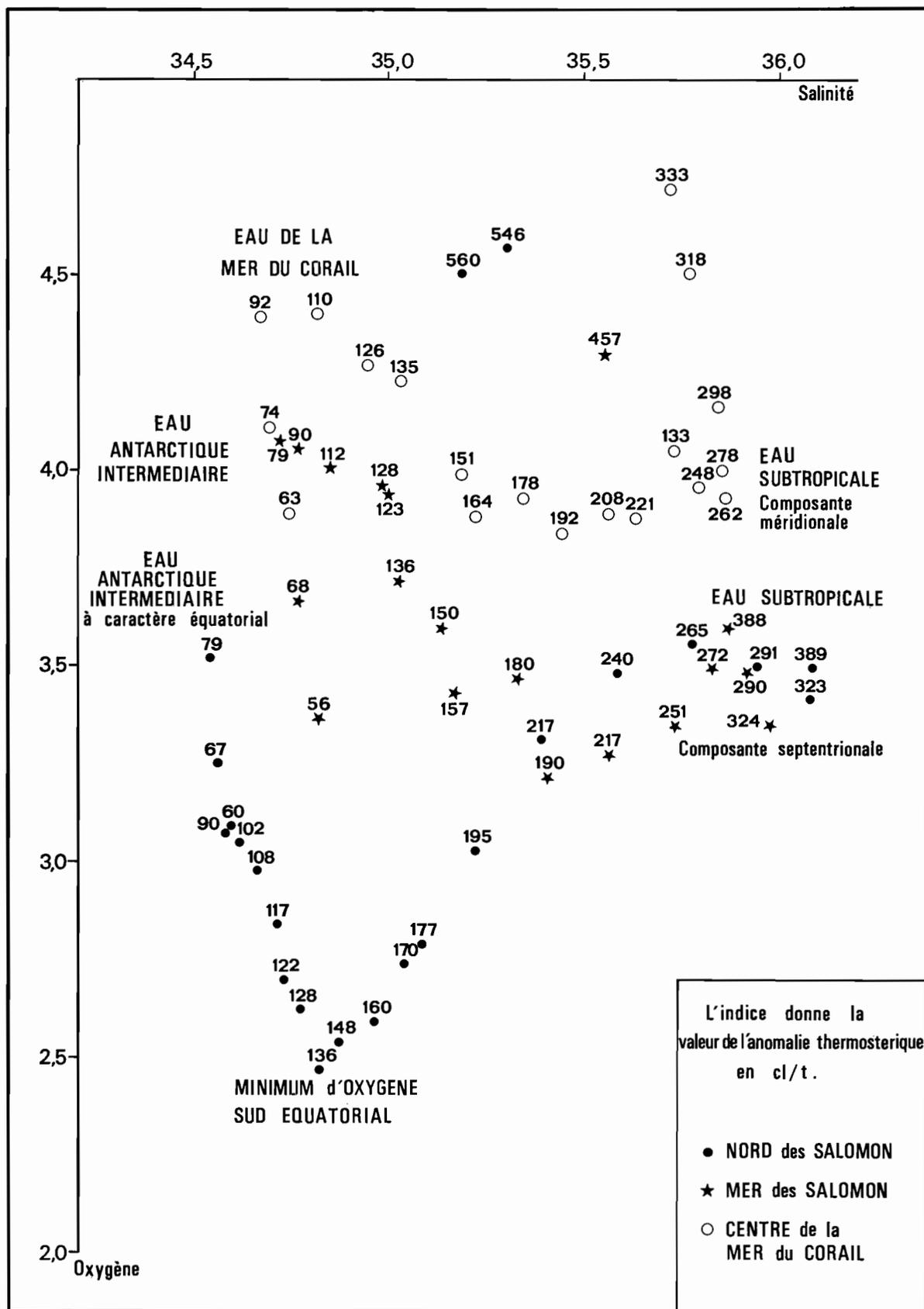


Fig. 3. — Diagramme S-O₂ de trois stations types de la croisière GORGONE : 1) au nord des îles Salomon ; 2) en Mer des Salomon ; 3) au centre de la Mer du Corail. La valeur de l'anomalie thermostérique de chaque observation est indiquée en indice.

utilement l'analyse des masses d'eau faite par les diagrammes T-S. ROTSCHE (1961) a utilisé cette méthode pour décrire la distribution de l'oxygène dans le Pacifique sud.

Les eaux superficielles ont des caractéristiques diverses. Au nord des îles Salomon (fig. 2 a), il existe un fort gradient vertical de salinité entre la surface ($S = 35,2 ‰$) et le maximum de salinité ($S = 36,2 ‰$). En Mer des Salomon où il y a aussi un fort gradient halin de la surface au maximum de salinité, l'eau superficielle que ROCHFORD (1959) appelle « eau équatoriale sud » est chaude et dessalée; elle est également légèrement sursaturée en oxygène. Au centre de la Mer du Corail, la salinité superficielle est proche de $35,3 ‰$ sur une épaisseur de 100 mètres environ.

En subsurface, on rencontre l'eau subtropicale du Pacifique sud caractérisée par un maximum de salinité. Au nord de 10° S, ce maximum se trouve au voisinage de l'isanoستère 340 cl/t; il est supérieur à $36,0 ‰$ au nord des îles Salomon, inférieur dans la Mer des Salomon. A cette salinité élevée est associé un minimum peu prononcé de la teneur en oxygène dissous; toutefois les deux noyaux ne coïncident pas, le minimum d'oxygène étant légèrement au-dessus du maximum de salinité. Dans le centre de la Mer du Corail, à l'épaisseur superficielle pratiquement isohaline, succède une couche où la salinité augmente jusqu'à une valeur proche de $35,8 ‰$; ce maximum de salinité moins intense que celui de la Mer des Salomon est à un niveau isanoستérique inférieur à 340 cl/t. Dans la région étudiée, il existe donc deux types de maxima de salinité séparés approximativement par le parallèle 15° S. Au nord, le maximum de salinité voisin de l'isanoستère 340 cl/t peut dépasser $36,0 ‰$. Au sud, il est situé sur une isanoستère proche de 300 cl/t et ne dépasse pas $35,8 ‰$. Ces deux types de maxima proviennent du Pacifique Central Sud mais atteignent la Mer du Corail par des voies différentes. WYRTKI (1962) qui le premier les a mis en évidence les appelle composantes septentrionale et méridionale de l'eau subtropicale sud. Le diagramme S-O₂ (fig. 3) permet de les distinguer facilement; la composante septentrionale (320-390 cl/t) a une salinité de $35,9-36,1 ‰$ et une teneur en oxygène voisine de $3,4-3,6$ ml/l; la composante méridionale (260-300 cl/t) a une salinité de $35,7 ‰$ environ et une teneur en oxygène voisine de $3,9-4,2$ ml/l.

Ces deux types d'eau identifiés d'après les diagrammes S-O₂ aux stations sont toujours nettement distincts (fig. 4); ils ne sont présents simultanément que sur la bordure occidentale de la zone étudiée. La composante méridionale de l'eau subtropicale se déplaçant vers le nord pénètre en Mer du Corail entre l'Australie et la Nouvelle-Calédonie. La composante septentrionale pénètre en Mer du Corail

au sud des îles Salomon; une partie envahit la Mer des Salomon, l'autre passe au sud de l'archipel de la Louisiade et son influence peut être notée le long du parallèle 18° S où les deux composantes se rejoignent vers 156° E. Ce schéma confirme l'analyse de ROCHFORD (1969) et de DONGUY, OUDOT, ROUGERIE (*op. cit.*).

Dans la gamme des anomalies thermostériques 230 à 90 cl/t, le diagramme T-S est constitué par le mélange de l'eau subtropicale et de l'eau antarctique intermédiaire. Le diagramme T-O₂, en revanche, montre une structure plus complexe. Au nord des îles Salomon, entre 300 et 500 mètres de profondeur (de 150 à 120 cl/t), la teneur en oxygène passe par un minimum inférieur à 2,5 ml/l (fig. 2 b). C'est le minimum d'oxygène sud-équatorial formé, comme le montre TSUCHIYA (1968), au large du Pérou. Le diagramme S-O₂ (fig. 3) définit plus précisément cette masse d'eau: salinité proche de $34,7 ‰$, teneur en oxygène de 2,5 ml/l environ. L'influence de cette eau peut être décelée en Mer des Salomon où l'on distingue un minimum de teneur en oxygène entre 150 cl/t et 200 cl/t, c'est-à-dire à un niveau légèrement supérieur à celui observé au nord des îles Salomon. La distribution de l'oxygène sur l'isanoستère 160 cl/t (fig. 5) montre le passage de ce minimum entre Guadalcanal et San Cristobal. Seule la partie supérieure pénètre en Mer du Corail, ce qui explique le changement apparent du niveau isanoستérique.

Au sud des îles Salomon, en Mer du Corail et dans la partie ouest de la Mer des Salomon, entre 500 et 700 mètres de profondeur environ (120 cl/t à 90 cl/t), la teneur en oxygène passe par un maximum proche de 4,5 ml/l (fig. 2 b); WYRTKI (*op. cit.*) appelle l'eau ainsi caractérisée eau du maximum d'oxygène; c'est en fait la partie supérieure de l'eau antarctique intermédiaire. TSUCHIYA (*op. cit.*) a montré que son cheminement vers le nord à travers la Mer du Corail lui permet d'atteindre l'équateur à l'ouest de 155° E; aussi a-t-elle été appelée eau de la Mer du Corail. Le diagramme S-O₂ (fig. 3) montre que cette eau (90-110 cl/t) a une salinité de $34,6-34,8 ‰$ et une teneur en oxygène de 4,0-4,4 ml/l.

Dans la gamme des anomalies thermostériques 90 à 70 cl/t (fig. 2 a), c'est-à-dire entre 800 et 1 200 mètres de profondeur, le minimum de salinité compris entre $34,45 ‰$ au sud et $34,55 ‰$ au nord est caractéristique de l'eau antarctique intermédiaire. Plus que la salinité, la teneur en oxygène permet de préciser la provenance de cette masse d'eau. En Mer du Corail, la teneur en oxygène est de l'ordre de 4,2 ml/l sur l'isanoستère 80 cl/t et dans l'ouest de la Mer des Salomon, elle est de l'ordre de 4,0 ml/l. En revanche, au nord des îles Salomon et dans l'est de la Mer des Salomon, la concentration maximum de l'oxygène est seulement de l'ordre de 3,5 ml/l.

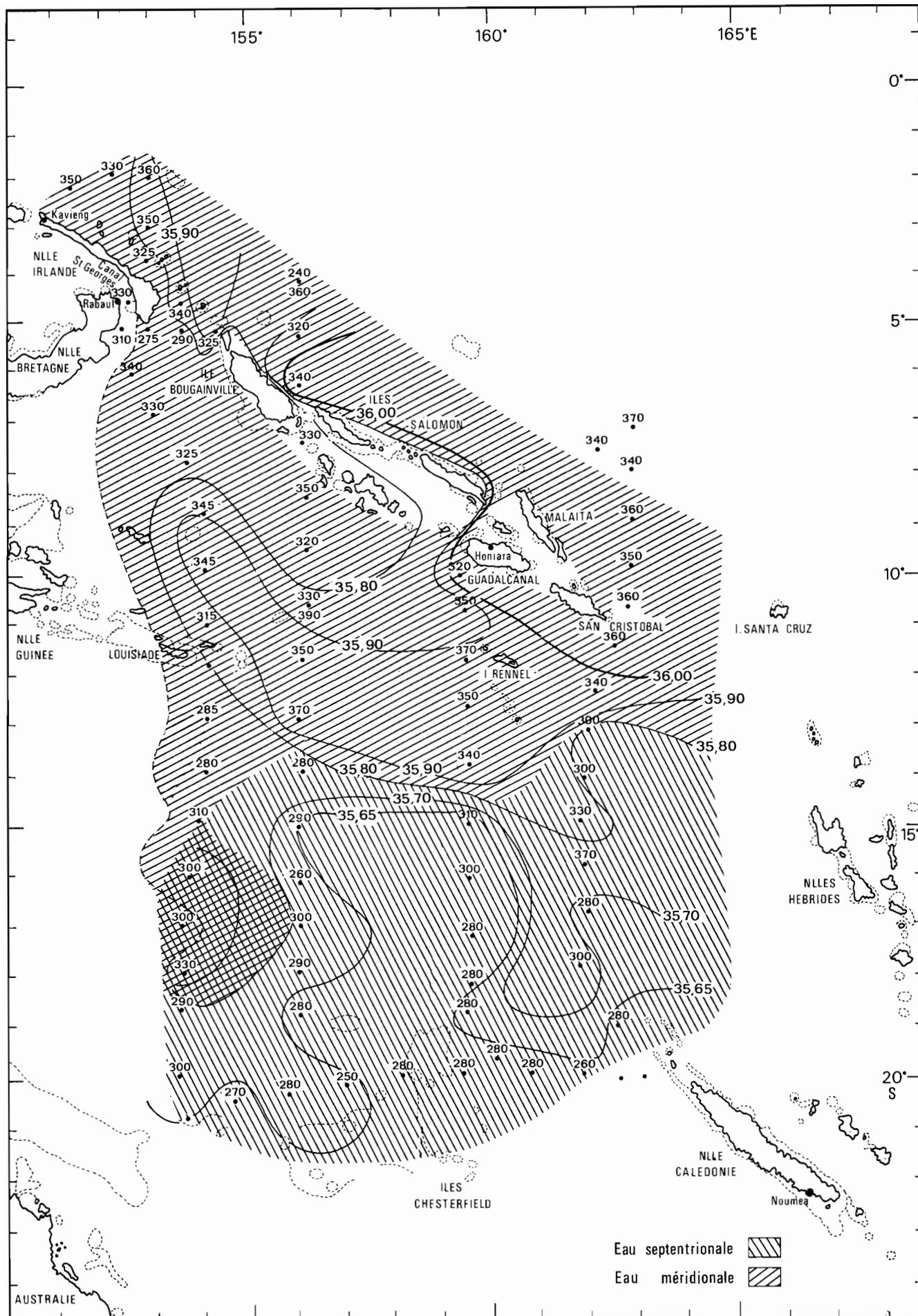


Fig. 4. — Salinité maximale de l'eau subtropicale pendant la croisière GORGONE. La valeur de l'anomalie thermostérique du maximum de salinité est indiquée en indice.

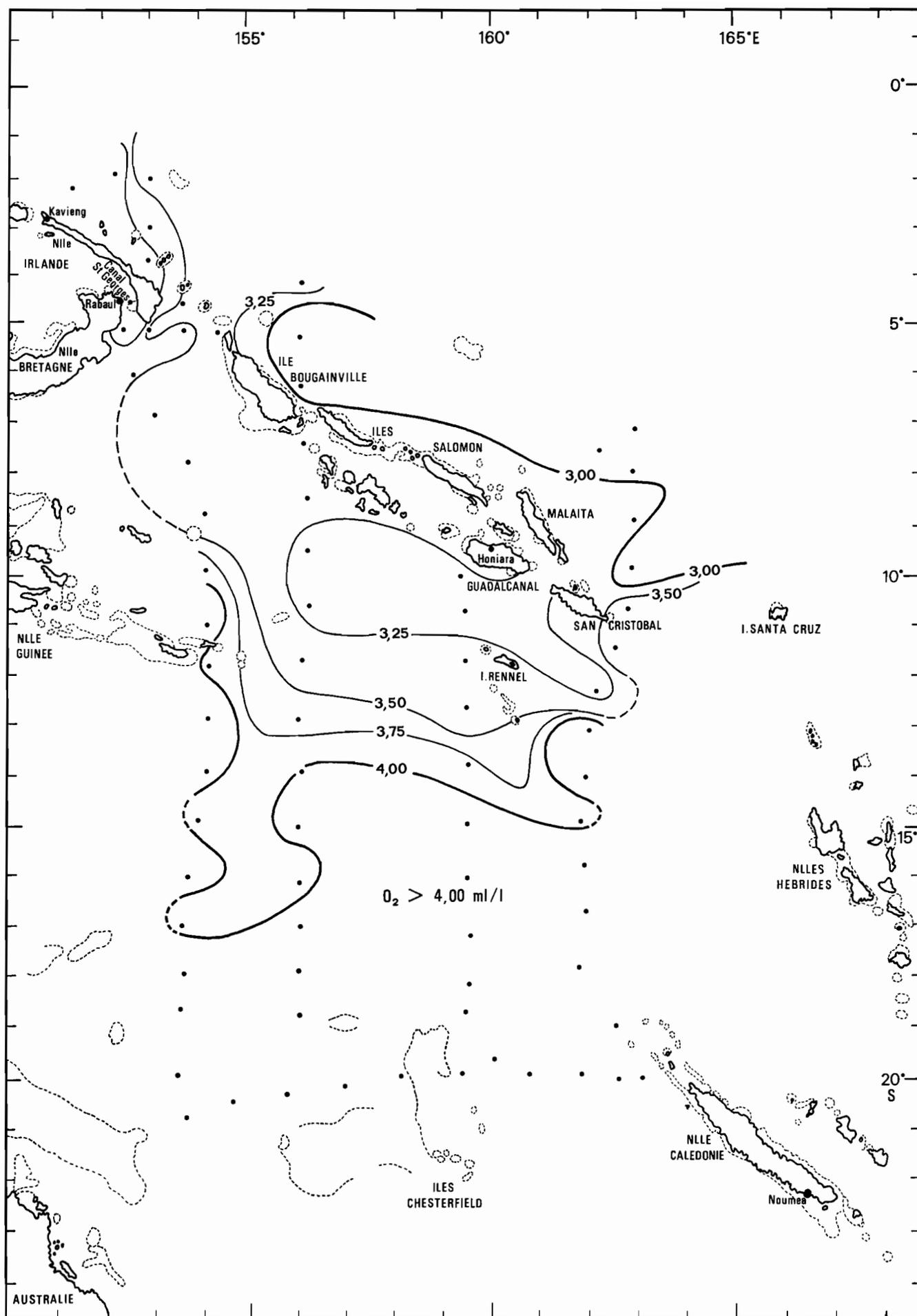


Fig. 5. — Distribution de l'oxygène dissous sur la surface isanostérique 160 cl/l pendant la croisière GORGONE.

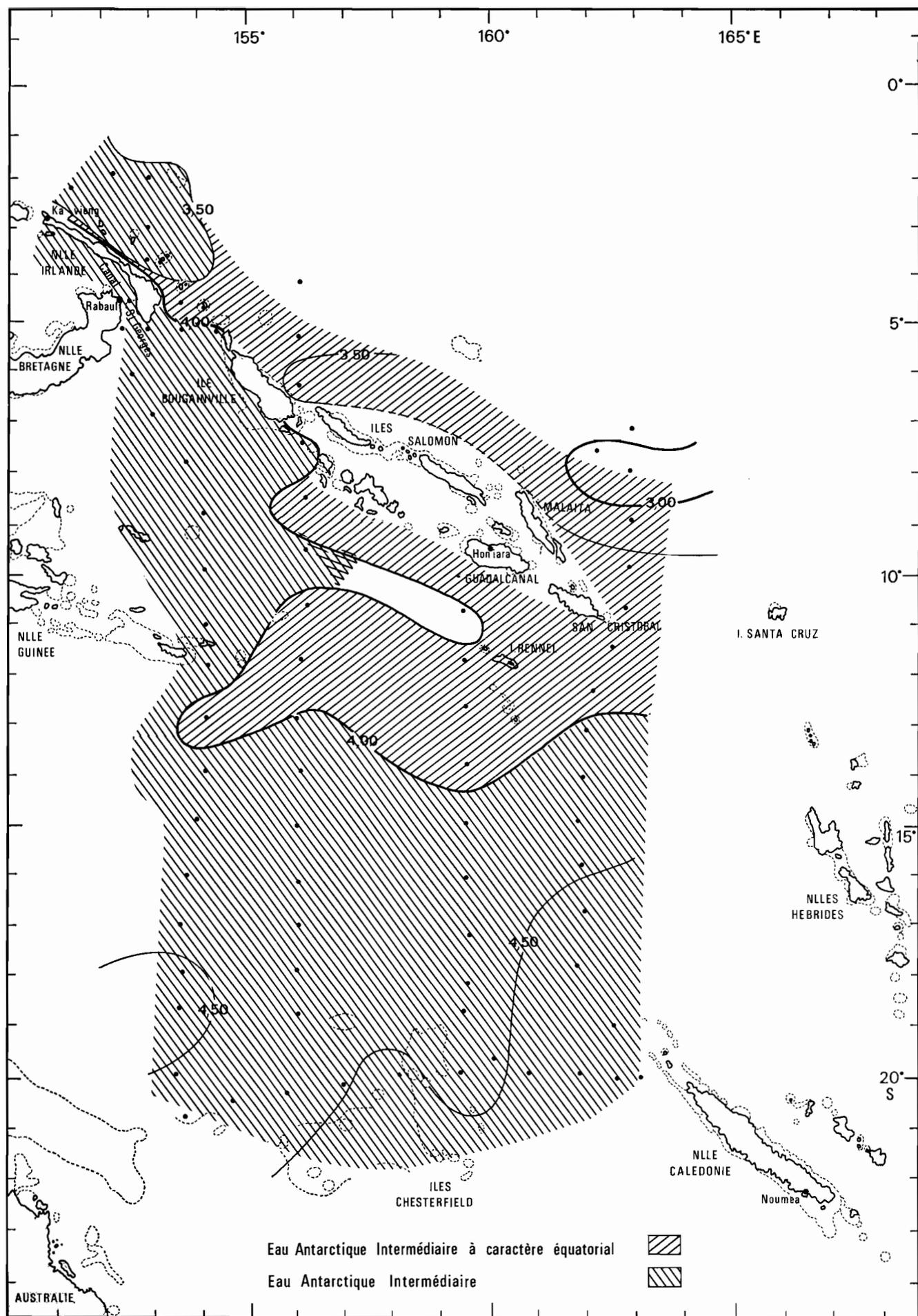


Fig. 6. — Distribution de l'oxygène dissous sur la surface isanostérique 100 cl/t pendant la croisière GORGONE.

TABLEAU I
Eaux types

	Profondeur	Densité	Température	Salinité	Oxygène
Eau Équatoriale Sud.....	0-70 m	630-550 cl/t	> 28 °C	34,0 ‰-35,0 ‰	sursaturation
Eau subtropicale {	Composante septentrionale.....	100-150 m	24 °C	> 35,9 ‰	3,5 ml/l } min. rel.
	Composante méridionale.....	150-200 m	22 °C	35,7 ‰	
Eau du minimum d'oxygène Sud Équatorial.....	300-400 m	160-120 cl/t	9 °C-11 °C	34,7 ‰-34,8 ‰	< 2,6 ml/l
Eau Antarctique Intermédiaire :					
Trajet court.....	700-900 m	80-70 cl/t	5 °C	34,45 ‰	4,0 ml/l
à caractère équatorial.....	600-800 m	80-70 cl/t	4 °C	34,55 ‰	3,5 ml/l
<i>Eau dérivée</i>					
Eau de la Mer du Corail.....	500-700 m	100-90 cl/t	7 °C-8 °C	34,55 ‰-34,65 ‰	> 4,0 ml/l

Le diagramme S-O₂ (fig. 3) montre effectivement entre 74 et 79 cl/t deux masses d'eau de salinité voisine (34,5 ‰ et 34,7 ‰) mais de teneur en oxygène différent de 0,5 ml/l environ. De telles différences peuvent s'expliquer parce que ces masses d'eau, bien qu'ayant une origine commune, atteignent la Mer du Corail par des itinéraires différents. L'eau antarctique intermédiaire atteint la Mer du Corail à la suite d'un trajet court; en revanche, comme le montrent REID (1965) et JOHNSON (1973), la masse d'eau qui parvient au nord des îles Salomon ou dans l'est de la Mer des Salomon a parcouru un long trajet dans le Pacifique sud; elle est appelée eau antarctique intermédiaire à caractère équatorial. La distribution de l'oxygène sur la surface isostérique 100 cl/t (fig. 6) reflète bien les déplacements mis en évidence par le potentiel d'accélération à 100 cl/t relativement à 1000 db. L'eau de la Mer du Corail qui est aussi la partie supérieure de l'eau antarctique intermédiaire, semble provenir en majeure partie du sud-est et atteint la Mer des Salomon à l'est de l'archipel de la Louisiade. L'eau antarctique intermédiaire à caractère équatorial pénètre en Mer du Corail au sud des îles Salomon jusqu'à 155° E.

Le tableau 1 résume les principaux résultats de l'analyse hydrologique.

2.2. Remarques concernant les caractéristiques chimiques.

Aucune analyse de sels nutritifs n'a pu être faite à bord mais des échantillons d'eau de 2 ml ont été stockés en godets de polyéthylène à la température de -20° C; leurs teneurs en phosphate et en silicate dissous ont ensuite été déterminées à terre au moyen

d'une chaîne automatique Technicon II. La grande dispersion des résultats laisse supposer en particulier pour les phosphates une certaine contamination due au mode de stockage. Les données recueillies sont insuffisantes pour rendre compte de la distribution globale des sels nutritifs et seuls quelques aspects particuliers ont pu être mis en évidence.

En surface, les eaux sont très pauvres en phosphate, les teneurs supérieures à 0,2 µatg/l étant exceptionnelles; les teneurs en silicate, généralement de l'ordre de 1,0 µatg/l, peuvent toutefois dépasser 2,0 µatg/l à proximité des détroits.

Entre la surface et 200 mètres de profondeur (fig. 7), le fait le plus remarquable est, vers 13° S,

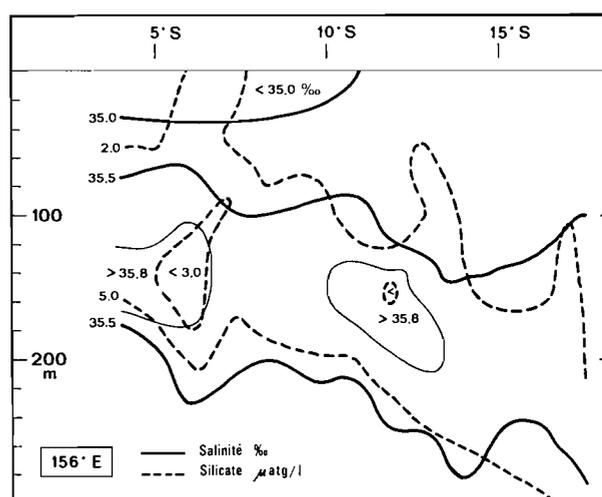


Fig. 7. — Distribution verticale de la salinité (en trait plein) et du silicate en µatg/l (en tireté) à 156° E de 3° S à 20° S pendant la croisière GORGONE.

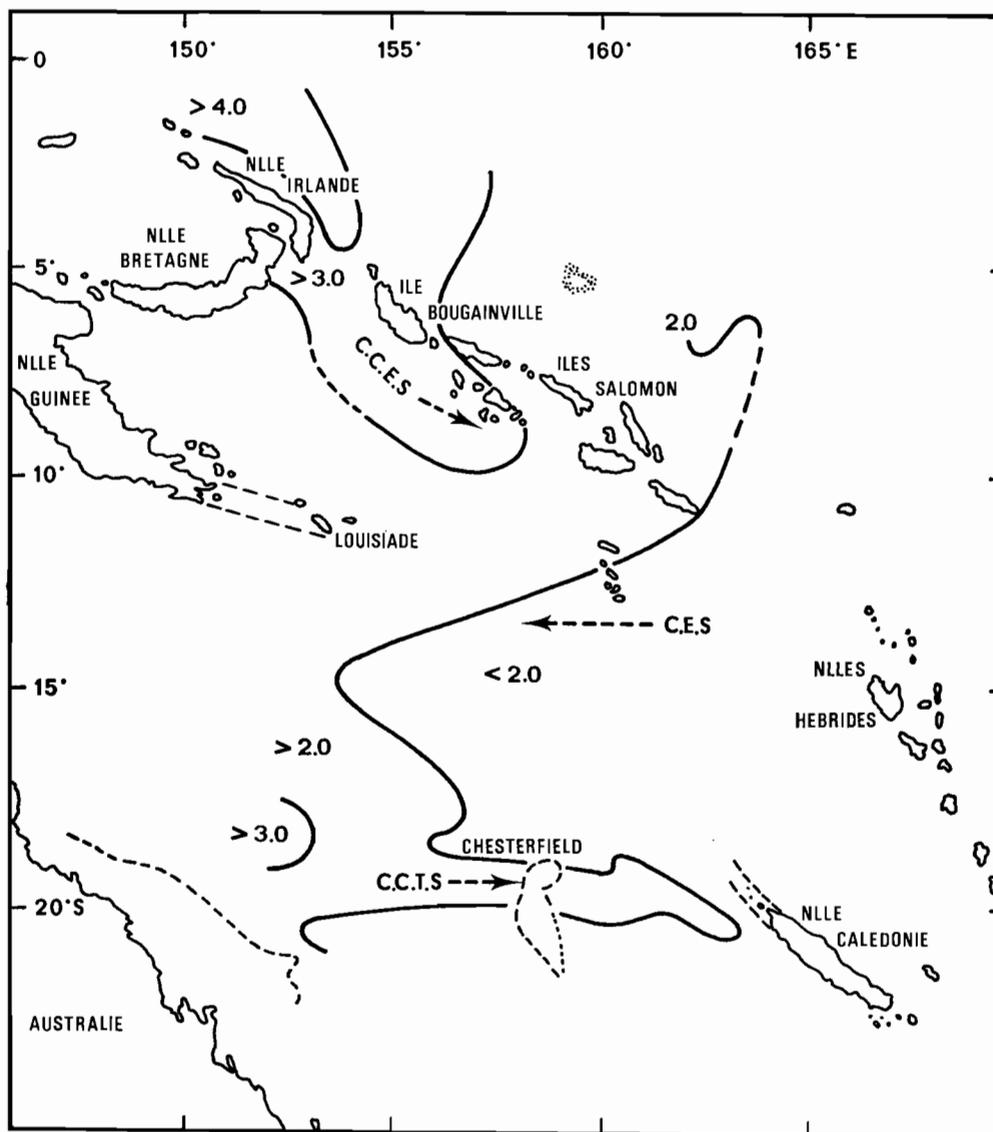


Fig. 8. — Distribution du silicate en $\mu\text{atg/l}$ sur la surface isanostérique 340 cl/t pendant la croisière GORGONE.

une structure en dôme de l'isoligne $2,0 \mu\text{atg/l}$ de silicate, qui est confirmée par la distribution du phosphate et par le développement d'un front thermique superficiel peu actif. On observe également un second « doming » vers $18-19^\circ \text{S}$, plus net pour le silicate que pour le phosphate. Enfin, à proximité des îles Salomon, on décèle des remontées d'eau vers la surface. Ces intrusions d'eaux chargées en sels nutritifs, dans un milieu fortement oligotrophe sont des facteurs d'enrichissement bien que leur extension géographique soit limitée. RORSCH (1961) avait déjà signalé dans cette région une structure quasi-permanente d'enrichissement appelée diver-

gence des Salomon. Cette divergence localisée en 1960 dans le sud de l'île Guadalcanal semble avoir en 1972 une position plus difficile à définir et être de toute façon moins active. SAPOZHNIKOV *et al.* (1972) en ont évalué la vitesse verticale entre $4,2 \cdot 10^{-5}$ et $2,6 \cdot 10^{-2} \text{ cm/s}$.

Tout au long de l'arc Nouvelle-Irlande - Iles Salomon, les eaux sont relativement riches en silicate dissous, les teneurs les plus élevées étant à proximité immédiate des côtes probablement à cause de l'apport terrigène dû au ruissellement sur les reliefs des îles soumises à une forte pluviosité. Toutefois, le long de cet arc, les teneurs décroissent vers le

sud-est c'est-à-dire dans le sens de l'écoulement des eaux qui proviennent en partie du Pacifique occidental : la distribution du silicate dissous sur l'isanoستère 340 cl/t (fig. 8) montre que les teneurs sont supérieures à $4,0 \mu\text{atg/l}$ au nord de la Nouvelle-Irlande et n'atteignent plus que $3,0 \mu\text{atg}$ dans l'est de la Mer des Salomon; elles sont aussi supérieures à $3,0 \mu\text{atg/l}$ vers 19°S et s'atténuent progressivement dans le sens du flux qui porte aussi à l'est. De même, il existe aussi une bonne concordance (fig. 7) entre une faible teneur en silice et une forte salinité due à l'eau subtropicale originaire de l'est, concordance plus nette au nord des îles Salomon où le milieu est franchement océanique qu'au sud de cet archipel.

Les régions centrales de la mer des Salomon et de la Mer du Corail sont les plus pauvres en substances nutritives. Dans les détroits, il est possible qu'il se forme des cellules convectives turbulentes suffisamment fortes pour percer localement la pycnocline et enrichir les eaux superficielles. Dans le sud, les stations faites le long du parallèle 20°S montrent

(fig. 9) qu'à l'ouest des Chesterfield il existe des indices de doming; le même phénomène se retrouve dans le nord-ouest de la Nouvelle-Calédonie où il est suffisamment fort pour entretenir dans les eaux superficielles une teneur en phosphate supérieure à $0,3 \mu\text{atg/l}$.

En résumé, on peut distinguer en Mer du Corail trois zones bénéficiant de processus d'enrichissement : la première suit l'arc de l'archipel des Salomon où l'apport terrigène entretient les fortes teneurs en silicate venant de l'ouest du Pacifique; la deuxième, moins bien définie, légèrement enrichie en phosphate et en silicate entre 10°S et 13°S , pourrait représenter une forme atténuée de la divergence des Salomon. Enfin la troisième, entre 18°S et 20°S est caractérisée par des indices notables d'enrichissement à l'ouest des îles Chesterfield et de la Nouvelle-Calédonie.

3. ASPECTS GÉNÉRAUX DE LA CIRCULATION.

3.1. En surface.

La topographie dynamique de la surface de la mer relativement à 1 000 décibars (fig. 10) met bien en évidence un système de courants principalement zonaux. Du sud au nord, on peut ainsi différencier plusieurs systèmes de flux :

(a) Vers 20°S , entre la Nouvelle-Calédonie et l'Australie, l'espace marin est en fait réduit à deux passages séparés par le plateau des Chesterfield. À l'ouest on remarque une cellule anti-cyclonique, à l'est la direction méridienne du courant n'est pas nettement marquée. Au nord de la Nouvelle-Calédonie, on observe un flux Est.

(b) Dans la partie centrale de la Mer du Corail, entre 12°S et 19°S , la circulation est caractérisée par deux tourbillons, l'un anti-cyclonique vers 14°S , l'autre cyclonique vers 16°S . Cette situation très contrastée entraîne un grand brassage des eaux dont les effets sur l'homogénéisation de la salinité ont déjà été notés pour les 100 premiers mètres.

(c) La Mer des Salomon entre 8°S et 10°S est occupée par le courant équatorial sud. Entre 8°S et 5°S , il y a juxtaposition de flux Est et de flux Ouest.

La circulation est proche de celle présentée par DONGUY, OUDOT, ROUGERIE (*op. cit.*) pour l'hiver austral 1956. Le contre-courant équatorial sud n'est visible qu'au nord des îles Salomon. Le contre-courant tropical sud, notable en 1956 entre 15°S et 18°S , n'apparaît en 1972 qu'au nord de la

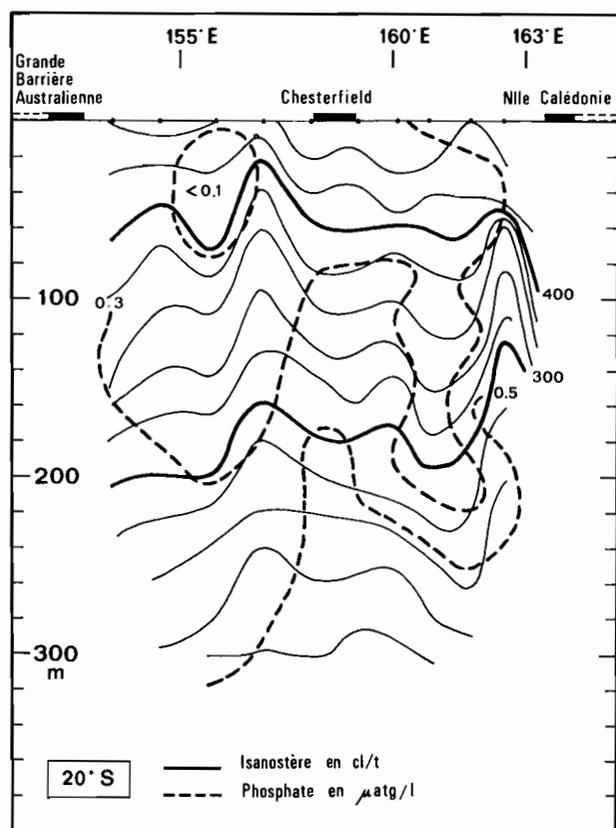


Fig. 9. — Distribution verticale à 20°S de l'anomalie thermique en cl/t (traits pleins) et du phosphate inorganique dissous en $\mu\text{atg/l}$ (tireté) entre la Nouvelle-Calédonie et la Grande Barrière Australienne.

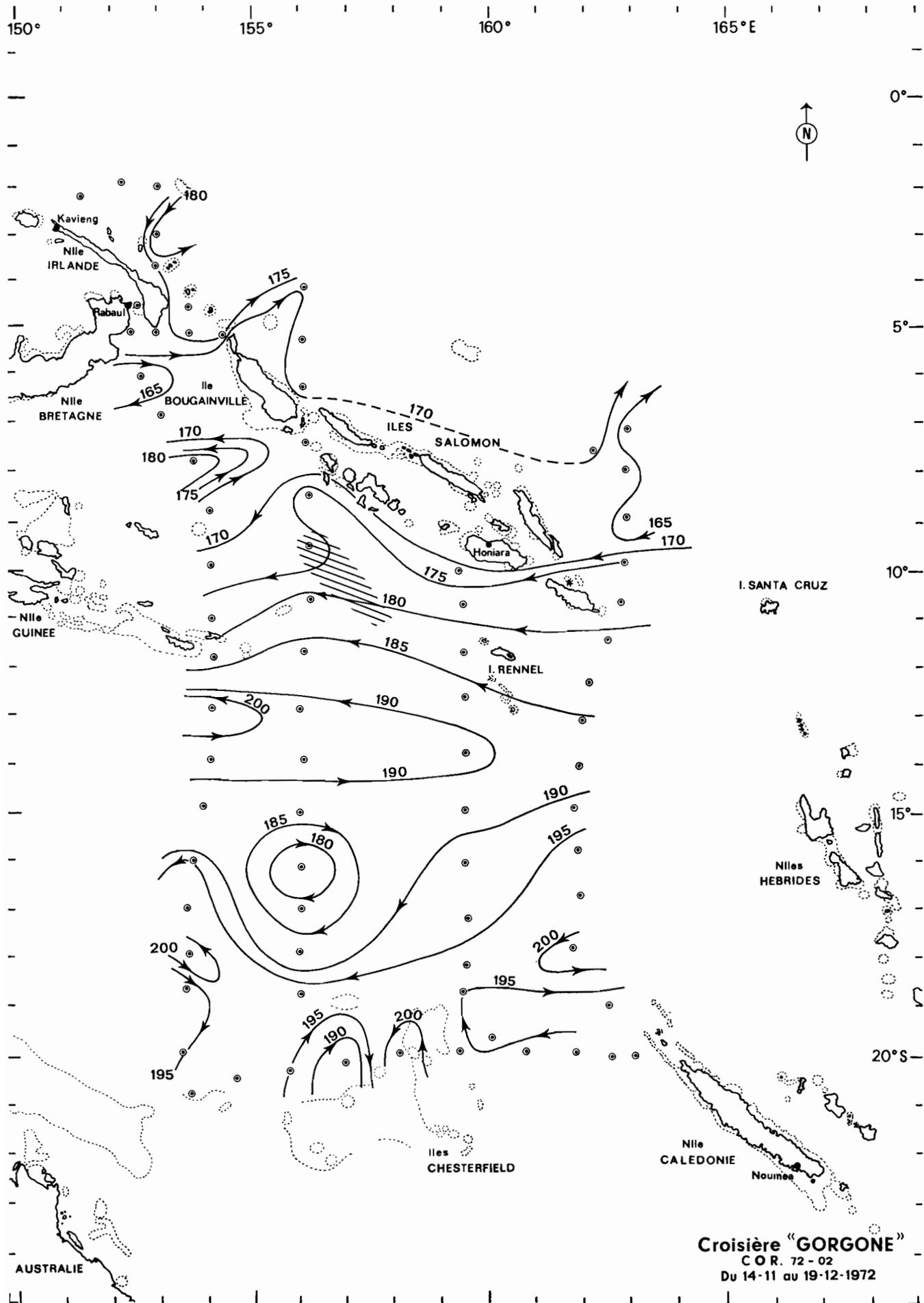


Fig. 10. — Topographie dynamique de la surface de la mer, relative à 1000 décibars, en centimètres dynamiques pendant la croisière GORGONE.

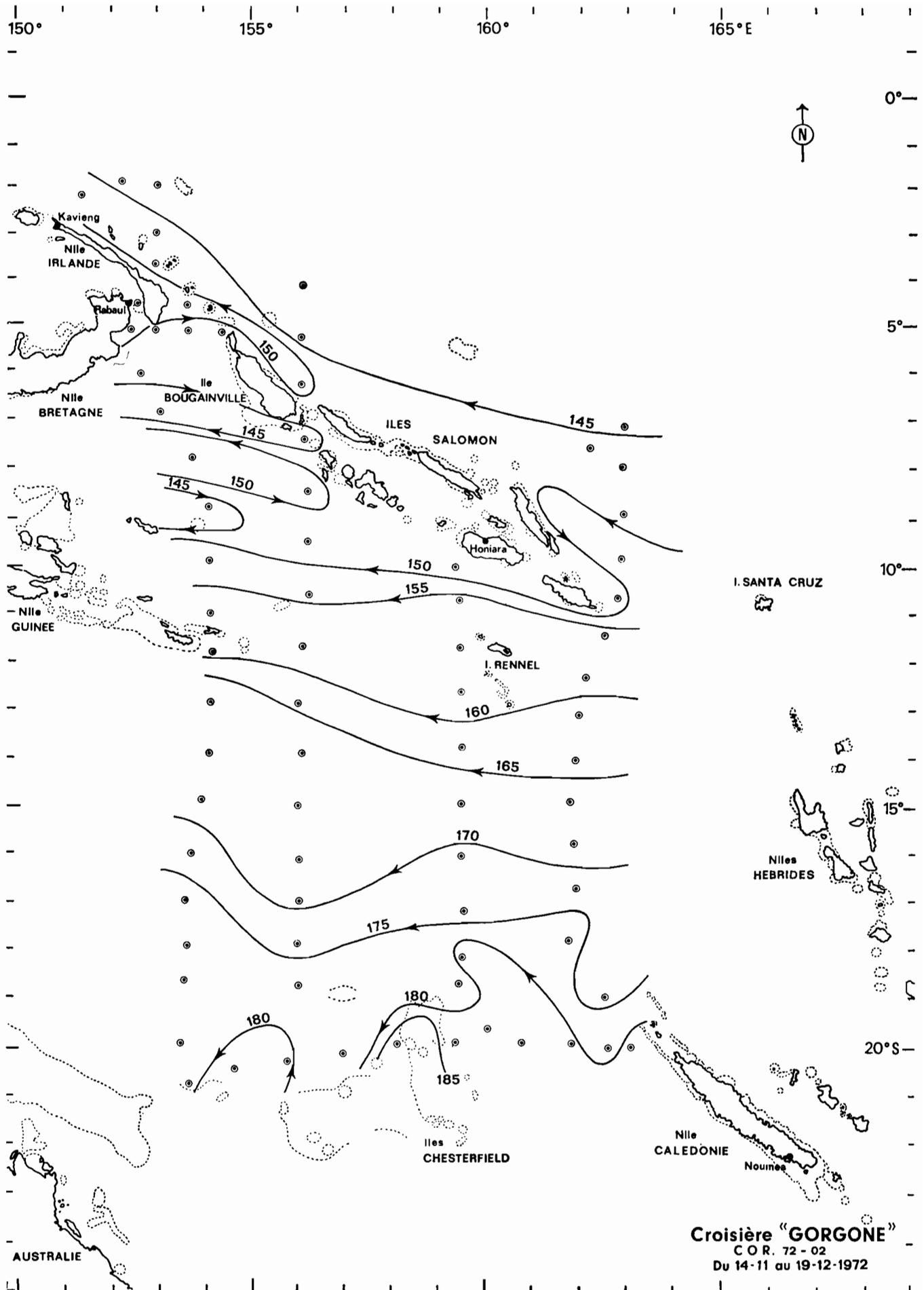


Fig. 11. — Potentiel d'accélération sur la surface isanostérique 300 cl/t relatif à 1000 décibars, en centimètres dynamiques pendant la croisière GORGONE.

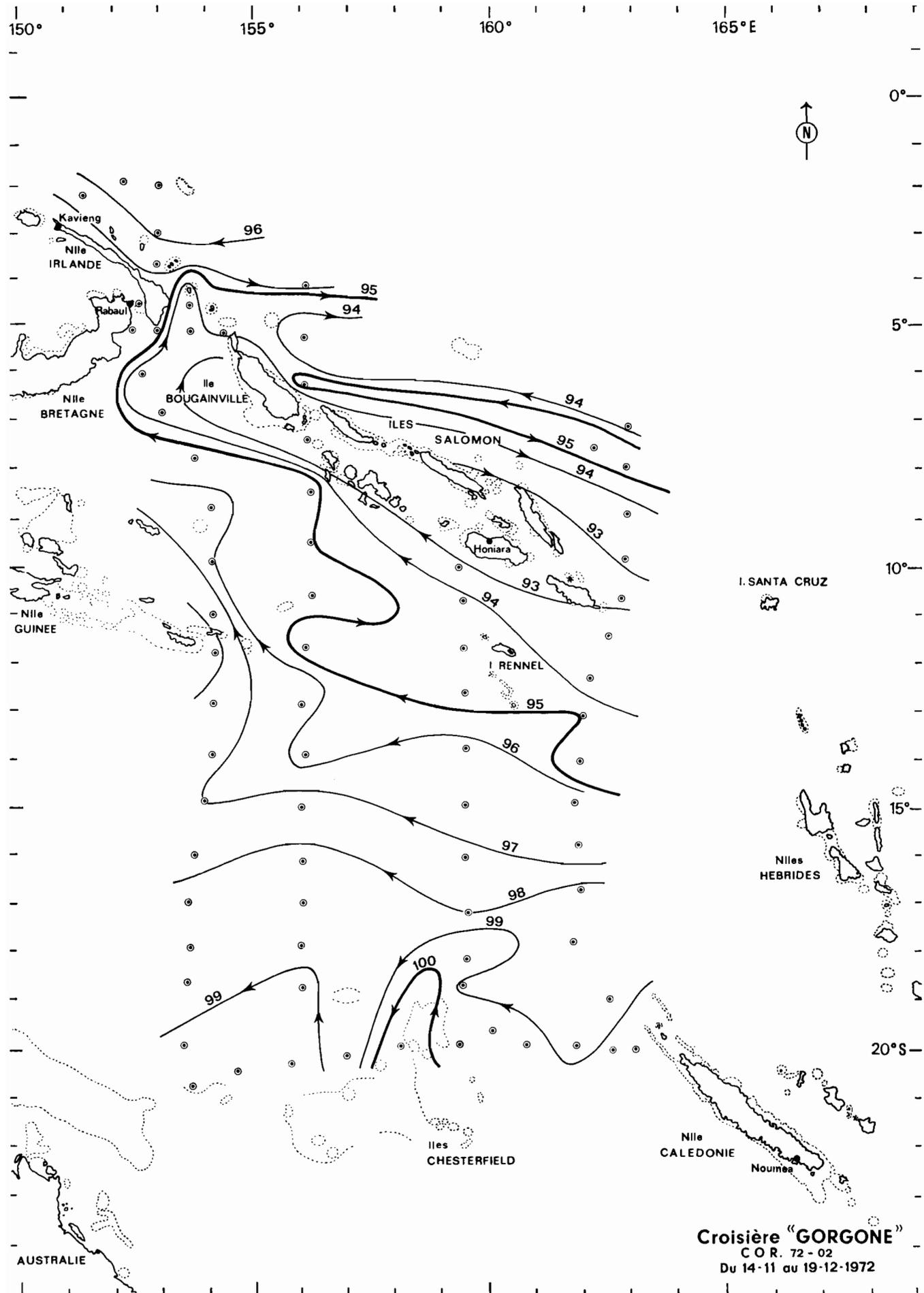


Fig. 12. — Potentiel d'accélération sur la surface isanostérique 100 cl/t relatif à 1000 décibars, en centimètres dynamiques pendant la croisière GORGONE.

Nouvelle-Calédonie; il semble issu à la fois du courant équatorial sud et d'un flux Nord situé entre la Nouvelle-Calédonie et l'Australie.

3.2. En subsurface.

Comme en surface, la dérive générale des eaux se fait vers l'ouest à l'exception des courants de retour (contre-courants) généralement plus faibles et moins profonds que les courants ouest. C'est ainsi que, d'après le potentiel d'accélération relatif à 1 000 décibars (fig. 11) à 300 cl/t (150 mètres de profondeur environ, *i.e.* au niveau du maximum de salinité en Mer du Corail) et à 160 cl/t (de 300 à 500 mètres de profondeur, *i.e.* au niveau du minimum d'oxygène sud-équatorial), le flux ouest est prédominant : le contre-courant équatorial sud existe toujours au nord de 10° S mais le contre-courant tropical sud a pratiquement disparu. A 100 cl/t (de 500 à 700 mètres de profondeur, *i.e.* au niveau de l'eau de la Mer du Corail) (fig. 12), le flux, de zonal dans la partie orientale de la Mer du Corail, devient méridien dans la partie occidentale au nord de 15° S. Le contre-courant équatorial sud est toujours présent au nord des îles Salomon.

3.3. Les flux.

La croisière ayant duré plus d'un mois, un bilan des flux entrant et sortant en Mer du Corail n'est pas nécessairement représentatif. Cependant l'évaluation de certains flux peut-être significative. Ainsi le courant équatorial sud transporte 41 millions de m³/s à 163° E, 45 à 159° E, 45 à 156° E et 37 à 153° E. Les mesures n'ont pas été portées assez loin dans le nord et le contre-courant équatorial sud ne peut être évalué; en revanche, le contre-courant tropical sud a un flux de 4 millions de m³/s à 163° E, 6 à 159° E, 3 à 156° E et 3 à 153° E. Ces chiffres sont comparables à ceux avancés par MERLE, ROTSCI, VOITURIEZ (1969) (1 à 7 millions de m³/s).

4. CARACTÉRISATION HYDROLOGIQUE DES FLUX.

4.1. En surface.

De part et d'autre des îles Salomon, la salinité est inférieure à 35,0 ‰. Le contre-courant équatorial sud (fig. 10) transporte donc de l'eau équatoriale sud (ROCHFORD, 1959) chaude et dessalée. Au centre de la Mer du Corail, le courant équatorial sud entraîne de l'eau de salinité proche de 35,3 ‰.

La salinité de surface est supérieure à celle observée habituellement en Mer du Corail. C'est ainsi qu'en

août-octobre 1956 et en février-mars 1960 (DONGUY, OUDOT, ROUGERIE, 1970), l'isohaline 35,0 ‰ était située entre 15° S et 20° S tandis que, pendant la croisière GORGONE, elle est voisine de 10° S, comme pendant la croisière ASTROLABE (juin 1958) qui s'est déroulée dans des conditions hydro-climatiques reconnues inhabituelles. De même, comme en 1958, la salinité de surface est basse à l'équateur (34,7 ‰) où souffle du vent d'ouest. Au contraire, au sud de 10° S, les alizés de sud-est sont forts et soufflent depuis juin 1972. En 1958, le contre-courant tropical sud ne semblait pas exister et il est peu développé pendant la croisière GORGONE. Du point de vue météorologique, il semble que fin 1972, l'anticyclone sud-australien, anormalement fort pour la saison, ait repoussé vers le nord la zone de convergence intertropicale des alizés.

4.2. En subsurface.

Le contre-courant équatorial sud qui coule de part et d'autre de la Nouvelle-Irlande et de l'île Bougainville (fig. 11) transporte en subsurface à 153° E, vers 150 mètres de profondeur, un maximum de salinité de l'ordre de 35,8 ‰ (fig. 4) et, vers 300 mètres de profondeur, un maximum de teneur en oxygène (O₂ > 4,0 ml/l) (fig. 5). Le maximum de teneur en oxygène caractérise l'eau de la Mer du Corail et le maximum de salinité l'eau subtropicale. Celle-ci est probablement dérivée du noyau principal de forte salinité dont la direction s'est inversée à l'ouest de 153° E.

De part et d'autre du contre-courant équatorial sud, le courant porte à l'ouest. Au nord, le courant équatorial transporte, entre 50 et 200 mètres de profondeur, de l'eau subtropicale sud très salée (S > 36,0 ‰ à 163° E) (fig. 4 et 11) et, au-dessous de 200 mètres de profondeur, de l'eau du minimum d'oxygène sud-équatorial (O₂ < 3,5 ml/l) (fig. 5). Au sud, entre 50 et 150 mètres de profondeur (fig. 11), le courant équatorial sud transporte de l'eau subtropicale de salinité supérieure à 36,0 ‰ à 163° E et à 35,9 ‰ à 153° E (fig. 4). Entre 150 et 300 mètres de profondeur (fig. 5), il transporte de l'eau du minimum d'oxygène sud équatorial (O₂ < 3,5 ml/l au nord de 13° S), la partie supérieure de cette masse d'eau pénétrant en Mer du Corail entre les îles Guadalcanal et San Cristobal. Au-dessous de 300 mètres de profondeur à 153° E et de 400 mètres à 163° E (fig. 6), le courant équatorial sud (fig. 12) est composé presque exclusivement d'eau de teneur en oxygène supérieure à 4,0 ml/l qui est caractéristique de la Mer du Corail.

Au sud de 13° S, à 153° E, on distingue deux veines de courant Est de même importance mais à 160° E (fig. 10) la plus nord disparaît. Seule la plus sud

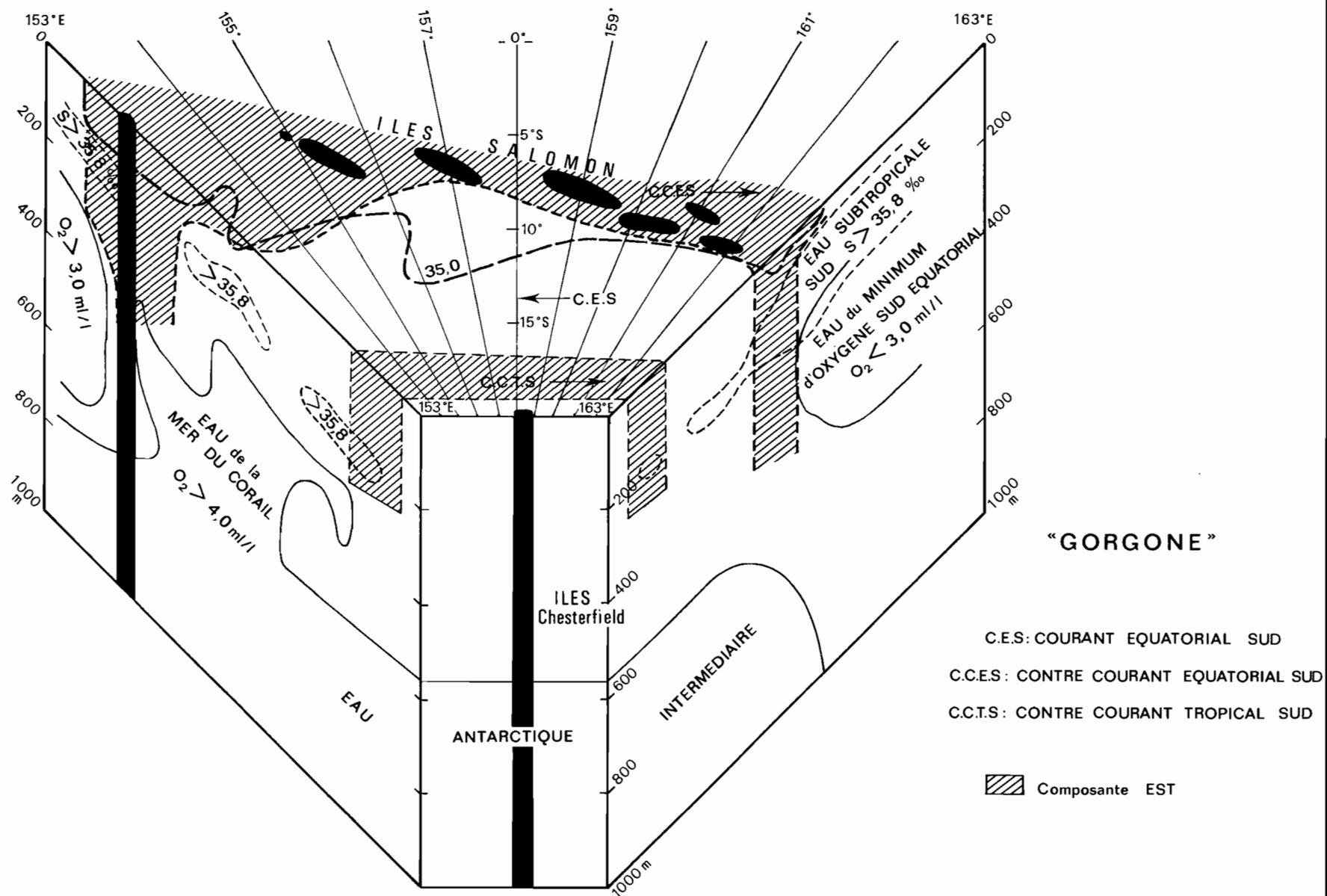


Fig. 13. — Bloc diagramme schématisant, de 163° E à 153° E et de l'équateur à 20° S, les principales caractéristiques dynamiques et hydrologiques reconnues pendant la croisière GORGONE.

peut être considérée comme le contre-courant tropical sud. Sa salinité superficielle n'est pas caractéristique mais il transporte (fig. 4) vers 300 cl/t un maximum de salinité proche de 35,8 ‰; ce noyau halin constitué d'un mélange de composantes méridionale et septentrionale de l'eau subtropicale semble marquer le contre-courant tropical sud.

En résumé, les principales caractéristiques hydrologiques et dynamiques à 153° E et 163° E peuvent être figurées sur un même diagramme (fig. 13).

4.3. Les détroits.

Les communications entre le nord de la Mer des Salomon et l'Océan Pacifique se font par plusieurs détroits. Le détroit de Vityaz entre la Nouvelle Guinée et la Nouvelle-Bretagne a une profondeur supérieure à 1 000 mètres pour une largeur d'environ 10 milles. Le Canal St. Georges, entre la Nouvelle-Bretagne et la Nouvelle-Irlande a une profondeur supérieure à 1 000 mètres pour une largeur d'environ 5 milles. La profondeur de passage entre la Nouvelle-Irlande et l'île Bougainville atteint 3 000 mètres pour une largeur d'environ 100 milles. Enfin la profondeur est supérieure à 1 000 mètres entre les îles Guadalcanal, Malaïta et San Cristobal. A la sortie sud du Canal St. Georges (fig. 14), le courant superficiel porte faiblement au sud; en revanche il porte au nord entre 20 et 500 mètres de profondeur

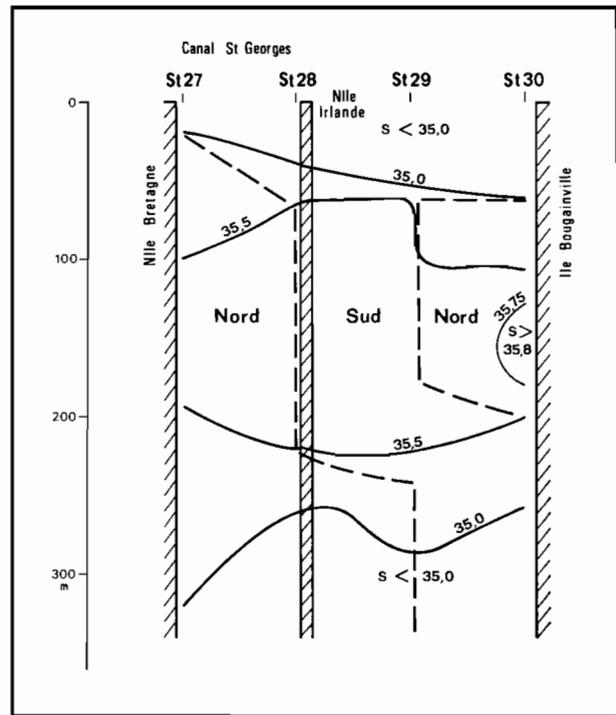


Fig. 14. — Distribution verticale, à 5° S entre la Nouvelle-Bretagne et l'île Bougainville pendant la croisière GORGONE, de la salinité (trait plein) et de la composante méridienne des courants géostrophiques (tiretés) relatifs à 1000 décibars.

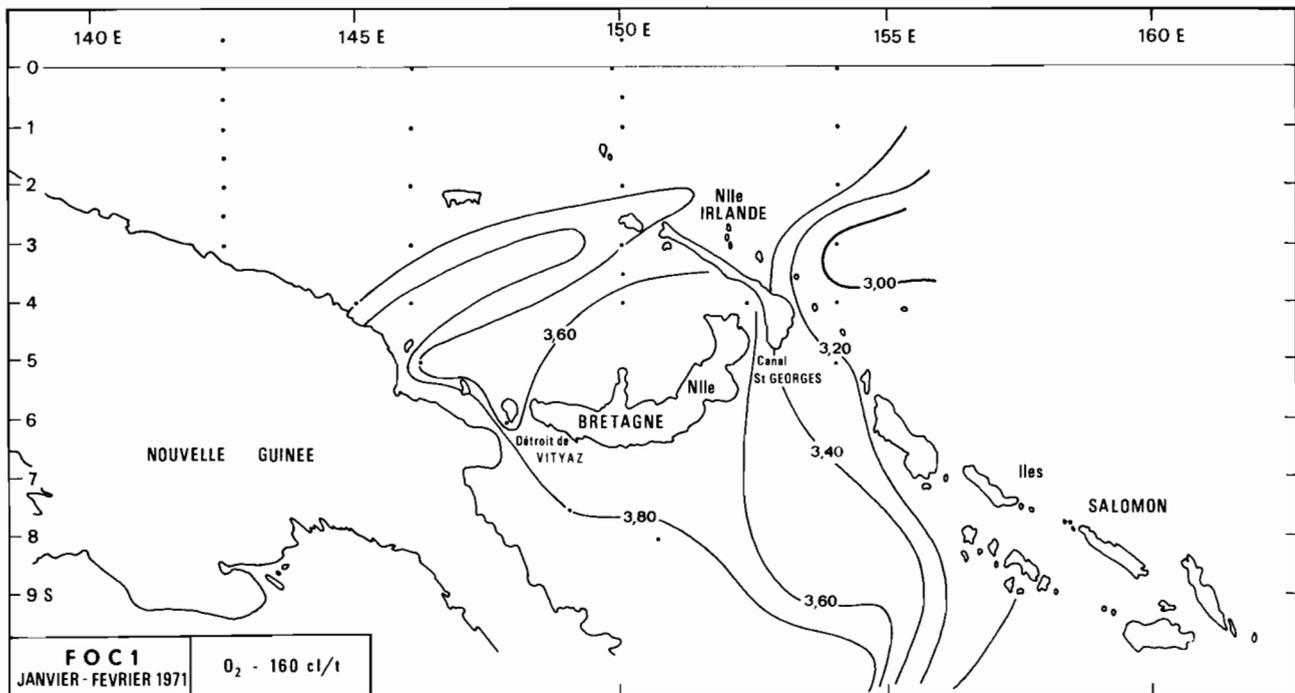


Fig. 15. — Distribution au nord de la Nouvelle-Guinée et en Mer des Salomon pendant la croisière FOC 1 du N.O. CORIOLIS de la teneur en oxygène à 160 cl/t.

avec un flux de 5 millions de m^3/s . Les eaux subsuperficielles de la station 37 faite dans ce canal sont constituées par la composante méridionale de l'eau subtropicale et par l'eau de la Mer du Corail tandis qu'à la sortie sud du canal (fig. 4 et 5) la composante septentrionale de l'eau subtropicale et l'eau du minimum d'oxygène sud-équatorial prédominent. Les masses d'eau du Canal St. Georges ne peuvent donc pas provenir directement du sud. La distribution isentropique des caractéristiques hydrologiques (fig. 15) indique en fait qu'au nord de la Nouvelle-Guinée, elles sont originaires du sud de la Mer du Corail; elles cheminent le long de la côte nord-ouest de la Nouvelle-Guinée, passent par le Déroit de Vityaz et se dirigent ensuite vers l'est. Pendant la croisière GORGONE, l'eau de la Mer du Corail à 160 cl/t est même parvenue au nord de la Nouvelle-Irlande où, par 4° S et 153° E (fig. 5), on remarque un maximum de teneur en oxygène venant de l'ouest.

Entre l'île Bougainville et la Nouvelle-Irlande (fig. 14), le courant porte au sud, de la surface à une cinquantaine de mètres de profondeur et transporte de l'eau équatoriale sud peu salée. Plus profondément et jusqu'à 200 mètres de profondeur, il porte au sud dans la partie occidentale et au nord dans la partie orientale. Dans l'ouest du déroit, sur la surface isanostérique 340 cl/t (150 mètres de profondeur), il entraîne en Mer des Salomon de l'eau subtropicale de salinité abaissée provenant de l'ouest tandis que dans l'est, le courant nord repousse l'eau subtropicale de forte salinité qui apparaît au nord de l'île Bougainville (fig. 4).

5. REMARQUE PARTICULIÈRE.

Abaissement de température dû au cyclone DIANA.

Au sud de 10° S, pendant les trois radiales occidentales de la croisière, le vent soufflait généralement

de l'est-sud-est, de force 4 à 5; au nord de 10° S, il était faible ou de sud-ouest. A 163° E, la croisière a été perturbée par le cyclone DIANA, stationnaire de 10 au 15 décembre 1972 à la position 15° S - 163° E. Le 16 décembre le thermographe du N. O. CORIOLIS a enregistré, entre les stations 72 et 73, une baisse de la température superficielle de 27,0 °C à 25,0 °C; la station hydrologique 73 montre aussi un refroidissement entre la surface et 100 mètres de profondeur par rapport aux stations adjacentes. La perte de chaleur peut être évaluée à 9 000 calories par cm^3 alors que FEDOROV (1972) indique seulement 3 000 à 4 500. Il est probable que la présence prolongée du cyclone ait provoqué un refroidissement important en ce point. Ce refroidissement n'est cependant associé à aucun upwelling et seule la température est affectée.

6. CONCLUSION.

Cette étude basée sur les résultats de la croisière GORGONE faite en 1972 a permis de décrire les grands traits de l'hydrologie et de la circulation dans la Mer du Corail et la Mer des Salomon et de présenter une situation typique en régime d'alizé de sud-est. En Mer du Corail, les eaux superficielles amenées par le courant équatorial sud sont progressivement déviées et induisent dans le centre un vaste système tourbillonnaire. En subsurface, on distingue plusieurs masses d'eau observées dans le Pacifique occidental et une eau appelée eau de la Mer du Corail. En Mer des Salomon, l'eau superficielle est caractérisée par sa faible salinité tandis que la présence des masses d'eau subsuperficielles venant du nord dépend de la topographie des détroits.

Il reste à refaire ce type de croisière en régime de vent opposé c'est-à-dire en mousson de nord-ouest pour pouvoir distinguer dans ce système hydrologique complexe ce qui est permanent et ce qui procède directement des conditions météorologiques.

Manuscrit reçu au S.C.D. le 6 janvier 1975.

BIBLIOGRAPHIE

- 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.
- FAIRBRIDGE (R. W.), 1966. — The encyclopedia of oceanography. Reinhold Publishing Corporation. NY, 1021 p.
- FEDOROV (K. N.), 1972. — The effect of hurricane and typhoons on the upper active ocean layers. *Oceanology*, vol. 12, n° 3 : 329-333 (traduction anglaise).
- JOHNSON (R. E.), 1973. — Antarctic intermediate water in the South Pacific Ocean. In « Oceanography of the South Pacific 1972 », Wellington : 56-69.
- 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.
- REID (J. L.), 1965. — Intermediate waters of the Pacific Ocean. *The John Hopkins oceanogr. Studies*, n° 2, 85 p.
- ROCHFORD (D. J.), 1959. — The primary external water masses of the Tasman and Coral Seas. CSIRO Div. Fish. Oceanogr. *Technical Paper*, n° 7, 28 p.
- ROCHFORD (D. J.), 1969. — Origin and circulation of water type of the 25,00 sigma-t of the south-west Pacific. *Aust. J. Mar. Freshwat. Res.*, vol. 20, n° 2 : 105-116.
- ROTSCHI (H.), 1961. — Sur certaines propriétés chimiques des eaux équatoriales et tropicales du Pacifique. Caractères généraux de la distribution de l'oxygène dissous. *Cah. Océanogr.*, vol. XIII, n° 1 : 14-31.
- ROTSCHI (H.), 1961. — Contribution française en 1960 à la connaissance de la Mer du Corail : Océanographie physique. *Cah. Océanogr.*, vol. XIII, n° 7 : 434-455.
- SAPozhNIKOV (V. V.), PLAKHIN (Y. A.), GELERKIN (L. I.), 1972. — Hydrological and hydrochemical conditions of the northern Coral Sea in summer. *Oceanology*, vol. 12, n° 4 : 509-522 (traduction anglaise).
- SVERDRUP (H. V.), JOHNSON (M. W.), FLEMING (R. H.), 1942. — The Oceans. Prentice Hall, 1087 p.
- TSUCHIYA (R.), 1968. — Upper water of the Intertropical Pacific Ocean. *The John Hopkins Oceanogr. Studies*, n° 4, 50 p.
- WYRTKI (K.), 1962. — The subsurface water masses in the western South Pacific Ocean. *Austral J. Mar. Freshwat. Res.*, vol. 13, n° 1 : 18-48.

LES EAUX SUPERFICIELLES TROPICALES DE LA PARTIE OCCIDENTALE DE L'OcéAN INDIEN EN 1966-1967

J.-R. DONGUY

Centre O.R.S.T.O.M. de Nouméa, B.P. A 5 Nouméa - Cedex, Nouvelle-Calédonie

RÉSUMÉ

En 1966 et 1967, de nombreuses observations météorologiques (direction et force du vent) et océanographiques (température et salinité de surface) ont été faites le long des lignes de navigation dans la partie occidentale de l'Océan Indien. Elles ont été utilisées pour étudier les variations saisonnières de la température et de la salinité (DONGUY, 1970), pour établir une comparaison avec celles des satellites artificiels (DONGUY, 1972) et pour relier les conditions météorologiques aux différentes masses d'eau de la zone de mousson (DONGUY, 1974). Ces données sont présentées ici sous forme de cartes mensuelles de température d'une part, de salinité et de force et direction du vent d'autre part.

ABSTRACT

During 1966 and 1967, many meteorological (force and direction of the wind) and oceanographical (surface temperature and salinity) observations have been done along sailing routes in the western part of the Indian Ocean. They have been used to study seasonal variations of temperature and salinity (DONGUY, 1970), to settle a comparison with those gathered by unmanned spacecrafts (DONGUY, 1972) and to connect the meteorological conditions to different water masses in the monsoon zone (DONGUY, 1974). From these data, two series of monthly charts have been compiled, one of temperature and the other showing salinity and wind pattern.

INTRODUCTION.

Avant 1960, l'Océan Indien avait été très peu touché par la recherche océanographique. Seules quelques grandes expéditions y avaient eu lieu, à des intervalles parfois très grands. Dans l'ouest de l'Océan Indien, nous pouvons citer, sans prétendre à l'exhaustivité, celles du « DANA » (1929-1930), du « MABAHISS » (1933-34), du « DISCOVERY II » (1935), du « COMMANDANT-CHARCOT » (1948 et 1950), du « COMMANDANT-ROBERT-GIRAUD » (1957). MATTHEWS (1926), grâce à l'échantillonnage superficiel des navires de la route des Indes de

février 1905 à mars 1906, a pu dresser des cartes trimestrielles de salinité de surface. (cf. p. 34).

Après 1960, pendant l'Expédition Internationale de l'Océan Indien, de nombreux navires ont travaillé dans la partie occidentale de l'Océan Indien : le « VITIAZ » (1960), le « COMMANDANT-ROBERT-GIRAUD » (1960-1962), l'« ARGO » (1962-1963), l'« ANTON-BRUUN » (1964), l'« ALMIRANTE-LACERDA » (1964), l'« ATLANTIS II » (1965), le « METEOR » (1964-1965). Toutes les données ainsi obtenues jusqu'en 1966 ont été rassemblées dans l'« Oceanographic Atlas of the International Indian Ocean Expedition » (WYRTKI, 1971) dont l'intérêt

est considérable mais qui, par son échelle, présente généralement peu de détail. Il a donc paru utile de compléter ces données par un échantillonnage superficiel systématique prolongé aussi longtemps que possible, entre la longitude 60° E et la côte africaine, qui a permis de dresser une série de cartes mensuelles de température de surface d'une part, de salinité superficielle et de force et direction du vent d'autre part. La fermeture du Canal de Suez en juin 1967, en changeant les lignes de navigation, a mis un terme à ces observations.

Quatre paquebots mixtes de la « Compagnie des Messageries Maritimes » desservaient en 1966-1967 la côte de l'Afrique Orientale jusqu'à Mombasa, Madagascar et les Iles Mascareignes (la Réunion et Maurice). Ces quatre navires ont effectué régulièrement des mesures de température superficielle et des prélèvements d'eau de mer de surface, de mai 1966 à juin 1967, ainsi que la détermination de la force et direction du vent et l'évaluation de l'état de la mer, sur l'itinéraire Djibouti-Madagascar-Mascareignes-Madagascar-Djibouti. La période de rotation étant de deux mois pour chacun d'eux, on voit que l'itinéraire a été parcouru quatre fois par mois avec, en moyenne, une observation tous les 60 milles.

De plus, les cargos rapides de la « Nouvelle Compagnie Havraise Péninsulaire » reliaient directement Djibouti à Madagascar, aux îles Comores ou aux îles Mascareignes et effectuaient les mêmes relevés. Cet itinéraire a été parcouru, de manière beaucoup moins régulière, en moyenne une fois par mois; les observations y sont également distantes de 60 milles environ.

Présentation des données.

Les mesures de température ont été effectuées par la lecture au demi-degré près d'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 $\pm 0,01$ ‰. Environ 2 000 échantillons ont ainsi été analysés et 2 800 déterminations de température ont été faites.

Deux types de représentations des observations superficielles sont possibles : le diagramme espace-temps (BERRIT, 1961) et la carte, le premier permet de schématiser le long d'une route fixe l'évolution temporelle des caractéristiques observées; le second présente la distribution, à un instant donné, des mêmes caractéristiques, à condition que les observations soient suffisamment dispersées dans l'espace, c'est-à-dire que les navires empruntent des routes

différentes. Contrairement au Golfe d'Aden (DONGUY, 1974) où les diagrammes espace-temps semblent bien adaptés à l'itinéraire qui est à peu près fixe, sur la côte orientale africaine on peut dresser des cartes mensuelles car les routes des navires reliant le Cap Guardafui à Madagascar, aux îles Comores ou aux îles Mascareignes varient suivant le port de destination; de même, selon la mousson, les navires allant du Cap Guardafui à Mombasa passent le long de la côte à une distance soit de quelques milles, soit de quelques dizaines de milles.

Exploitation des données.

L'intérêt de telles données ne peut être comparé à celui des données recueillies par des campagnes océanographiques. Ces dernières donnent une description très précise en surface et en profondeur à l'intérieur d'une zone souvent restreinte mais cette description n'est valable que pour une période limitée. Au contraire, un échantillonnage systématique et superficiel pendant une longue période, par sa continuité, permet de saisir les variations temporelles, qu'elles soient saisonnières ou accidentelles. Campagne océanographique et échantillonnage superficiel paraissent donc complémentaires.

Les variations saisonnières de la température et de la salinité le long de chaque ligne de navigation ont été étudiées par DONGUY (1970) : la schématisation du climat marin de la partie occidentale de l'Océan Indien montre que le parallèle 4°00 S semble séparer le régime de mousson de l'alternance des saisons en hémisphère austral; les caractéristiques de chaque saison marine et leurs causes probables ont été examinées, ce qui a conduit à l'identification de différentes masses d'eau superficielles.

En 1966, simultanément à l'échantillonnage des navires marchands et dans la même zone, des photos infra-rouge prises par Nimbus II étaient exploitées par LA VIOLETTE et CHABOT (1968). Il a donc été possible de comparer ces deux types de données (DONGUY, 1972), principalement dans l'upwelling de la côte somalienne qui est un phénomène suffisamment contrasté pour être facilement identifié à la fois sur les photos de satellite et sur les données des navires marchands.

La recherche des relations entre les données météorologiques et les masses d'eau mises en évidence en zone de mousson a ensuite été entreprise (DONGUY, 1974). Des faits nouveaux ont ainsi été constatés : la netteté de la renverse des flux de surface entre chacune des deux moussons, l'entraînement par la mousson de nord-est d'eau chaude et salée puis d'eau tempérée et très salée, enfin la présence, pendant un mois au moins, d'un upwelling équatorial.

Ainsi, on peut penser que les données ont été largement exploitées. Une étude sur plusieurs années

aurait cependant encore été nécessaire pour distinguer les caractères accidentels de ceux qui se produisent normalement chaque année et par conséquent estimer la variabilité du phénomène de mousson. Malheureusement, la fermeture du Canal de Suez en juin 1967 ne l'a pas permis. Cependant il est toujours possible de comparer cet ensemble de données à des résultats antérieurs et postérieurs.

Remerciements.

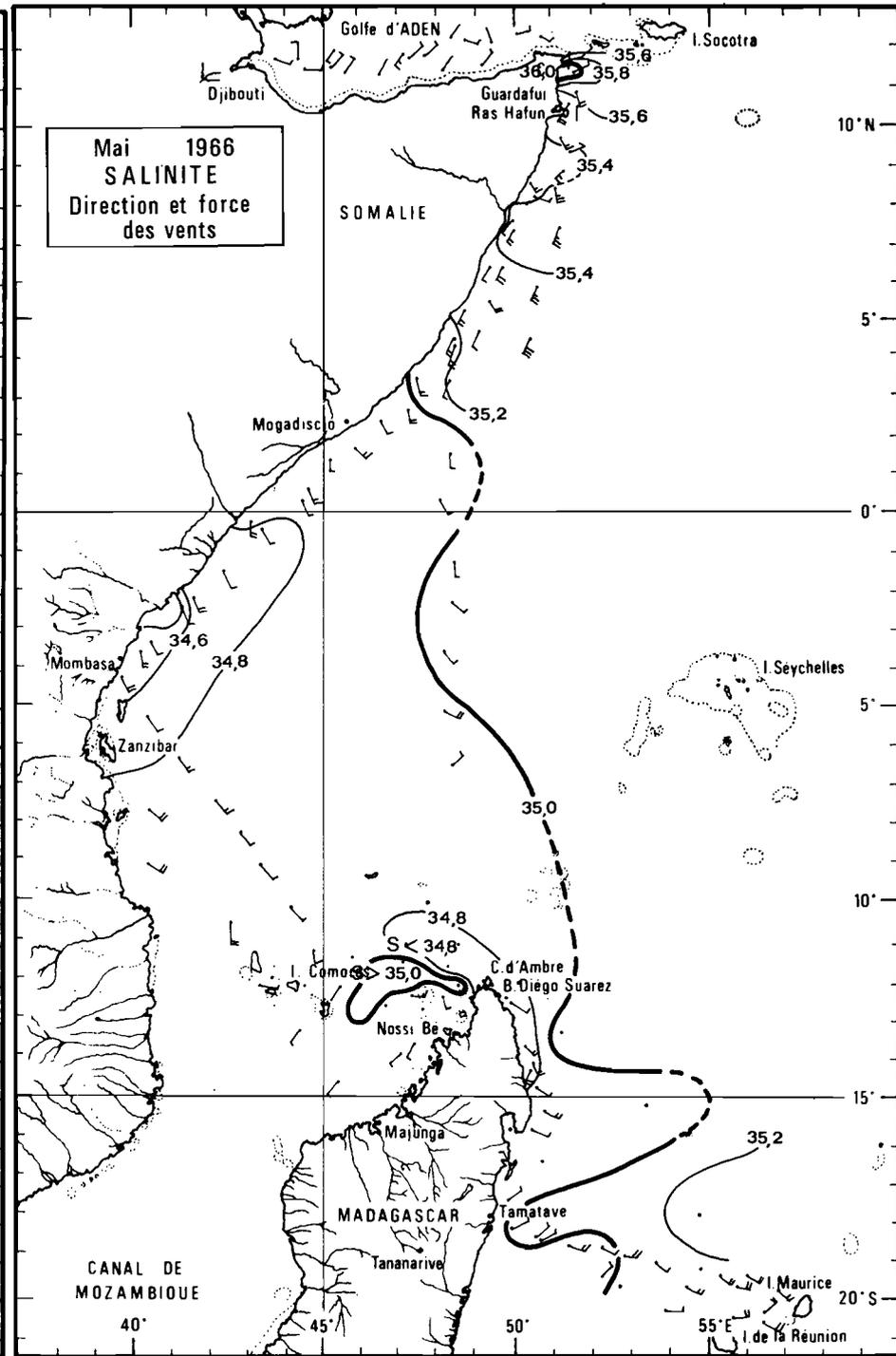
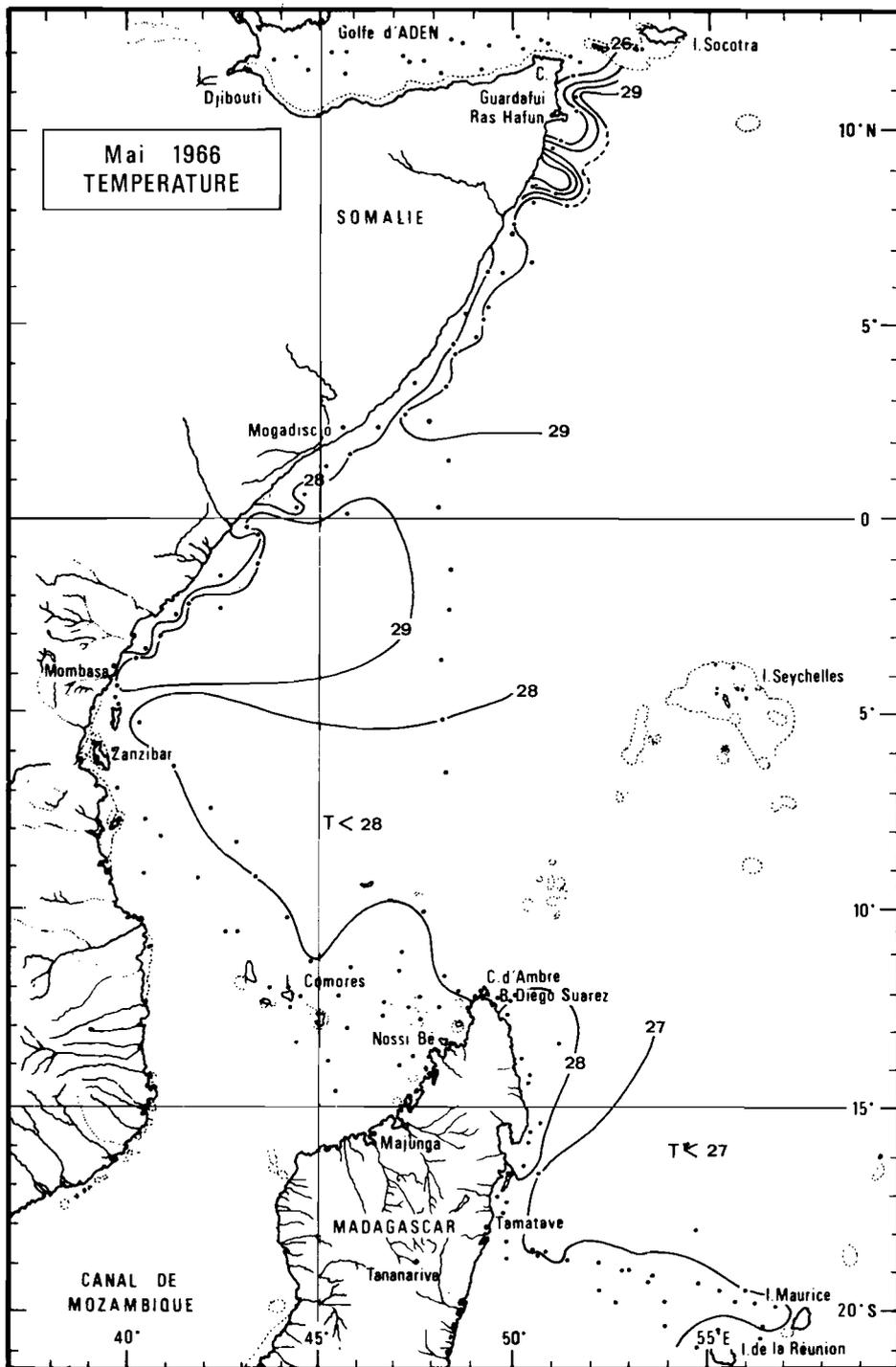
L'auteur adresse ses remerciements au comman-

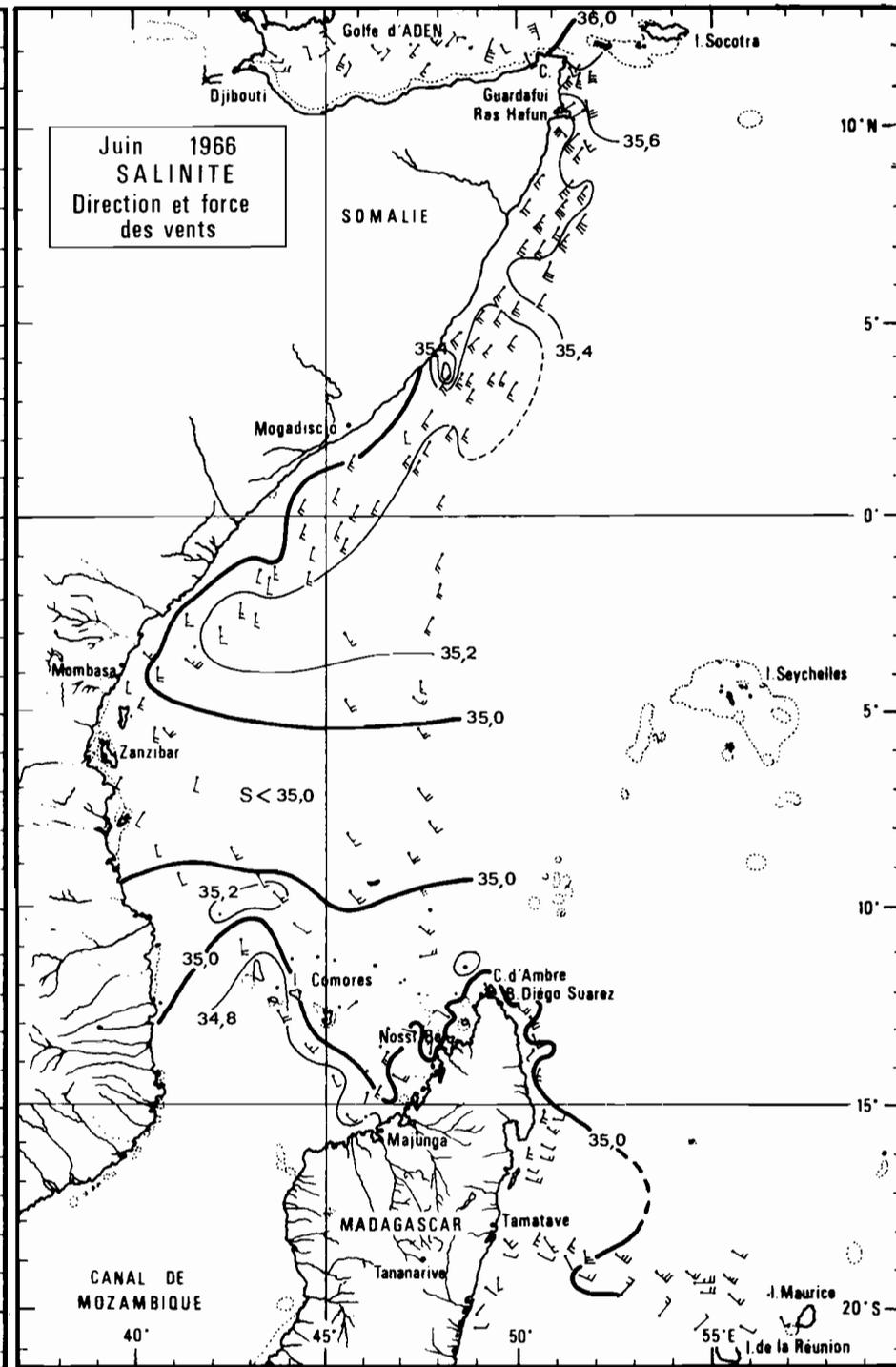
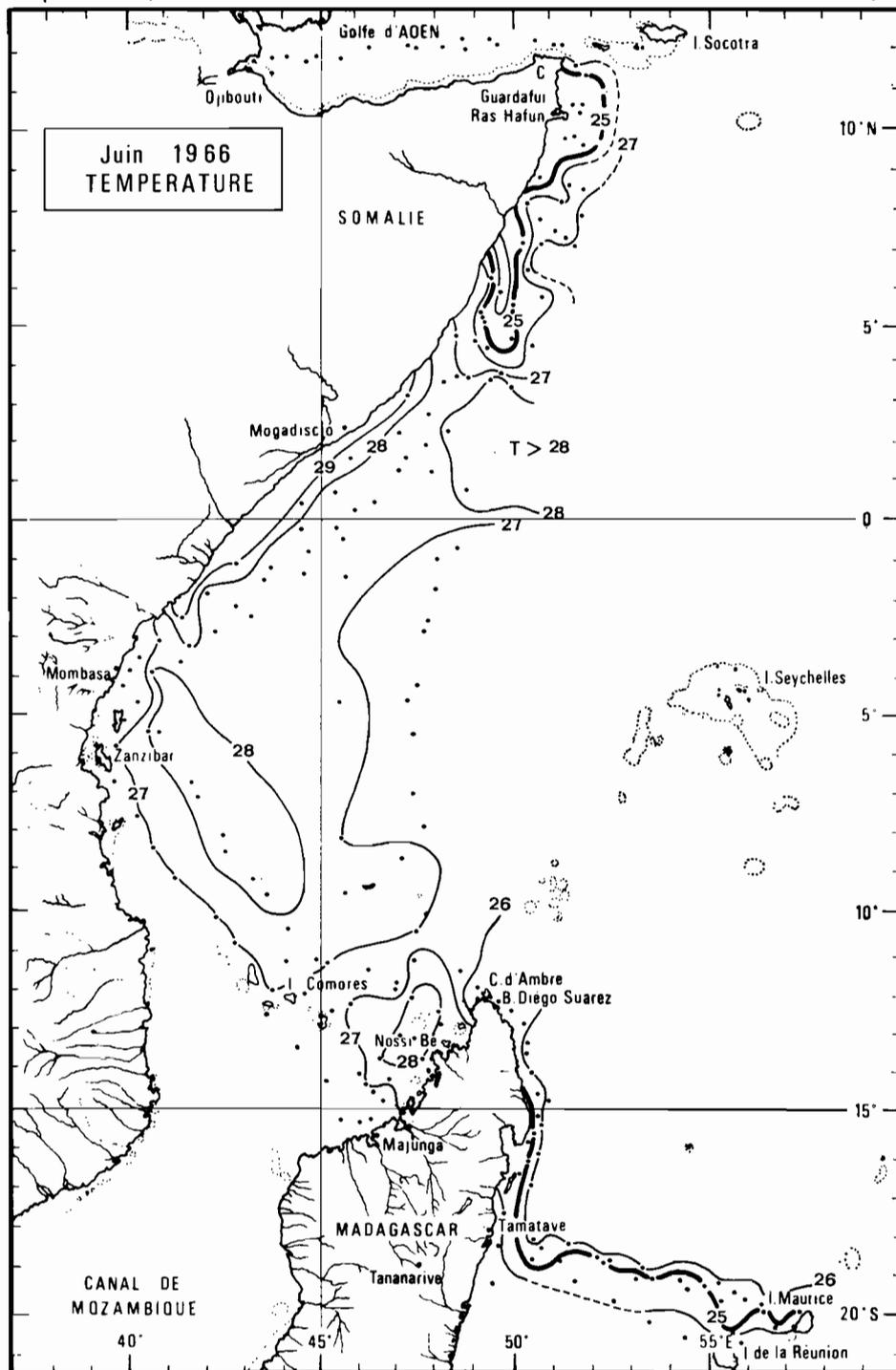
dant et à l'équipage des navires « La Bourdonnais », « Jean Laborde », « Ferdinand de Lesseps », « Pierre Loti » de la Compagnie des Messageries Maritimes, « Ile Maurice », « Ile de la Réunion », « Nosy-Bé », « Ville de Bordeaux », « Ville de Dunkerque », « Ville du Havre », « Ville de Majunga », « Ville de Nantes », « Ville de Tamatave », « Ville de Tananarive », « Ville de Rouen » de la Nouvelle Compagnie Havraise Peninsulaire, « Gasikara » et « Ile Sainte Marie » de la Compagnie Auxiliaire de Navigation de Madagascar.

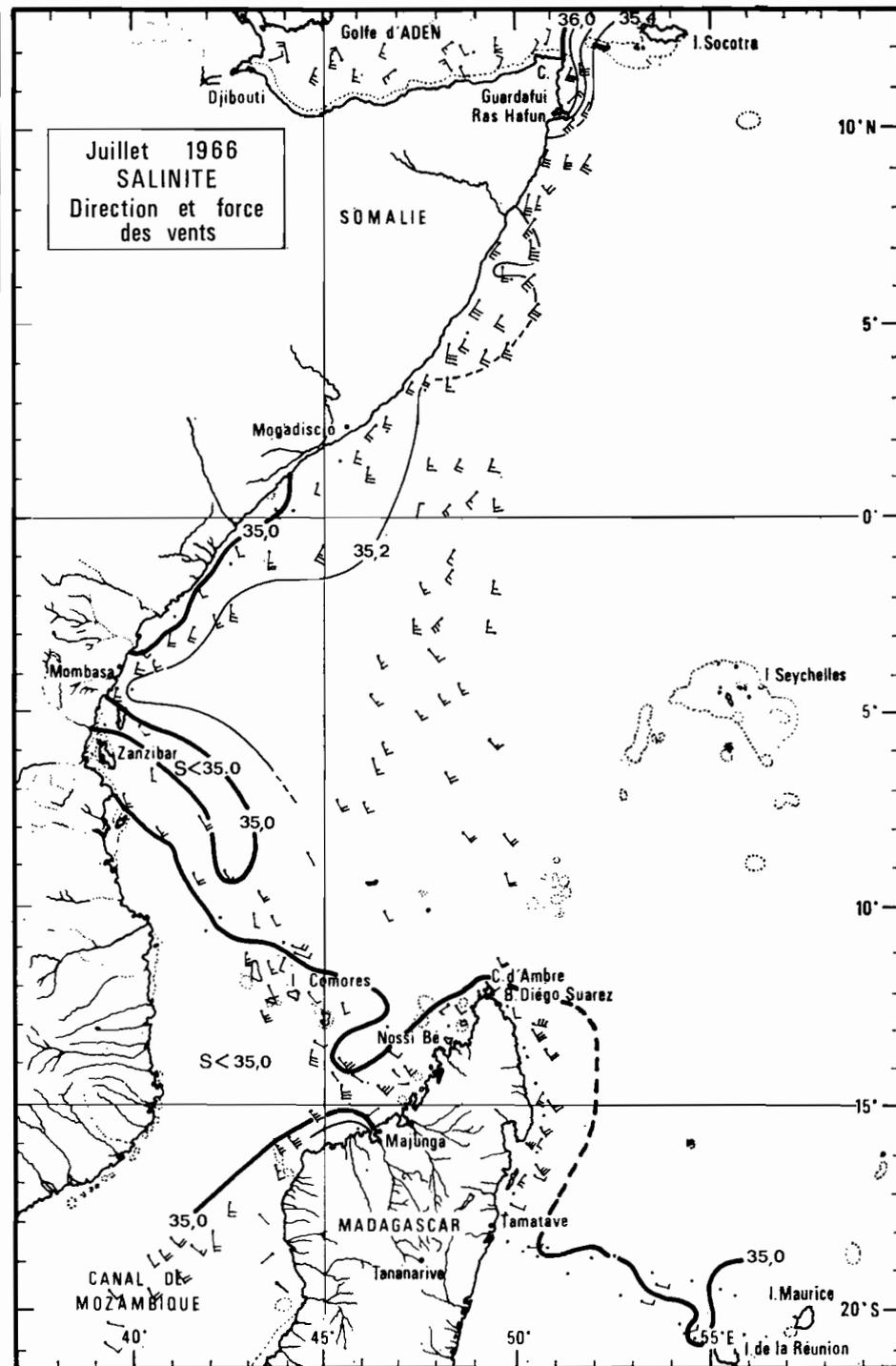
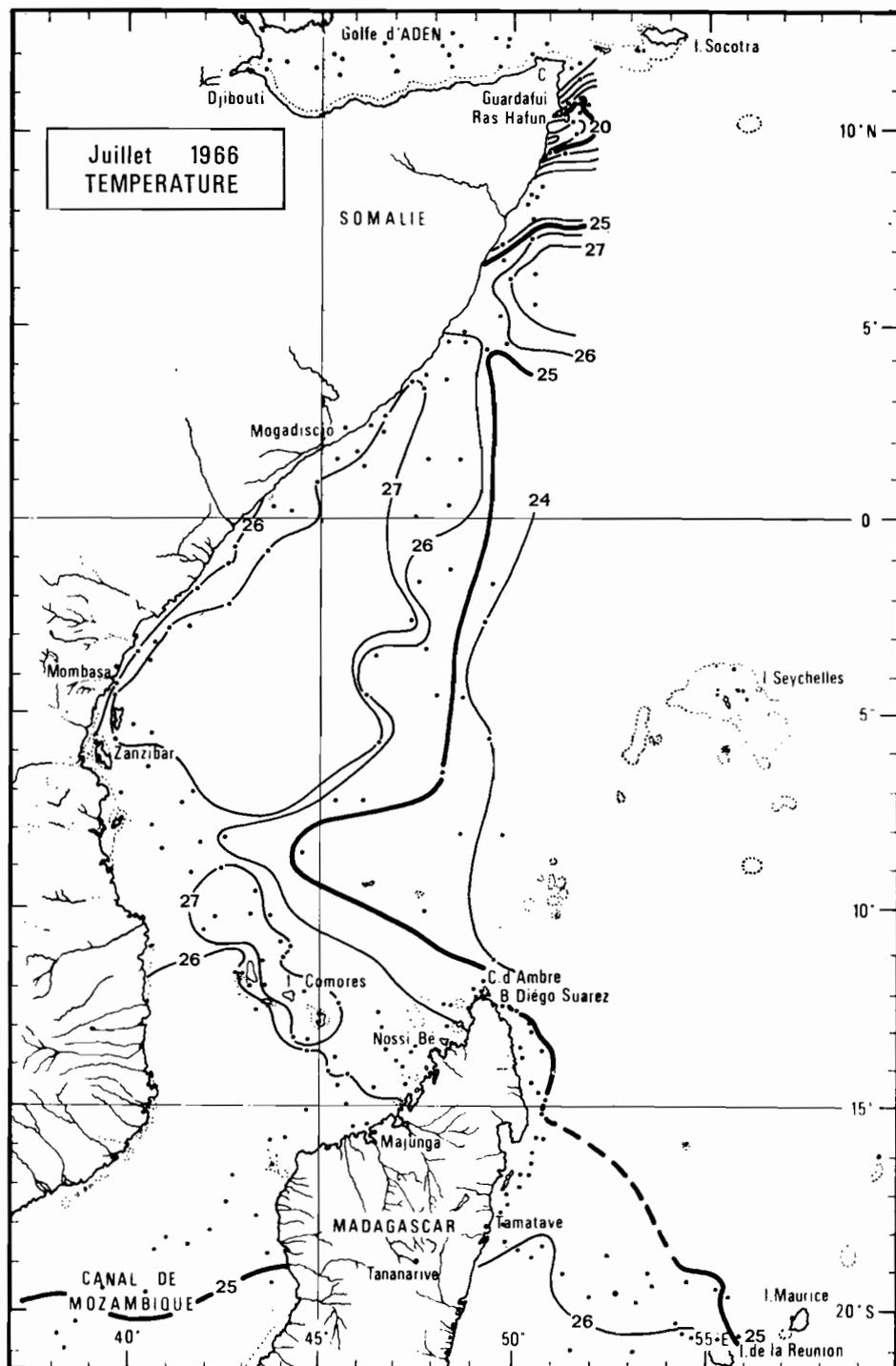
Manuscrit reçu au S.C.D. le 18 octobre 1974.

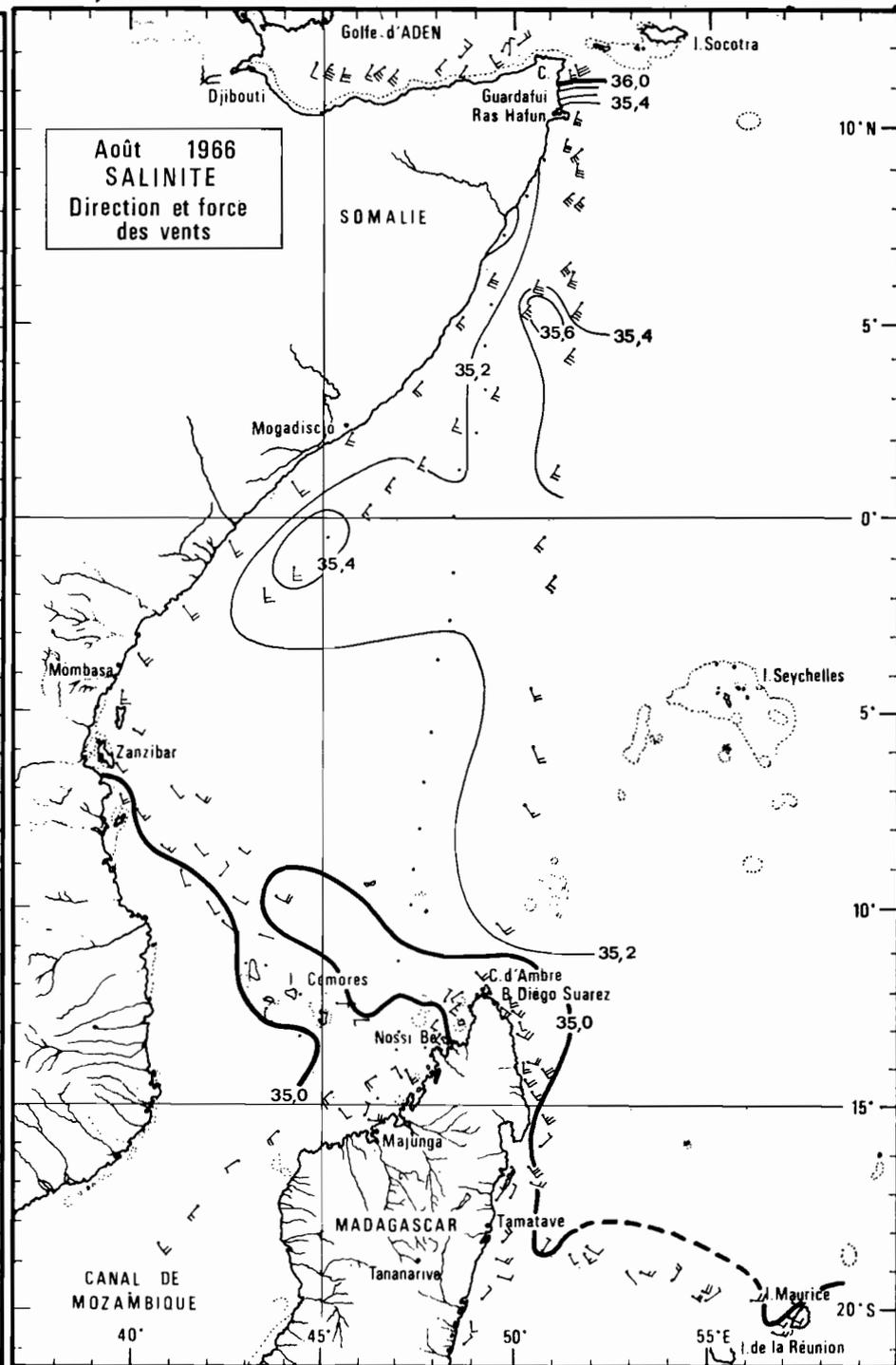
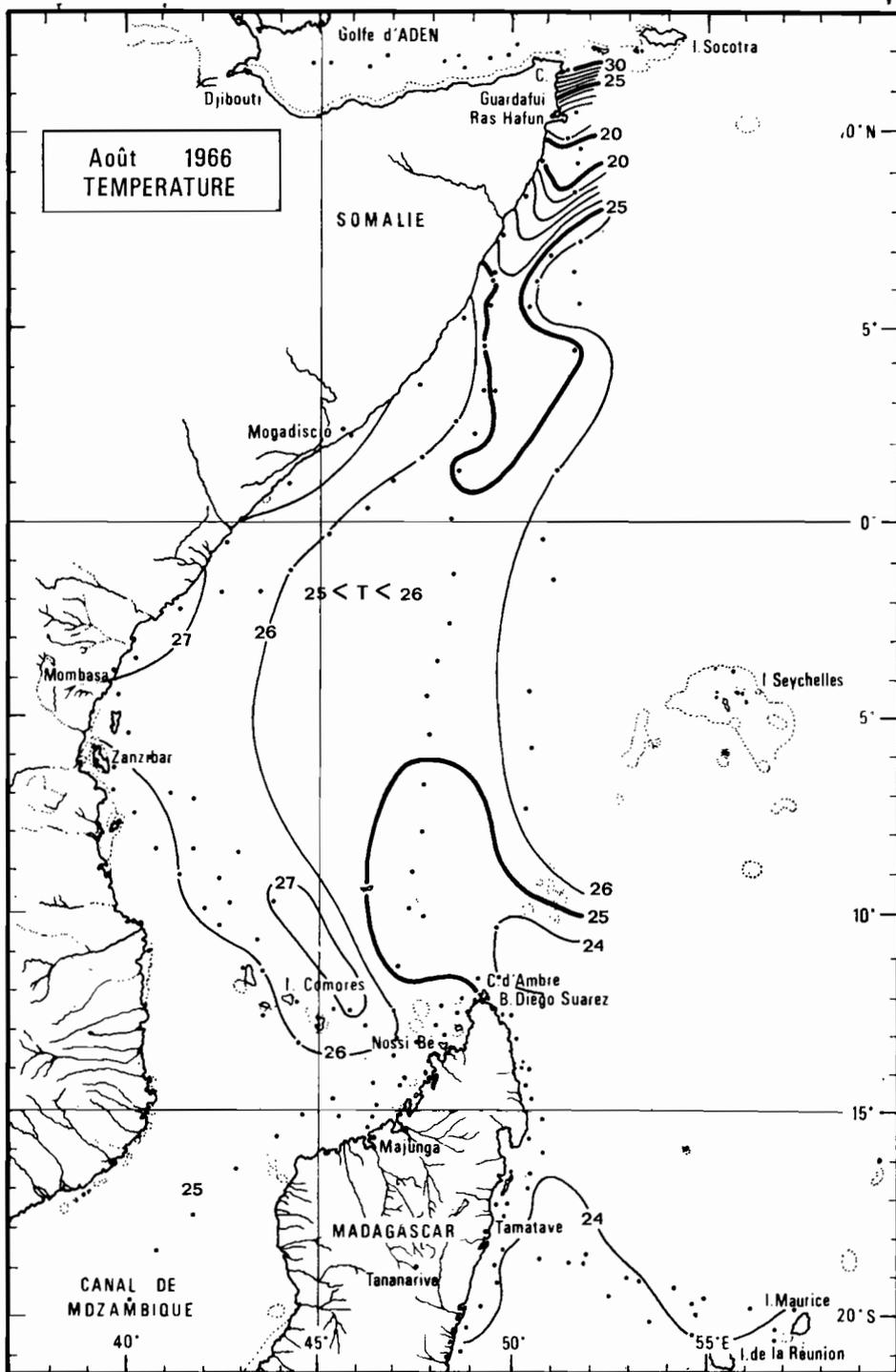
BIBLIOGRAPHIE

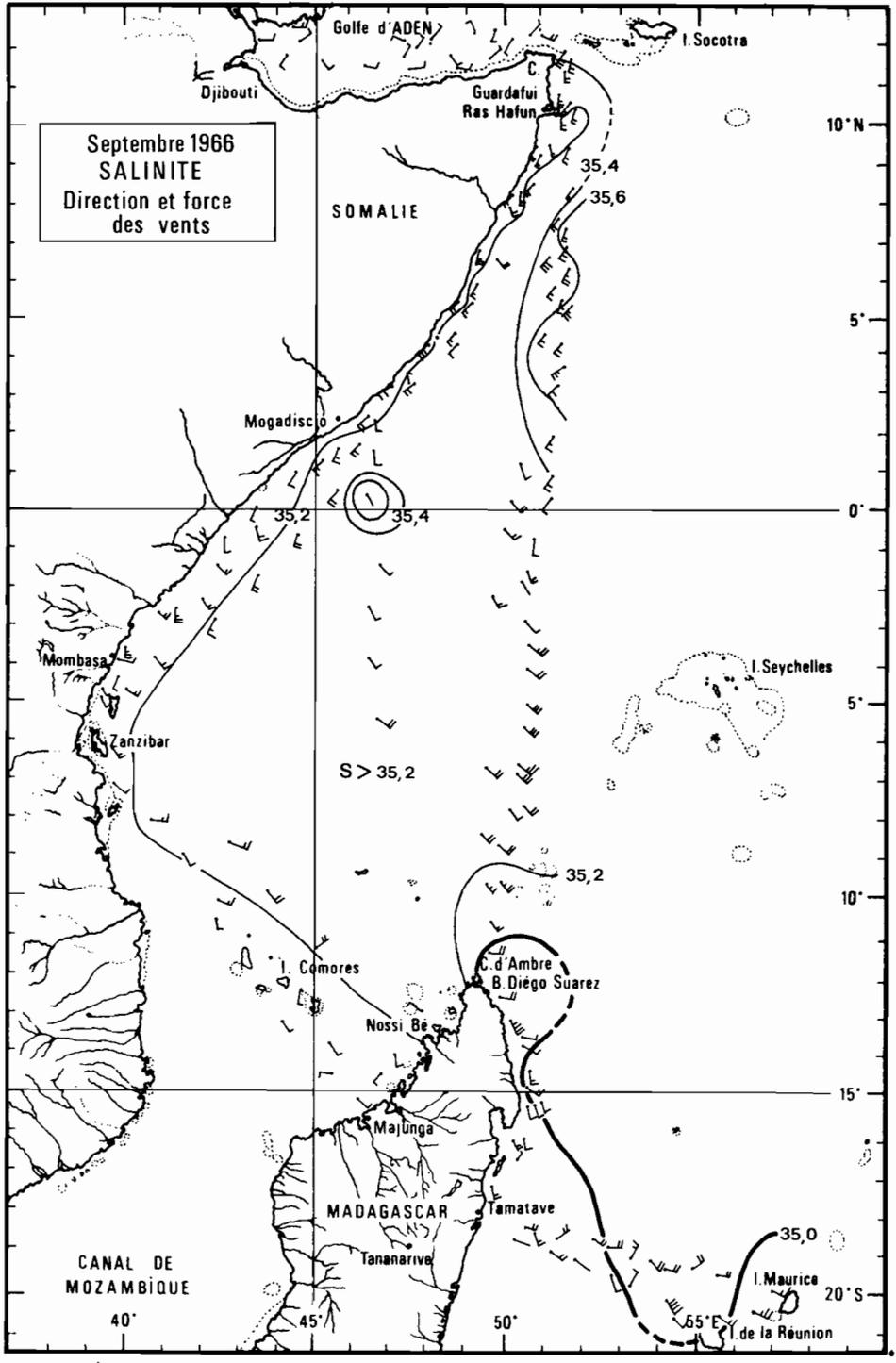
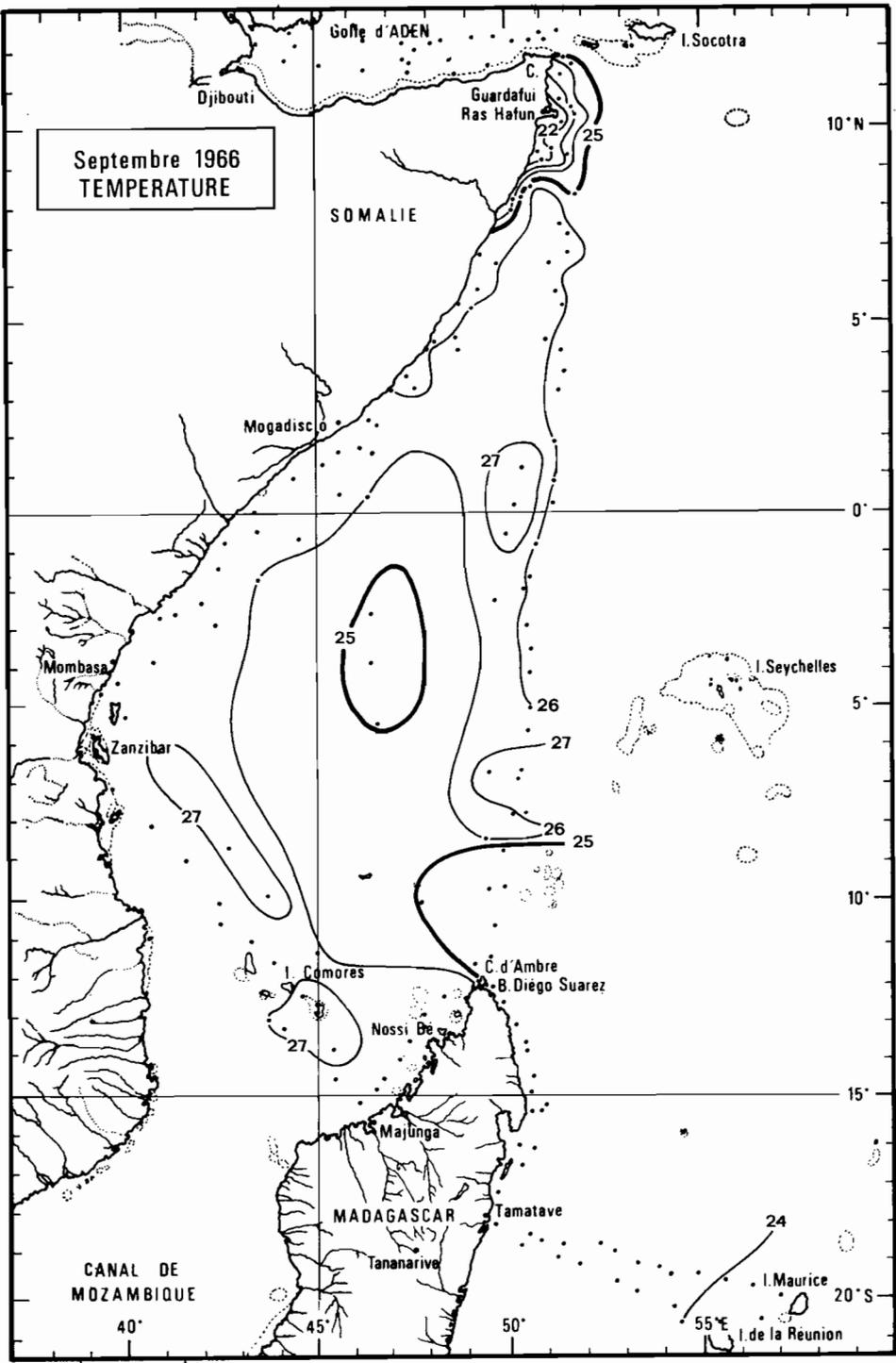
- BERRIT (G. R.), 1961. — Contribution à la connaissance des variations saisonnières dans le Golfe de Guinée. Observations de surface le long des lignes de navigation. 1^{re} partie. *Cah. Océanogr.* Vol. 13, n° 10 : 715-727.
- DONGUY (J.-R.), 1970. — Observations de surface le long des lignes de navigation dans la partie Ouest de l'Océan Indien. *Cah. Océanogr.* Vol. 22, n° 4 : 353-366.
- DONGUY (J.-R.), 1972. — Comparaison de données superficielles avec celles de satellites artificiels dans la partie occidentale de l'Océan Indien. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*, vol. X, n° 1 : 99-104.
- DONGUY (J.-R.), 1974. — Une année d'observations de surface dans la zone de mousson de la partie occidentale de l'Océan Indien. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*, vol. XII, n° 2 : 117-128.
- LA VIOLETTE (P. E.), CHABOT (P. L.), 1968. — Nimbus II satellite sea surface temperature versus historical data in a selected region : a comparative study. *Deep Sea Res.*, vol. 15, n° 5 : 617-622.
- MATTHEWS (D. J.), 1926. — Reports of the Percy Sladen Trust Expedition to the Indian Ocean in 1905. Physical Oceanography. *Trans. of the Linnean Society of London*, vol. 19 contrib 7 : 129-205.
- WYRTKI (K.), 1971. — Oceanographic Atlas of the International Indian Ocean Expedition. National Science Foundation. Washington D. C.

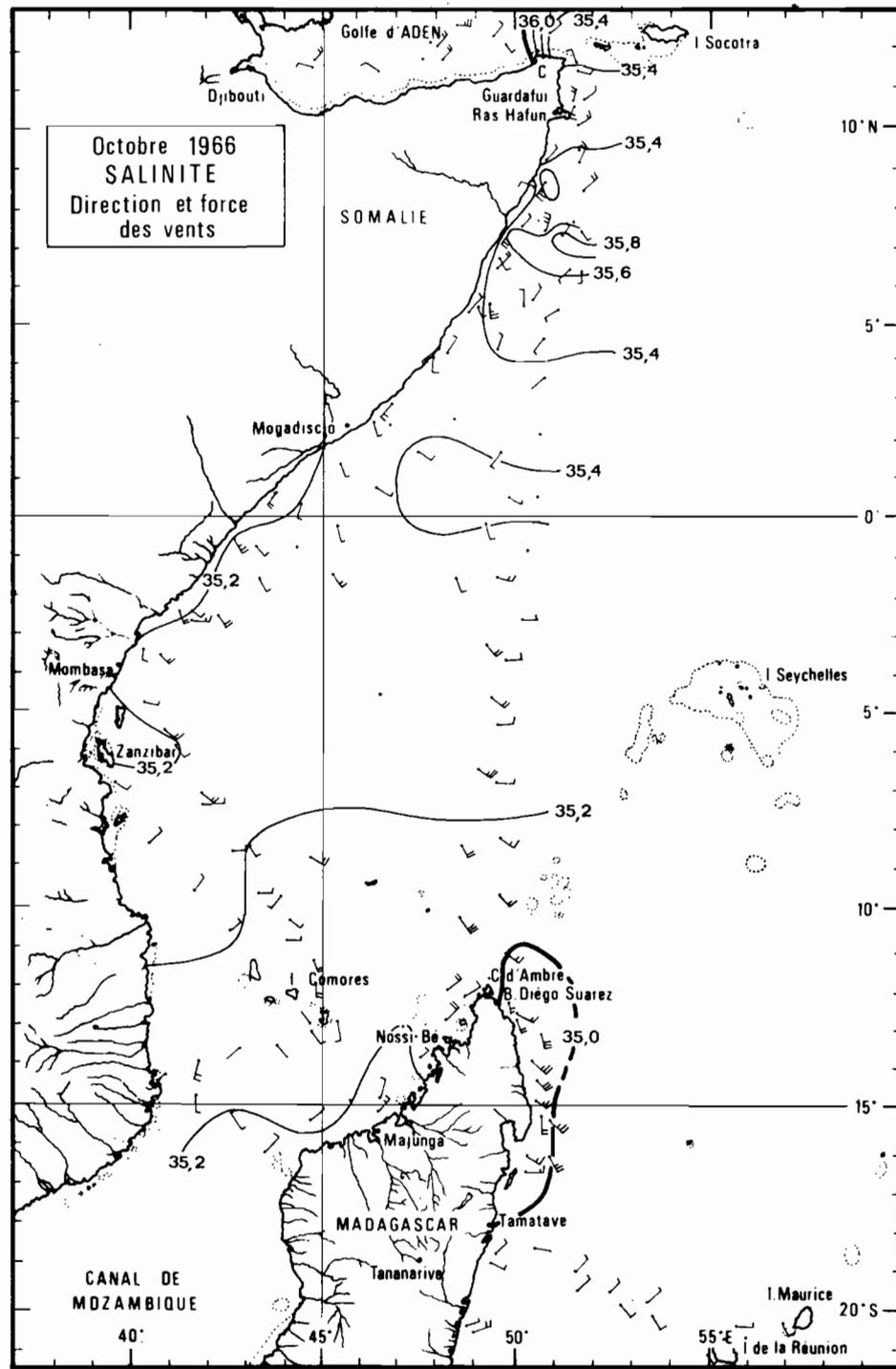
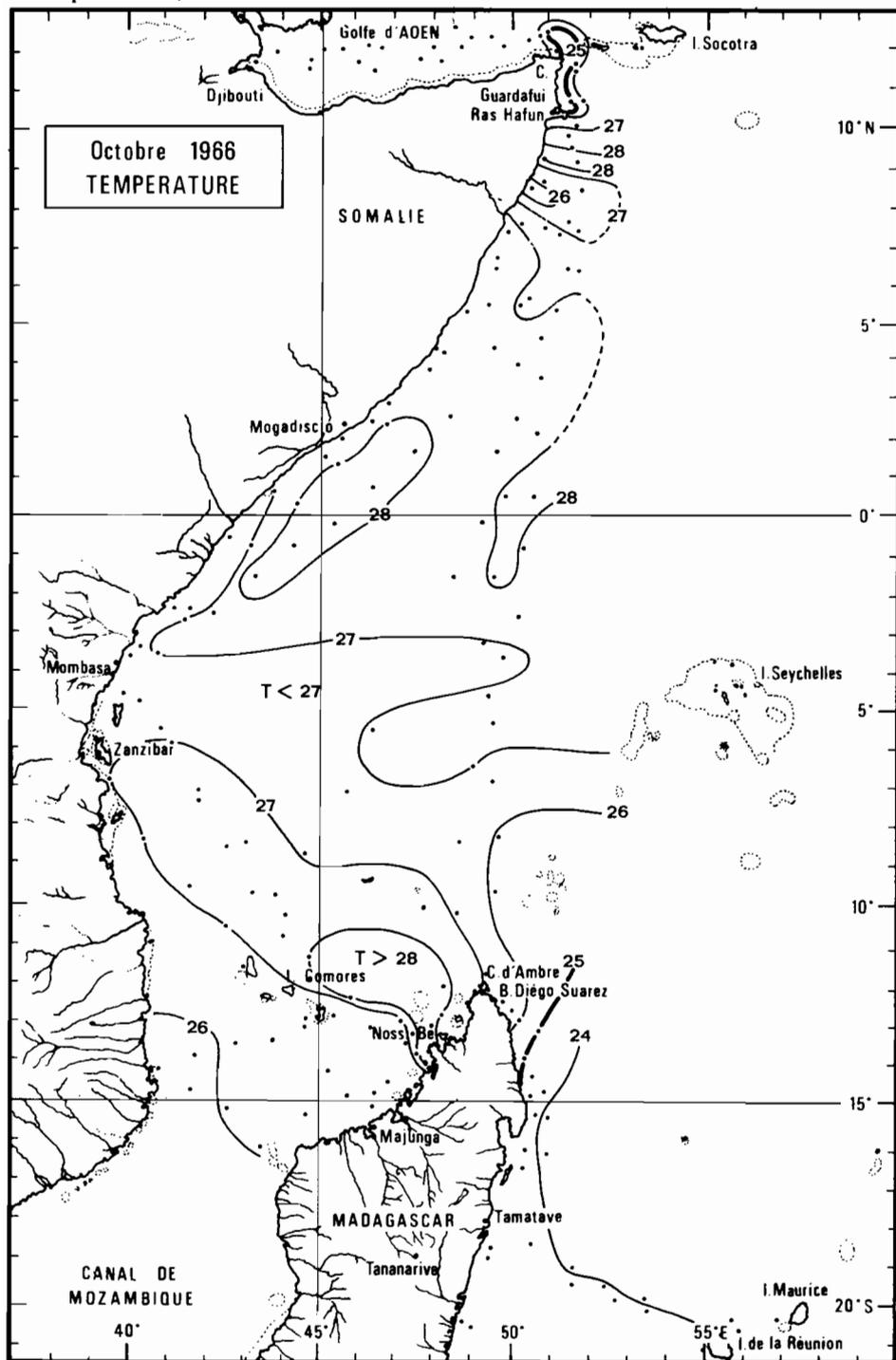


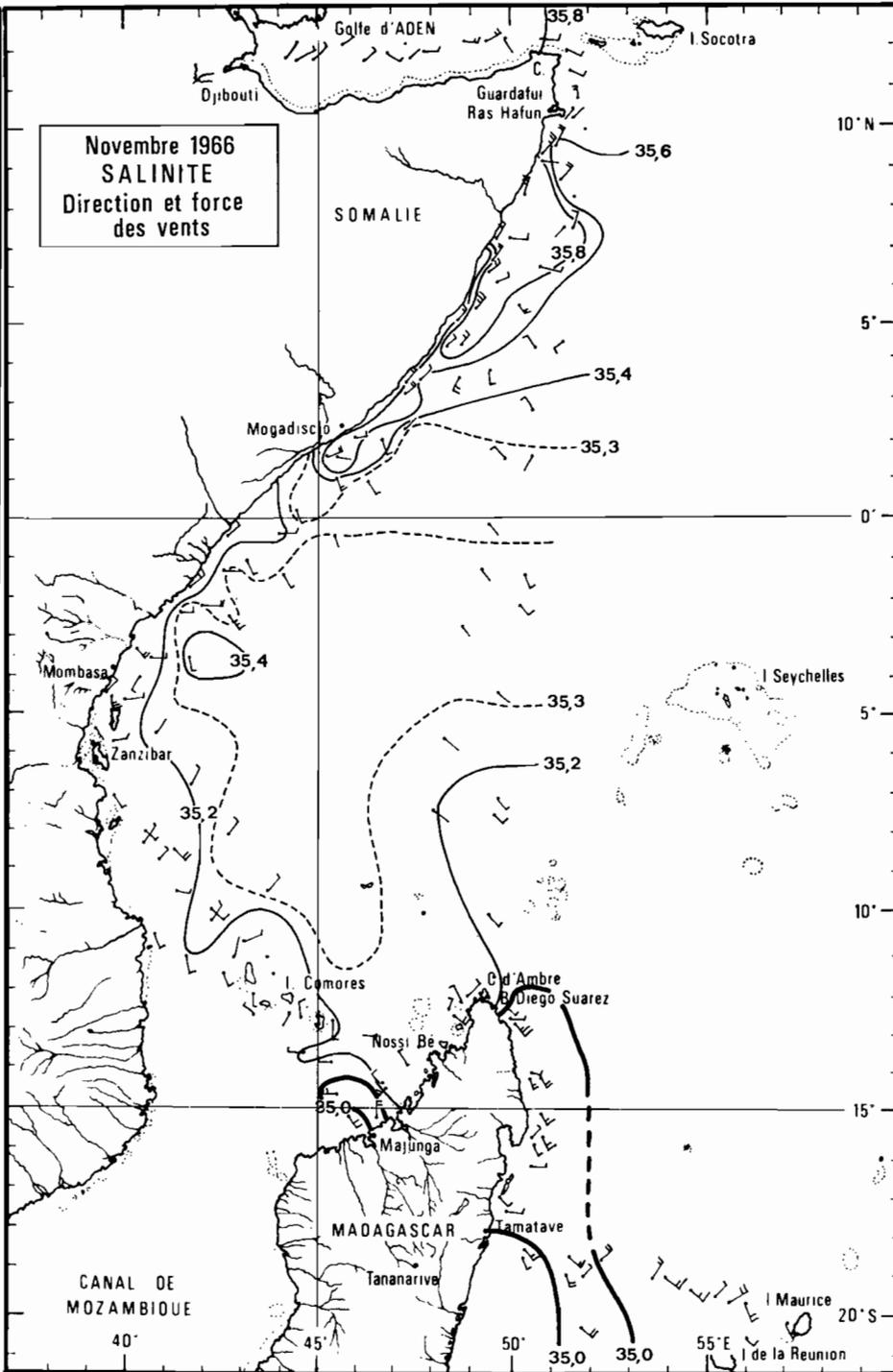
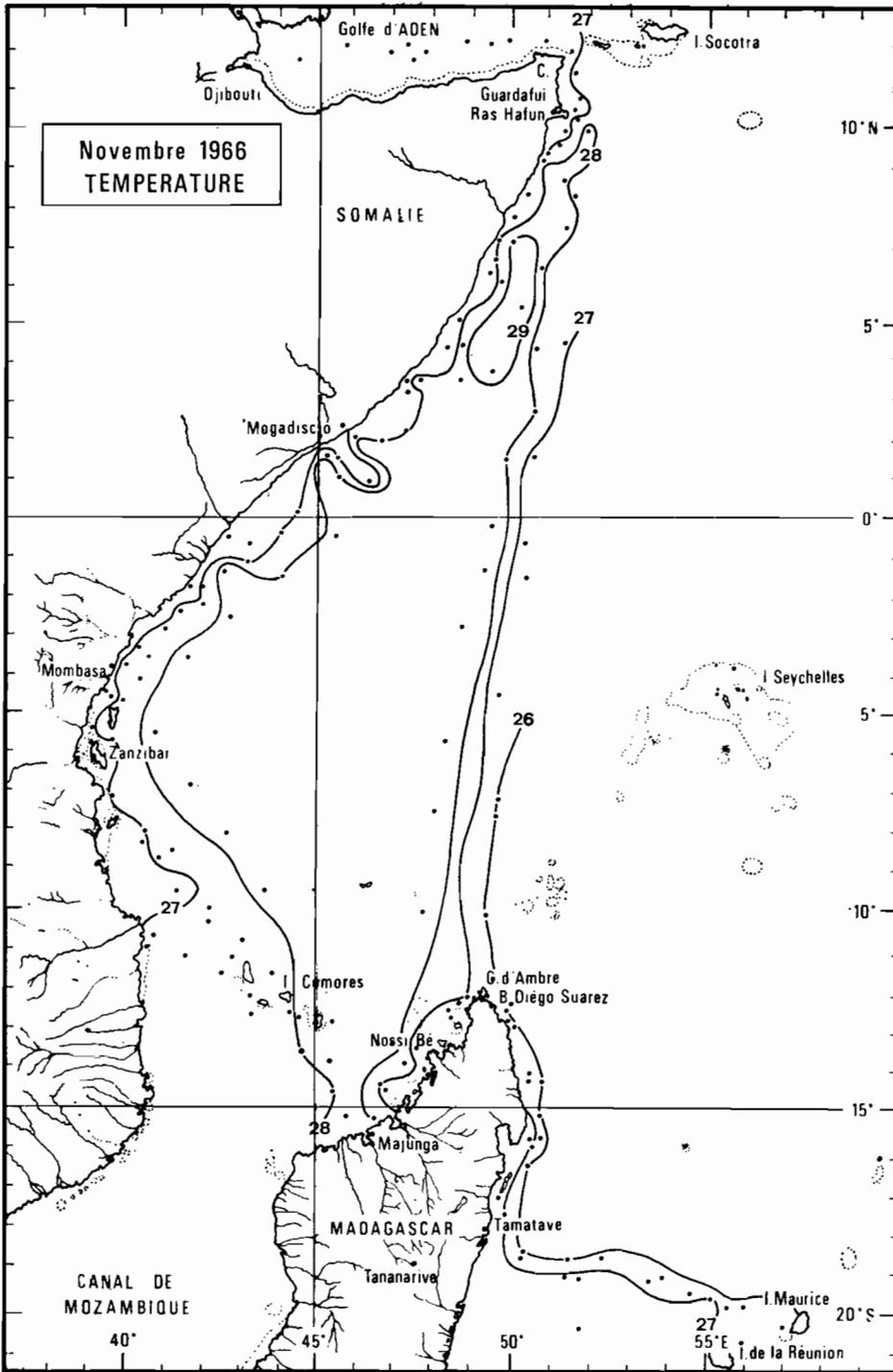


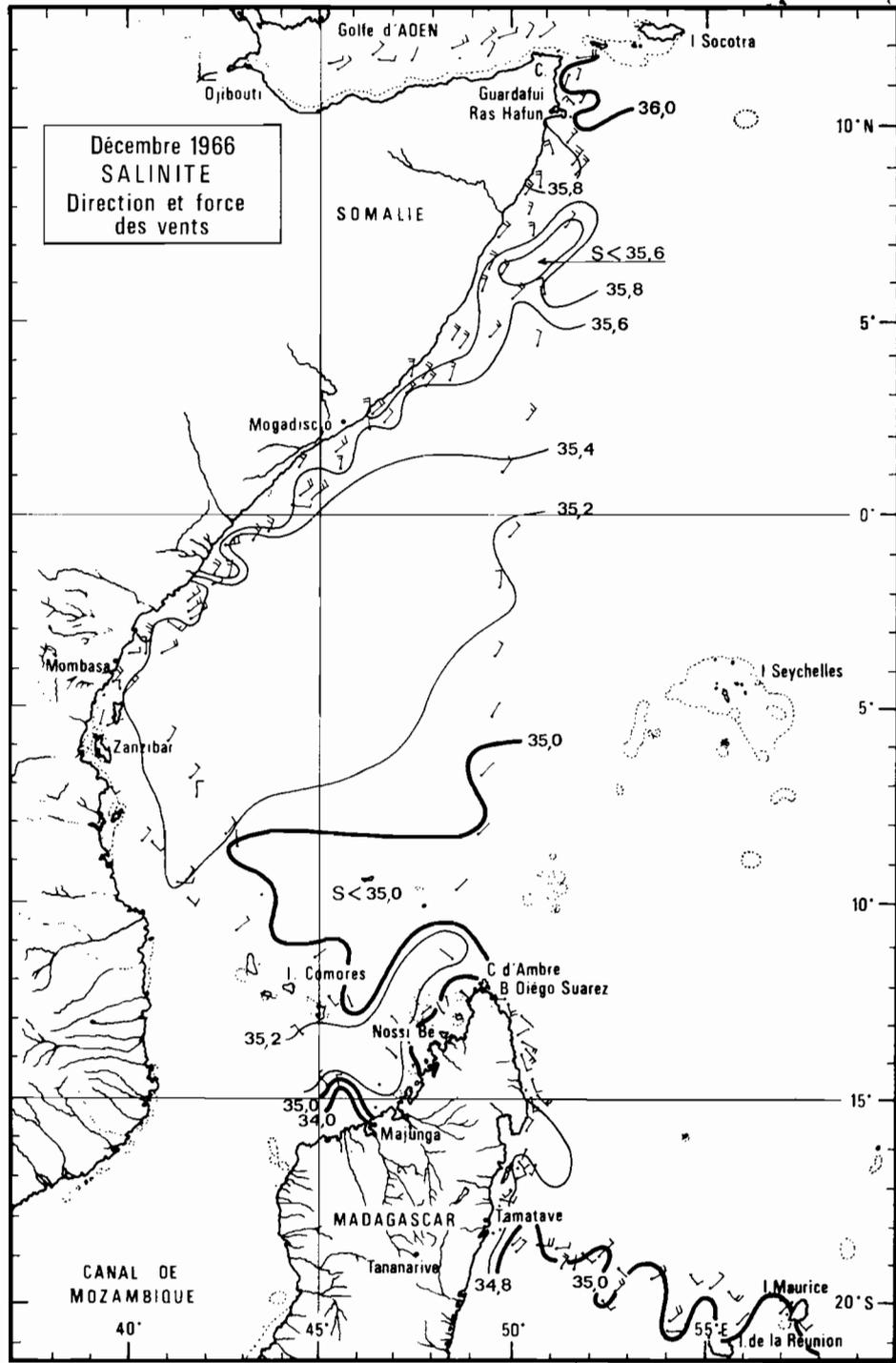
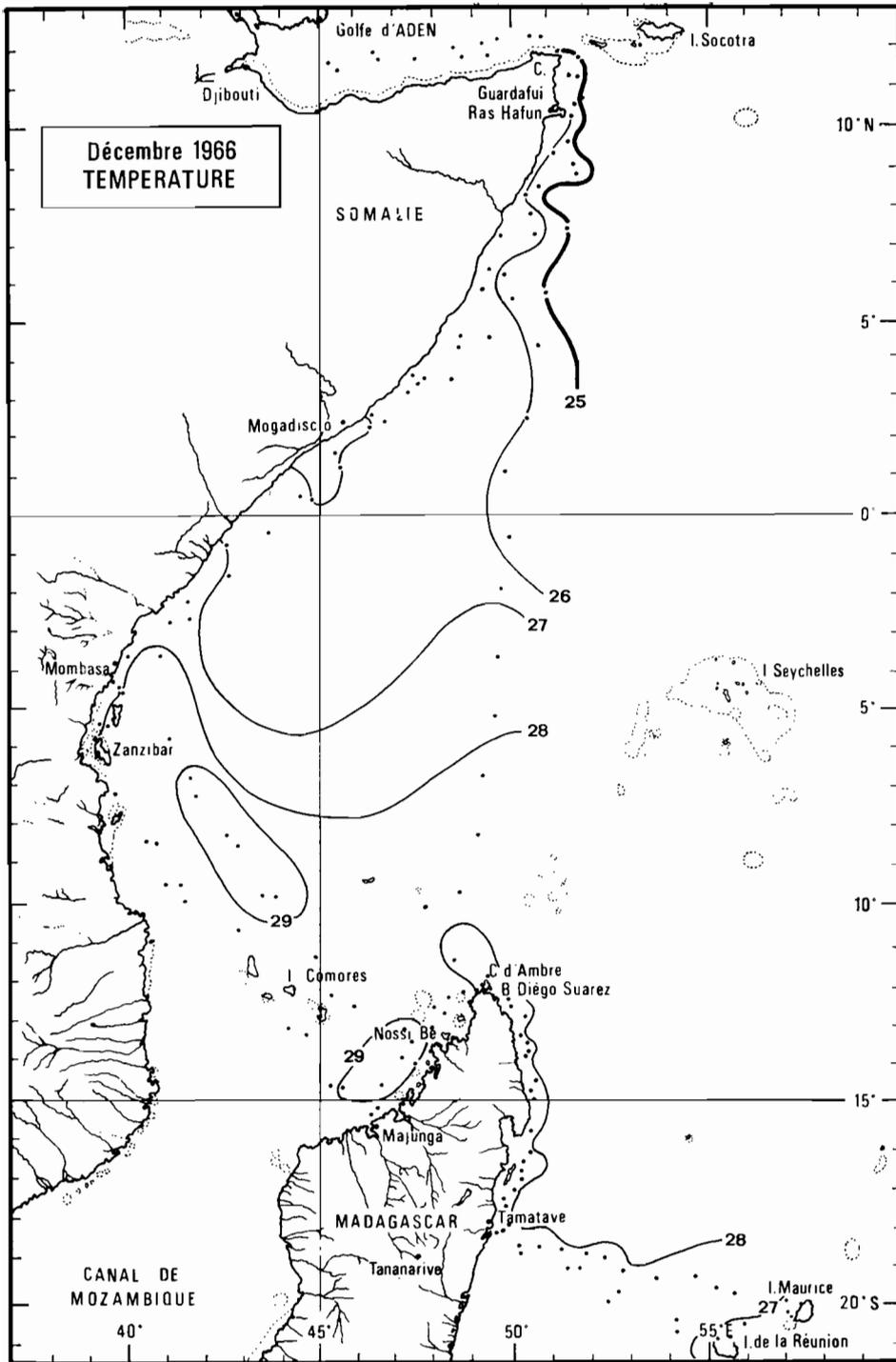


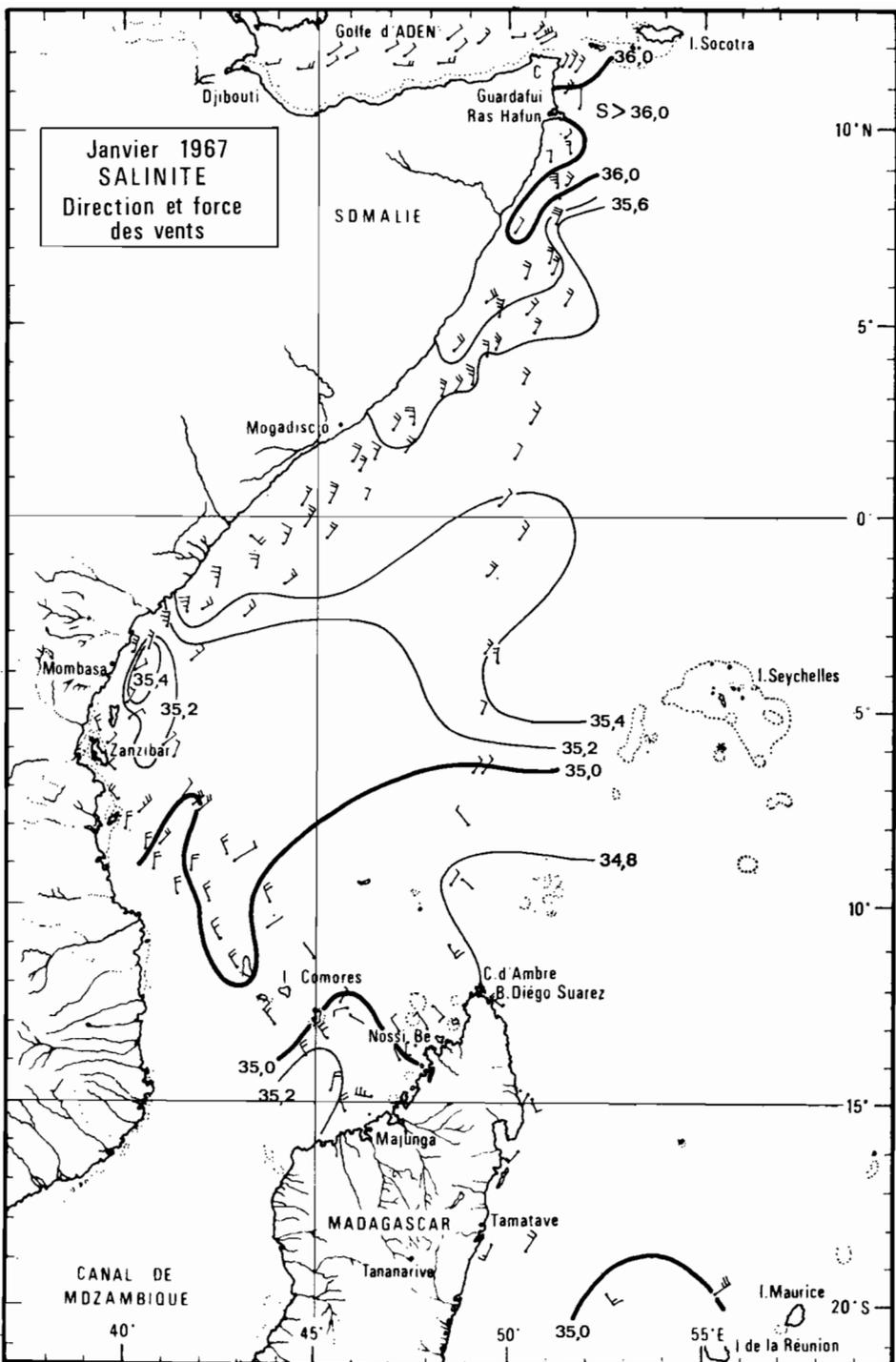
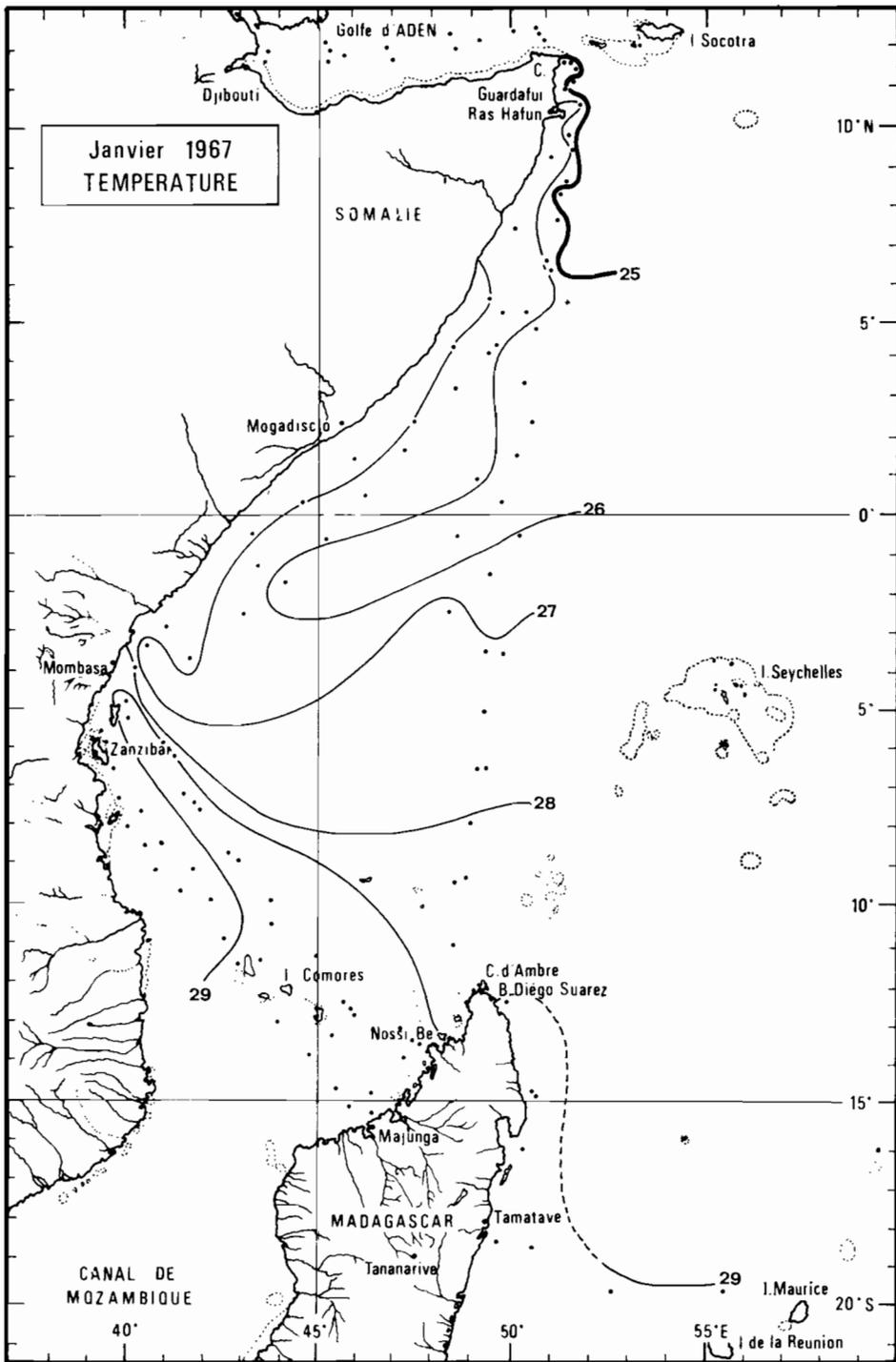


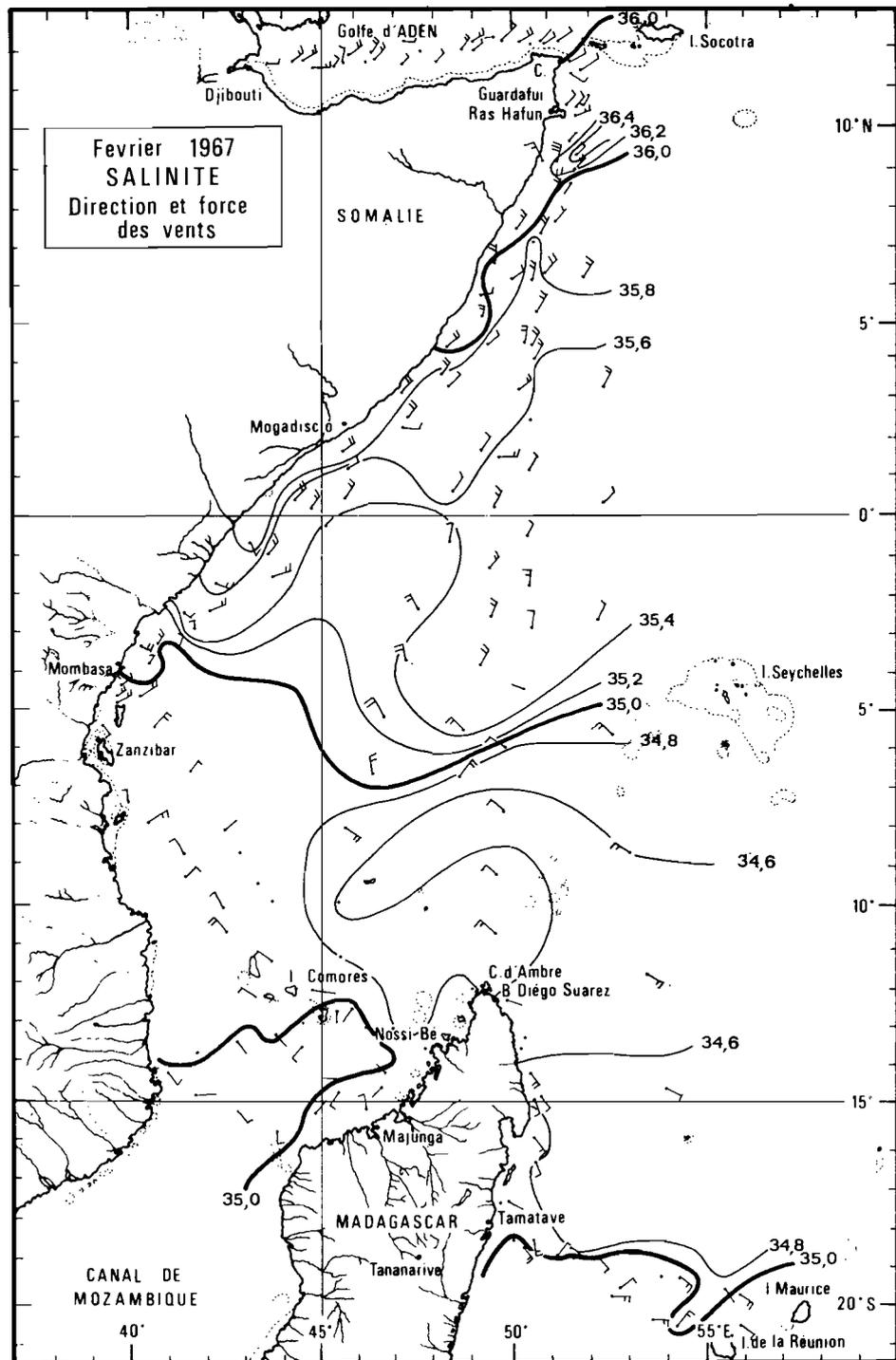
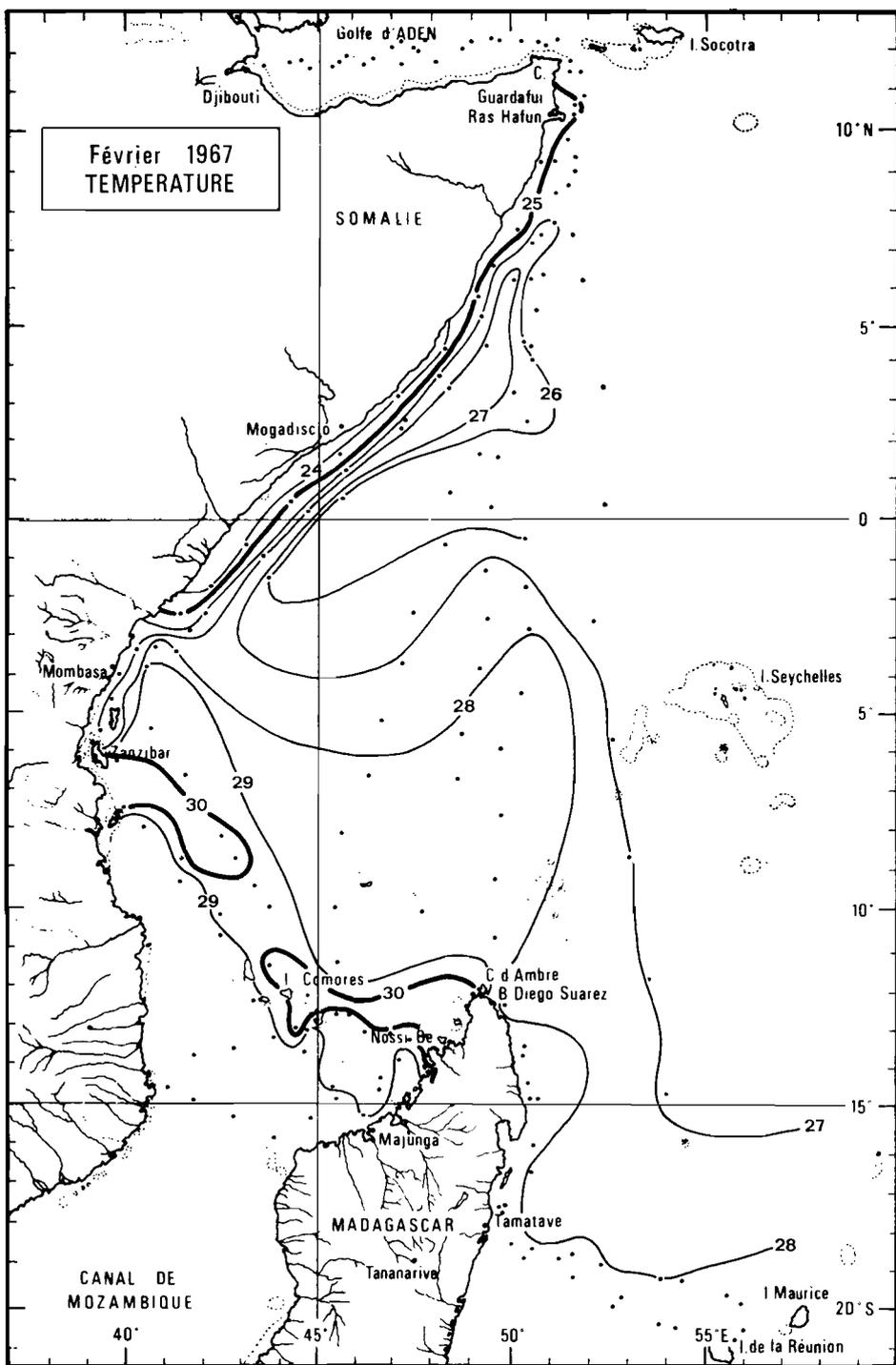


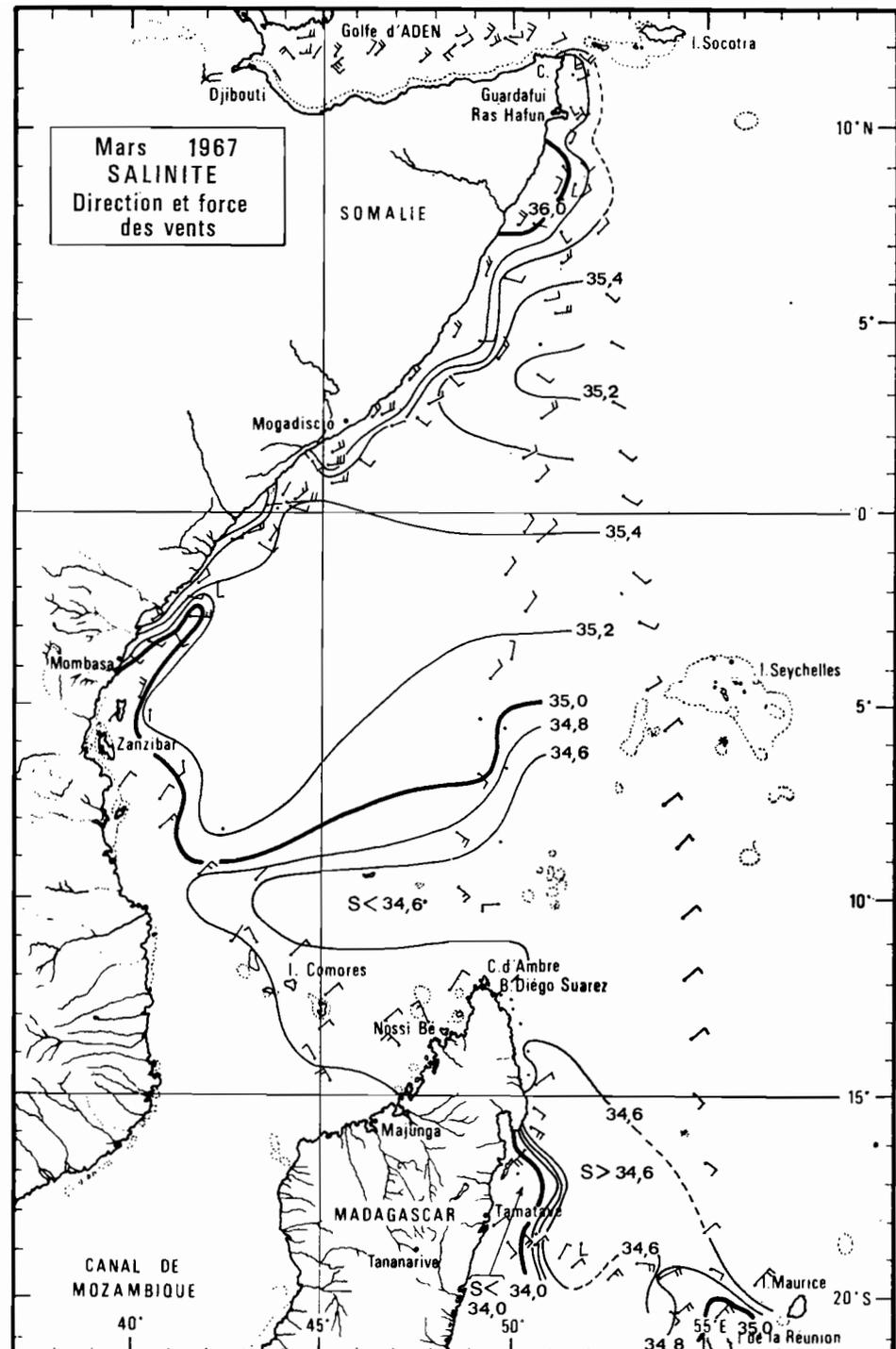
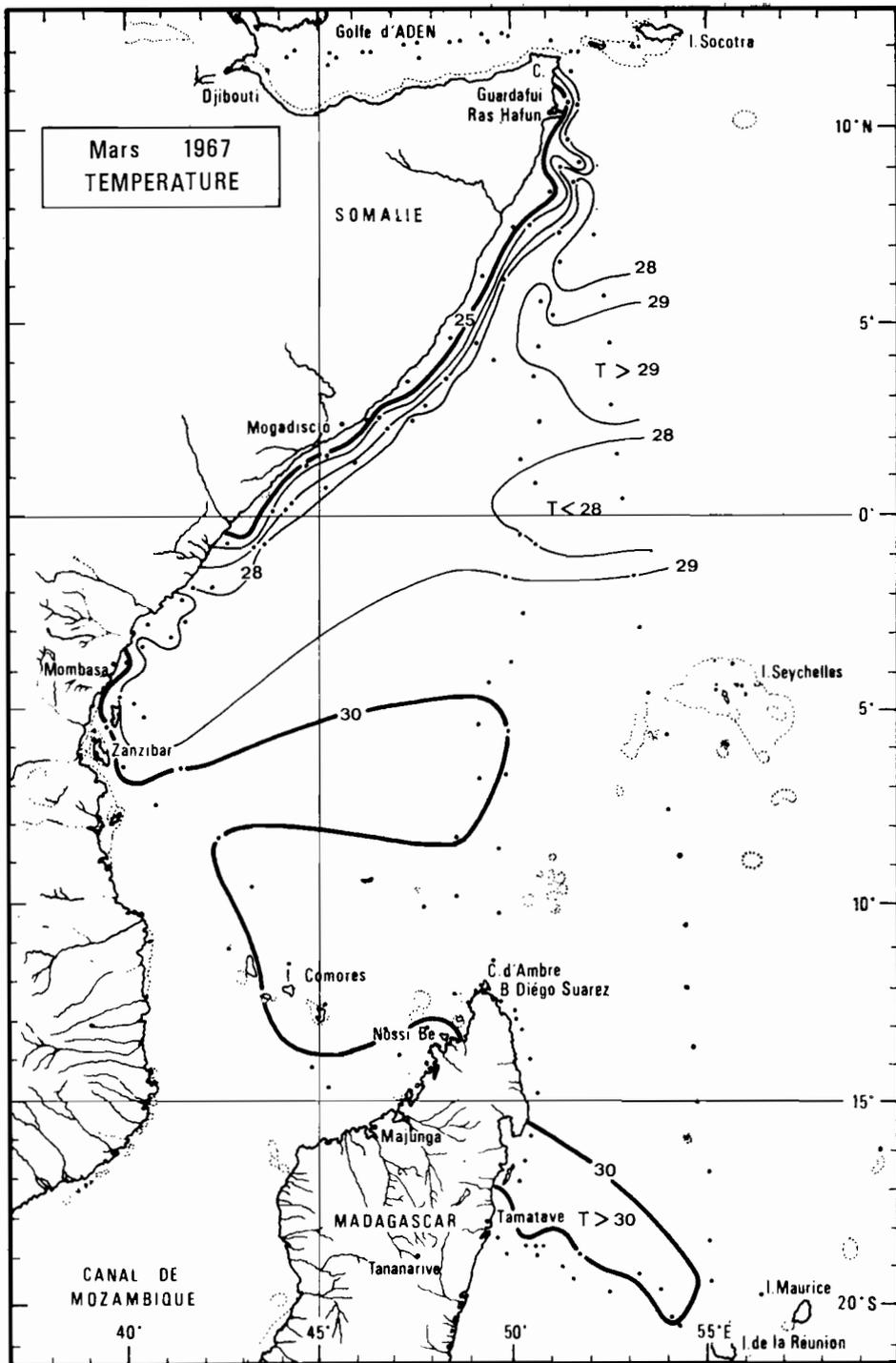


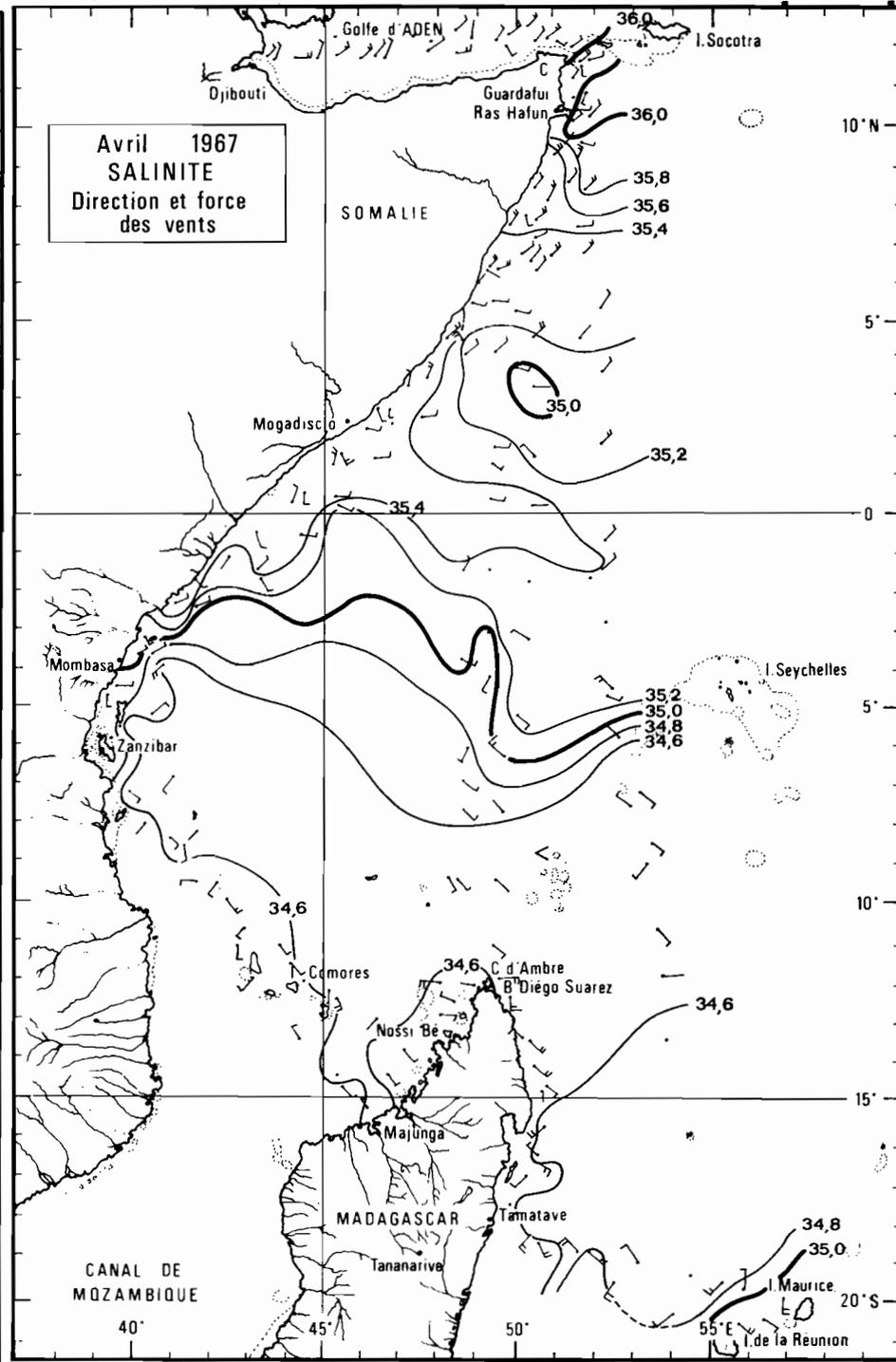
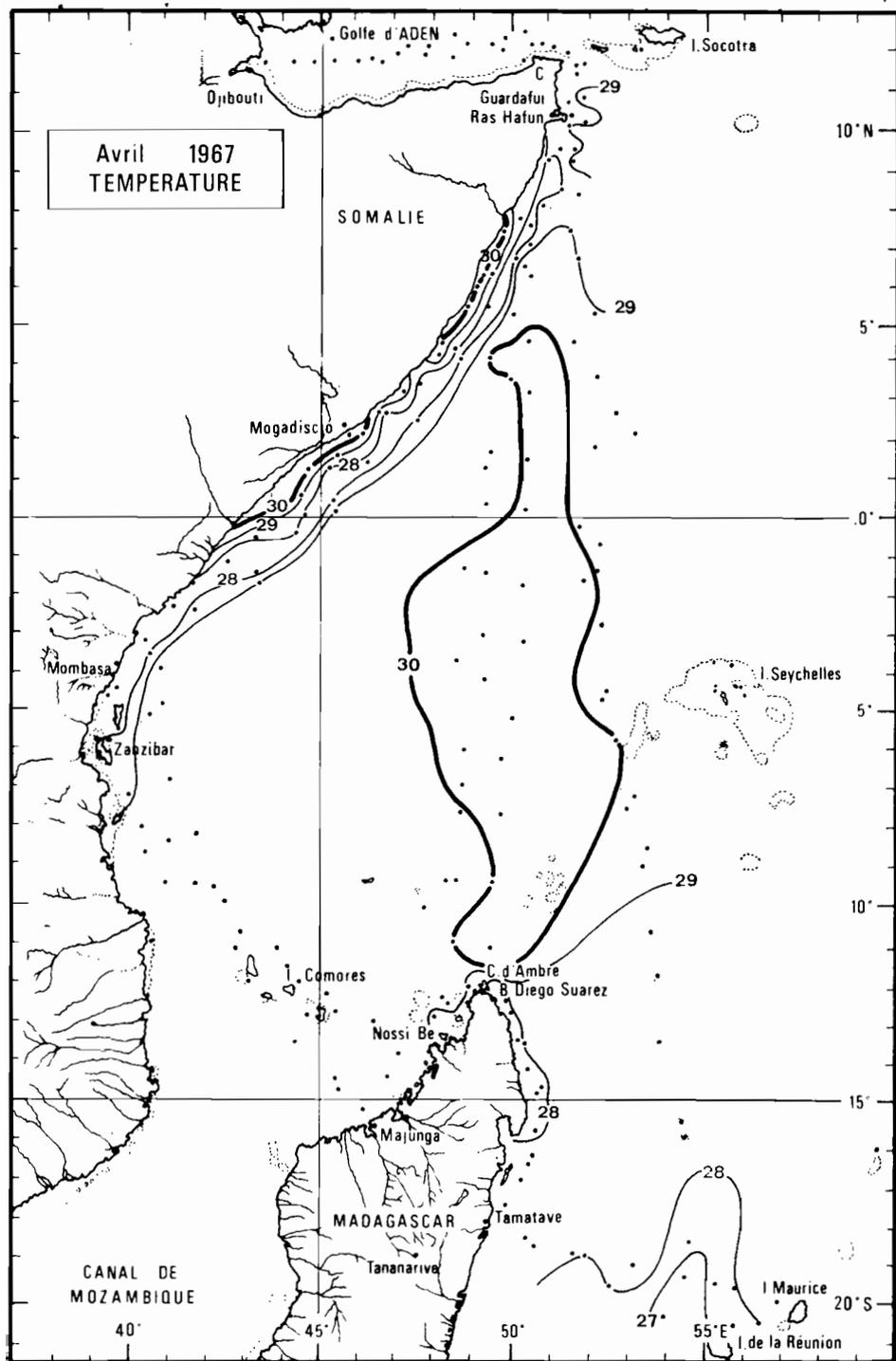


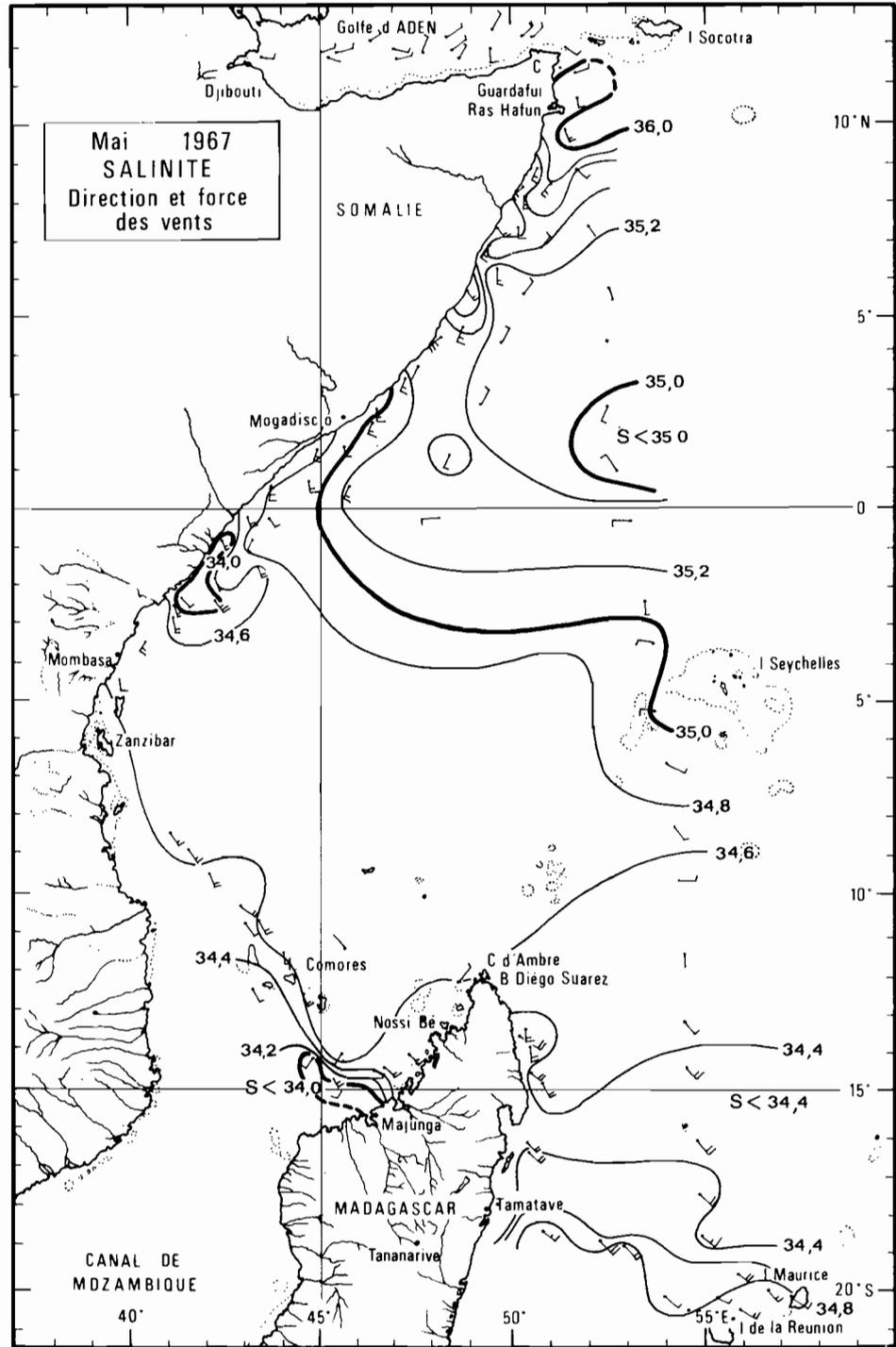
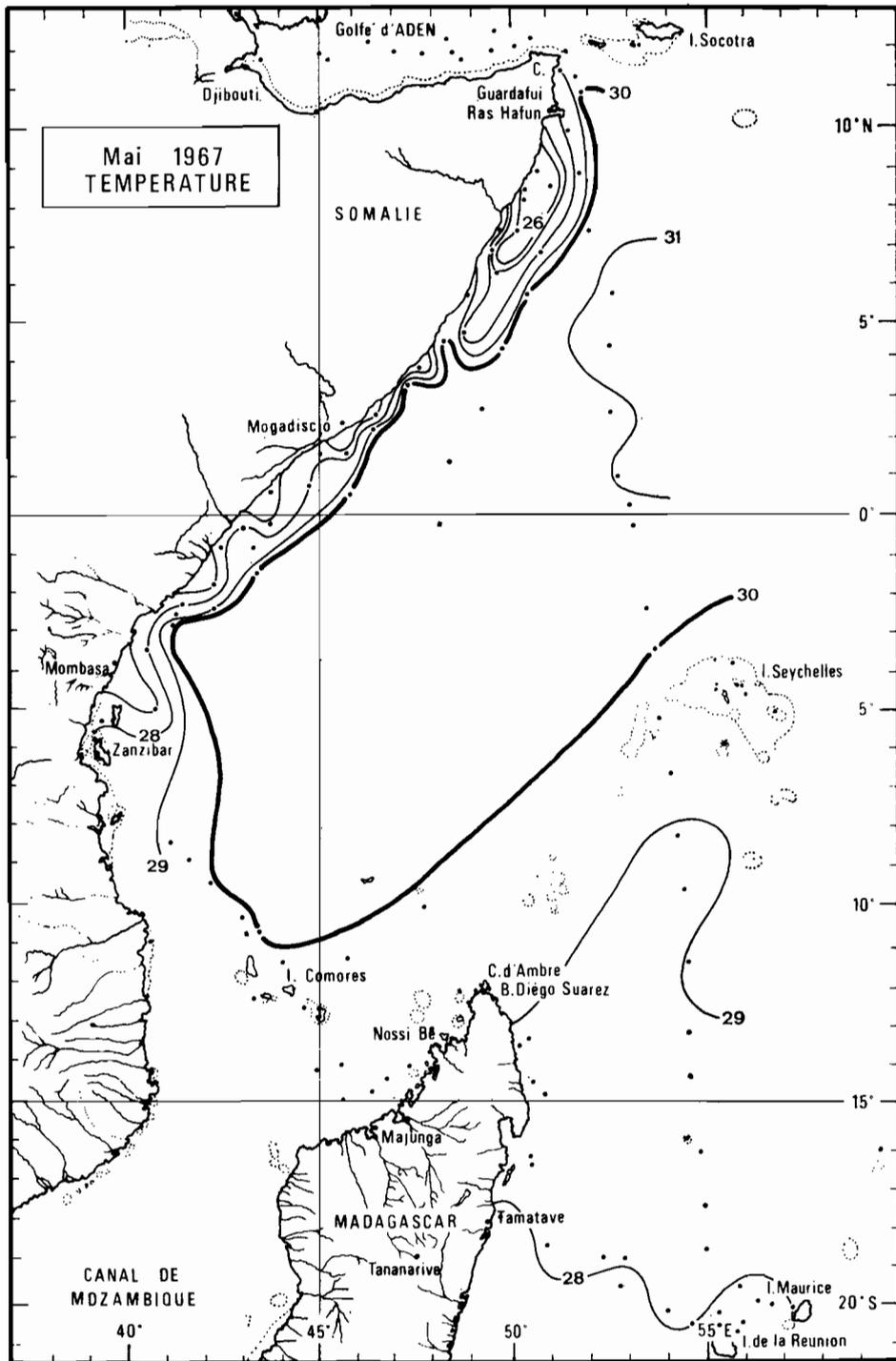


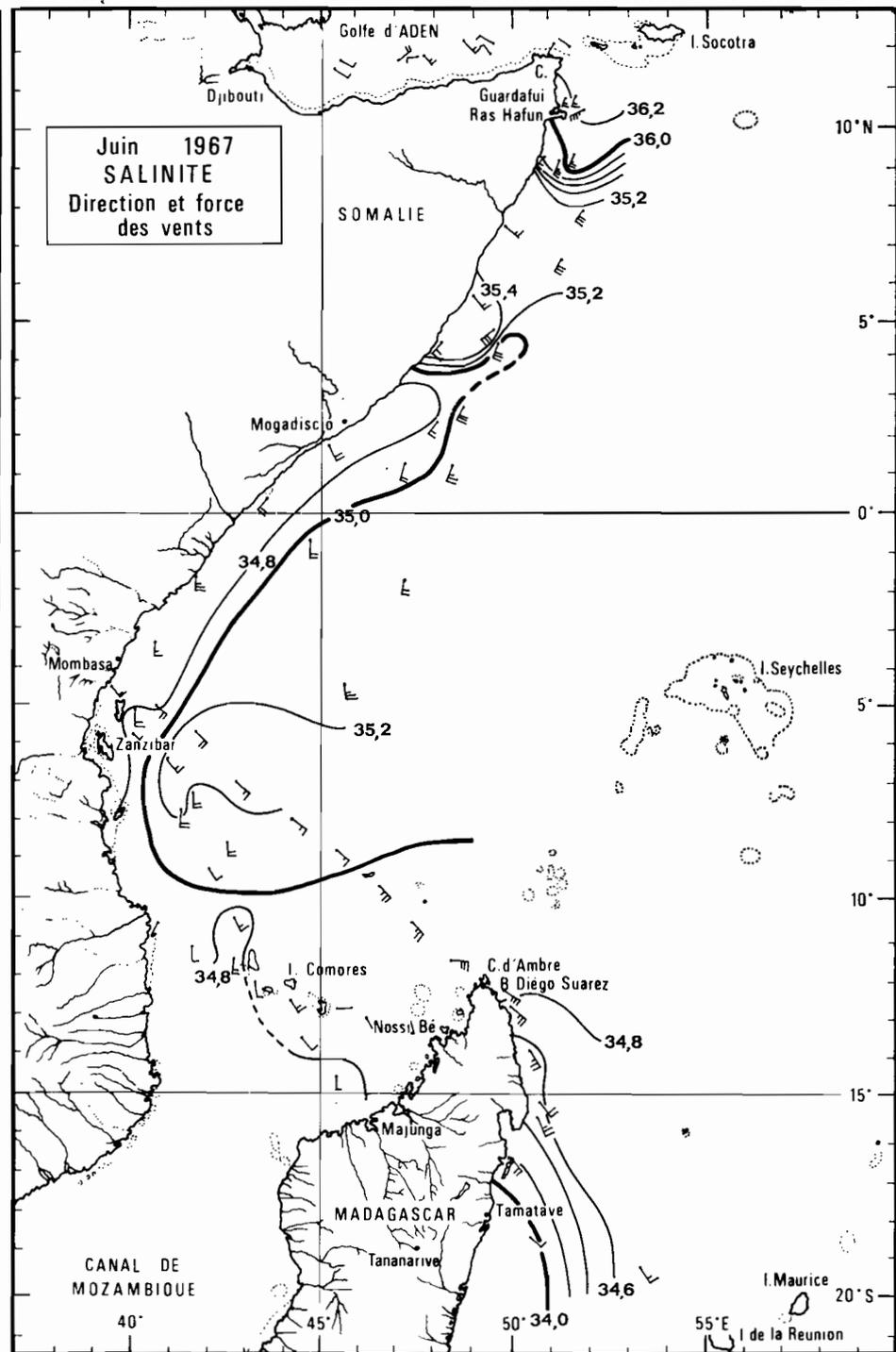
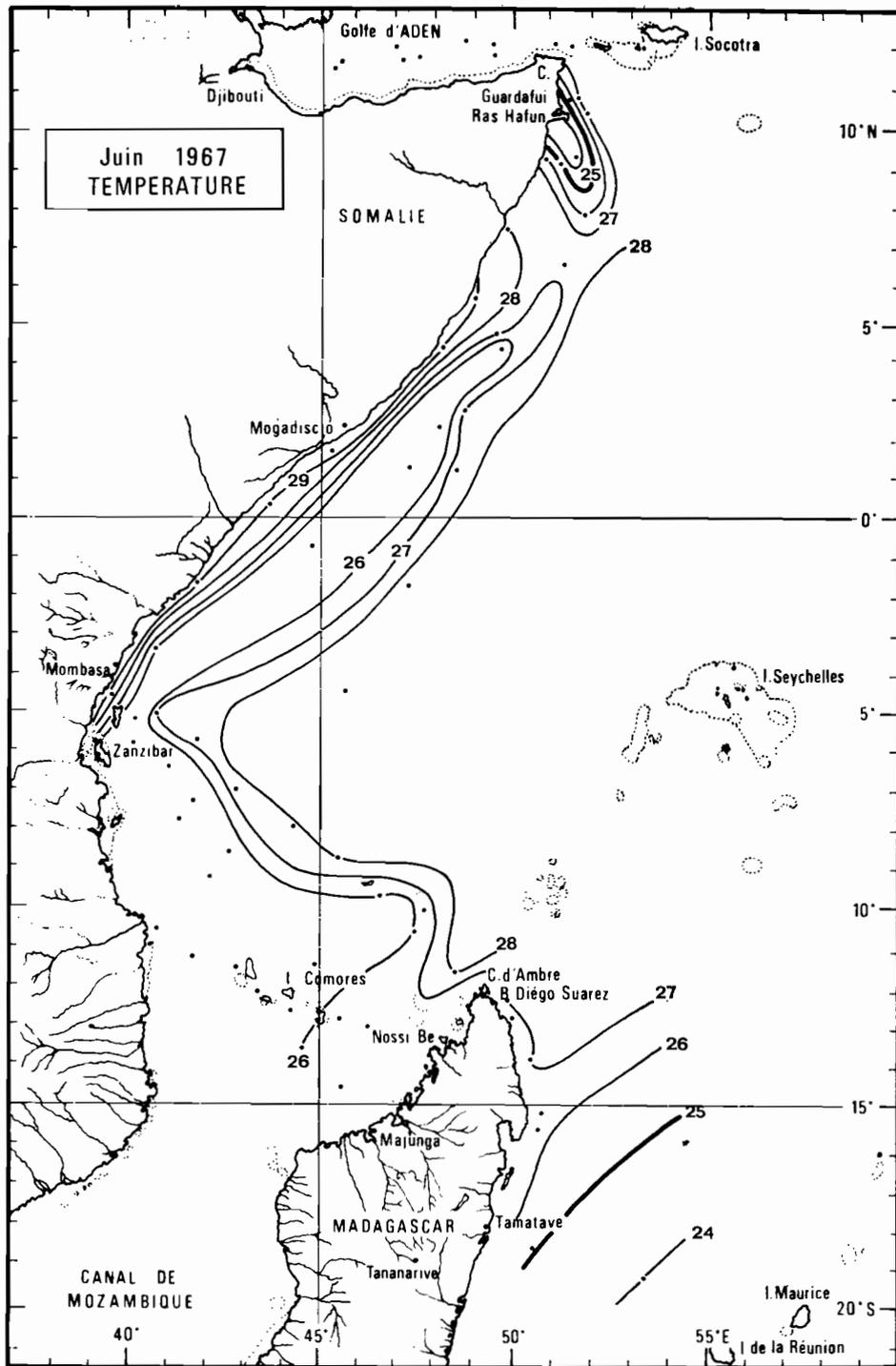












Quelques observations sur le phytoplancton océanique des abords de la Nouvelle Calédonie (Océan Pacifique sud-ouest)

ROGER DESROSIÈRES

Desrosières, R. 1975. Some observations on the oceanic phytoplankton collected in the vicinity of New Caledonia (southwestern Pacific Ocean). *Norw. J. Bot.* 22, 195-200.

The phytoplankton collected at three oceanic stations, off the barrier reef of New Caledonia, has been studied by the Utermöhl method. The area concerned is quite poor: coccolithophorids (maximum concentration: 2000 cells per litre) are dominant. Some comments are made on the distribution of coccolithophorids, and several problems, raised by their taxonomy, are emphasized. (In French.)

R. Desrosières, Centre O.R.S.T.O.M., Nouméa, Nouvelle Calédonie, Australasia.

A l'écart des grands centres d'intérêt océanographique, la région du sud-ouest de l'Océan Pacifique est restée longtemps peu explorée et presque ignorée. Ce n'est qu'assez récemment que le phytoplancton, en particulier, a suscité quelques recherches: les travaux dans ce domaine demeurent pourtant rares et les connaissances bien fragmentaires; les contributions les plus significatives sont, à mon sens, celle de Wood (1964), récapitulation de ses travaux antérieurs sur le macrophytoplancton, et celle de Norris (1961) qui, travaillant selon une technique très originale d'observation sur du matériel vivant, a dressé un inventaire d'où ressort clairement l'importance du microphytoplancton. Dans trois rapports succincts, Desrosières (1960, 1961a et b) a abordé le macrophytoplancton des parages de la Nouvelle Calédonie.

A la traditionnelle classification en: *microplancton*, *nannoplancton*, *ultraplancton*, à la fois stricte quant à la taille des cellules et muette sur le type de plancton considéré (phyto-, zoo-?), je préfère substituer les termes de: *macrophytoplancton*, défini comme le

phytoplancton décelable, identifiable et dénombrable en microscopie optique sous un grossissement faible ou moyen, et de: *microphytoplancton*, qui est cette partie du phytoplancton dont la détermination et la numération sont à la limite des possibilités de la microscopie optique la plus élaborée et relèvent, en fait, plutôt de la microscopie électronique; ces vocables mettent en valeur une distinction pratique à laquelle tout phytoplanctonologiste est sensible et font mention explicite de la nature végétale du plancton étudié.

Le présent article propose une description qualitative et semiquantitative du phytoplancton de trois stations occupées au large du récif barrière de Nouvelle Calédonie en 1973 par le N. O. 'Noroit'.

ORIGINE ET TRAITEMENT DU MATÉRIEL, TECHNIQUE D'ÉTUDE

La position des stations de prélèvement est indiquée sur la Fig. 1. La Nouvelle Calédonie

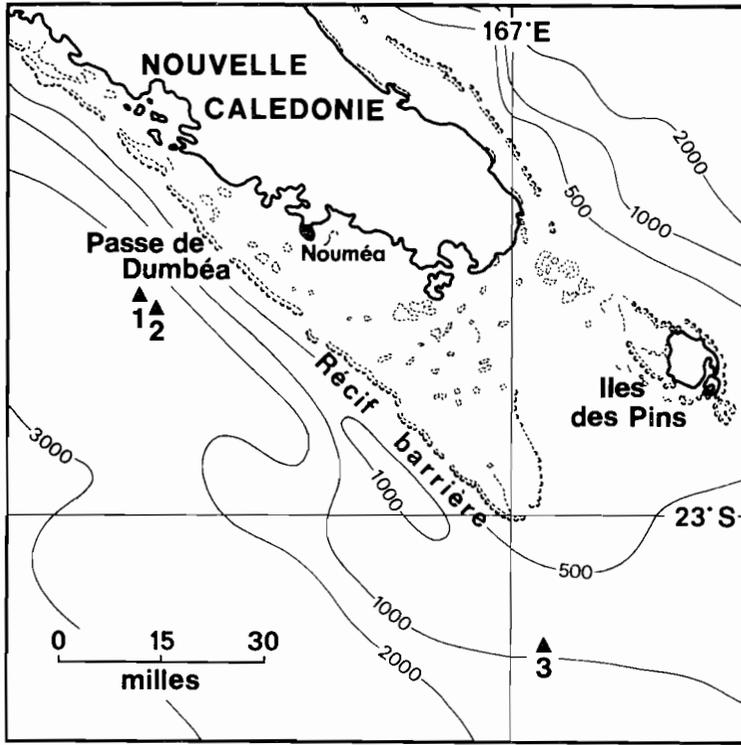


Fig. 1. Position des stations dans le sud-ouest de la Nouvelle Calédonie (Location of the station sites off the south-west of New Caledonia).

est baignée par un lagon peu profond que limite un grand récif barrière tombant abruptement vers le large; quelques échancrures dans le récif, les 'passes', mettent en communication le lagon avec la haute mer: à une quinzaine de milles de l'une d'entre elles, la passe de Dumbéa, sont situées les stations 1 (28 juin 1973) et 2 (29 juin 1973), par des fonds supérieurs à 2500 m; la station 3 (1er juillet 1973) se trouve à environ vingt milles dans le sud de la corne méridionale de la barrière corallienne, sur un fond de 800 m. Il s'agit donc, et les propriétés physico-chimiques l'ont confirmé, de stations au caractère océanique marqué. En chacun de ces points, il a été prélevé, à la bouteille hydrologique en PVC, de six à huit échantillons d'eau de 500 ml, répartis depuis la surface jusqu'à une profondeur de l'ordre de 200 m, niveau au delà duquel les teneurs en chlorophylle 'a' n'atteignent pas 0,01 mg/m³.

Les échantillons ont été fixés par addition de 5 ml de formol du commerce (solution

d'aldéhyde formique à 30%) neutralisé à la potasse, de manière à conserver les cellules phytoplanctoniques dans un milieu formolé à 1%, légèrement alcalin.

Il a ensuite été procédé au laboratoire à l'analyse des récoltes au microscope inversé, d'après le principe de la méthode d'Utermöhl (1931), en suivant le protocole mis au point pour les eaux tropicales, et décrit en détails par Desrosières (1971), qui, schématiquement, consiste en deux examens successifs du même échantillon dans deux cuvettes de sédimentation différentes, adaptées l'une à l'observation à un grossissement moyen (objectif 10 ×), suffisant à l'étude du macrophytoplancton, l'autre à l'observation avec un objectif doué, outre d'un fort pouvoir grossissant, d'une grande ouverture numérique (N. A.) lui conférant un pouvoir séparateur élevé, indispensable à l'identification du microphytoplancton; en l'occurrence, c'est l'objectif 'Planapochromat, 63 ×, 1,4 N. A., à immersion', de Zeiss, qui a été utilisé.

Table I. Liste des Coccolithophoridés rencontrés en trois stations océaniques tropicales, au large du récif barrière de Nouvelle Calédonie.

Species of coccolithophorids recorded at three tropical oceanic stations, off the barrier reef of New Caledonia.

Acanthoica quattropsina	Lohmann 1903
Alisphaera ordinata (Kamptner)	Heimdal 1973
Anthosphaera oryza (Schlauder)	Gaarder in Gaarder & Hasle 1971
Anthosphaera robusta	(Lohmann) Kamptner 1941
cf. Calyptrosphaera circumspicta	Schiller 1925
Calyptrosphaera oblonga	Lohmann 1902
Ceratolithus cristatus	Kamptner 1950
Coccolithus huxleyi (Lohmann)	Kamptner 1943
Coccolithus meteorii	Schiller 1930
Corisphaera cf. gracilis	Kamptner 1937
Cyclococcolithus fragilis (Lohmann)	Deflandre in Deflandre & Fert 1954
Cyclococcolithus leptoporus (Murray & Blackman)	Kamptner 1954
Deutschlandia anthos	Lohmann 1912
Discosphaera tubifera (Murray & Blackman)	Ostenfeld 1900
Florisphaera profunda	Okada & Honjo 1973
Gephyrocapsa oceanica	Kamptner 1943
Halopappus adriaticus	Schiller 1914
Helicosphaera carteri (Wallich)	Kamptner 1954
Helicosphaera hyalina	Gaarder 1970
Michaelsarsia splendens	Lohmann 1912
Periphyllophora mirabilis (Schiller)	Kamptner 1937
Pontosphaera discopora	Schiller 1925
Rhabdosphaera styliifera	Lohmann 1902
Scyphosphaera apsteinii	Lohmann 1902 f. apsteinii Gaarder 1970
Syracosphaera binodata (Kamptner)	Kamptner 1937
Syracosphaera cf. pulchra	Lohmann 1902
Thoracosphaera heimii (Lohmann)	Kamptner 1941
Umbellosphaera irregularis	Paasche in Markali & Paasche 1955
Umbellosphaera sibogae (Weber-van Bosse)	Gaarder 1970
Coccolithophoridae sp. 1	
Coccolithophoridae sp. 2	

RESULTATS

L'inventaire des espèces rencontrées porte sur le macrophytoplankton (essentiellement les Diatomées et les Dinoflagellés) et sur le microphytoplankton (Coccolithophoridés), à l'exclusion des flagellés nus dont l'étude ressortit à des techniques différentes très élaborées (Norris 1961, Bernhard et al. 1967, Thronsen 1969). Les taxa identifiés sont répertoriés dans les Tables I et II; sans prétendre à l'exhaustivité absolue, ni à l'exactitude parfaite des déterminations, compte tenu de la marge d'incertitude qu'implique, en particulier pour les Coccolithophoridés, l'observation au microscope optique, il a été recensé 7 Diatomées, 16 Dinoflagellés, 31 Coccolithophoridés et 2 organismes divers.

Evaluation quantitative

L'ensemble du plancton recueilli est extrême-

ment pauvre. Les Diatomées et les Dinoflagellés ne figurent que pour quelques rares unités dans chaque échantillon: cela est même vrai pour les petites formes pennées, les petits Gymnodiniens et *Oxytoxum variabile*, dont l'importance en milieu tropical a été mise en évidence par Hasle (1959) et confirmée par Desrosières (1971).

Le groupe dominant est donc nettement celui des Coccolithophoridés, aussi bien par le nombre d'individus que par le nombre d'espèces représentées; la densité maximale n'atteint cependant pas 2000 cellules par litre et se situe en moyenne vers 1000 cellules par litre dans les 100 premiers mètres. De telles valeurs peu élevées correspondent à des densités enregistrées, dans l'hémisphère nord, à des latitudes semblables, le long du 155°W, par Okada & Honjo (1973), dont les graphiques font également apparaître la même tendance dans l'hémisphère sud; de cette con-

Table II. Liste des Diatomées, Dinoflagellés et autres organismes phytoplanktoniques rencontrés en trois stations océaniques tropicales, au large du récif barrière de Nouvelle Calédonie.

Species of diatoms, dinoflagellates and other phytoplanktonic organisms recorded at three tropical oceanic stations, off the barrier reef of New Caledonia.

DIATOMEES

Climacodium frauenfeldianum	Grunow 1867
Hemiaulus hauckii	Grunow in van Heurck 1885
Mastogloia rostrata (Wallich)	Hustedt 1933
Nitzschia cf. seriata	Cleve 1883 a)
Planktoniella sol (Wallich)	Schütt 1893
Thalassionema nitzschioides	Grunow ex Hustedt 1932
Thalassiothrix cf. delicatula	Cupp 1943

DINOFLAGELLES

Amphisolenia bidentata	Schröder 1900
Ceratium contortum (Gourret)	Cleve 1900
Ceratium declinatum (Karsten)	Jørgensen 1911
Ceratium furca (Ehrenberg)	Claparède & Lachmann 1859
Ceratium fusus (Ehrenberg)	Dujardin 1841
Ceratium kofoidii	Jørgensen 1911
Ceratium symmetricum	Pavillard 1905
Ceratium teres	Kofoid 1907
Ceratium trichoceros (Ehrenberg)	Kofoid 1908
Gonyaulax birostris	Stein 1883
Gymnodinium sp.	
Oxytoxum scolopax	Stein 1883
Oxytoxum variabile	Schiller 1937
Podolampas palmipes	Stein 1883
Podolampas spinifer	Okamura 1912
Pyrophacus horologium	Stein 1883

AUTRES ORGANISMES

Asterogloea undicola	Norris 1961
Danasphaera indica	Stemann Nielsen 1931

a) Il s'agit d'une espèce du "Nitzschia seriata complex" défini par Hasle (1965).

Table III. Un exemple de distribution bathymétrique des deux espèces de Coccolithophoridés les plus abondantes: la station 2. Profondeurs en mètres, densités des cellules en nombre par litre, densités inférieures à 100 marquées Pr.

An example of depth distribution of the dominant two coccolithophorid species: station 2. Depths in metres, concentrations in cells per litre, concentrations under 100 noted Pr.

	0	40	60	100	120	140	180	220
<i>Coccolithus huxleyi</i>	160	560	480	580	Pr.	Pr.	Pr.	-
<i>Gephyrocapsa oceanica</i>	160	760	460	420	Pr.	Pr.	Pr.	Pr.

tribution de Okada & Honjo, de celle de Hasle (1960), des données de Desrosières (1971, sous presse) commence à se dégager une image assez précise de la répartition méridienne des Coccolithophoridés dans l'Océan Pacifique: de très fortes concentrations aux hautes latitudes, un maximum secondaire équatorial et deux minimums tropicaux marqués.

Le long de la colonne d'eau les densités maximales sont subsuperficielles, déterminées en particulier par deux espèces dominantes *Coccolithus huxleyi* et *Gephyrocapsa oceanica*, qui sont les seules à atteindre des concentrations supérieures à 100 organismes par litre. La Table III, à titre d'exemple, donne le profil de la distribution verticale de ces deux taxa à la station 2. Bien que moins abondants en surface, *C. huxleyi* et *G. oceanica* y restent prépondérants, ce qui, à la latitude de la Nouvelle Calédonie au moins, ne confirmerait pas la tendance, constatée par Okada & Honjo (1973) au sud de 10°S, au remplacement de ces deux espèces, plutôt équatoriales selon ces auteurs, par *Umbellosphaera irregularis*: une hypothèse permettant d'expliquer cette discordance réside dans la proximité et l'influence possible de la terre: il a en effet été montré que dans des biotopes relativement proches du littoral, donc plus soumis aux influences telluriques, *C. huxleyi* et *G. oceanica* pouvaient être les espèces numériquement les plus importantes, e.g. Golfe de Panama (Smayda 1963, 1966), Golfe du Mexique (Gaarder & Hasle 1971) et Mer des Caraïbes (Thronsen 1972).

Distribution bathymétrique

Outre l'esquisse de répartition verticale quantitative décrite au paragraphe précédent,

certaines caractéristiques de distribution bathymétrique des espèces ont pu être mises en évidence; ainsi apparaissent trois catégories de Coccolithophoridés: (a) espèces présentes sur toute la colonne: *Coccolithus huxleyi*, *Gephyrocapsa oceanica*, *Cyclococcolithus fragilis*, *Cyclococcolithus leptoporus*, *Umbellosphaera sibogae*; (b) espèces 'superficielles', ne dépassant pas 100 m: *Anthosphaera robusta*, *Coccolithus meteori*, *Discosphaera tubifera*, *Helicosphaera carteri*, *Helicosphaera hyalina*, *Umbellosphaera irregularis*; (c) espèces 'profondes', confinées au delà de 100 m: *Alisphaera ordinata*, *Anthosphaera oryza*, *Deutschlandia anthos*, *Florisphaera profunda*.

Ce classement en trois grossières catégories peut paraître schématique: c'est que l'état actuel de nos connaissances incite à la prudence et interdit en particulier tous raffinements qui se révéleraient à coup sûr, ensuite, arbitraires parce que purement circonstanciels. Enfin, quant aux autres espèces rencontrées, le trop petit nombre de leurs occurrences empêche de leur assigner un classement précis; il semble, toutefois, que la plupart d'entre elles soient à ranger dans les espèces 'superficielles'.

REMARQUES SUR L'IDENTIFICATION ET LA TAXINOMIE

Il est notoire que toute identification de Coccolithophoridés sous microscope optique devrait être affectée d'un 'coefficient de doute', qui croîtrait, en prenant comme exemple la liste de la Table I, de la valeur nulle pour *Discosphaera tubifera*, *Umbellosphaera irregularis*, les grands spécimens de *Cyclococcolithus leptoporus*, les deux espèces de *Heli-*

cosphaera, jusqu'à une valeur maximale pour les taxa marqués 'cf.', sans évoquer ceux qui défient toute détermination, même générique. Seule, la microscopie électronique est en mesure de lever ce doute. Des propositions concrètes, en vue de combler le handicap du chercheur muni du seul microscope optique, au moyen d'une collaboration appropriée et orientée entre les deux ordres de microscopie, ont été formulées par Desrosières (sous presse); elles consistent en l'établissement d'un catalogue de descriptions comparées conçu dans la perspective exclusive de son emploi par le chercheur uniquement 'opticien'. A cet égard, et à titre d'illustration, le cas de l'espèce *Umbellosphaera tenuis* me laisse perplexe: une fois encore (vide Desrosières sous presse), je n'ai pas rencontré (ou 'reconnu') cette espèce, souvent mentionnée dans le Pacifique par les divers auteurs; par contre je trouve fréquemment, présentant avec *U. tenuis* quelques ressemblances, un organisme que j'ai, faute de mieux, rapporté au *Coccolithus meteori* Schiller 1930. Mes doutes sont évidemment grands sur la validité de cette identification, mais les différentes descriptions et figurations fournies par la littérature sont insuffisantes à me convaincre qu'il s'agisse d'*U. tenuis*.

A l'espèce *Florisphaera profunda*, nouvellement créée par Okada & Honjo (1973), j'ai rapporté des spécimens affichant de grandes ressemblances avec le 'Coccolithophorid sp. 1' de Throssen (1972 pp. 58-59), assimilation que cet auteur (communication personnelle) ne récusé pas, mais qu'il faudrait confirmer par l'observation au microscope électronique pour s'assurer qu'il ne s'agit pas d'une espèce de *Deutschlandia*.

Deux Coccolithophoridés, quoiqu'assez bien typés, n'ont pu être identifiés: le *Coccolithophoridae* sp. 1, de silhouette lancéolée, mesure 20 μm sur 6 μm ; les coccolithes, lamellaires ou pétaoloïdes, disposés transversalement et débordants, donnent à cet organisme un aspect caractéristique de pomme de pin; le *Coccolithophoridae* sp. 2, oblong, est recouvert de grands coccolithes en forme de bols profonds, concaves vers l'extérieur, dont une dizaine suffisent à faire le tour de la cellule; la longueur du grand axe, coccolithes compris, est de l'ordre de 20 μm ; l'allure générale de la coccosphère, également typique, ne semble correspondre à aucune espèce décrite.

Quelques colonies de cellules, baignant dans une sorte de mucus, ont été attribuées à *Asterogloea undicola* Norris 1961; elles ne dépassent pas la profondeur de 60 m. L'occurrence de plusieurs individus de *Danasphaera indica* semble confirmer l'ubiquité de ce flagellé mal connu, dans le Pacifique tropical.

A la suite de Gaarder & Hasle (1971), et pour les mêmes raisons, l'appellation générique d'*Emiliania*, introduite par des micropaléontologistes en remplacement de *Coccolithus*, n'a pas été adoptée ici; de même, je n'ai osé substituer à *Cyclococcolithus* le nom de *Cyclococcolithina*, proposé par Wilcoxon (1970).

Les publications qui ne contiennent que la description originale des taxa mentionnés au cours de cet article ne sont explicitées dans la liste de références annexée que lorsqu'elles sont postérieures à 1960, les publications antérieures paraissant constituer des citations classiques, aisément accessibles à tout spécialiste.

REFERENCES

- Bernhard, M., Rampi, L. & Zattera, A. 1967. A phytoplankton component not considered by the Utermöhl method. *Pubbl. Sta. zool. Napoli* 35, 170-214.
- Desrosières, R. 1960. Phytoplankton qualitatif, in ORSOM III Croisière 'Choiseul'. *O.R.S.T.O.M., I.F.O., Rapp. Sc.* 16, 88-91.
- Desrosières, R. 1961a. Phytoplankton qualitatif, in ORSOM III Croisière 'Dillon'. *Ibid.* 19, 93-105.
- Desrosières, R. 1961b. Phytoplankton: Croisière 60-2 et observations diverses, in ORSOM III Croisières diverses de 1960. *Ibid.* 20, 48-52.
- Desrosières, R. 1971. Quelques stations de phytoplankton entre les Iles Tuamotu et les Iles Marquises (Océan Pacifique central). *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.* 9, 119-124.
- Desrosières, R. (sous presse). Prédominance des Coccolithophoridés dans le phytoplankton au nord de la Nouvelle-Guinée (Juin-Juillet 1971). *Contr. 3ème Symp. C.S.K. Bangkok, 1973.*
- Gaarder, K. R. 1970. Three new taxa of Coccolithineae. *Nytt Mag. Bot.* 17, 113-126.
- Gaarder, K. R. & Hasle, G. R. 1971. Coccolithophorids of the Gulf of Mexico. *Bull. mar. Sci.* 21, 519-544.
- Hasle, G. R. 1959. A quantitative study of phytoplankton from the equatorial Pacific. *Deep-Sea Res.* 6, 38-59.
- Hasle, G. R. 1960. Plankton Coccolithophorids from the Subantarctic and Equatorial Pacific. *Nytt Mag. Bot.* 8, 77-88.
- Hasle, G. R. 1965. Nitzschia and Fragilariopsis species studied in the light and electron micro-

- scopes. II. The group Pseudonitzschia. *Skr. norske Vidensk.-Akad. I. Mat.-Nat. Kl. N. S.* 18, 1-45
- Heimdal, B. R. 1973. Two new taxa of recent Coccolithophorids. 'Meteor' *Forsch.-Ergebnisse D (13)*, 70-75.
- Norris, R. E. 1961. Observations on phytoplankton organisms collected on the N.Z.O.I. Pacific cruise, September 1958. *New Zealand J. Sci.* 4, 162-188.
- Okada, H. & Honjo, S. 1973. The distribution of oceanic coccolithophorids in the Pacific. *Deep-Sea Res.* 20, 355-374.
- Schiller, J. 1930. Coccolithineae. *Rabenhorst's Krypt. Flora* 10 (2), 89-273.
- Smayda, T. J. 1963. A quantitative analysis of the phytoplankton of the Gulf of Panama. I. Results of the regional phytoplankton surveys during July and November, 1957 and March, 1958. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.* 7, 191-253.
- Smayda, T. J. 1966. Idem. III. General ecological conditions, and the phytoplankton dynamics at 8°45'N, 79°23'W from November 1954 to May 1957. *Ibid.* 11, 353-612.
- Thronsdén, J. 1969. Flagellates of Norwegian coastal waters. *Nytt Mag. Bot.* 16, 161-216.
- Thronsdén, J. 1972. Coccolithophorids from the Caribbean Sea. *Norw. J. Bot.* 19, 51-60.
- Utermöhl, H. 1931. Neue Wege in der quantitativen Erfassung des Planktons. *Verh. int. Verein. theor. angew. Limnol.* 5, 567-596.
- Wilcoxon, J. A. 1970. Cyclococcolithina Wilcoxon nom. nov. (nom. subst. pro Cyclococcolithus Kamptner, 1954). *Tulane Stud. Geol. Paleontol.* 8, 82-83.
- Wood, E. J. F. 1964. Studies in microbial ecology of the Australasian Region (parts I, II, III, and IV). *Nova Hedwigia* 8, 5-54, 453-461.

Received 23 January 1975

Published September 1975

Rythmes nutritionnels et organisation trophique d'une population de crustacés pélagiques (Euphausiacea)

C. Roger

Centre O.R.S.T.O.M.; Nouméa, New Caledonia

Abstract

Feeding Rhythms and Trophic Organization of a Population of Pelagic Crustaceans (Euphausiacea)

The nature of the food (animal, plant or mixed) and the fullness of the stomachs at different times of the day have been studied through dissection of 18620 specimens representative of almost all the euphausiid species of the Central and Western Tropical Pacific Ocean. Animal food predominates in 22 of the 28 species studied, while 12 can be considered as omnivorous; only 4 are mainly phytophagous. The trophic level of a given species is more or less the same in different zones, but scarcity of phytoplankton in oligotrophic tropical regions results in an increase of the trophic level of herbivorous and omnivorous species. There is no correlation between trophic level and vertical distribution of a species. Each species follows a clearly defined feeding rhythm, usually characteristic for each genus: nutrition most active by night in *Euphausia*, continuous in *Thysanopoda*, restricted to light hours in *Stylocheiron*, mainly from noon to midnight in *Nematoscelis* and *Nematobrachion*. As a rule, it is obvious that the smaller the daily vertical migration, the more pronounced the feeding rhythm: the range of fluctuations in fullness of stomachs over 24 h is weak or non-existent in migrating species, maximum in non-migrating ones. Nevertheless, daily vertical migration does not appear to be "advantageous" from the point of view of trophic efficiency: assuming that the stomachal transit is the same for all species (a speculative proposition), it is shown that the ratio "total biomass of species:food consumed during 24 h", i.e., "biomass permanently available for the upper link:biomass eaten daily at the expense of the lower link" is 4 times higher in non-migrating than in migrating species. It is thus considered that daily vertical migration is an expensive manner to transfer energy from link to link, and therefore fulfills other functions, amongst which diffusion throughout the whole water column of the biomass produced in the upper levels is probably one of the most important.

Introduction

Dans sa revue des recherches entreprises sur la nutrition des euphausiacés, Nemoto (1971) souligne deux points importants: d'une part, que l'avancement de ces études est un préalable indispensable à la compréhension de l'"économie" des océans; d'autre part, que les rythmes nutritionnels sont encore très mal connus. En milieu tropical, on ne dispose que des observations de Ponomareva *et al.* (1962) et de Ponomareva (1971), malheureusement limitées à un très petit nombre d'espèces. Or, il s'agit là d'un paramètre essentiel à la connaissance de l'organisation trophique des populations pélagiques,

qui conditionne elle-même, dans une large mesure, l'importance de ces populations dans leur milieu. En fonction de ces faits, des recherches ont été entreprises depuis plusieurs années au Centre ORSTOM de Nouméa, et des résultats partiels, portant sur un nombre d'espèces limité, ont été publiés (Roger, 1973 b); la poursuite de ce travail a permis d'acquérir des connaissances beaucoup plus complètes, puisqu'on dispose maintenant de données fiables sur la quasi-totalité des espèces d'euphausiacés du Pacifique tropical, ce qui permet une vue d'ensemble du comportement nutritionnel de ce groupe important. Toutefois, seuls les adultes ont été étudiés.

Matériel et méthodes

Les échantillons analysés proviennent des campagnes effectuées par le N.O. "Coriolis" entre 1968 et 1974, dont la position est indiquée sur la Fig. 1. Les dates et lieux de ces campagnes sont les suivants: Zone I, 1968-1969 - 0°, 135-155°W; Zone II, 1967 - 0-5°S, 170°E; Zone III, 1972 - 20°S, 168°E; Zone IV, 1974 - 22°S, 166°E.

Après tri et identification des euphausiacés, un certain nombre de spécimens adultes de chaque espèce ont été disséqués, de façon à définir la nature du contenu stomacal et le taux de réplétion de l'estomac. Les individus examinés, au nombre de 18620 appartenant à 23 espèces, ont été choisis de manière à répondre à trois préoccupations: couvrir toutes les tranches horaires; provenir d'un grand nombre de stations pour éliminer l'influence éventuelle de conditions particulières; provenir, si possible, de plusieurs régions, pour déterminer si les caractéristiques nutritionnelles varient géographiquement ou, au contraire, si elles sont constantes pour une espèce donnée.

Le Tableau 1 résume ces caractéristiques.

Il faut toutefois mentionner que le nombre de spécimens examinés en ce qui concerne la nature du contenu stomacal, a été plus limité (Tableau 2). En effet, il est apparu que, sous l'influence de la lumière essentiellement, l'aspect du contenu stomacal se modifie progressivement, de sorte que seuls les échantillons analysés peu de temps après la récolte ont pu être utilisés dans ce but.

Chaque estomac a fait l'objet des appréciations suivantes: (a) une cotation de réplétion: vide; moins de demi-plein; plus de demi-plein; (b) une cotation de nature: A, si plus de 80% du contenu stomacal est d'origine animale; V, si plus de 80% du contenu stomacal est d'origine végétale; VA, si les matériels d'origine animale et végétale sont mélangés en proportions voisines. Il est rappelé, à ce sujet, que l'examen global du contenu stomacal à la loupe bino-culaire (x 10 ou x 20), permet cette estimation (Roger, 1973 a).

Enfin, on a déterminé par pesées, pour les différentes espèces, le poids relatif du contenu stomacal des estomacs très pleins par rapport au poids du corps. Cette valeur, mentionnée dans la suite du texte sous l'appellation CSR (Contenu Stomacal Relatif) a été obtenue (cf. Tableau 3): soit par pesée effective; soit par analogie entre espèces voisines, dont l'une seulement a été pe-

sée; soit, notamment dans le cas des espèces de très petite taille et des espèces rares, par estimation visuelle de l'importance de l'estomac par rapport au corps, en se référant à l'échelle constituée par les espèces effectivement pesées.

Résultats

Données complémentaires sur les niveaux trophiques

Ces résultats complètent les données partielles précédemment publiées (Roger, 1973 a) et étendent nos connaissances à la quasi totalité des espèces du Pacifique tropical.

Le niveau trophique d'une espèce est exprimé par le pourcentage moyen que représente la nourriture d'origine animale dans les estomacs; ce pourcentage est évalué en faisant la somme du pourcentage d'individus dont l'estomac est A et du demi-pourcentage d'individus dont l'estomac est VA : $(\Sigma A + \frac{\Sigma VA}{2}) \%$. Le niveau trophique d'une espèce strictement carnivore serait donc 100 (tous les estomacs A), celui d'une espèce strictement phytophage 0 (tous les estomacs V).

En raison de la modification progressive de l'aspect du contenu stomacal, dont la couleur verte caractéristique du matériel d'origine végétale disparaît peu à peu, ce qui conduit à une surestimation de plus en plus importante du niveau trophique, des contrôles de vieillissement ont été effectués. 30 *Euphausia fallax* dont le contenu stomacal était V ont été réparties en 5 séries immédiatement après leur récolte, et conservées de la façon suivante: Série 1 - congelée; Série 2 - formol 5%, placée à l'obscurité; Série 3 - formol 10%, placée à l'obscurité; Série 4 - formol 5%, conservée à la lumière ambiante; Série 5 - formol 10%; conservée à la lumière ambiante.

La moitié des animaux de chaque série a été disséquée après 6 mois, l'autre moitié après 12 mois. Les résultats sont les suivants.

Après 6 mois, seuls les animaux congelés se présentent dans un état identique à celui qu'ils avaient au moment de la récolte (corps rose, contenu stomacal vert foncé). Au contraire, tous les animaux formolés ont le corps blanc et opaque; mais, en ce qui concerne le contenu stomacal, on constate que celui des animaux conservés à l'obscurité est resté vert foncé, alors que celui des animaux exposés à la lumière ambiante est presque complètement décoloré. Il n'y a pas de différence sensible en fonction de la concentration du formol.

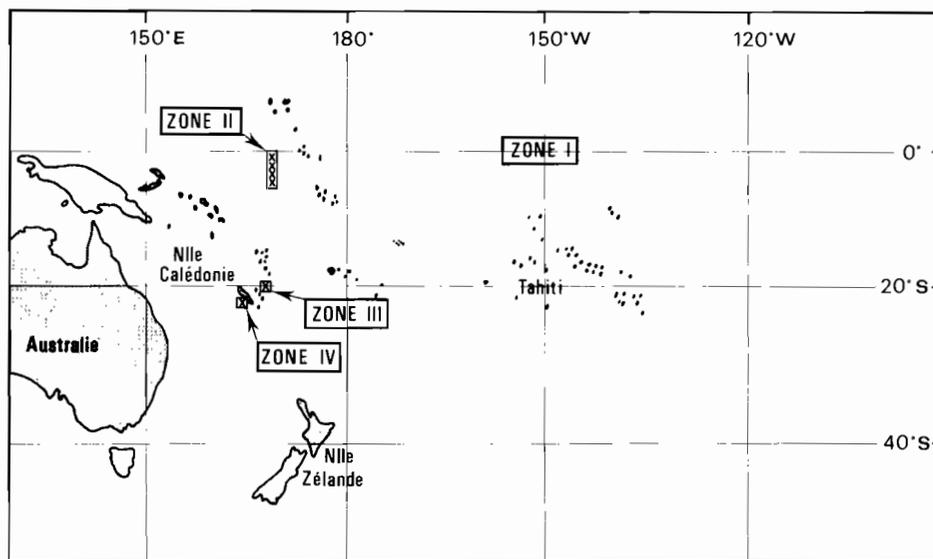


Fig. 1. Origine des prélèvements

Tableau 1. Matériel d'étude

Espèces (adultes seulement)	N° code	Nombres de spécimens disséqués	Provenance Nombres de stations	Zones (cf. Fig. 1)
<i>Thysanopoda cristata</i>	1	223	95	I. II. III
<i>T. tricuspidata</i>	2	4766	270	I. II. III. IV
<i>T. orientalis</i>	3	643	184	I. II. III. IV
<i>T. monacantha</i>	4	2036	199	I. II. III. IV
<i>T. pectinata</i>	5	664	181	I. II. III. IV
<i>T. aequalis</i>	6	1323	147	I. II. III. IV
<i>T. obtusifrons</i>	7	191	70	III. IV
<i>Stylocheiron carinatum</i>	8	932	129	III. IV
<i>S. abbreviatum</i>	9	638	112	III. IV
<i>S. elongatum</i>	10	304	76	III. IV
<i>S. longicorne</i>	11	163	51	III. IV
<i>S. affine</i>	12	420	101	III. IV
<i>S. suhmii</i>	13	146	51	III. IV
<i>Euphausia fallax</i>	14	383	61	III. IV
<i>E. gibboides</i>	15	201	33	I
<i>E. diomedae</i>	16	396	25	I
<i>E. mutica</i>	17	718	103	III. IV
<i>E. gibba</i>	18	694	101	III. IV
<i>E. tenera</i>	19	322	92	III. IV
<i>Nematoscelis tenella</i>	20	1633	214	I. II. III. IV
<i>N. atlantica</i>	21	657	106	III. IV
<i>Nematobranchion boopis</i>	22	1053	220	I. II. III. IV
<i>N. flexipes</i>	23	114	58	I. II
Total		18620		

Après 12 mois, l'aspect des animaux des différentes séries est identique à ce qu'il était 6 mois auparavant.

On peut donc conclure que, en ce qui concerne l'estimation du niveau trophique par examen de la coloration du contenu stomacal, les échantillons doivent impérativement être maintenus à l'obscurité. Cette condition étant remplie, les animaux demeurent utilisables pendant au moins 1 an, qu'ils soient congelés ou formolés.

Le Tableau 2 présente les résultats obtenus. La quasi-totalité des espèces du Pacifique tropical y figurent, classées par niveau trophique décroissant. Les faits notables, déjà partiellement énoncés dans une publication antérieure (Roger, 1973 a), sont les suivants.

La plupart des espèces (22 sur 28) dépendent davantage, pour leur alimentation, du microzooplancton que du phytoplancton.

Cependant, l'euryphagie est largement répandue, puisqu'une douzaine d'espèces font largement appel à la fois au zooplancton et au phytoplancton (niveaux trophiques compris entre 65 et 22). Ceci justifie dans une certaine mesure le classement habituel des euphausiacés dans la catégorie "omnivores", tout au moins en ce qui concerne les régions tropicales (Ackman *et al.*, 1970, Petipa *et al.*, 1971, Ponomareva 1971).

Pour une espèce donnée, le niveau trophique peut varier sensiblement d'une région à une autre, mais dans un sens bien défini: les espèces carnivores (niveau trophique supérieur à 80) le demeurent en toutes régions. Par contre, les espèces euryphages ou phytophages ont un niveau trophique nettement plus élevé (de 10 à 30 points) en zone tropicale (III et IV) qu'en zone équatoriale (I et II), ceci étant très probablement lié au fait que les quantités de phytoplancton disponibles sont insuffisantes dans les régions tropicales oligotrophes (Ponomareva *et al.*, 1962).

Il n'y a donc pas une variation erratique de la nutrition de chaque espèce selon le lieu et le moment, mais simple adaptation aux ressources disponibles, du moins dans le cadre d'une zone océanique déterminée.

Il n'y a pas de relation stricte entre le type morphologique et le niveau trophique: des espèces du type filtreur sont souvent zoophages (tous les *Thysanopoda*, sauf *T. tricuspidata*), alors que certaines autres, anatomiquement adaptées à la prédation, dépendent pour une large part du phytoplancton (*Nematoscelis microps*, *N. tenella*, *Stylocheiron elongatum*, *Nematobranchion sexspinosus*).

Enfin, il n'y a pas de relation apparente entre niveau trophique et répartition bathymétrique. Compte tenu de la localisation superficielle du phytoplancton, on pourrait s'attendre à des niveaux trophiques moins élevés chez les espèces superficielles. Il n'en est rien: les petites formes de subsurface peuvent être carnivores (*Stylocheiron summii*, *S. carinatum*, *S. affine*), alors qu'un nombre surprenant d'espèces plus profondes utilisent abondamment le phytoplancton (*Thysanopoda cristata*, *Nematoscelis tenella*, *N. microps*, *S. elongatum*, *Nematobranchion sexspinosus*, et surtout *Bentheuphausia amblyops*).

Contenu stomacal relatif (CSR)

Le CSR pour une espèce donnée, exprimé en %, est défini par le rapport des poids respectifs du contenu de l'estomac plein et de l'animal entier.

Le Tableau 3 présente les résultats obtenus. On constate que le CSR est faible (0.6 à 1.3%) chez toutes les espèces des genres *Thysanopoda*, *Stylocheiron* et *Euphausia*; moyen chez les *Nematobranchion* (1.8 à 1.9%); très élevé chez les *Nematoscelis* (3.2 à 5.0%).

Il apparaît donc que le CSR atteint une valeur bien déterminée pour chacun des genres. Ce paramètre complète les informations fournies par l'analyse des rythmes nutritionnels: on peut en effet, en admettant que la durée du transit gastrique est à peu près la même pour toutes les espèces, obtenir une estimation relative de l'intensité de la nutrition chez les diverses espèces en considérant le produit du CSR par le pourcentage moyen d'estomacs pleins sur 24 h, ce dernier paramètre étant représenté par l'Indice de Réplétion Moyenne (IRM) qui est défini ci-après.

Rythmes nutritionnels

On a calculé pour chaque espèce le taux de réplétion moyenne des estomacs aux différentes heures, en faisant la somme du pourcentage d'estomacs pleins et du demi-pourcentage d'estomacs demi-pleins. On obtient, de cette façon, une valeur représentative du degré moyen de réplétion des estomacs, que l'on a appelée Indice de Réplétion Horaire (IRH). Le même calcul effectué sur les pourcentages moyens d'estomacs pleins et demi-pleins sur 24 h fournit l'Indice de Réplétion Moyenne (IRM) qui est caractéristique de l'espèce. Ces indices peuvent varier de 0 (tous les estomacs vides) à 100 (tous les estomacs pleins).

Tableau 2. Niveaux trophiques (espèces classées par niveaux trophiques décroissants)

Espèces (adultes seulement)	Nombres d'indi- vidus examinés	Niveaux trophiques
<i>Stylocheiron suhmii</i>	19	100
<i>S. abbreviatum</i>	188	98
<i>Thysanopoda aequalis</i>	1084	98
<i>S. carinatum</i>	145	97
<i>Nematobranchion boopis</i>	271	96
<i>T. obtusifrons</i>	112	95
<i>T. orientalis</i>	132	90
<i>S. affine</i>	145	90
<i>T. monacantha</i>	1029	85
<i>T. pectinata</i>	133	85
<i>Nematoscelis atlantica</i>	338	78
<i>Nematobranchion flexipes</i>	18	78
<i>S. longicorne</i>	31	73
<i>T. cristata</i>	20	65
<i>Euphausia tenera</i>	108	63
<i>Nematoscelis tenella</i>	743	60
<i>E. mutica</i>	540	58
<i>E. diomedae</i>	402	54
<i>E. fallax</i>	245	54
<i>E. gibba</i>	463	53
<i>T. tricuspidata</i>	938	45
<i>S. elongatum</i>	137	41
<i>Nematobranchion sexspinosus</i> ^a	13	34
<i>E. gibboides</i>	191	7
Rappel des données concernant d'autres espèces antérieurement examinées (Roger, 1973a):		
<i>Nematoscelis gracilis</i>	37	85
<i>N. microps</i>	20	60
<i>Bentheuphausia amblyops</i>	66	22
<i>E. paragibba</i>	48	7

^a Non inclus dans le Tableau 1, les effectifs trop faibles ne permettant pas l'étude du rythme nutritionnel.

Tableau 3. Contenu Stomacal Relatif (CSR) = poids du contenu d'un estomac plein:poids de l'animal entier. - : pas de données

Espèces	Nombres d'indi- vidus examinés	Poids moyen d'1 individu (mg)	Poids moyen d'1 contenu stomacal (mg)	CSR (%)
<i>Thysanopoda cristata</i> ^a	5	1059	12,80	1,2
<i>T. tricuspidata</i> ^a	13	96	1,00	1,0
<i>T. monacantha</i> ^a	10	158	1,00	0,6
<i>T. orientalis</i> ^b	-	-	-	0,6
<i>T. pectinata</i> ^b	-	-	-	0,6
<i>T. aequalis</i> ^a	7	34	0,20	0,6
<i>T. obtusifrons</i> ^b	-	-	-	0,6
<i>Stylocheiron carinatum</i> ^c	-	-	-	0,6
<i>S. abbreviatum</i> ^a	10	17	0,22	1,3
<i>S. elongatum</i> ^c	-	-	-	0,6
<i>S. longicorne</i> ^c	-	-	-	0,6
<i>S. affine</i> ^c	-	-	-	0,6
<i>S. suhmii</i> ^c	-	-	-	0,6
<i>Euphausia fallax</i> ^a	9	42	0,45	1,1
<i>E. gibboides</i> ^b	-	-	-	1,1
<i>E. mutica</i> ^a	12	11	0,07	0,6
<i>E. diomedae</i> ^b	-	-	-	0,6
<i>E. gibba</i> ^a	10	11	0,08	0,7
<i>E. paragibba</i> ^b	-	-	-	0,7
<i>E. tenera</i> ^c	-	-	-	1,0
<i>Nematoscelis tenella</i> ^a	12	26	0,83	3,2
<i>N. atlantica</i> ^a	12	10	0,50	5,0
<i>N. microps</i> ^b	-	-	-	5,0
<i>N. gracilis</i> ^b	-	-	-	5,0
<i>Nematobranchion flexipes</i> ^a	6	55	1,00	1,8
<i>N. boopis</i> ^a	10	108	2,00	1,9
<i>N. sexspinosus</i> ^c	-	-	-	1,8
<i>Bentheuphausia amblyops</i> ^c	-	-	-	1,8

^a Espèce effectivement pesée.

^b Estimation par analogie avec une espèce proche [dans ce tableau, l'espèce effectivement pesée précède immédiatement celle (ou celles) dont l'estimation en est déduite].

^c Estimation visuelle, par référence à l'échelle que constituent les espèces effectivement pesées.

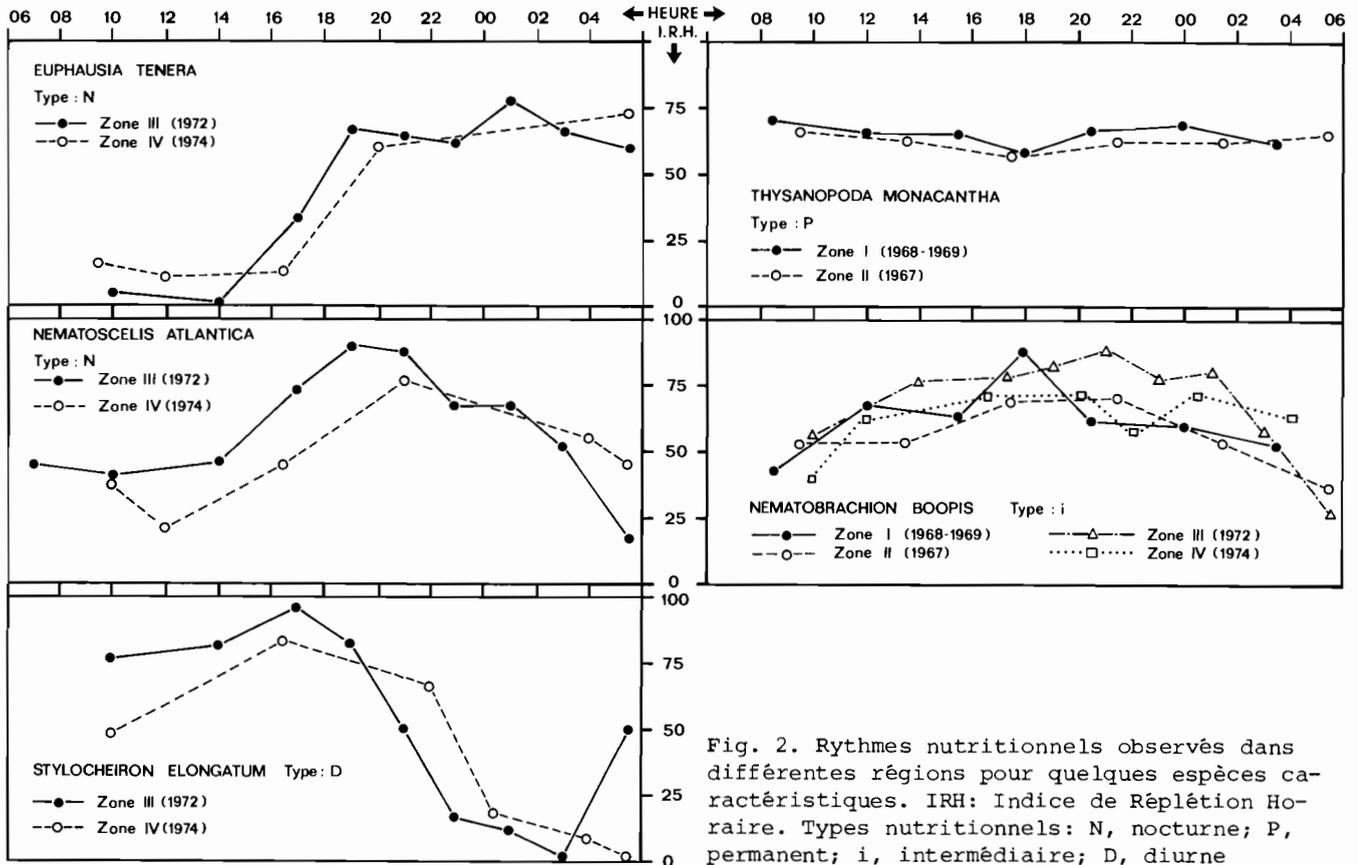


Fig. 2. Rythmes nutritionnels observés dans différentes régions pour quelques espèces caractéristiques. IRH: Indice de Réplétion Horaire. Types nutritionnels: N, nocturne; P, permanent; i, intermédiaire; D, diurne

Il est apparu que les résultats obtenus étaient très constants d'une région à l'autre pour une espèce donnée. La Fig. 2 représente les variations de l'indice de réplétion horaire dans des régions différentes pour 5 espèces caractéristiques des divers comportements nutritionnels. On constate une excellente concordance des données, en ce sens que, au delà d'une variabilité normale des valeurs de l'indice, le type nutritionnel (nocturne, permanent, intermédiaire, ou diurne) est le même dans toutes les régions pour une espèce donnée. Provenant de la dissection de nombreux individus, issus de nombreuses stations, effectuées dans plusieurs régions et à plusieurs années d'intervalle, les résultats obtenus peuvent donc être considérés comme fiables: les rythmes nutritionnels observés sont caractéristiques des espèces étudiées, au moins pour le Pacifique tropical.

La Fig. 3 représente les variations de l'indice de réplétion des estomacs au cours des 24 h pour les 23 espèces. L'analyse de ces courbes permet d'établir les faits suivants.

Chaque espèce présente un rythme nutritionnel caractéristique et bien typé:

les valeurs successives de l'indice de réplétion de l'estomac au cours des 24 h ne varient pas de façon erratique mais traduisent un comportement cohérent.

Les schémas obtenus définissent un certain nombre de types de comportements nutritionnels:

Type nocturne (N). Chez *Euphausia tenera*, *E. diomedae*, *E. mutica*, *E. gibba*, *Nematoscelis atlantica*, et *Nematobrachion flexipes* le rythme nutritionnel est bien marqué, la nutrition étant beaucoup plus active pendant la nuit que pendant le jour. Cependant, à l'exception de *E. tenera*, l'activité nutritionnelle est loin d'être nulle pendant la période diurne, ce qui conduit à des indices de réplétion moyenne sur 24 h (IRM) assez élevés (53 à 74, sauf *E. tenera*: 41). *Nematoscelis atlantica* constitue un cas particulier, la nutrition n'étant active qu'en début de nuit, et décroissant rapidement au cours de la nuit; cette tendance s'observe aussi, moins nettement, chez *Nematobrachion flexipes*, ce qui rapproche ces deux espèces du type "intermédiaire", décrit plus loin, auquel appartiennent les autres espèces des genres *Nematoscelis* et *Nematobrachion*. Enfin, il faut noter, chez

toutes ces espèces, que la reprise d'une nutrition active, marquée par l'élévation de la courbe de l'IRH, se fait dès la fin de la période diurne, à partir de 16 heures environ (Roger, 1973b).

Type permanent (P). *Euphausia fallax*, *E. gibboides*, *Thysanopoda tricuspidata*, *T. orientalis*, *T. monacantha*, *T. aequalis*, *T. obtusifrons*, *T. pectinata* ont une nutrition active à toutes les heures, sans rythme nycthéméral décelable, sauf chez *T. tricuspidata* dont la nutrition se ralentit légèrement pendant le jour, et rappelle par conséquent le type nocturne. *E. fallax*, bien que s'alimentant en permanence, semble se nourrir plus intensément au lever et au coucher du soleil. Chez *T. obtusifrons* et *T. pectinata*, la courbe présente une légère convexité qui annonce le type intermédiaire (i). Toutes ces espèces ayant une activité nutritionnelle permanente, leur indice de réplétion moyenne sur 24 h (IRM) est élevé (63 à 93).

Type intermédiaire (i). Chez *Nematobranchion boopis* et *Nematoscelis tenella* la nutrition est la plus intense au coucher du soleil, la plus ralentie au lever du soleil: la période d'alimentation active s'étend approximativement de midi à minuit.

Type diurne (D). A l'exception de *Thysanopoda cristata*, ce type nutritionnel est propre à toutes les espèces du genre *Stylocheiron*, *S. abbreviatum*, *S. longicorne*, *S. elongatum*, *S. suhmi*, *S. carinatum*, *S. affine*. Le rythme nutritionnel est très marqué, la nutrition étant pratiquement nulle pendant la nuit chez les 5 dernières espèces, très ralentie chez *S. abbreviatum*. Le pourcentage des estomacs pleins étant en outre généralement peu élevé (sauf chez *S. elongatum*), même pendant la phase d'alimentation active, les IRM sont faibles (11 à 53).

Discussion et conclusions

En schématisant les résultats qui viennent d'être exposés, on constate que chaque genre correspond (avec quelques exceptions) à un comportement nutritionnel bien défini.

Toutes les espèces du genre *Euphausia* (sauf *E. fallax* et *E. gibboides* qui sont du Type P) appartiennent au Type N (nocturne): nutrition la plus active de nuit, s'intensifiant cependant dès la fin de la période diurne (16 h). Nutrition diurne ralentie mais non nulle. Ce rythme nutritionnel est vraisemblablement déterminé par la disponibilité,

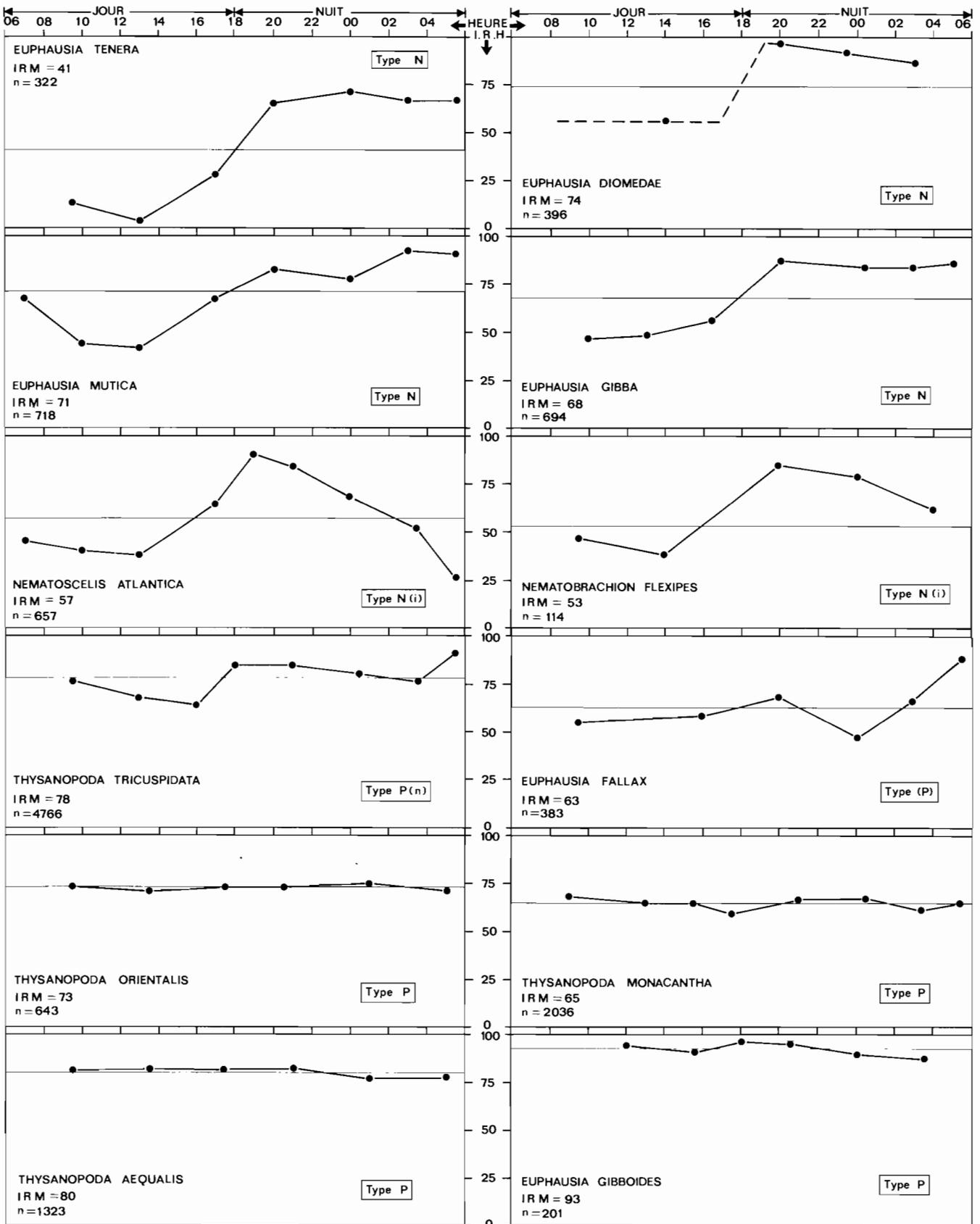
aux différentes heures, de proies de dimensions adéquates en fonction de la répartition bathymétrique des *Euphausia*, qui sont de grands migrateurs. Etant en général de petite taille ils trouvent surtout de nuit en subsurface les petites proies qui leur conviennent, mais celles-ci sont rares en profondeur, même pendant le jour, ce qui explique le ralentissement diurne de la nutrition. On constate en effet que le rythme est d'autant plus marqué que l'espèce est plus petite: très net chez *E. tenera*, le plus petit des *Euphausia*, qui ne trouve pratiquement aucune proie à sa taille en profondeur pendant le jour, absent chez *E. fallax* et *E. gibboides*, les plus gros des *Euphausia*, qui trouvent à toutes les immersions des proies dont les dimensions leur conviennent. Comme les *Thysanopoda* et pour la même raison (grande taille), ces deux dernières espèces appartiennent au Type P.

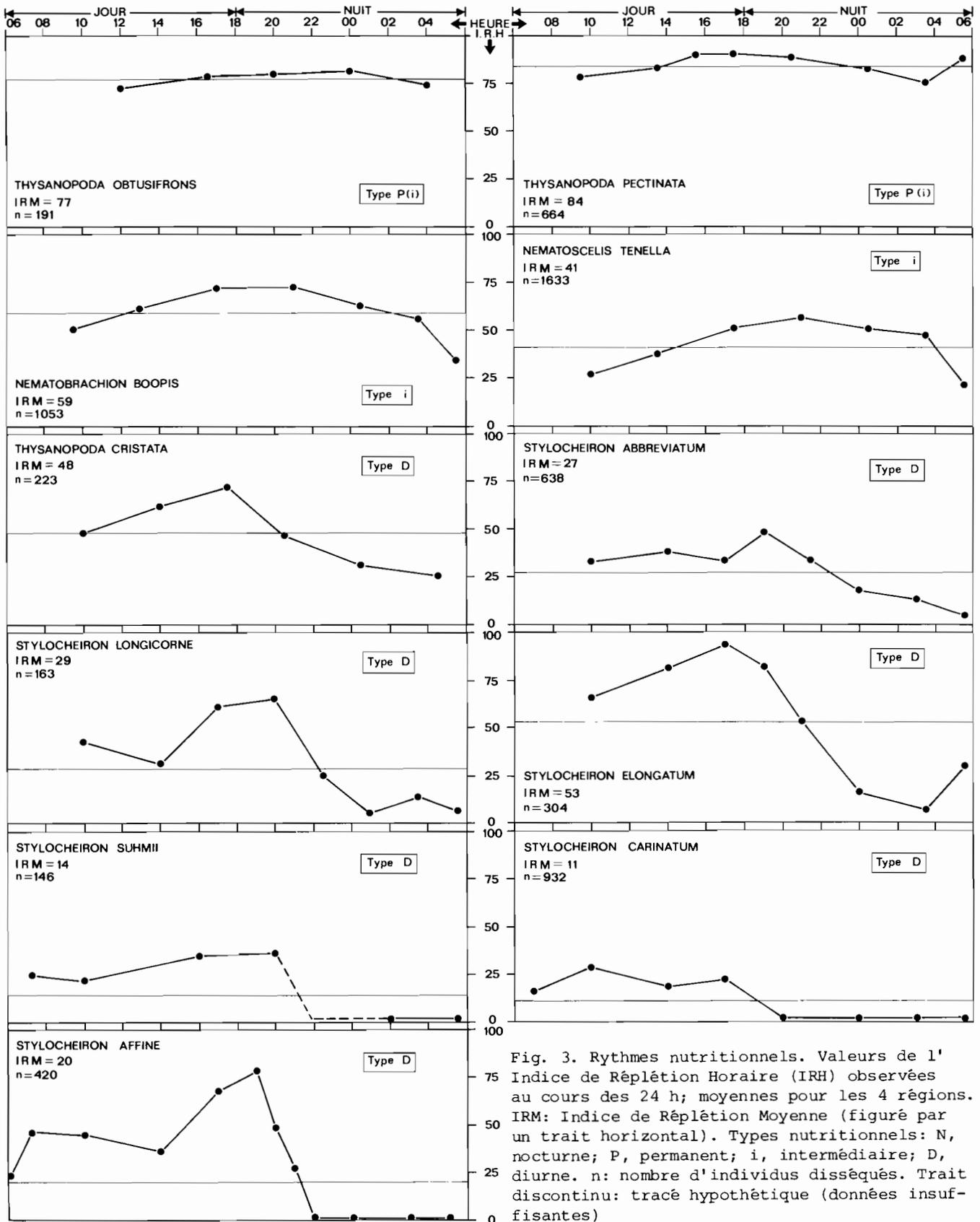
Toutes les espèces du genre *Thysanopoda* (sauf *T. cristata* qui est du Type D) appartiennent au Type P (permanent): la nutrition est pratiquement continue et ne montre un certain ralentissement diurne que chez *T. tricuspidata*. *Euphausia fallax*, qui se rattache à ce type, présente en outre une intensification de la nutrition au lever et au coucher du soleil.

Les *Nematoscelis* et *Nematobranchion* sont du Type i (intermédiaire): nutrition la plus active au coucher du soleil. Toutefois, la période d'alimentation intense, qui s'étend de midi à minuit chez *Nematobranchion boopis* et *Nematoscelis tenella*, ne commence qu'en fin de période diurne (16 h) chez *Nematoscelis atlantica* et *Nematobranchion flexipes*: ces deux dernières espèces sont donc intermédiaires entre les Types N et i (Type Ni).

Enfin, toutes les espèces du genre *Stylocheiron* appartiennent au Type D (diurne): nutrition active pendant le jour, mais très ralentie ou nulle pendant la nuit, bien qu'elles partagent alors le biotope de leurs proies; cela conduit à des indices de réplétion moyenne sur 24 h (IRM) très faibles. L'appartenance de *Thysanopoda cristata* à ce type s'explique par le fait que cette espèce profonde voit son biotope déserté pendant la nuit, en raison de la migration verticale de la plupart de ses proies potentielles (zooplancton, notamment copépodes).

En outre, il apparaît que les différents genres ont adopté des voies différentes pour satisfaire leurs besoins alimentaires. Si on positionne les espèces sur un graphique dont les coordonnées sont l'Indice de Réplétion Moyenne (IRM) de l'estomac sur 24 h, et le Con-





tenu Stomacal Relatif (CSR), on constate en effet les faits suivants (Fig. 4).

Les deux valeurs sont faibles chez les *Stylocheiron* (Type D), qui, par conséquent, consomment peu.

Le CSR demeure faible chez les *Thysanopoda* et *Euphausia*, mais leur nutrition presque permanente (Types N et P) conduit à des IRM élevés. Les besoins nutritionnels plus importants que chez les *Stylocheiron* sont donc ici satisfaits, en dépit d'un faible contenu stomacal, par une grande extension de la période de nutrition.

Au contraire chez les *Nematobrachion* et *Nematoscelis*, la quantité nécessaire de nourriture est acquise grâce à une augmentation considérable du contenu stomacal, qui compense un IRM relativement faible (période de nutrition limitée).

Comme il a été dit précédemment, on peut estimer l'intensité relative de la nutrition chez les diverses espèces en considérant le produit CSR x IRM. Il est clair en effet qu'une même quantité de nourriture peut être consommée en 24 h soit par une nutrition continue (IRM élevé), soit par l'ingestion en peu de temps d'une grande quantité de nourriture (CSR élevé). Les valeurs de cette intensité nutritionnelle relative sont reportées dans le Tableau 4. On constate que les valeurs les plus faibles (7 à 35) caractérisent les espèces du genre *Stylocheiron*; les *Euphausia* et *Thysanopoda* ont une intensité nutritionnelle plus élevée, comprise entre 39 et 102; enfin, la nutrition est très forte chez les *Nematobrachion*, et surtout chez les *Nematoscelis*. On notera, toutefois, que ces valeurs ne sont comparables que si la vitesse de digestion est à peu près la même chez toutes les espèces, ce qui n'est pas certain en raison de leurs biotopes diurnes très dissemblables (au plan thermique en particulier).

Ces comportements très typiques des différents genres sont évidemment liés à d'autres paramètres qui les caractérisent de façon tout aussi nette; parmi ceux qui sont maintenant bien connus figure le comportement bathymétrique des espèces (cf. Roger, 1974), rap- pelé dans le Tableau 4. Si on analyse comparativement ces diverses données, il apparaît immédiatement que les espèces migratrices s'alimentent pendant une période beaucoup plus étendue que les non migratrices. Il est difficile de dire si la migration nycthémerale permet cette continuité, ou si, au contraire, elle la rend nécessaire du fait des dépenses énergétiques supplémentaires qu'elle implique. Quoiqu'il en soit, le fait est patent: le rythme nutritionnel est d'autant moins accusé que l'ampli-

tude de la migration verticale nycthémerale est plus grande (Fig. 5). Alors que les non migrateurs ne s'alimentent que pendant une période assez brève, les grands migrateurs se nourrissent en permanence, sauf lorsque, comme chez certains *Euphausia*, le prédateur est de trop petite taille pour trouver de jour, en profondeur, des proies dont les dimensions lui conviennent. Notons que ces résultats sont en désaccord complet avec les conclusions de Ponomareva (1971), fondées sur l'étude d'un plus petit nombre d'espèces.

Le fait que la migration verticale permette une alimentation permanente, ou y oblige une espèce, n'implique pas pour autant que le comportement migratoire soit "avantageux", comme le suggère McLaren (1963), en faisant bénéficier les espèces qui le pratiquent d'un "bonus" énergétique. En effet, si tel était le cas, on devrait observer, pour une intensité nutritionnelle donnée, un rendement croissant avec l'amplitude de la migration verticale. Ne connaissant pas la production des espèces, on ne peut connaître leur rendement *sensu stricto*, c'est-à-dire le rapport entre leur production pendant un temps donné et leur consommation pendant ce même temps. Mais, du fait que, dans une région déterminée, les biomasses relatives des diverses espèces sont toujours à peu près les mêmes, on peut considérer que la production équilibre exactement pour chacune d'elles les pertes qu'elle subit par mortalité naturelle ou du fait des prédateurs. Il existe donc une relation bien définie entre production et biomasse, et le premier de ces paramètres peut être remplacé par le second dans le cas où on cherche à estimer ce que l'espèce offre comme ressource alimentaire à ses prédateurs potentiels. Le "rendement" ainsi défini sera donc: biomasse totale de l'espèce:nourriture absorbée journellement, c'est-à-dire, biomasse offerte en permanence au niveau trophique supérieur: biomasse consommée par jour aux dépens du niveau trophique inférieur. En effet, il est possible que le rendement *sensu stricto* des migrateurs soit meilleur que celui des sédentaires, mais si le "bonus" ainsi acquis est utilisé à autre chose qu'une augmentation de biomasse de l'espèce (par exemple à une respiration plus intense ou à un surcroît d'activité locomotrice), ce bonus est sans intérêt pour les niveaux trophiques supérieurs, et, par conséquent, ne doit pas être pris en compte dans l'optique d'une étude trophique.

On doit donc établir un bilan quantitatif de la prédation exercée par

Tableau 4. Types nutritionnels, Intensité Nutritionnelle Relative et amplitude de la migration verticale nyctémérale. -: pas de données

Espèces	Type nutritionnel (cf. texte)	IRM	CSR (%)	Intensité Nutritionnelle Relative: IRM x CSR	Amplitude de la migration verticale (m)
<i>Thysanopoda cristata</i>	D	48	1,2	58	200
<i>T. tricuspidata</i>	P(N)	78	1,0	78	350
<i>T. orientalis</i>	P	73	0,6	44	100
<i>T. monacantha</i>	P	65	0,6	39	350
<i>T. pectinata</i>	P(i)	84	0,6	50	300
<i>T. aequalis</i>	P	80	0,6	48	450
<i>T. obtusifrons</i>	P(i)	77	0,6	46	350
<i>Stylocheiron carinatum</i>	D	11	0,6	7	0
<i>S. abbreviatum</i>	D	27	1,3	35	100
<i>S. elongatum</i>	D	53	0,6	32	0
<i>S. longicorne</i>	D	29	0,6	17	0
<i>S. affine</i>	D	20	0,6	12	0
<i>S. suhmii</i>	D	14	0,6	8	0
<i>Euphausia fallax</i>	(P)	63	1,1	69	200
<i>E. gibboides</i>	P	93	1,1	102	-
<i>E. diomedae</i>	N	74	0,6	44	400
<i>E. mutica</i>	N	71	0,6	43	400
<i>E. gibba</i>	N	68	0,7	48	450
<i>E. tenera</i>	N	41	1,0	41	350
<i>Nematoscelis tenella</i>	i	41	3,2	131	150
<i>N. atlantica</i>	N(i)	57	5,0	285	200
<i>Nematobranchion boopis</i>	i	59	1,9	112	100
<i>N. flexipes</i>	N(i)	53	1,8	95	100

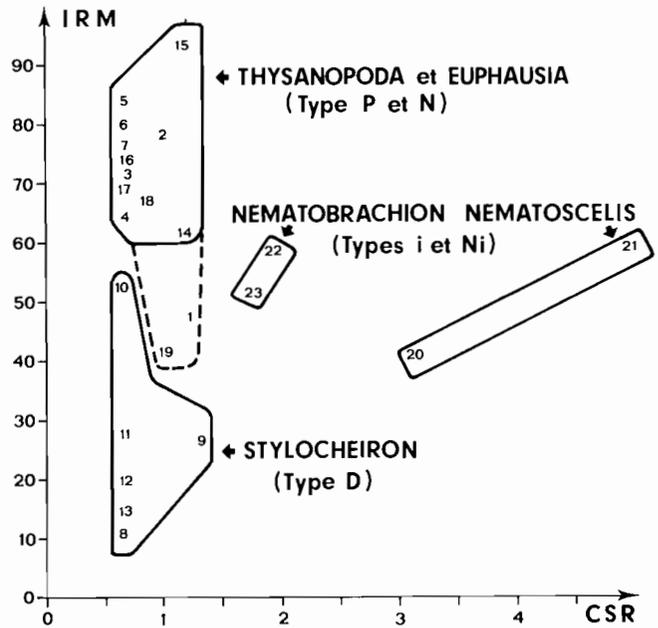


Fig. 4. Valeurs de l'Indice de Réplétion Moyenne (IRM) et du Contenu Stomacal Relatif (CSR) chez les différentes espèces. 1-23: numéros de code des espèces (cf. Tableau 1). P, N, i, Ni, D: Types nutritionnels (cf. texte)

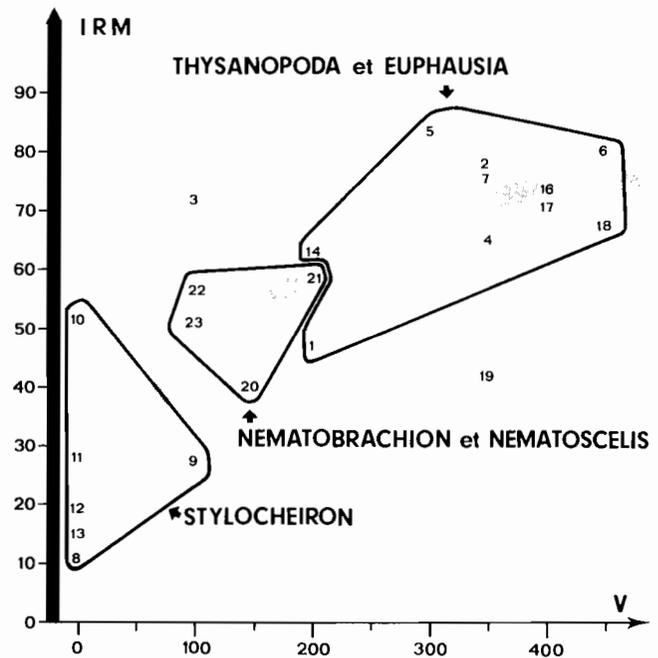


Fig. 5. Relation entre l'Indice de Réplétion Moyenne (IRM) et l'amplitude de la migration verticale nyctémérale (V, en mètres). 1-23: numéros de code des espèces (cf. Tableau 1)

Tableau 5. Quantité de nourriture (mg/1000 m³) consommée par l'ensemble des euphausiacés, pour un remplissage stomacal de chaque individu en phase d'alimentation. D'après les données de la Zone IV (22°S; 166°E)

Couche (m)	Jour,	Nuit,	Moyenne sur 24 h
	06.00-16.00 hrs	20.00-06.00 hrs	
0-200	0,7	45,5	23,1
200-400	7,9	18,5	13,2
400-600	42,6	11,5	27,1
600-800	4,2	1,8	3,0
Moyenne pour l'ensemble de la Couche 0-800 m			
	13,9	19,3	16,6

l'ensemble de la population d'euphausiacés sur les niveaux trophiques inférieurs. Or, ce bilan n'est autre que la somme, pour les différentes espèces, du produit des paramètres suivants: abondance de chaque espèce aux différentes immersions et aux différentes heures, exprimée par exemple en nombre d'individus par 1000 m³ (d'après Roger, 1974); poids moyen d'un contenu stomacal en mg (d'après Tableau 3); indice de réplétion moyenne des estomacs pour chaque espèce aux différentes heures (d'après Fig. 3).

La somme des produits de ces trois valeurs pour l'ensemble des espèces, en faisant la moyenne des valeurs trouvées pour le jour et la nuit, représente le poids de nourriture, en mg par 1000 m³, consommé par l'ensemble des euphausiacés lorsque chaque individu en phase d'alimentation effectue un remplissage stomacal. Ces valeurs sont reportées dans le Tableau 5, d'après les données concernant la Zone IV. On ne possède malheureusement aucune mesure de la durée du transit stomacal, c'est-à-dire du nombre moyen de remplissages de l'estomac en 24 h, paramètre indispensable à la connaissance de la quantité totale de nourriture consommée pendant un temps donné. Cependant, en observant la courbe de l'Indice de Réplétion Horaire (Fig. 3) pour les espèces présentant un rythme nutritionnel bien marqué (par exemple *Euphausia tenera*, *Stylocheiron carinatum* et *S. affine*), on peut estimer le temps nécessaire pour passer d'une forte proportion d'estomacs pleins à une forte proportion d'estomacs vides, c'est-à-dire la durée du transit gastrique. Il apparaît que celle-ci doit être de l'ordre de deux heures. En admettant cette valeur, et en la supposant identi-

que chez toutes les espèces, on peut évaluer la quantité de nourriture prélevée en 24 h par les euphausiacés sur les niveaux trophiques inférieurs, qui sont le phytoplancton et le petit zooplancton dans les proportions respectives de 20 et 80% environ. Ces estimations sont reportées dans le Tableau 6 (Colonnes 3, 4 et 5), mais il faut insister sur leur caractère spéculatif: elles sont en effet calculées à partir d'un transit stomacal moyen estimé à 2 h pour toutes les espèces. Or, il n'est pas exclu que le processus digestif soit, en fait, ralenti chez les espèces migratrices lorsqu'elles se trouvent de jour, en profondeur, à des températures beaucoup plus basses que les non migrateurs; si tel était le cas, la différence de "rendement" (biomasse offerte:nourriture absorbée) serait atténuée entre les migrants et les non migrants. Donc, en admettant un transit stomacal à peu près uniforme de 2 h environ chez toutes les espèces, on constate (Tableau 6) que, dans la Zone IV (22°S; 166°E), la population d'euphausiacés représente 2445 mg/1000 m³ pour l'ensemble de la couche 0 à 800 m qui constitue le biotope du groupe¹. Cette population consomme environ 178 mg de nourriture par 1000 m³ en 24 h, toujours en considérant la moyenne obtenue sur les 800 premiers mètres; cela signifie que la population consomme son propre poids en 14 jours. Cependant, on constate de grandes différences d'un genre à l'autre puisque les moyennes sont de 61 jours chez les *Stylocheiron*, 18 jours chez les *Euphausia*, 13 jours chez les *Thysanopoda*, 8 jours chez les *Nematobranchion* et 3,5 jours chez les *Nematoscelis*. Ainsi, toujours en postulant un transit stomacal analogue pour les différents genres, on observe que le "rendement" biomasse offerte:nourriture absorbée est à peu près 4 fois meilleur chez les *Stylocheiron* non migrants que chez les *Euphausia* et *Thysanopoda* migrants. Ce "rendement" est en outre particulièrement faible chez les espèces (*Nematobranchion*, *Nematoscelis*) qui cumulent les dépenses énergétiques: maintien d'une taille individuelle assez élevée, protection des oeufs, migration verticale d'une certaine amplitude.

¹ Cette biomasse a été calculée d'après les poids individuels moyens du Tableau 3, qui sont ceux des individus utilisés pour les pesées des contenus stomacaux; en réalité, ceux de la Zone IV étaient plus petits, puisque la biomasse moyenne de la couche 0 à 800 m ne s'élevait en fait qu'à 1770 mg/1000 m³ (Roger, 1974).

Tableau 6. Quantités de nourriture (mg/1000 m³) consommées par les euphausiacés en 24 h, en admettant un transit stomacal moyen de 2 h pour toutes les espèces. D'après les données de la Zone IV (22°S; 166°E). Valeurs moyennes pour l'ensemble de la couche 0 à 800 m

Espèces	Nombre d'individus/1000 m ³ , moyenne pour la couche 0 - 800 m (d'après Roger, 1974)	Biomasse cor-respondante pour des ani-maux dont le poids moyen serait celui figurant dans le Tableau 3	Quantité de nourriture nécessaire pour 1 rem-plissage sto-macal de tous les individus = (1) x poids du contenu stomacal	Nourriture ingérée en 24 h en admettant un transit stomacal de 2 h. Moyenne pour la couche 0 - 800 m, en mg par 1000 m ³ = (3) x IRM x 12	Nombre de jours nécessaires pour que les animaux consomment leur propre poids en nourriture = $\frac{(2)}{(4)}$
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
<i>Thysanopoda tricuspi-data</i>	3,8	365	3,80	35,57	10
<i>T. orientalis</i>	0,8	126	0,80	7,01	18
<i>T. monacantha</i>	0,2	32	0,20	1,56	21
<i>T. pectinata</i>	0,3	47	0,30	3,02	16
<i>T. aequalis</i>	2,0	68	0,40	3,84	18
<i>T. obtusifrons</i>	0,4	32	0,19	1,76	18
Total <i>Thysanopoda</i>	7,5	670	5,69	53	13
<i>Stylocheiron carinatum</i>	34	170	1,02	1,35	126
<i>S. abbreviatum</i>	2,5	43	0,55	1,78	24
<i>S. elongatum</i>	3,2	26	0,16	1,02	26
<i>S. longicorne</i>	1,7	8,5	0,05	0,17	50
<i>S. affine</i>	20	40	0,20	0,48	83
<i>S. suhmii</i>	1,7	3,4	0,02	0,034	100
Total <i>Stylocheiron</i>	63	292	2,00	4,8	61
<i>Euphausia fallax</i>	1,9	80	0,86	6,50	12
<i>E. mutica</i>	83	913	5,81	49,50	18
<i>E. gibba</i>	15	165	1,20	9,79	17
<i>E. tenera</i>	26	52	0,52	2,56	20
Total <i>Euphausia</i>	126	1210	8,39	68	18
<i>Nematoscelis tenella</i>	1,4	36	1,16	5,71	6
<i>N. atlantica</i>	7,5	75	3,75	25,65	3
Total <i>Nematoscelis</i>	8,9	111	4,91	31	3.5
<i>Nematobranchion boopis</i>	1,4	151	2,80	19,82	8
<i>N. flexipes</i>	0,2	11	0,20	1,27	9
Total <i>Nematobranchion</i>	1,6	162	3,00	21	8
Ensemble des euphausiacés	207	2445	24	178	14

Il apparaît donc que, toujours en restant dans l'optique de l'étude des réseaux trophiques, donc en considérant le bénéfice qu'apporte un comportement donné au niveau trophique supérieur, la migration verticale journalière n'est pas "avantageuse", bien au contraire. Mais sans doute remplit-elle d'autres fonctions, non moins essentielles, et en particulier celle de permettre une diffusion rapide dans toute l'épaisseur de la masse d'eau, de l'énergie synthétisée en subsurface (Vinogradov, 1968).

Remerciement. L'auteur exprime ses remerciements à MM. R. Grandperrin et J.A. Gueredrat pour les critiques constructives émises au cours de l'élaboration du manuscrit.

Littérature citée

- Ackman, R.G., C.A. Eaton, J.C. Sipos, S.N. Hooper and J.D. Castel: Lipids and fatty acids of two species of north Atlantic krill (*Meganyctiphanes norvegica* and *Thysanoessa inermis*) and their role in aquatic food webs. *J. Fish. Res. Bd Can.* 27, 513-533 (1970)
- McLaren, I.A.: Effects of temperature on growth of zooplankton and the adaptive value of vertical migration. *J. Fish. Res. Bd Can.* 20, 685-727 (1963)
- Nemoto, T.: History of research into the food and feeding of euphausiids. *Proc. R. Soc. Edinb. (Sect. B)* 73 (26), 259-265 (1971)
- Petipa, T.S., E.V. Pavlova, Yu.I. Sorokin and E.P. Delalo: On the estimation of grazing and the utilization of bacteria, algae and animals by large zooplankton in the tropical zone of the Pacific Ocean. *Communication International Marine Science Symposium, Sydney*, 2 pp. (multigr.) (1971)
- Ponomareva, L.A.: Circadian migrations and feeding rhythm of some Indian Ocean euphausiid species. *Okeanologija* 11, 226-231 (1971)
- , A.G. Naumov and V.V. Zernova: The feeding of some euphausiids in the Indian Ocean. *Trudy Inst. Okeanol.* 58, 163-166 (1962)
- Roger, C.: Recherches sur la situation trophique d'un groupe d'organismes pélagiques (Euphausiacea). I. Niveaux trophiques des espèces. *Mar. Biol.* 18, 312-316 (1973a)
- Recherches sur la situation trophique d'un groupe d'organismes pélagiques (Euphausiacea). II. Comportements nutritionnels. *Mar. Biol.* 18, 317-320 (1973b)
- Répartitions bathymétriques et migrations verticales des euphausiacés (crustacés) dans les zones de pêche au thon du Pacifique sud tropical. *Cah. O.R.S.T.O.M. Sér. Océanogr.* 12, 221-239 (1974)
- Vinogradov, M.E.: Vertical distribution of the oceanic zooplankton. Translated 1970 by Israel Program for Scientific Translations Ltd., IPST Cat. No. 5513; 339 pp. (1968)

Dr. C. Roger
185 Av. de Fabron
06200 Nice
France

Date of final manuscript acceptance: May 14, 1975. Communicated by J.M. Pérès, Marseille

REMARQUES SUR LA CIRCULATION ET LES CARACTÉRISTIQUES HYDROLOGIQUES DE LA COUCHE SUPERFICIELLE ENTRE MADAGASCAR ET L'ÉQUATEUR

BERNARD PITON ET YVES MAGNIER

Océanographes de l'O.R.S.T.O.M., Nosy-Bé (Madagascar)

RÉSUMÉ

Entre le nord de Madagascar et la côte africaine, il existe, quelle que soit la saison, une veine de courant à vitesse renforcée, constituée par l'eau du courant sud-équatorial débordant le cap d'Amber; la vitesse y est supérieure à 1 noeud et peut atteindre 3-4 noeuds dans les parages du Cap d'Amber, du Cap Delgado et des îles; sa largeur est d'une centaine de milles. Dans la bande latitudinale 6° S-10° S, les courants géostrophiques de surface sont variables et faibles en cours d'année: on y trouve la limite entre le courant sud-équatorial et le contre-courant équatorial, à 6-7° S en hiver austral, à 9-10° S en été. Il n'existe pas de fronts thermiques; par contre, il a été mis en évidence des fronts de salinité entre l'eau salée de la Mer d'Arabie et l'eau dessalée du courant sud-équatorial.

La divergence sud-équatoriale est caractérisée par une remontée des isothermes, une augmentation des quantités de sels nutritifs et de celles de zooplancton mais sans augmentation appréciable des quantités de chlorophylle a dans les 100 premiers mètres.

ABSTRACT

Between Madagascar and the African coast, the South Equatorial Current strengthens when passing the Cape of Amber and the velocity can reach 3-4 knots near the Cape of Amber, the Cape Delgado and the islands of the Aldabra-Cosmoledo group. In the 6-10° S zone the surface current is weak and variable in direction. The boundary between the South Equatorial Current and the Equatorial Countercurrent lies at 6-7° S during the Southern Hemisphere winter and at 9-10° S in summer. In the 0-100 m layer it is marked by a doming of the isotherms, an increase of the quantities of nitrate and zooplankton but there is no enrichment in chlorophyll a. No thermal front has been put in evidence in this area but salinity fronts have been sometimes detected between the water coming from the Arabian Sea and the less saline water of the South Equatorial Current.

INTRODUCTION

De 1967 à 1973, le N.O. « VAUBAN » du Centre O.R.S.T.O.M. de Nosy-Bé a effectué plus de 300 stations hydrologiques dans l'ouest de l'océan Indien entre Madagascar, la côte Africaine, l'Équateur et les Seychelles (fig. 1). La taille insuffisante du bateau (24 mètres) ne permettait pas de faire des observations de juin à septembre, période des alizés forts.

Les stations ont été effectuées au cours de campagnes assez courtes (cf. tableau 1) ayant pour but d'apporter des précisions sur des zones d'intérêt particulier: la veine principale du courant sud-équatorial, ses bifurcations devant les côtes malgache et africaine, sa séparation d'avec le contre-courant équatorial.

Pour décrire les conditions physico-chimiques de surface nous ne grouperons pas entre elles les obser-

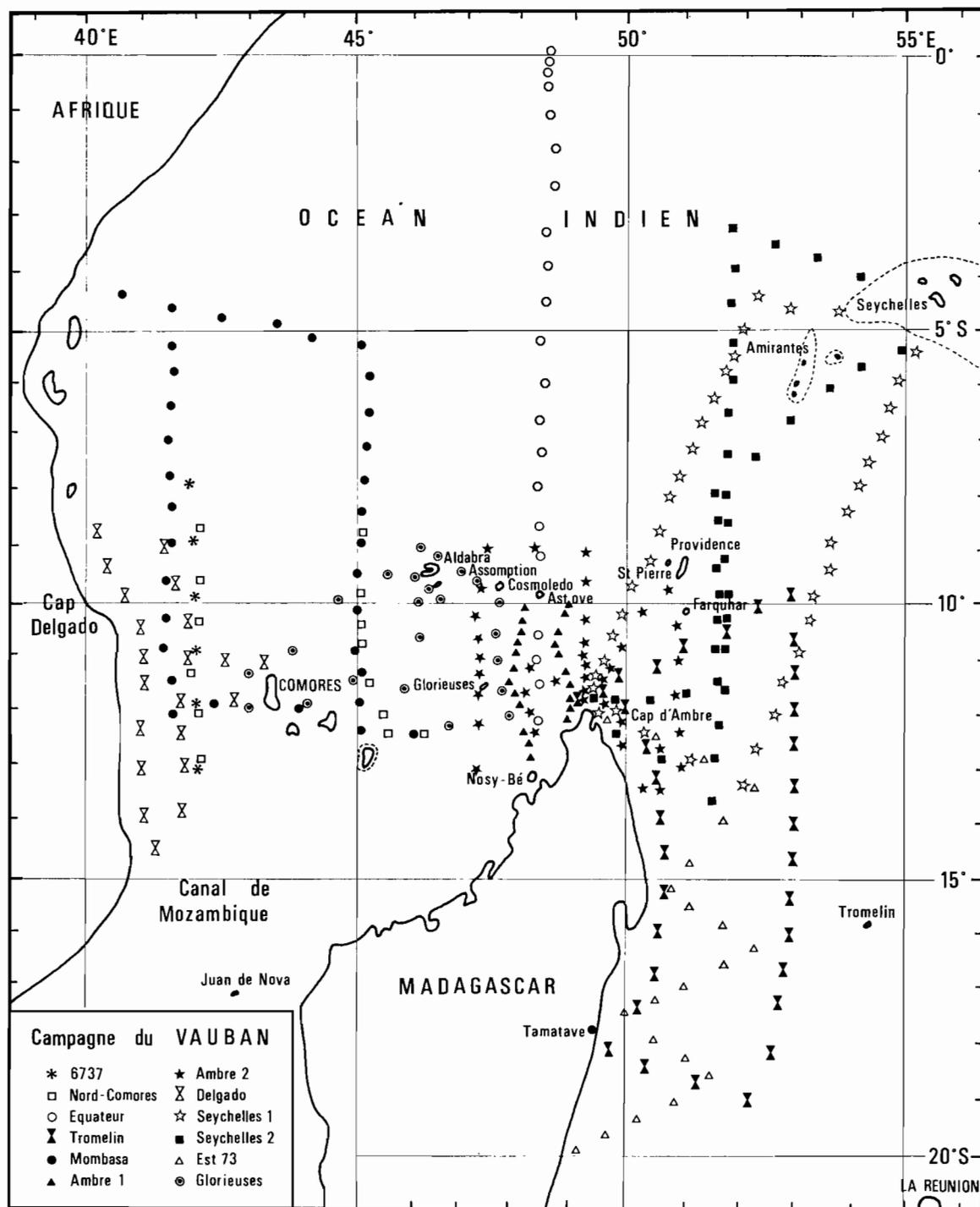


Fig. 1. — Positions des stations hydrologiques effectuées par le N.O. « VAUBAN » dans l'ouest de l'océan Indien entre Madagascar et l'équateur.

TABLEAU I

Campagnes océanographiques du N.O. « VAUBAN » effectuées de 1967 à 1973, dans le système des courants sud-équatoriaux à l'ouest de l'Océan Indien.

CAMPAGNES	DATE	NOMBRE DE STATIONS	RÉFÉRENCES
6737.....	12-17 sept. 67	6	NODC n° 55 0003.
6814 ou NORD-COMORES.....	5-16 mars 68	14	NODC n° 55 0004 et Centre O.R.S.T.O.M. de Nosy-Bé. Doc. n° 1.
Équateur (E. 70).....	10-21 déc. 70	22	NODC n° 55 0011 et Centre O.R.S.T.O.M. de Nosy-Bé. Doc. n° 26.
03-71 ou TROMELIN.....	10-23 fév. 71	32	NODC n° 55 0012 et Centre O.R.S.T.O.M. de Nosy-Bé. Doc. n° 26.
05-71 ou MOMBASA.....	10-27 mars 71	34	NODC n° 55 0013 et Centre O.R.S.T.O.M. de Nosy-Bé. Doc. n° 26.
12-71 (A. 71) AMBRE 1.....	18-29 mai 71	22	NODC n° 55 0014 et Centre O.R.S.T.O.M. de Nosy-Bé. Doc. n° 34.
24-71 (F. 71) AMBRE 2.....	23 nov.-11 déc. 71	39	NODC n° 55 0016 et Centre O.R.S.T.O.M. de Nosy-Bé. Doc. n° 34.
02-72 ou DELGADO.....	15-26 fév. 72	21	NODC n° 55 0017.
08-72 (S. 72) SEYCHELLES.....	5-18 avr. 72	41	NODC n° 55 0019.
32-72 (M. 72) SEYCHELLES.....	1-16 déc. 72	38	NODC n° 55 0020.
5-73 (E. 73)* ou EST 73.....	7-16 mars 73	21	NODC n° 55 0022.
7-73 (G. 73) GLORIEUSES.....	2-11 mai 73	23	NODC n° 55 0023 et Centre O.R.S.T.O.M. de Nosy-Bé. Doc. n° 40.

* Seules les stations situées au nord de 20° S sont utilisées.

ventions faites durant des campagnes différentes, mais discuterons des distributions obtenues à chaque campagne, en les plaçant dans le contexte océanographique général fourni par l'atlas de WYRTKI (1971), établi à partir de toutes les données antérieures à 1966.

REMARQUES SUR LE CLIMAT

Le climat de la région sud-équatoriale de l'ouest de l'Océan Indien est caractérisé par l'alternance de deux saisons :

— de novembre à mai (*été austral*), cette région est une zone de basse pression atmosphérique entre l'anticyclone de 30° S-40° S et celui du continent

asiatique (fig. 2 a); la position moyenne de la convergence intertropicale se trouve vers 10° S-12° S. Il s'ensuit qu'au nord de 5° S, le vent souffle du secteur nord nord-est (mousson de nord-est) et au sud de 15° S, du secteur est sud-est (fig. 2 b); entre 5° S-15° S les vents sont variables, dominants du secteur ouest dans le nord de Madagascar; c'est la zone des « calmes équatoriaux ».

— de juin à octobre (*hiver austral*), les basses pressions sont installées sur l'Asie et les hautes pressions se maintiennent vers 30° S (fig. 2 c); les alizés, atteignant fréquemment force 6, soufflent du secteur sud-est jusqu'à l'équateur et sont prolongés par la mousson de sud-ouest (fig. 2 d).

La symétrie dans le temps entre ces deux saisons

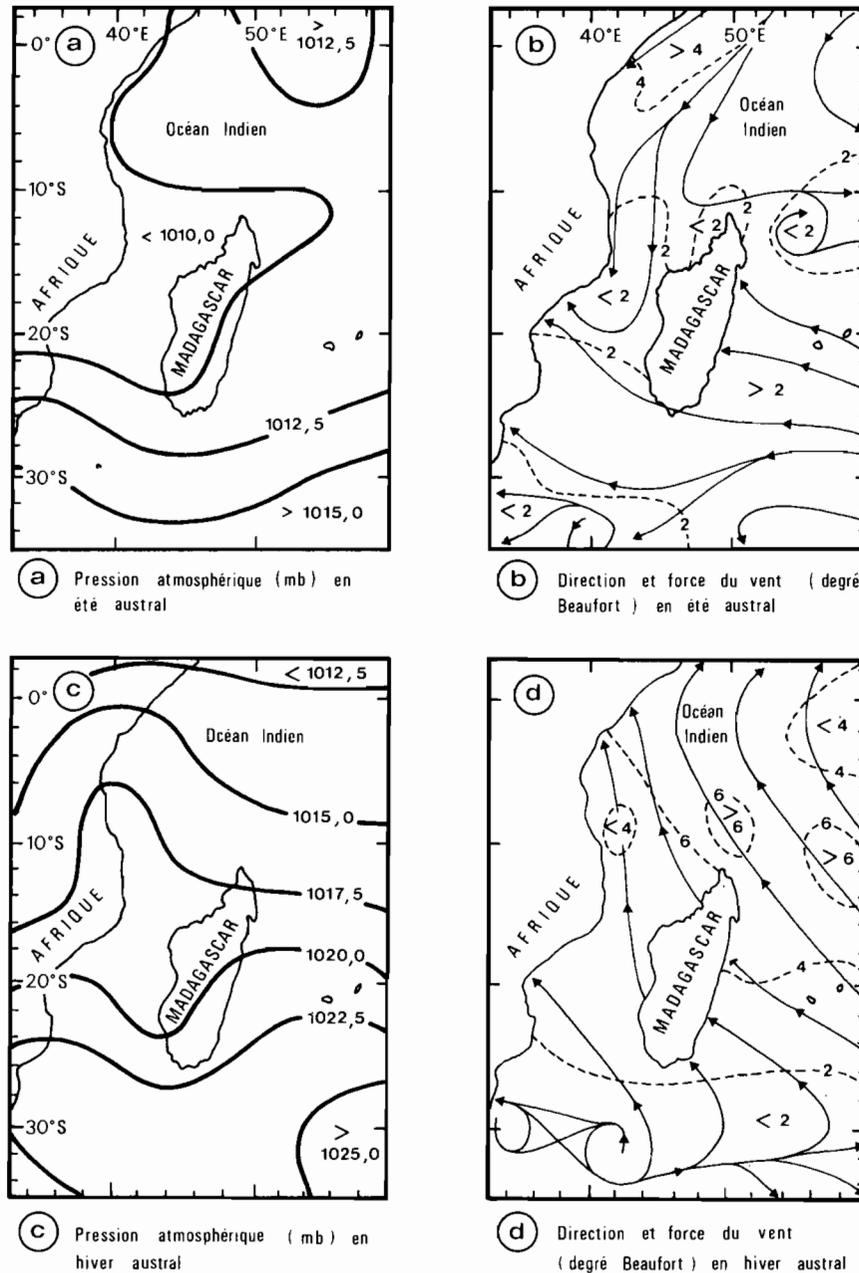


Fig. 2. — Éléments météorologiques sur le sud-ouest de l'océan Indien : pression atmosphérique, direction et force du vent.

n'est qu'apparente et en réalité (fig. 3 a, 3 b, 3 c) les vents de secteur est, sud-est et sud, qui sont les alizés au sens général, sont nettement plus fréquents à 2°30 S, 7°30 S et 11°33 S par 47-48° E, que les vents soufflant des autres secteurs, et ceci dès le mois d'avril à 2°30 S et 7°30 S et le mois de mars à 11°33 S, jusqu'au mois de novembre-décembre, soit 8 à 9 mois d'alizés contre 3 à 4 mois de vents varia-

bles. On peut donc penser que les alizés plus fréquents, beaucoup plus forts en plein hiver, et permanents au sud de 15° S, ont une influence prépondérante sur la circulation induite par le vent.

Les précipitations annuelles sur la mer semblent moins abondantes que ne l'indique la carte de SCHOTT (1935) qui fait état de 150 centimètres par an, alors que STODDART (1971) à partir des mesures

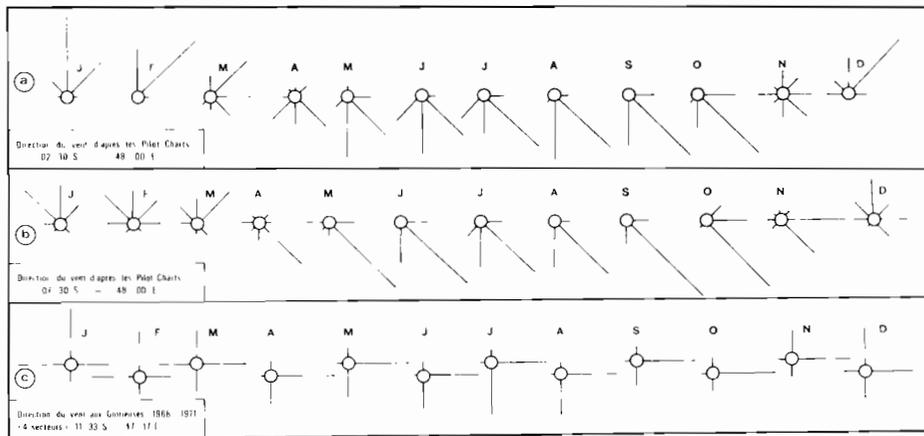


Fig. 3. — Direction du vent à trois latitudes différentes, à 48° E.

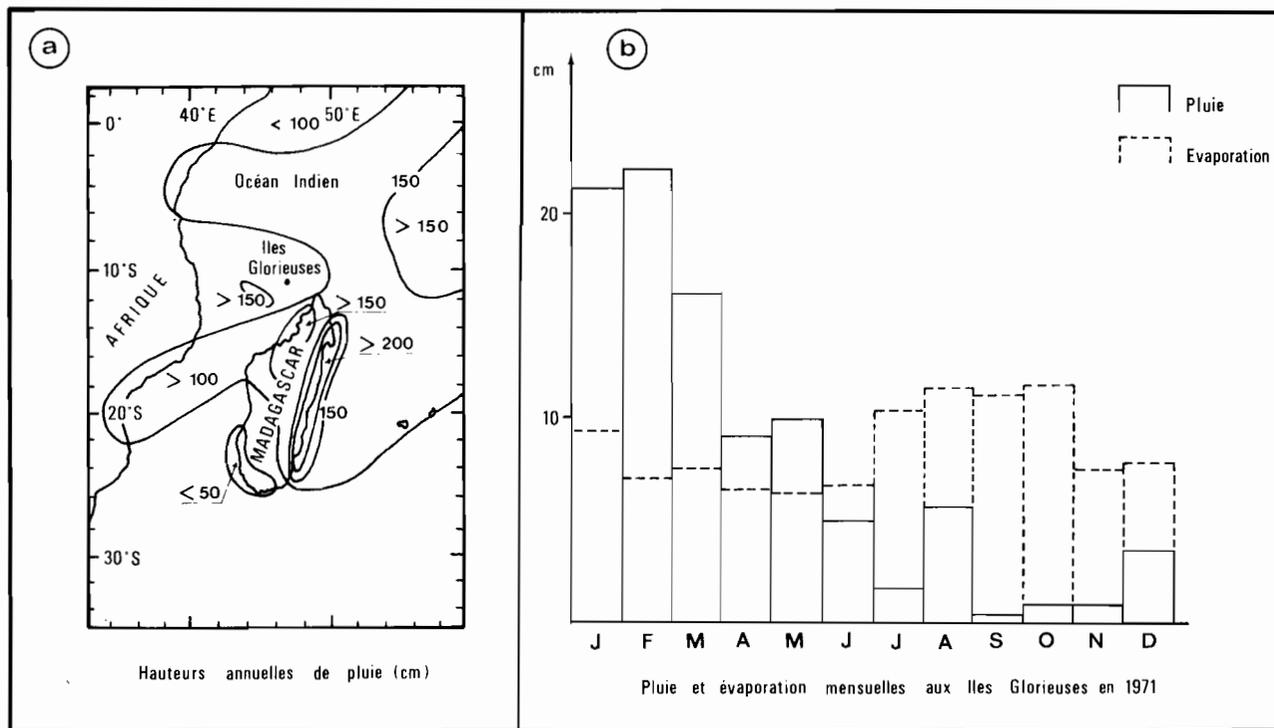


Fig. 4. — a) Carte des isohyètes annuelles sur le sud-ouest de l'Océan Indien et sur Madagascar et la côte africaine, d'après SCHOTT (1935), l'Atlas de Madagascar (1969) et STODDART 1971 ; b) Relevés pluviométriques et évaporométriques mensuels à la station météorologique des îles Glorieuses en 1971.

effectuées sur les îles coralliennes, trouve une moyenne annuelle de l'ordre de 100 centimètres. Nous avons dressé une carte des isohyètes annuelles (fig. 4 a) à partir de la carte de SCHOTT pour l'Afrique orientale, de celle de STODDART pour l'Ouest de l'Océan Indien sud-équatorial, et de celle fournie par l'Atlas de Madagascar (1969). On voit l'importance

de Madagascar (côte est et nord-ouest) dans la répartition des quantités de pluie : il tombe par endroits plus de 300 centimètres de pluie sur la côte est malgache. On divise classiquement l'année en deux périodes : la saison des pluies abondantes, de décembre à avril, et la saison où les pluies sont rares, de mai à novembre (fig. 4 b).

QUELQUES PARTICULARITÉS DE LA CIRCULATION SUPERFICIELLE

D'après les cartes trimestrielles de la topographie dynamique de la surface par rapport à 1000 décibars présentées dans l'atlas de WYRTKI, l'allure générale de la circulation serait la même tout au long de l'année : on a en effet un « sommet » dynamique vers 20° S dans l'est de Madagascar et un « creux » dynamique à 6-8° S au nord de Madagascar; entre les deux, circule le courant sud-équatorial (C.S.E.). Le contre-courant équatorial (C.C.E.) se situe au nord de 6° S.

1. Les campagnes TROMELIN et EST ont donné deux représentations du courant géostrophique de surface devant la côte nord-est de Madagascar pendant l'été austral. En février 1971 (fig. 5 a), on trouvait deux branches du C.S.E. bien distinctes, l'une dans le nord-est du cap d'Ambre où le courant portait à l'ouest nord-ouest, l'autre, vers 18-19° S, où il portait au sud le long de la côte; entre ces deux branches, de 13° S à 16° S, le courant était faible.

Dans le voisinage du cap d'Ambre, le courant de densité était peu important, alors que le courant de dérive avait une vitesse supérieure à 4 nœuds, observée par le « VAUBAN » à 30 milles au large par fond de 2000 mètres. Au large de Tamatave, le courant de dérive était de 2 nœuds, du même ordre de grandeur que la vitesse du courant géostrophique.

En mars 1973 (fig. 5 b) une cellule tourbillonnaire bien marquée à 18° S séparait la veine de courant portant au nord nord-ouest (1-2 nœuds à 15° S) de la veine portant au sud sud-est (1 nœud à 20° S).

Ces deux « images » différentes indiquent que la bifurcation du courant sud-équatorial est accompagnée de mouvements tourbillonnaires. D'autre part l'accumulation d'eau à la côte par le courant général d'afflux et les eaux de pluie et de ruissellement, donne naissance à une veine de courant fort devant le cap d'Ambre.

2. En définitive les observations du « VAUBAN » conduisent à trois représentations géostrophiques du C.S.E. :

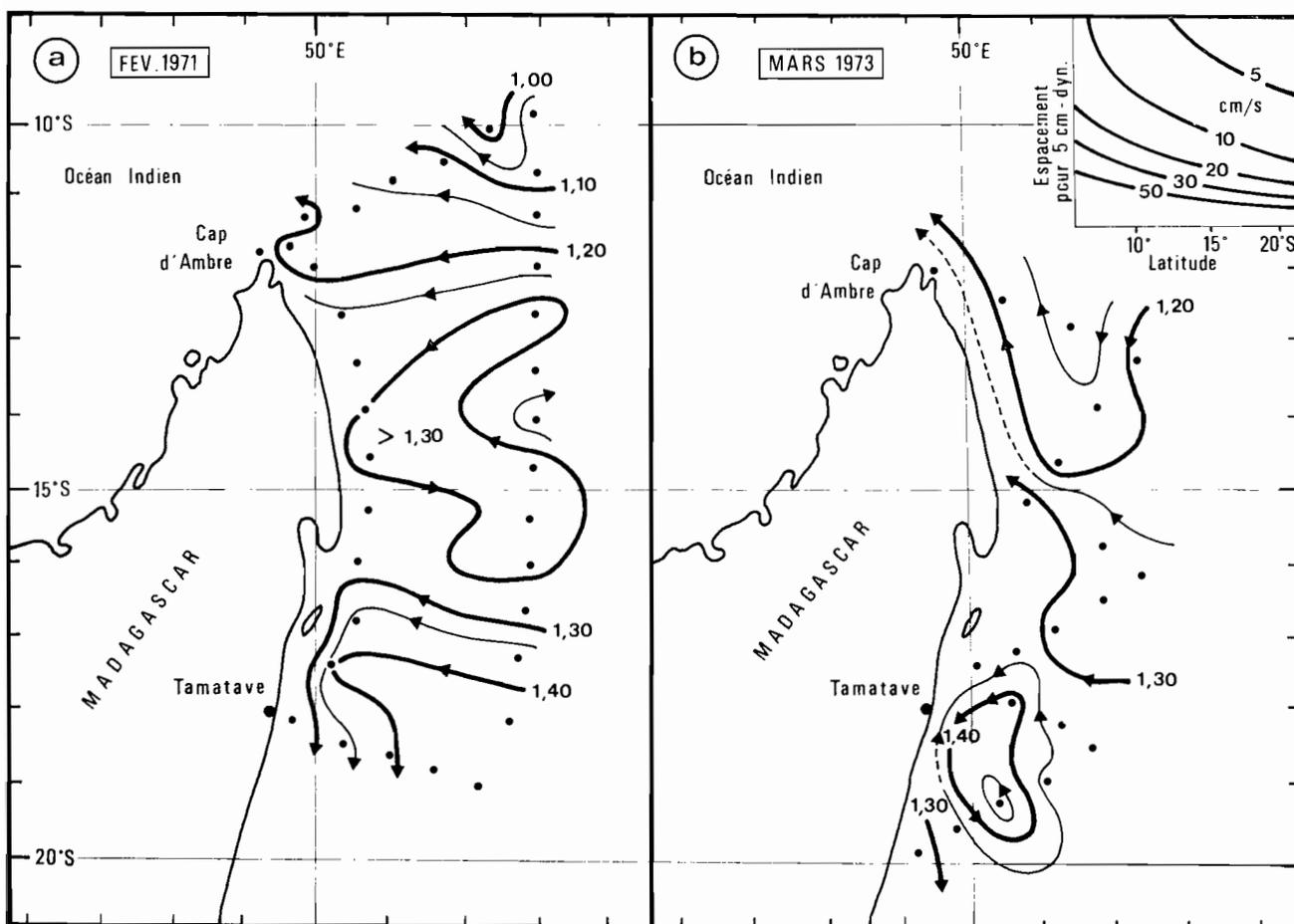


Fig. 5. — Courant géostrophique de la surface par rapport à 500 décibars dans le nord-est de Madagascar en février 1971 et mars 1973.

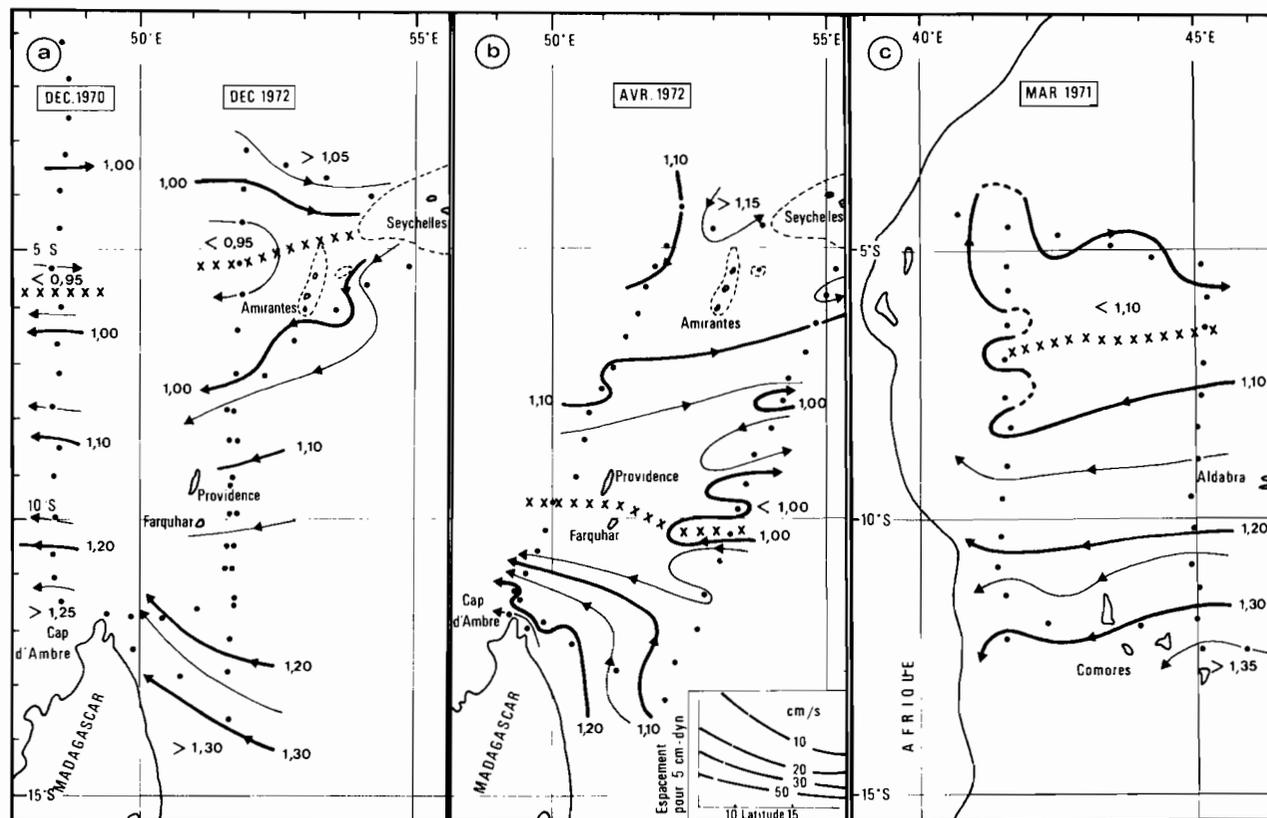


Fig. 6. — Courant géostrophique de la surface par rapport à 500 décibars entre 13° S et 3° S dans l'ouest de l'océan Indien, en décembre 1970 et 1972, avril 1972, et mars 1971.

— en décembre 1970 et 1972 (fig. 6 a) le C.S.E. s'étendait jusqu'à 5-6° S; sa vitesse près du Cap d'Ambre était inférieure à 1 nœud.

— en avril 1972 (fig. 6 b) la limite nord du C.S.E. était à 9-10° S; sa vitesse près du Cap d'Ambre dépassait 1,5 nœud.

— en mars 1971 (fig. 6 c) devant la côte africaine, la limite nord du C.S.E. était à 6-8° S.

Cette limite nord varie donc en latitude entre 5° S et 10° S; elle est associée à une divergence marquée par une remontée des isothermes dans l'eau sub-superficielle et intermédiaire (MAGNIER et PITON, 1973). Nous ne pouvons pas retenir que cette remontée soit liée à une divergence créée par la division du C.S.E. en deux branches, le courant de Somalie et le courant des Aiguilles comme indiqué dans IVANENKOV et GUBIN (1960) (hypothèse reprise par RYTHER *et al.* (1966) et CUSHING (1971) en particulier).

En effet, si l'on considère les images partielles du courant sud-équatorial entre Madagascar et la côte africaine rassemblées figure 7, on constate qu'entre 10° S et 12° S, sa vitesse est assez élevée (1-2 nœuds)

à toutes les époques d'observation. Dans le nord-ouest de Madagascar, on voit (fig. 7 a, 7 b, 7 c) que le C.S.E. reçoit l'eau du vortex anticyclonique du nord du canal de Mozambique (DONGUY et PITON, 1969). A l'approche de la côte africaine, il se divise en deux branches (fig. 7 e); mais, du moins en été, cette bifurcation se fait très près de la côte (à moins de 30 milles) car elle n'a pas été décelée en mars 1968 (fig. 7 d), ni en septembre 1967 (fig. 7 f) où les stations étaient situées à plus de 60 milles de la côte africaine.

3. Quelques flux dans les 300 premiers mètres.

D'après OVCHINNIKOV (1961), on peut admettre que le courant sud-équatorial dans le nord de Madagascar, entraîne une couche d'au moins 300 mètres d'épaisseur. Quelques flux dans les 300 premiers mètres ont été calculés par la méthode des fonctions de transport présentée par WYRTKI (1971), dans le nord de Madagascar. En décembre, le C.S.E. transporte de 22 à 23.10⁶ m³/s entre 12° S et 6° S; en avril, la quantité d'eau transportée est de 17 ×

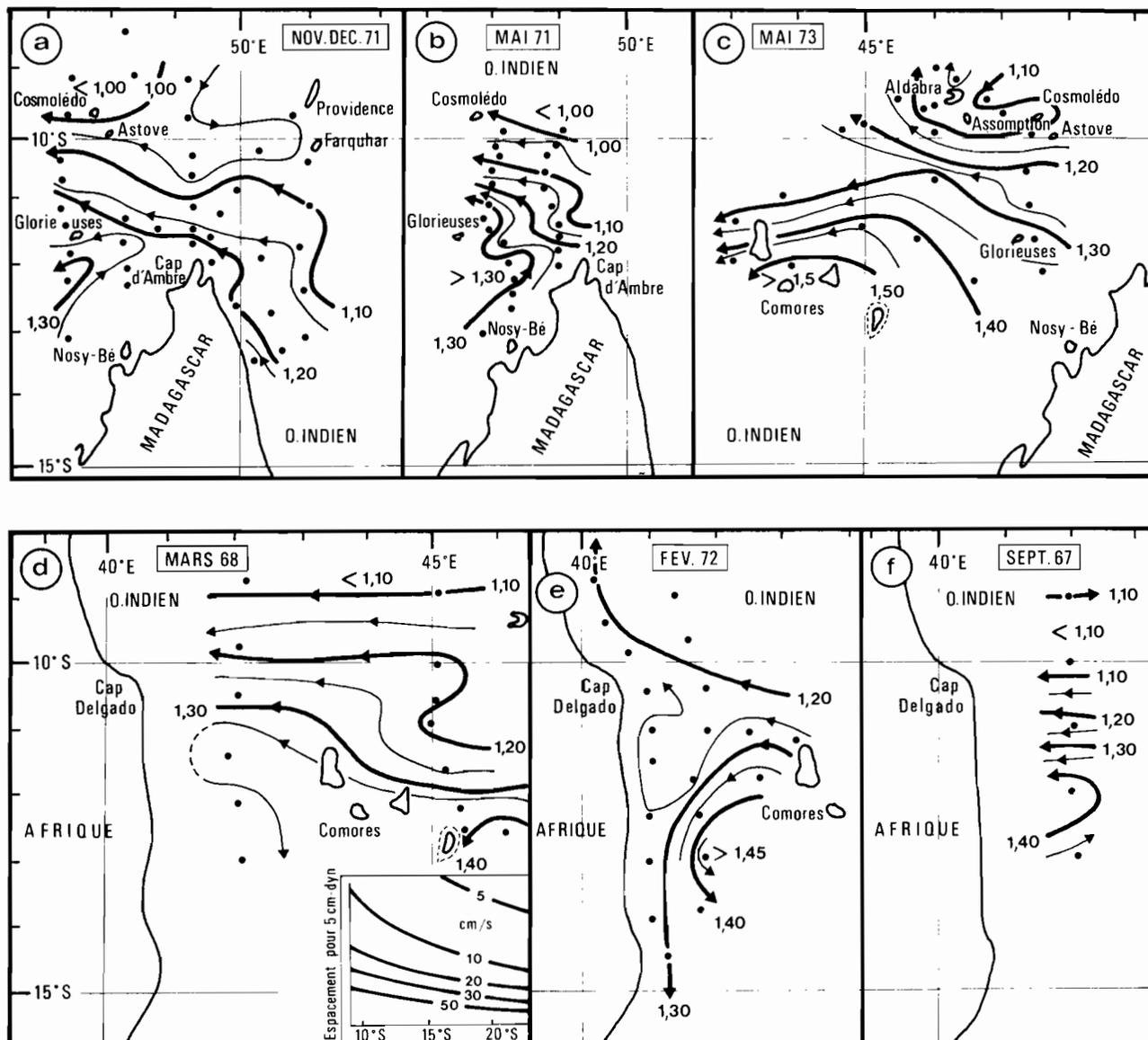


Fig. 7. — Courant géostrophique de la surface par rapport à 500 décibars entre 12° S et 9° S dans l'ouest de l'océan Indien de septembre à mars, entre 1968 et 1972.

10^6 m³/s, entre 12° S et 9° S. A l'ouest de 48° E on trouve des flux voisins de 24×10^6 m³/s, chiffre qui peut être retenu comme estimation du transport d'eau par le C.S.E. pendant toute l'année. Le flux du contre-courant équatorial est voisin de 1×10^6 m³/s à ces deux époques.

Dans la bifurcation devant Madagascar les veines des courants déviés avaient toutes deux un flux de 7 à 8×10^6 m³/s aussi bien en février 1971 qu'en mars 1973. Devant la côte africaine en février 1972 les flux d'eau déviée étaient de $7,7 \times 10^6$ m³/s vers le nord et de $10,5 \times 10^6$ m³/s vers le sud; cette inégalité provient certainement du vent de force 4 à 6

qui soufflait du nord au moment des observations; en l'absence d'autres mesures on ne peut pas conclure à la permanence de cette inégalité.

QUELQUES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES, CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES LIÉES A LA CIRCULATION SUPERFICIELLE

1. Propriétés de surface: température et salinité.

Dans cette partie de l'océan Indien, la répartition de la température de surface n'est pas liée à la circulation: il n'y a pas d'incursions d'eaux froides

créant des fronts thermiques, ni de refroidissement important par remontée d'eaux profondes jusqu'à la surface. On rencontre donc de grandes surfaces isothermes, à température maximale (28-29 °C) en mars-avril (fig. 8 a), minimale (25-26 °C) en juillet-août (fig. 8 b). On peut cependant noter que l'équateur thermique est situé entre l'équateur et 10° S en été, tandis qu'en hiver, la température de l'eau de surface au voisinage de 10° S est inférieure à 1 °C à celle de l'eau aux autres latitudes.

A l'inverse de la température, la salinité est une caractéristique des masses d'eau de surface. MAGNIER et PRON (1973) distinguent trois types d'eau superficielle dans la zone étudiée :

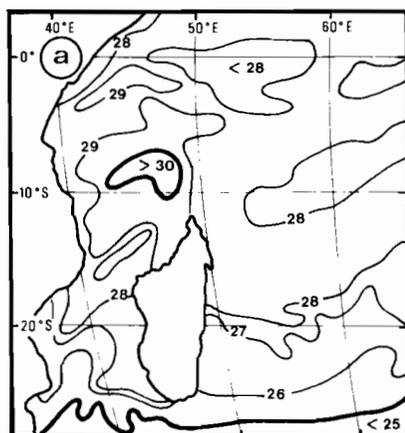
— l'eau équatoriale à salinité élevée (35,3 ‰ en décembre),

— l'eau du courant sud-équatorial à minimum de salinité (salinité inférieure à 34,7 ‰),

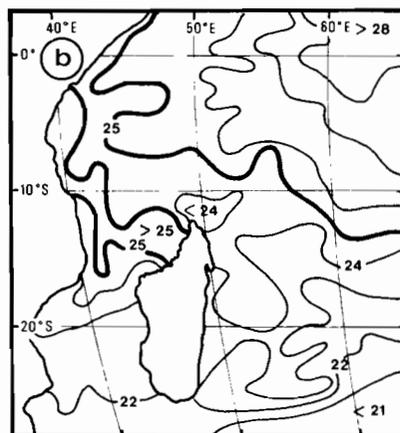
— l'eau du canal de Mozambique dont la salinité est grandement influencée par la proximité de Madagascar.

Le schéma général de la répartition de la salinité est donné par les figures 8 c et 8 d (WYRTKI, 1971) : le minimum de salinité du C.S.E. s'étend entre l'eau plus salée de la mer d'Arabie et celle de la convergence tropicale de 30° S. En fait, les différentes campagnes du « VAUBAN » ont fait apparaître des répartitions horizontales de salinité plus complexes et plus variables. Durant la période de dessalure maximale, février-mars-avril, on a trouvé de grandes différences d'une année à l'autre :

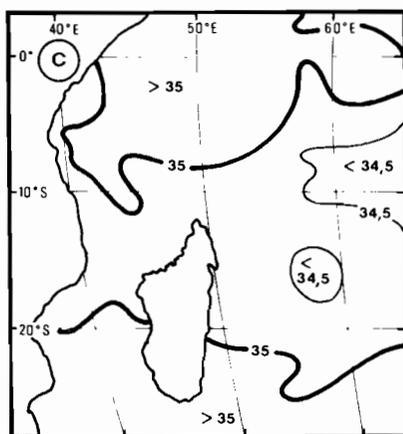
— Devant la côte nord-est de Madagascar, en



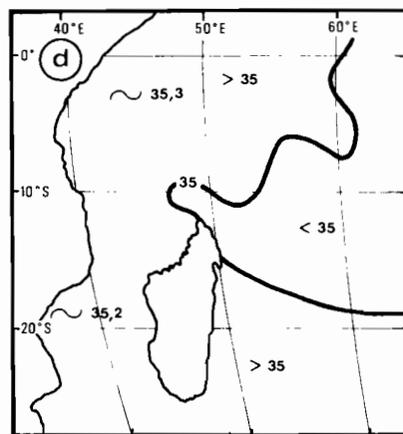
Mars 1963 - T °C



Août 1963 - T °C



Mars - Avril S ‰



Juillet - Août S ‰

Fig. 8. — Répartition horizontale de la température de surface aux mois de mars (a) et d'août (b) 1963, et de la salinité moyenne de surface en mars-avril (c) et juillet-août (d), d'après WYRTKI (1971).

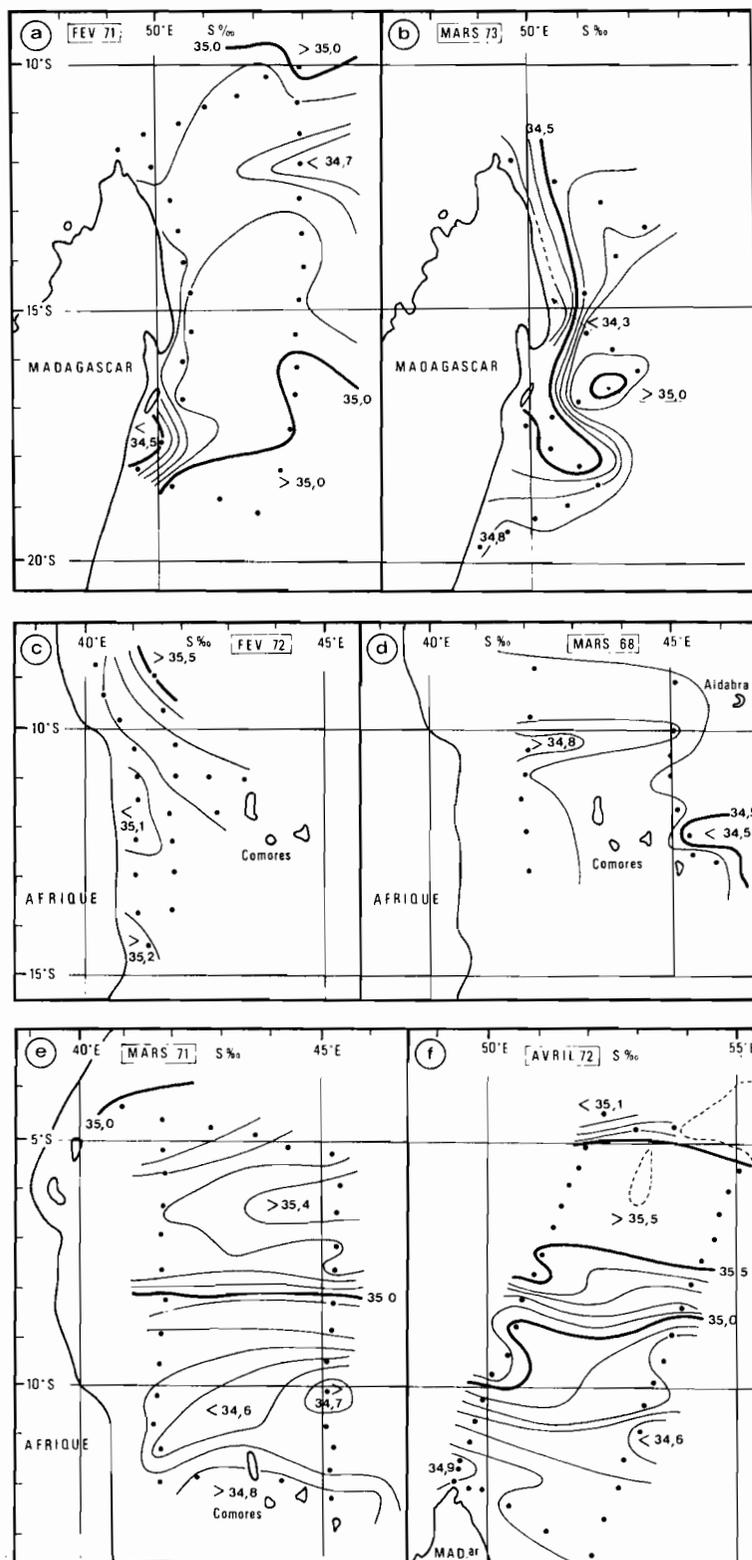


Fig. 9. — Répartition horizontale de la salinité de surface entre Madagascar et 5° S durant la période de la plus grande dilution (février, mars, avril).

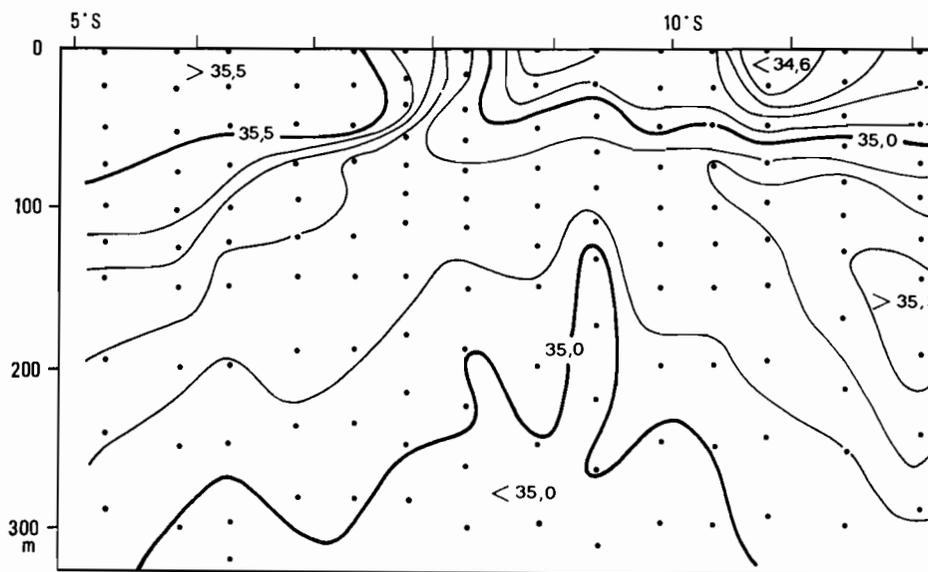


Fig. 10. — Répartition verticale de la salinité de la surface à 300 mètres de profondeur, entre 12° S et 5° S, vers 54° E (croisière SEYCHELLES 1, avril 1972).

février 1971, on retrouvait (fig. 9 a) l'allure générale de la répartition horizontale de la salinité de surface, à savoir l'eau dessalée du C.S.E. entre l'eau à salinité supérieure à 35 ‰ au nord de 10° S et au sud de 17-18° S; le long de la côte nord-est de Madagascar, à cette époque, l'eau n'était très dessalée que devant Tamatave tandis qu'en mars 1973 (fig. 9 b), elle l'était au large de toute la côte nord-est (salinité inférieure à 34,5 ‰) constituant un véritable front de salinité. Ceci était sans doute dû à l'influence du cyclone qui était passé entre Madagascar et la Réunion une semaine auparavant.

— Devant la côte africaine, à 10-12° S, la salinité variait de 35,0 à 35,5 ‰ en février 1972 (fig. 9 c), tandis qu'en mars 1968 (fig. 9 d) et mars 1971 (fig. 9 e) elle était voisine de 34,7 ‰. Il est probable que le vent du nord assez fort qui régnait en février 1972 sur cette région avait favorisé l'entraînement de l'eau salée de la mer d'Arabie vers le sud alors qu'aux autres époques l'eau dessalée du C.S.E. prédominait.

— Au nord de Madagascar, en avril 1972 (fig. 9 f) la distribution était semblable à celle observée plus à l'ouest en mars 1971 : l'eau du C.S.E., d'une salinité inférieure à 35 ‰, était séparée à 8-9° S de l'eau équatoriale plus salée ($S > 35,5$ ‰) par un front halin intéressant une couche de 100 mètres d'épaisseur (fig. 10). Un tel front n'existait ni en décembre 1970 ni en décembre 1972 (fig. 11 a). Par contre en novembre-décembre 1971 (fig. 11 b) on retrouvait un fort gradient méridien de salinité dès la latitude

du Cap d'Ambre, la dessalure du C.S.E. ayant disparu bien que le flux est-ouest fut très net (fig. 7 a). On peut rapprocher cette salinité anormalement élevée à 10° S ($S > 35,5$ ‰) du fait qu'en septembre et octobre 1971, aux Glorieuses, l'évaporation excédait de beaucoup les précipitations (fig. 4 b).

En conclusion, le C.S.E. peut transporter de l'eau d'une salinité inférieure à 35 ‰ jusqu'à la côte africaine; cette dessalure est parfois renforcée par les eaux de pluie et de ruissellement de Madagascar ou au contraire masquée par certaines conditions météorologiques comme un vent du nord ou un grand excédent d'évaporation. Il s'ensuit une assez grande variabilité dans la distribution horizontale de la salinité, et l'existence de fronts de salinité jamais mis en évidence auparavant.

2. La couche des 100 premiers mètres : sels nutritifs, phyto et zooplancton.

Entre 6° S et 9° S existe en permanence une structure en dôme des isoplèthes dans les couches subsuperficielles, induite par la divergence entre le C.S.E. et le C.C.E. Cette divergence a lieu dans la partie de l'océan Indien où prédominent les influences continentales (TCHERNIA *et al.*, 1958); elle fait donc remonter vers la surface des eaux d'origine nord-indienne riches en sels nutritifs (MAGNIER et PITON, 1974). On peut par suite penser que c'est une zone à haut potentiel productif. CUSHING (1971) la retient (sous le nom de « Madagascar wedge ») comme étant

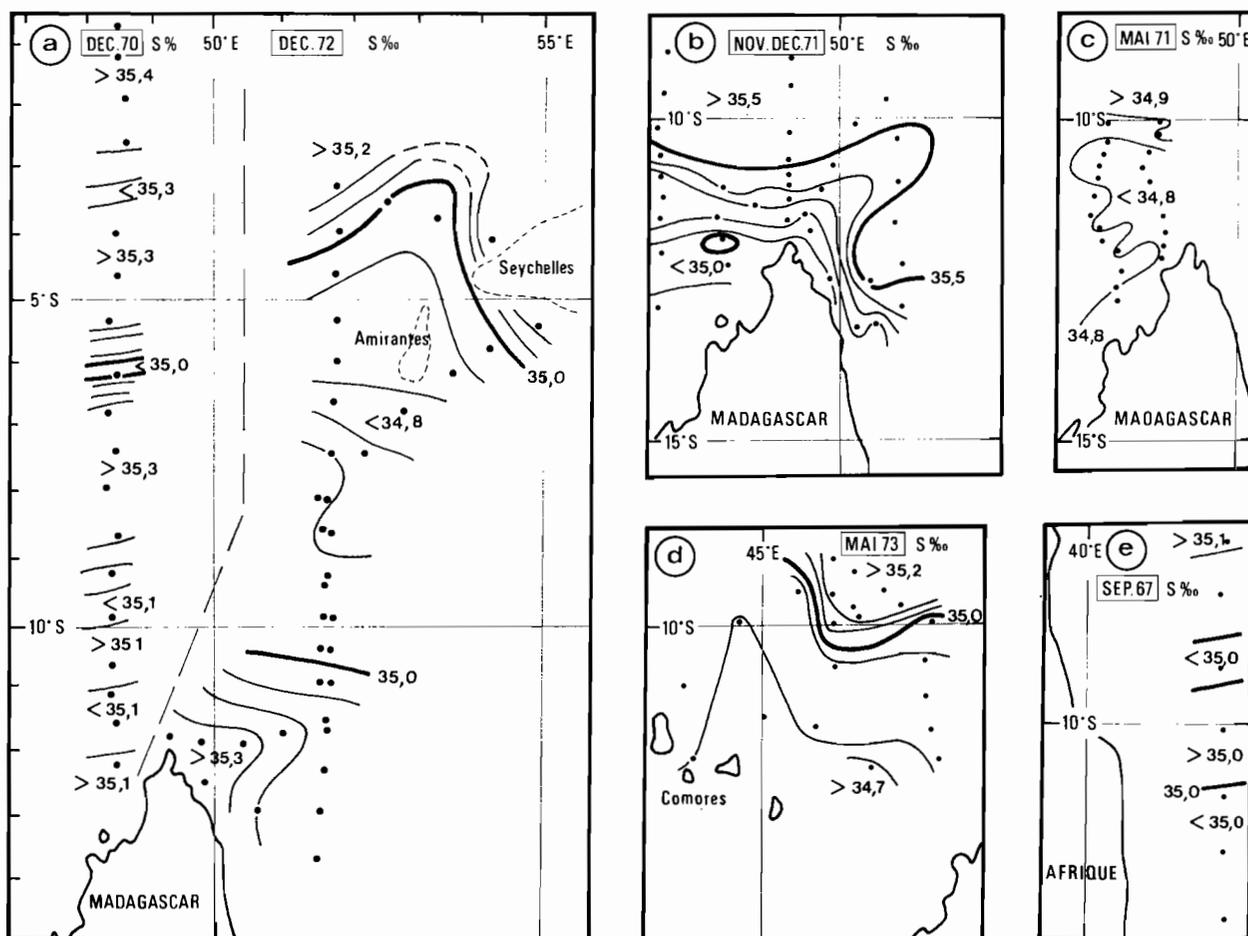


Fig. 11. — Répartition horizontale de la salinité de surface dans l'ouest de l'Océan Indien entre Madagascar et l'équateur à différents mois entre septembre et mai.

la zone d'enrichissement la plus étendue (1 million de kilomètres carrés) de l'Océan Indien, à partir des cartes de productivité primaire dressées par KABANOVA (1968). Il signale en outre dans cette zone une relative abondance de prises de cachalots et d'îles à guano, indices d'enrichissement de l'eau superficielle.

Pour permettre une estimation grossière de la production végétale et animale de cette région, il a été déterminé, au cours de certaines campagnes, les teneurs en chlorophylle *a* totale par prélèvements ponctuels à 8 immersions, de la surface à 150 mètres, suivis d'une analyse spectrophotométrique des extraits acétoniques (mode opératoire décrit dans PITON et MAGNIER, 1971) ainsi que les poids secs de zooplancton recueilli par des filets, en traits obliques de la surface à 100 mètres de profondeur (mode opératoire décrit par BOUR *et al.*, 1971).

Dans la zone étudiée il y a deux types de répartition verticale de la chlorophylle *a* : au nord de 11-12° S, latitude du front physico-chimique caractéristique de l'Océan Indien (MAGNIER et PITON, 1973), le maximum est situé entre 40 et 80 mètres de profondeur (fig. 12 a) dans la thermocline et dans la couche à gradient vertical maximum de nitrate, tandis qu'au sud de 11-12° S il est trouvé entre 70 et 120 mètres (fig. 12 b) juste au-dessus de la couche précédente; dans ce dernier cas, lorsque l'on ne considère que les teneurs dans les 100 premiers mètres, la sous-estimation de la quantité totale de chlorophylle *a* est donc plus importante que dans le premier cas.

Néanmoins, nous avons choisi de comparer l'évolution, en fonction de la latitude, de la température à 100 mètres d'immersion, de la quantité de nitrate

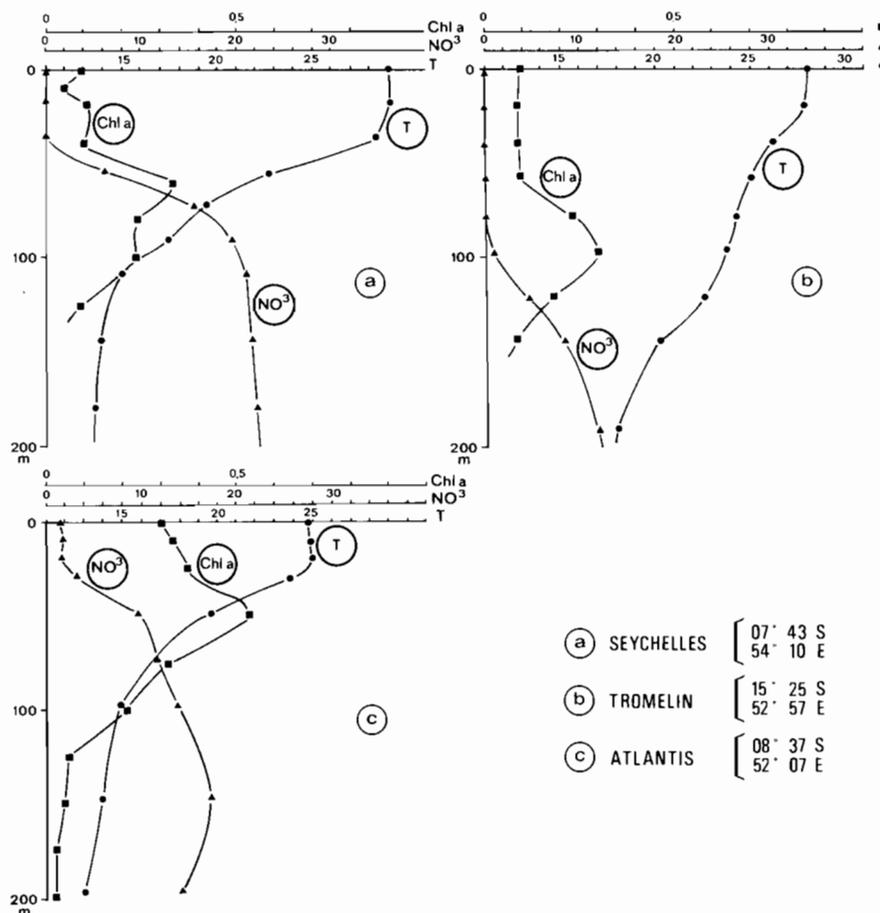


Fig. 12. — Profils verticaux de la température, du nitrate et de la chlorophylle *a*, de la surface à 200 mètres de profondeur à différentes stations dans l'ouest de l'océan Indien sud-équatorial.

(en milliatome-gramme), de chlorophylle *a* (en milligramme) et de zooplancton (en milligramme) par mètre carré dans les 100 premiers mètres.

Les résultats ont été groupés par périodes comme suit :

1) février-mars-avril : croisières TROMELIN, SEYCHELLES 1 et EST 73 (fig. 13 a), de 4° S à 20° S.

2) mai : croisières AMBRE 1 et GLORIEUSES (fig. 13 b) de 8° S et 13° S.

3) novembre-décembre : croisières AMBRE 2, SEYCHELLES 2 (fig. 13c) de 3° S à 13° S.

Durant la première période (fig. 13 a) la divergence de 9-10° S entre les courants équatoriaux est bien marquée : la température à 100 m s'abaisse jusqu'à 18° C alors que de part et d'autre elle atteint 24° C; on trouve à la même latitude un maximum de

nitrate (600 matg/m²) alors qu'à 4-5° S et au sud de 16° S les quantités de nitrate sont inférieures à 100 matg/m². On trouve également vers 10° S un léger maximum de zooplancton (1000 mg/m² contre 800 mg/m² de part et d'autre); les teneurs moyennes en chlorophylle *a* sont, par contre, peu différentes.

Au mois de mai, les variations en latitude des trois premières grandeurs considérées sont très rapides de 12° S à 9° S (fig. 13 b) : la température baisse de 24° C à 18° C, la quantité de nitrate passe de 50 matg/m² à plus de 500 matg/m² et celle de zooplancton de 300 mg/m² à plus de 2000 mg/m². Par contre la teneur en chlorophylle *a* est stationnaire (20 mg/m²).

Enfin, en novembre (fig. 13 c), le minimum de température à 4-6° S coïncide avec un net maximum de nitrate et un maximum moins marqué de chlorophylle *a*, sans augmentation de la quantité de zooplancton à cette latitude.

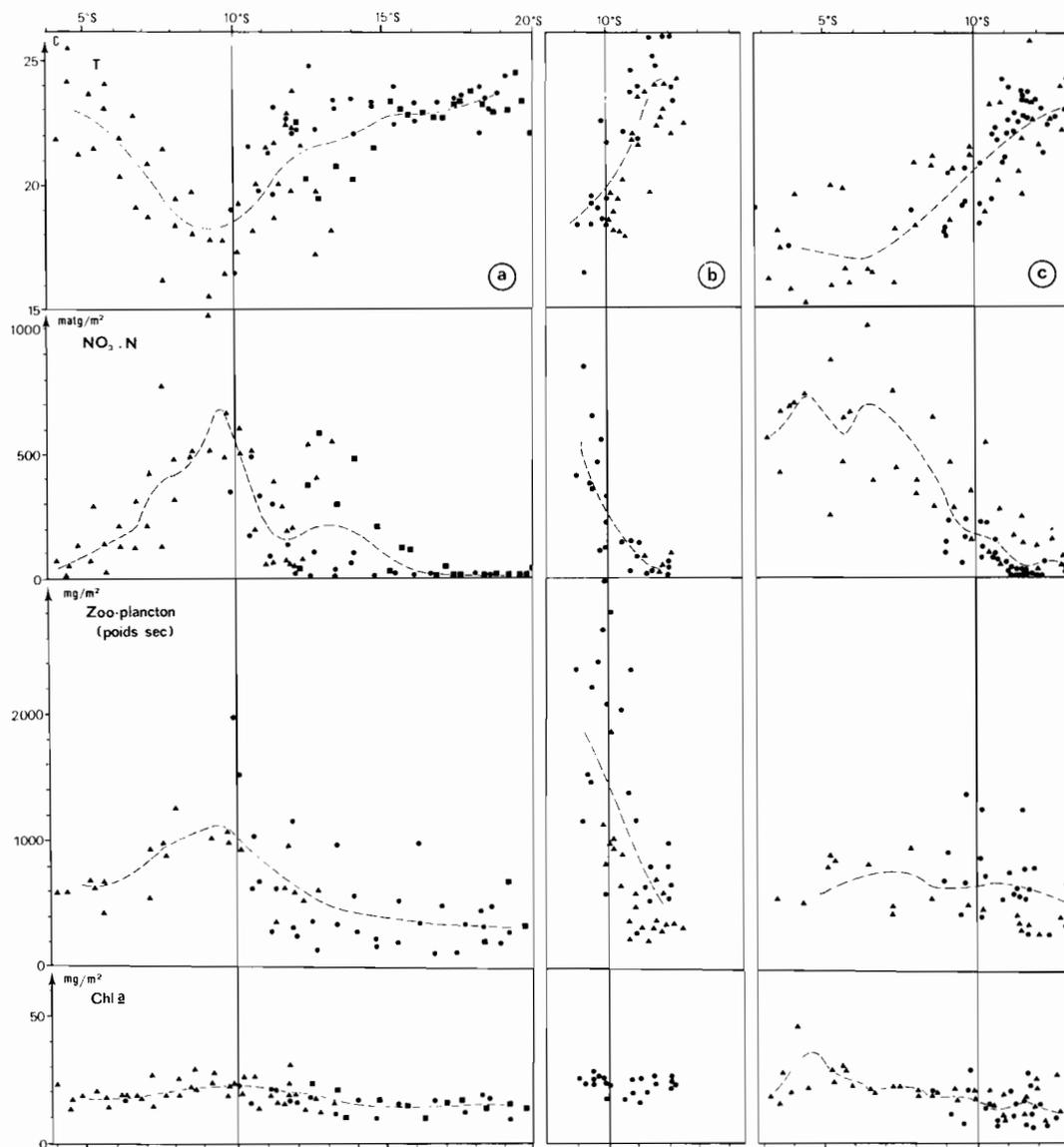


Fig. 13. — Répartition, en fonction de la latitude, de la température à 100 mètres de profondeur, des quantités de nitrate, de chlorophylle *a* et de zooplancton (en poids secs) dans les 100 premiers mètres durant les campagnes suivantes : a) TROMELIN, SEYCHELLES 1 et EST 73; b) AMBRE 1 et GLORIEUSES; c) AMBRE 2 et SEYCHELLES 2.

DISCUSSION

1. Si l'on compare ces résultats à ceux de LE BOURHIS et WAUTHY (1969) dans le Pacifique, aux mêmes latitudes 5° S-20° S, à 170° E, où il y a aussi divergence vers 10-12° S, on voit que dans l'océan Indien les teneurs maximales en nitrate dans les 100 premiers mètres sont nettement supérieures à celles trouvées vers 10° S dans le Pacifique (entre 50 et 300 matg/m²), tandis que les quantités de chlorophylle *a* sont très proches; ces dernières sont aussi du

même ordre de grandeur que celles trouvées aux mêmes saisons par l'ATLANTIS dans la même région de l'océan Indien (Mc GILL et LAWSON, 1966). Elles semblent petites, eu égard aux quantités de sels nutritifs disponibles dans la couche euphotique, même lorsque l'eau de surface contient près de 2 μatg/l de nitrate (fig. 12 c). Ceci est peut-être dû à un important broutage du phytoplancton par les herbivores.

Les quantités de poids sec de zooplancton trouvées

par d'autres auteurs avec d'autres méthodes de prélèvements et de mesures ne sont pas comparables aux nôtres. Par contre, nous pouvons comparer nos résultats à ceux obtenus par BOUR *et al.* (1971)* dans une baie eutrophique de la côte nord-ouest de Madagascar, la baie d'Ambaro. Dans cette baie, il a été trouvé des valeurs minimales de 15 à 40 mg/m³ du mois de mars au mois d'août, et des valeurs maximales supérieures à 70 mg/m³, tandis que les valeurs maximales dans la zone hauturière étudiée sont de 20 à 37 mg/m³; on peut donc dire d'après les résultats partiels obtenus que la zone de divergence sud-équatoriale dans l'ouest de l'océan Indien est riche en zooplancton, surtout au mois de mai.

2. Dans la zone de divergence, l'eau juste sub-superficielle est riche en sels nutritifs; mais, d'après les résultats du « VAUBAN », donc en dehors de la période de juin à octobre, l'eau de surface proprement dite n'est pas enrichie de façon mesurable. Cependant, des teneurs supérieures à 1 matg/m³ ont été parfois trouvées dans ces parages durant la période mai-octobre (WYRICKI, 1971).

Nous pouvons émettre l'hypothèse que cette « potentialité » d'enrichissement de l'eau de surface peut aboutir entre 5° S et 10° S à de vrais « upwelling » productifs dans certaines conditions favorables aux brassages verticaux comme par exemple le renforcement du vent ou les tourbillons qui se forment à proximité des accores ou dans le sillage des îles (UDA et ISHINO, 1958). Ces conditions favorables se trouvaient réunies en mai 1973, époque du renforcement des alizés, sous le courant des îles Cosmoledo

et Assumption (9°-10° S) où nous avons mesuré des teneurs en nitrate de l'ordre de 0,40 matg/m³ en surface au cours de la campagne « GLORIEUSES » (POULAIN *et al.*, à paraître).

CONCLUSION

Les parages de la zone de divergence entre le courant sud équatorial et le contre-courant équatorial présentent des indices de richesse potentielle qui laissent bien augurer de l'avenir de la pêche de thons de surface qui s'y développe actuellement.

Dans l'état actuel des possibilités matérielles et humaines du Centre O.R.S.T.O.M. de Nosy-Bé, il est difficile d'aller plus loin dans l'étude de la chaîne alimentaire. Nous ne pouvons que sélectionner les paramètres qui nous semblent indiquer au mieux l'évolution de la biomasse. Dans le cadre du programme « Thon » en cours, l'effort sera principalement porté sur la détermination des courants de surface par le G.E.K., des profils bathythermiques, des quantités de nitrate et de plancton dans la couche euphotique, en liaison avec des conditions météorologiques fournies par les stations installées sur les îles.

REMERCIEMENTS. — Les auteurs expriment leur reconnaissance à M. M. MALICK, Chef du Service Météorologique de la Réunion, qui a bien voulu leur fournir les données météorologiques et traiter rapidement les données d'océanographie physique.

Manuscrit reçu au S.C.D. de l'O.R.S.T.O.M. le 27 janvier 1975.

BIBLIOGRAPHIE

- ANONYME, 1957. — Marine climatic atlas of the world. Vol. III: Indian ocean U. S. Navy-Navaer 50-1C-530.
- ANONYME, 1966. — Atlas of Pilot charts. South Pacific and Indian Ocean. E. O. Pub. n° 107.
- ANONYME, 1969. — Atlas de Madagascar. B.D.P.A. (éd.), Tananarive.
- BOUR (W.), FRONTIER (S.), PETIT (D.), 1971. — Zooplancton d'une baie eutrophique tropicale (baie d'Ambaro, côte nord-ouest de Madagascar). *Documents scientifiques du Centre O.R.S.T.O.M. de Nosy-Bé*, 24 : 95 p.
- CUSHING (D. H.), 1971. — Upwelling and production of fish. Dans « *Advances in marine biology* », RUSSELL (F. S.) and YONGE (M.), éd., 9 : 255-334.
- 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.*, VII, 2 : 3-26.
- IVANENKOV (V. N.), GUBIN (P. A.), 1960. — Water masses and hydro-chemistry of the Western and Southern parts of the Indian ocean. *Trans. Inst. Okeanol.*, 64 : 22-42.
- KABANOVA (Y. G.), 1968. — Primary production of the northern part of the Indian ocean. *Okeanologiya*, 8, 2 : 270-278.
- LE BOURIIS (J.), WAUTHY (B.), 1969. — Quelques aspects de la distribution de la production primaire le long du méridien 170° E entre 20° S et 5° N. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*, VII, 4 : 83-93.
- MAGNIER (Y.), PITON (B.), 1973. — Les masses d'eau de

* Dans la baie d'Ambaro, le filet employé était un filet Clark-Bumpus, sans le système de fermeture, et, au large, c'était un filet WP 2.

- l'océan Indien à l'ouest et au nord de Madagascar au début de l'été austral (novembre-décembre). *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*, XI, 1 : 97-113.
- MCGILL (D. A.), LAWSON (T. J.), 1966. — The distribution of chlorophyll in the western Indian ocean during the northeast mousson period. Woods Hole Ocean. Inst., techn. rep., 66-12 (unpublished manuscript).
- NEUMANN (G.), 1968. — Ocean currents. Elsevier oceanography series, 4 : 352 p.
- OVCHINNIKOV (I. M.), 1961. — Circulation of waters in the northern part of the Indian ocean during the winter mousson. *Okeanol Issled.*, 4 : 18-24.
- PITON (B.), MAGNIER (Y.), 1971. — Sur la détermination de la chlorophylle « a » dans l'eau de mer côtière tropicale. *Doc. scient. du Centre O.R.S.T.O.M. de Nosy-Bé*, 20 : 24 p.
- RAMAGE (C. S.), 1969. — Indian ocean surface meteorology. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 7 : 11-30.
- RYTHER (J. H.), HALL (J. R.), PEACE (A. K.), BAKUN (A.), JONES (M. M.), 1966. — Primary organic production in relation to the chemistry and hydrography of the Western Indian ocean. *Limnol. and Oceanol.*, 11, 3 : 371-380.
- SCHOTT (G.), 1935. — Geographic des Indischen und Stillen Ozeans. Verlag Von G. Boysen, Hamburg, 413.
- STODDART (D. R.), 1971. — Rain fall on Indian ocean coral islands. *Atoll Res. Bull.* 147, 21 p.
- TCHERNIA (P.), LACOMBE (H.), GUIBOUT (P.), 1958. — Sur quelques nouvelles observations hydrologiques relatives à la région équatoriale de l'océan Indien. *Bull. Inf. COEC*, X, 3 : 115-143.
- UDA (M.), ISHINO (M.), 1958. — Enrichment pattern resulting from eddy systems in relation to fishing grounds. *Journ. Tokyo Univ. Fish.*, 44, 1-2 : 105-129.
- WYRTKI (K.), 1971. — Oceanographic Atlas of the International Indian Ocean Expedition. Nat. Sci. Foundation, Washington, 531 p.

Evidence of the South Tropical Counter-Current in the Coral Sea

J. R. Donguy and C. Henin

Centre ORSTOM de Nouméa, B.P. A5, Nouméa, New Caledonia.

Abstract

In the Coral Sea, the mean dynamic topography of the sea surface indicates virtually zonal circulation with one westward flow and two eastward flows at 163°E. and two westward flows and one eastward flow at 158°E. One of the eastward flows may be defined as the South Tropical Counter-Current and its position suggests it originates in the western Coral Sea rather than north of New Guinea. However, the data of the abnormal years 1958 and 1972 point out only westward flow.

Introduction

The surface circulation at the 170°E. meridian, described by Merle *et al.* (1969), is virtually zonal. It is composed of two westward flows, the Equatorial Current near the Equator and the South Equatorial Current at 15°S., and two eastward flows, the South Equatorial Counter-Current at 10°S. and the South Tropical Counter-Current at 18°S. However, in spite of the work by Donguy *et al.* (1970), the continuity of these flows in the Coral Sea has not been ascertained. In 1971 and 1972 the Centre ORSTOM de Nouméa undertook some new cruises in the Coral Sea. Together with the earlier cruises, the number of cruises now seems great enough to determine accurately the main features of the surface circulation in the eastern part of the Coral Sea.

Data and Methods

The data of Fig. 1 comes from the cruises carried out since 1956 by the Centre ORSTOM de Nouméa, aboard the R/V Orsom III and Coriolis, and aboard the vessels Tiaré, La Dunkerquoise and Boussole in collaboration with the French Navy. Details are listed in the following tabulation.

Vessel	Cruise	Date	Reference
Orsom III	56-5	Nov. 1956	ORSTOM, I.F.O. Rapp. Sci. No. 5
Orsom III	Astrolabe	May 1958	ORSTOM, I.F.O. Rapp. Sci. No. 8
Orsom III	Boussole	Nov. 1958	ORSTOM, I.F.O. Rapp. Sci. No. 12
Orsom III	Dillon	May 1960	ORSTOM, I.F.O. Rapp. Sci. No. 18
Tiare	Entrecasteaux	Aug. 1960	ORSTOM, I.F.O. Rapp. Sci. No. 21
Orsom III	Epi	Sept. 1960	ORSTOM, I.F.O. Rapp. Sci. No. 22
La Dunkerquoise	Guadalcanal	Dec. 1962	<i>Cah. ORSTOM sér. Océanogr.</i> 1964, 2, 49-54
Coriolis	Foc 1	Jan. 1971	Natn. Ocean. Data Centre No. 350058
Boussole	71-01	Feb. 1971	Unpublished data

Coriolis	Foc 2	July 1971	Natn. Ocean. Data Centre No. 350074
Boussole	71-02	Aug. 1971	Unpublished data
Boussole	71-03	Dec. 1971	Unpublished data
Coriolis	Gorgone	Dec. 1972	Natn. Ocean. Data Centre No. 350077

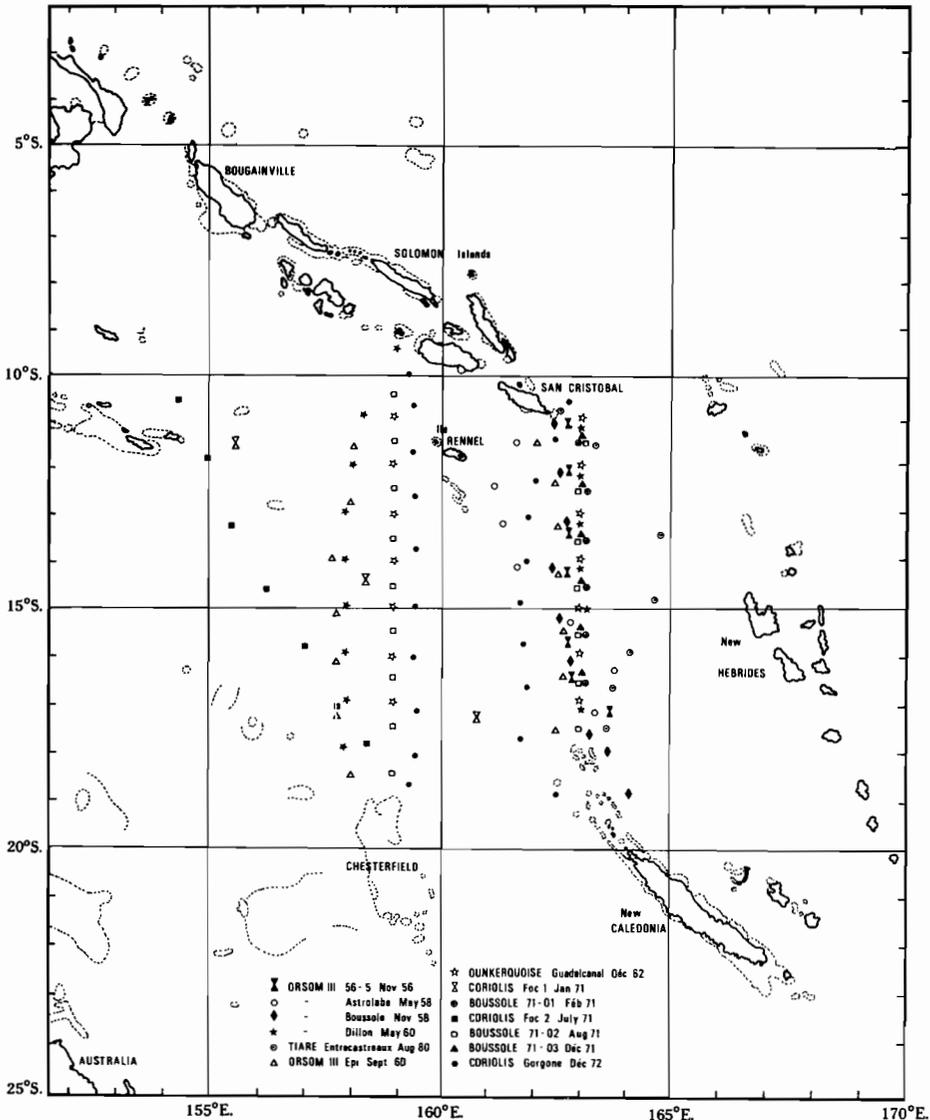


Fig. 1. Hydrographic stations occupied in the Coral Sea by the Centre ORSTOM de Nouméa since 1956.

Most of these cruises were carried out during the north-west monsoon and the seasonal coverage is not perfect.

The dynamic heights computed by usual methods from hydrographic casts are relative to the 1000 decibar surface, with an accuracy of ± 0.5 dynamic cm.

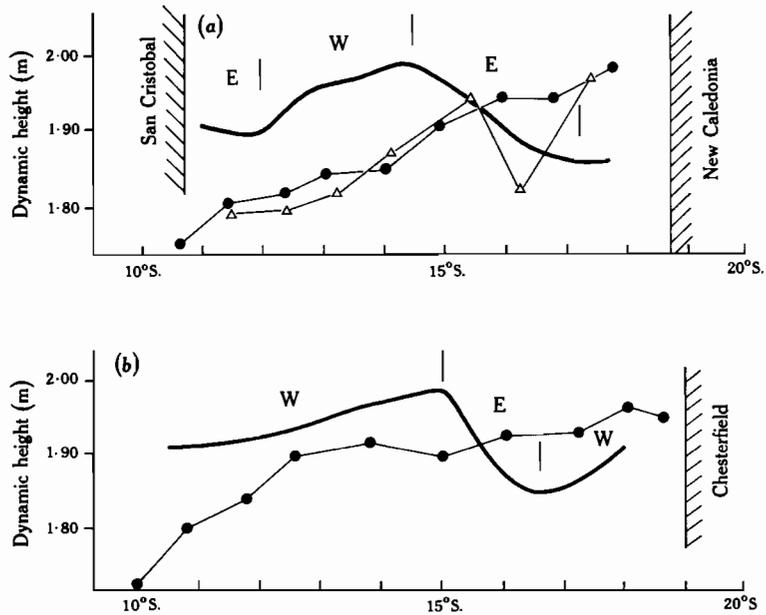


Fig. 2. Mean dynamic heights (heavy curves) in the Coral Sea relative to 1000 decibars at (a) 163°E. and (b) 158°E. and dynamic heights during the cruises Astrolabe (Δ , May 1958) and Gorgone (\bullet , December 1972).

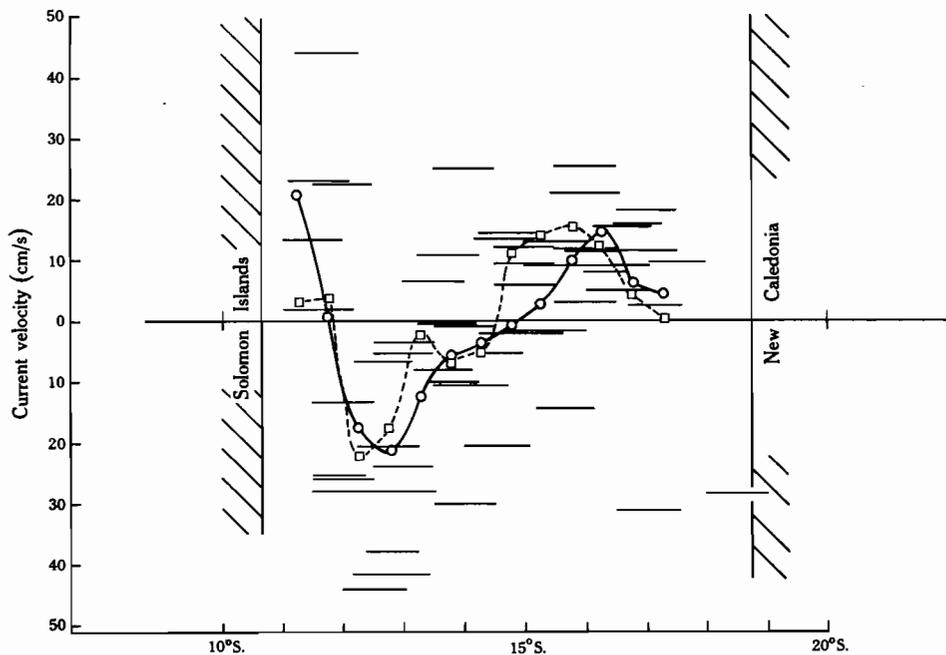


Fig. 3. Mean velocity of the current between New Caledonia and the Solomon Islands from the mean dynamic heights relative to 1000 decibars (\square) and from the velocity averaged from the sea surface to a depth of 100 m relative to 1000 decibars (\circ). The horizontal lines represent the distance between two hydrographic casts.

Dynamic Heights at 158 and 163°E.

The hydrographic casts may be separated into two groups, one including the casts near the 163°E. meridian between New Caledonia and the eastern extremity of the Solomon Islands, and the other including the casts near the 158°E. meridian between the Chesterfield and Solomon Islands. The dynamic heights relative to 1000 decibars are averaged at 158 and 163°E. (Fig. 2) without the data of the cruises *Astrolabe* (May 1958) and *Gorgone* (Dec. 1972) which are recognized as abnormal.

At 163°E., from the north to the south, the eastward flow north of 12°S. is identified as the South Equatorial Counter-Current, the westward flow from 12 to 14°30'S. as the South Equatorial Current and the eastward flow from 14°30' to 18°S. as the South Tropical Counter-Current.

At 158°E., two westward flows and only one eastward flow are discernible: the South Equatorial Current from 10 to 15°S., the South Tropical Counter-Current from 15 to 17°S. and a westward flow south of 17°S.

The comparison of the dynamic features at 163 and 158°E. may be noted as follows.

- (i) In the Coral Sea, the South Equatorial Counter-Current is observed only at 163°E.
- (ii) The South Tropical Counter-Current exists both at 163 and 158°E.; it seems narrower but stronger at 158 than at 163°E. Its position at 158°E. suggests it originates in the western part of the Coral Sea rather than north of New Guinea like the South Equatorial Counter-Current (Jarrige 1968). This point is in accordance with the surface dynamic topography relative to 1500 decibars of the *Diamantina* cruise Dm4/68 (Scully-Power 1973*a*).
- (iii) The existence of a westward flow north of the Chesterfield Islands may be connected with the presence of a northward flow west of New Caledonia (Scully-Power 1973*b*).
- (iv) The dynamic heights of the cruise *Astrolabe* and *Gorgone* are smaller, which is an indication of unusual hydrographic conditions, and their slope, rising from the north to the south, is characteristic of a westward flow. At 159°E., the flow of the *Gorgone* cruise is stronger north of 12°S. than south of this latitude.

Velocity of the Surface Current at 163°E.

The mean velocity of the current between New Caledonia and the Solomon Islands is calculated (Fig. 3) through the 163°E. meridian by two different ways: one from the mean dynamic heights relative to 1000 decibars (Fig. 2) and the other from the velocity averaged from the sea surface to a depth of 100 m relative to 1000 decibars and calculated between the consecutive hydrographic casts of each cruise, except *Astrolabe* and *Gorgone*. Generally, the velocity maximum of all the tropical currents and countercurrents is in the sea surface. The South Tropical Counter-Current is shallow and its velocity at 100 m is very weak (Merle *et al.* 1969), unlike the South Equatorial Counter-Current which is much deeper (Jarrige 1968).

Though the two curves have almost the same shape, the discrepancy between them is due to their manner of construction. The northern boundary of the South

Equatorial Counter-Current is not determined but, in the Coral Sea, its maximum mean velocity is only 4 cm/s from the mean dynamic heights and reaches 20 cm/s at 11°S. by calculation between 0 and 100 m. From 12 to 15°S., the South Equatorial Current has a maximum mean velocity of 20 cm/s at 13°S. South of 15°S., the South Tropical Counter-Current has a maximum mean velocity of 15 cm/s at 16°S. but, from 14°30' to 16°S., there is a difference of 10 cm/s between the two curves. However, the observed velocity during each cruise may be greater, up to 25 cm/s in the South Tropical Counter-Current and 45 cm/s in both the South Equatorial Counter-Current and the South Equatorial Current.

The mean transport deduced from the velocity in the upper layer (0–100 m) of the South Equatorial Current is 3.5×10^6 m³/s and the maximum is 6.7×10^6 m³/s which is in accordance with the inflow value of Scully-Power (1973*b*) (10×10^6 m³/s between 0 and 250 m depth). The mean transport of the South Tropical Counter-Current is 2×10^6 m³/s and the maximum is 5×10^6 m³/s which is in accordance with Merle *et al.* (1969) for the 170°E. meridian.

Conclusion

The eastward flow observed between 15 and 20°S. at 170, 163 and 158°E. has been called the South Tropical Counter-Current. It seems to originate in the western Coral Sea and its transport is about 2×10^6 m³/s.

References

- Donguy, J. R., Oudot, C., and Rougerie, F. (1970). Circulation superficielle et subsuperficielle en Mer du Corail et à 170°E. *Cah. ORSTOM sér. Océanogr.* **8**, 3–20.
- Jarrige, F. (1968). On the eastward flow of water in the Western Pacific south of the equator. *J. mar. Res.* **26**, 286–9.
- Merle, J., Rotschi, H., and Voituriez, B. (1969). Zonal circulation in the Tropical Western South Pacific at 170°E. *Bull. Jap. Soc. Fish. Oceanogr.* Special number, 91–8.
- Scully-Power, P. D. (1973*a*). Oceanography of the Coral Sea: the winter regime. In 'International Symposium on the Oceanography of the South Pacific'. (Ed. R. Fraser). pp. 129–35. Wellington, 9–15 February 1972.
- Scully-Power, P. D. (1973*b*). Coral Sea flow budgets in winter. *Aust. J. mar. Freshwat. Res.* **24**, 203–15.

ECHOUAGE EN MASSE DU CÉTACÉ *Peponocephala electra* AUX NOUVELLES-HÉBRIDES

Le 15-16 novembre 1972 un ethnographe, ainsi que quelques indigènes, étaient témoins de l'échouage de 231 petits cétacés ayant été déterminés plus tard comme *Peponocephala electra* (Gray, 1846). L'événement se produisit en baie de Ravallec, située au Sud de l'île de Mallicolo (Malékoula des cartes) dans l'archipel des Nouvelles-Hébrides (167°30'E, 16°20'S). Le Centre ORSTOM de Nouméa, Nouvelle-Calédonie, averti seulement le 27 novembre, ne put envoyer un scientifique avant le 17 décembre. Ce fâcheux concours de circonstances, aggravé par la présence imminente d'un cyclone, ne permit aucune observation biologique intéressante. Seuls des prélèvements de crânes purent être effectués sur les animaux déjà en décomposition.

D'après les témoignages recueillis, l'événement s'est produit de la façon suivante. Dans la nuit du 15 au 16 novembre, alors que la lune, levée à 01.25 h, était en son premier quartier, un groupe de 32 cétacés, en majorité des mâles de 1.70 à 2.50 m, est venu s'échouer sur la Pointe Lavénat, dans l'Est de la baie de Ravallec (Fig. 1). Ce groupe faisait partie d'un

grand troupeau qui avait été vu dans la journée par les indigènes du village voisin d'Akam (sur l'île de ce nom, situé à l'Est). Après ce premier échouage le restant du troupeau séjourna dans la baie en la parcourant dans tous les sens. Le lendemain, un second lot de 199 animaux s'échoua sur l'Ouest de la plage (Fig. 2). Ce groupe comprenait en majorité des femelles dont certaines, gestantes, contenaient des foetus à terme.

Les indigènes du village d'Akam essayèrent en vain de les repousser à l'eau, mais selon un processus habituel, ces femelles revenaient se jeter à la plage dans les rouleaux. Le troupeau restant séjourna encore quelques temps dans la baie, puis regagna la haute mer le 17 novembre.* La semaine précédente, le temps avait été beau, chaud, avec un alizé très modéré; puis le ciel se couvrit et des averses eurent lieu dans la soirée du 15 suivies d'un orage dans la nuit. La marée (1 m environ) était haute dans la baie à 23.50 h. Il semblerait

* Dans l'*Event Notification Report* No. 1579 du 8 mars 1973, le Smithsonian Institution Center for Short-lived Phenomena (Rancurel, 1973) indique à la 9ème ligne: 'This group of porpoises remained in the bay until 17 Nov. and then moved back out into the ocean'. On doit lire selon le texte ci-dessus 'The main group of porpoises...'

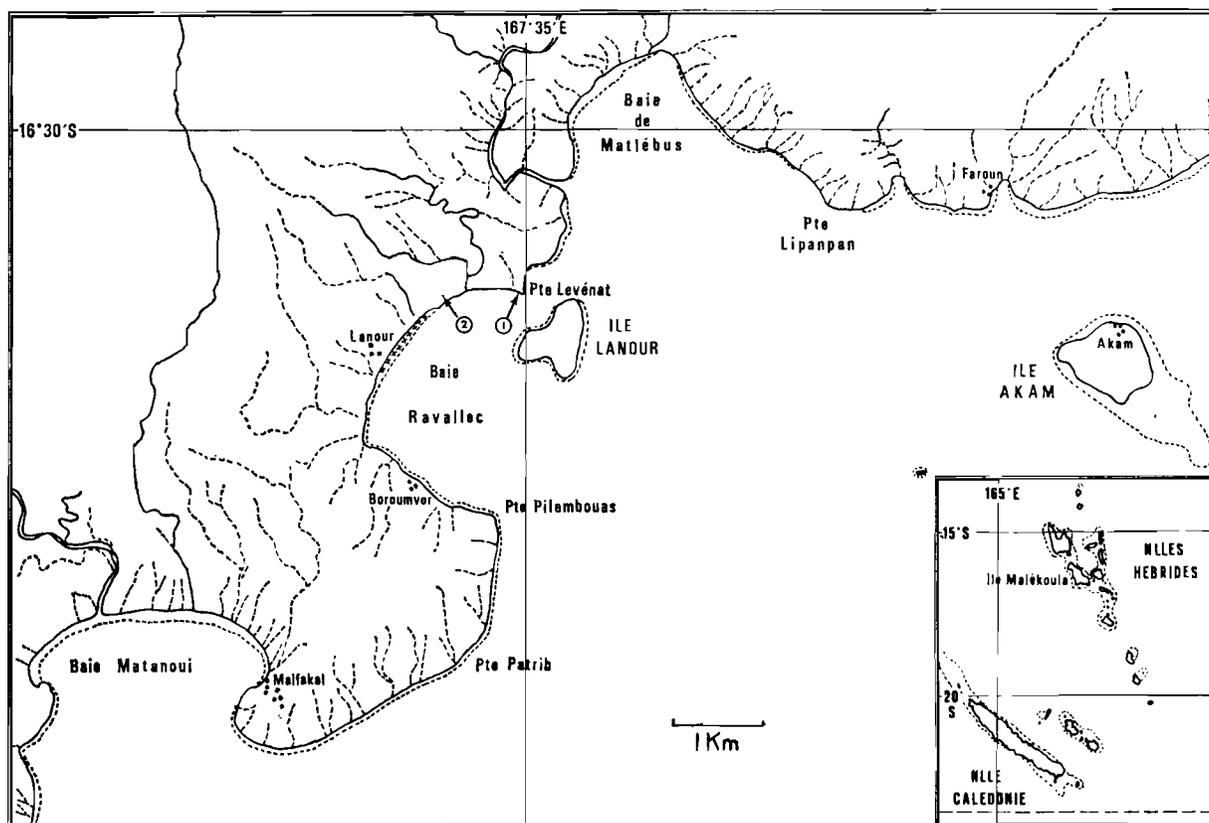


Fig. 1. Site de l'échouage en masse de *Peponocephala electra*, dans l'île de Mallicolo (= Malékoula). 1 = Premier échouage (surtout des mâles), 2 = Second échouage (surtout des femelles).

donc que le premier échouage ait eu lieu de nuit par temps couvert et orageux, à marée haute. Le second échouage semble également s'être produit à marée haute le lendemain en fin de matinée.

La baie de Ravellec, ouverte sur le Sud, est protégée des alizés par la petite île de Lanour. Elle est enserrée entre un pointement de récifs morts à l'Ouest et la pointe sableuse de Lavénat à l'Est. Une plage de sable grossier, noir et non tassé, occupe le fond de la baie sur une longueur d'un kilomètre environ. Les fonds de la baie s'avancent en pente douce vers le large et ont une profondeur moyenne d'une douzaine de mètres. Cette plage est traversée par une grosse rivière et se trouve également coupée par d'assez nombreux ruisselets.

Le 7 décembre les carcasses des animaux étaient encore en place mais en pleine décomposition. La proximité des rouleaux brisant sur la plage avait salé la peau et retardé considérablement la putréfaction (Fig. 3). Aucune observation biologique ne put donc être effectuée. De plus, l'approche du cyclone tropical Diana ne permit qu'un court séjour sur les lieux de l'échouage et seules des têtes et des parties de carcasses déjà dégagées des chairs purent être prélevées.



Fig. 2. *Specimen bien conservé de Peponocephala electra échoué sur la plage.*

Six mois plus tard une mission océanographique passant sur les lieux put ramener encore quelques crânes et colonnes vertébrales, cette fois bien nettoyés. Tout ce matériel est actuellement étudié par le Docteur van Bree du Museum de Taxonomie d'Amsterdam, qui, d'après les photographies prises par des témoins de l'échouage, pense pouvoir déterminer ces cétacés



Fig. 3. *Échouage de Peponocephala electra sur la plage de la baie de Ravellec, Île de Mallicolo, Nouvelles-Hébrides. Il s'agit de mâles de 1.7 à 2.50 m de longueur.*

comme *Peponocephala electra* (Gray 1846), Delphinidae assez peu commun, qui semble fréquenter les grands espaces océaniques. Cosmopolite, il est cité de l'Atlantique tropical, de l'Océan Indien et du Pacifique d'où il a été reconnu autour des îles Marquises et des îles de la Société, ainsi qu'en Nouvelle-Guinée (Bree & Cadenat, 1968).

Nous n'avons malheureusement aucune donnée d'océanographie physique côtière au moment de l'échouage en masse, mais il est intéressant de noter qu'il y a quelques années, un autre échouage de plusieurs cétacés indéterminés s'était produit sur la partie Ouest de la même baie de Ravellec. Cette succession d'échouages peut laisser penser à l'intervention d'un facteur physique, d'ordre hydrologique ou topographique.

Les conditions physiques du milieu peuvent se résumer ainsi: baie peu profonde, bordée par une plage de sable grossier non tassé, abritée de l'alizé et des houles de Sud-est, et coupée par une rivière et des ruisseaux. Lors de l'échouage le temps était beau, calme, ensoleillé et chaud. Il n'est pas impossible que ces conditions météorologiques aient permis une stratification des eaux de la baie entraînant la formation d'une couche de discontinuité séparant les couches supérieures, réchauffées et dessalées par les eaux des rivières, de la couche océanique profonde et plus froide. Cette couche de discontinuité aurait pu

perturber l'écholocation des conducteurs du troupeau, les emmenant à marée haute, sur la plage. Ceci ne constitue qu'une hypothèse de travail, aucune donnée n'ayant pu être recueillie lors de l'échouage. Il est curieux qu'un autre auteur, Warneke (1972), ait lui aussi émis une hypothèse semblable dans le cas de l'échouage de cachalots au voisinage de l'entrée de Port Phillip-Bay près de Melbourne dans une région riche en zones de courants tourbillonnaires, qui auraient également pu perturber le 'sonar' des cétacés.

Références

- BREE, P. J. H. VAN & CADENAT, J. (1968). On a skull of *Peponocephala electra* (Gray 1846) (Cetacea, Globiophalinae) from Senegal. *Beaufortia*, **14**(177), pp. 193-202.
- RANCUREL, P. (1973). Ravellec Bay beached porpoises. *Smithsonian Institution Center for Short-Lived Phenomena*, Card No. 1579, 8 March.
- WARNEKE, R. M. (1972). *Smithsonian Institution Center for Short-Lived Phenomena*. Card No. 1482, 7 November.

PAUL RANCUREL,
Centre ORSTOM de Nouméa,
Boîte Postale A 5,
Nouméa-Cédex,
Nouvelle-Calédonie

LES CONTRE-COURANTS DANS LE PACIFIQUE TROPICAL SUD-OUEST

JEAN-RENÉ DONGUY, CHRISTIAN HENIN, FRANCIS ROUGERIE

O.R.S.T.O.M., B.P. A 5, Nouméa-Cedex, Nouvelle Calédonie

RÉSUMÉ

Un schéma de circulation superficielle plus complexe que la cellule anticyclonique unique couvrant tout le Pacifique sud est proposé. Le contre-courant équatorial sud et le contre-courant tropical sud à l'Ouest de 160° W sont indépendants du contre-courant unique repéré vers 10° S à l'Est de 160° W.

Les observations, bien que rares, montrent une grande variabilité de la circulation superficielle.

ABSTRACT

A surface circulation scheme is proposed in the south tropical Pacific. The south equatorial countercurrent and the south tropical countercurrent West of 160° W are independant of the only countercurrent near 10° S East of 160° W.

The observations even scarce show the great variability of the circulation.

Introduction.

L'existence de flux portant à l'est dans le Pacifique tropical sud-ouest est un sujet de recherche déjà ancien. REID (1961) a le premier signalé la présence possible dans tout le Pacifique, en été austral, vers 10° S, d'un contre-courant géostrophique de surface. BURKOV (1966) ne le fait apparaître qu'à l'ouest de 160° W en février. WOOSTER (1961) signale aussi vers 10° S dans le Pacifique central un flux portant à l'est qui peut être assimilé au contre-courant équatorial sud.

Les études entreprises entre 1965 et 1970 dans le Pacifique tropical sud-ouest, à bord du N. O. CORIOLIS du Centre O.R.S.T.O.M. de Nouméa, ont conduit à l'identification à 170° E (MERLE *et al.*, 1969), de deux flux portant à l'est l'un vers 10° S et l'autre vers 20° S, dénommés contre-courant équatorial sud et contre-courant tropical sud, et à 150° W d'un flux unique par 10° S (DONGUY *et al.*,

1974). Cependant n'étaient établis ni le mécanisme de formation de ces flux, ni leur continuité de 170° E à 150° W.

Conditions météorologiques liées aux contre-courants.

La formation et le développement des contre-courants de surface sont probablement liés aux conditions météorologiques et en particulier aux vents régnant dans la région. En première approximation, on peut penser que l'écoulement vers l'est est grandement facilité par l'existence dans l'ouest du Pacifique entre 5° S et 17° S, de novembre à avril, de la zone de convergence intertropicale des alizés (ATKINSON et SADLER, 1970) : la présence dans cette région de vents faibles et variables en direction, contrastant avec les alizés, constitue une zone de moindre résistance pour un courant portant à l'est. Cependant, cela ne peut expliquer l'existence de contre-courants dans le Pacifique central où la zone

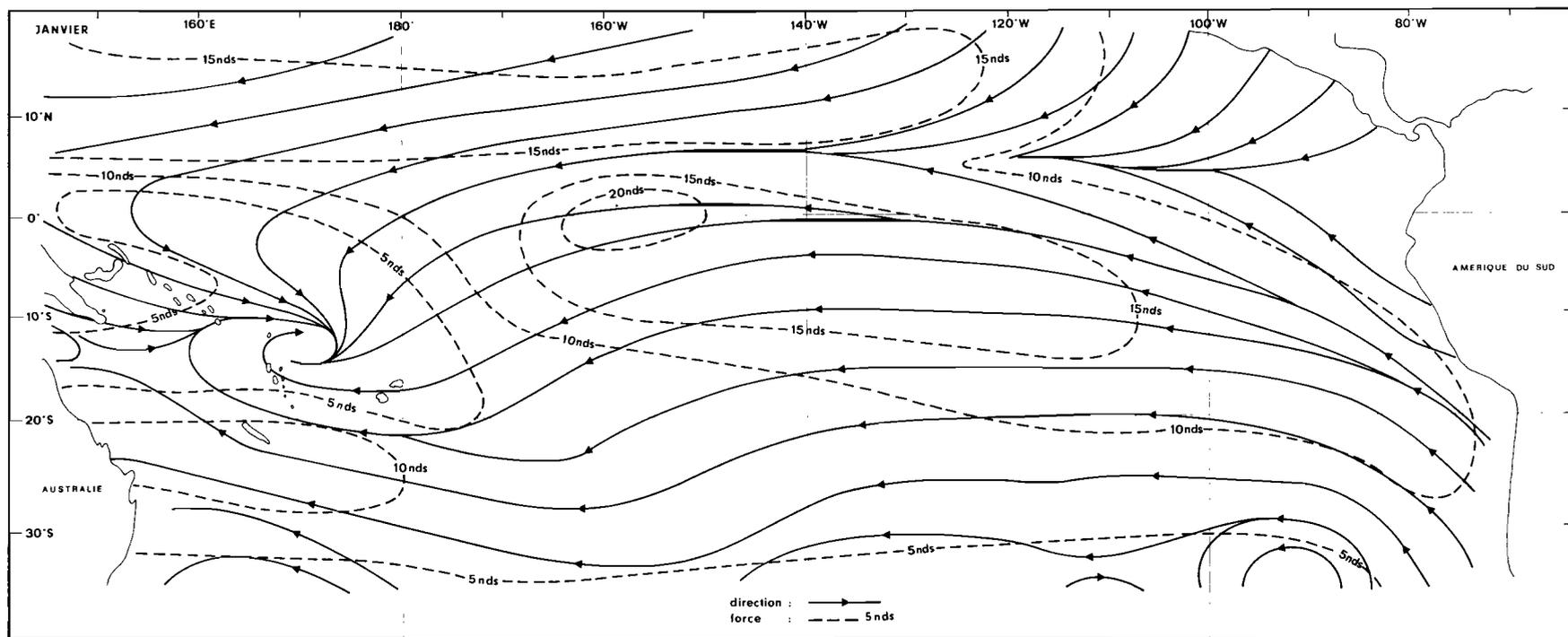
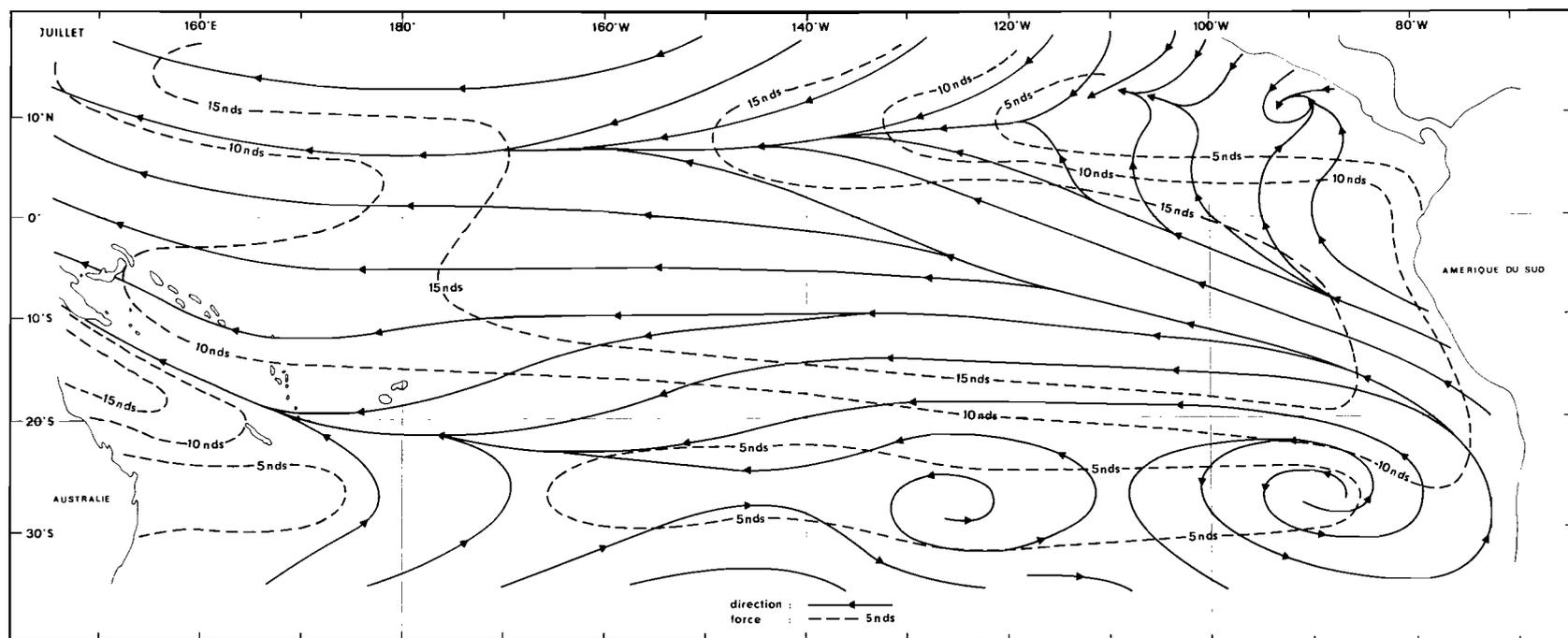


Fig. 1 a. — Vent en janvier. D'après ATKINSON et SADLER (1970).



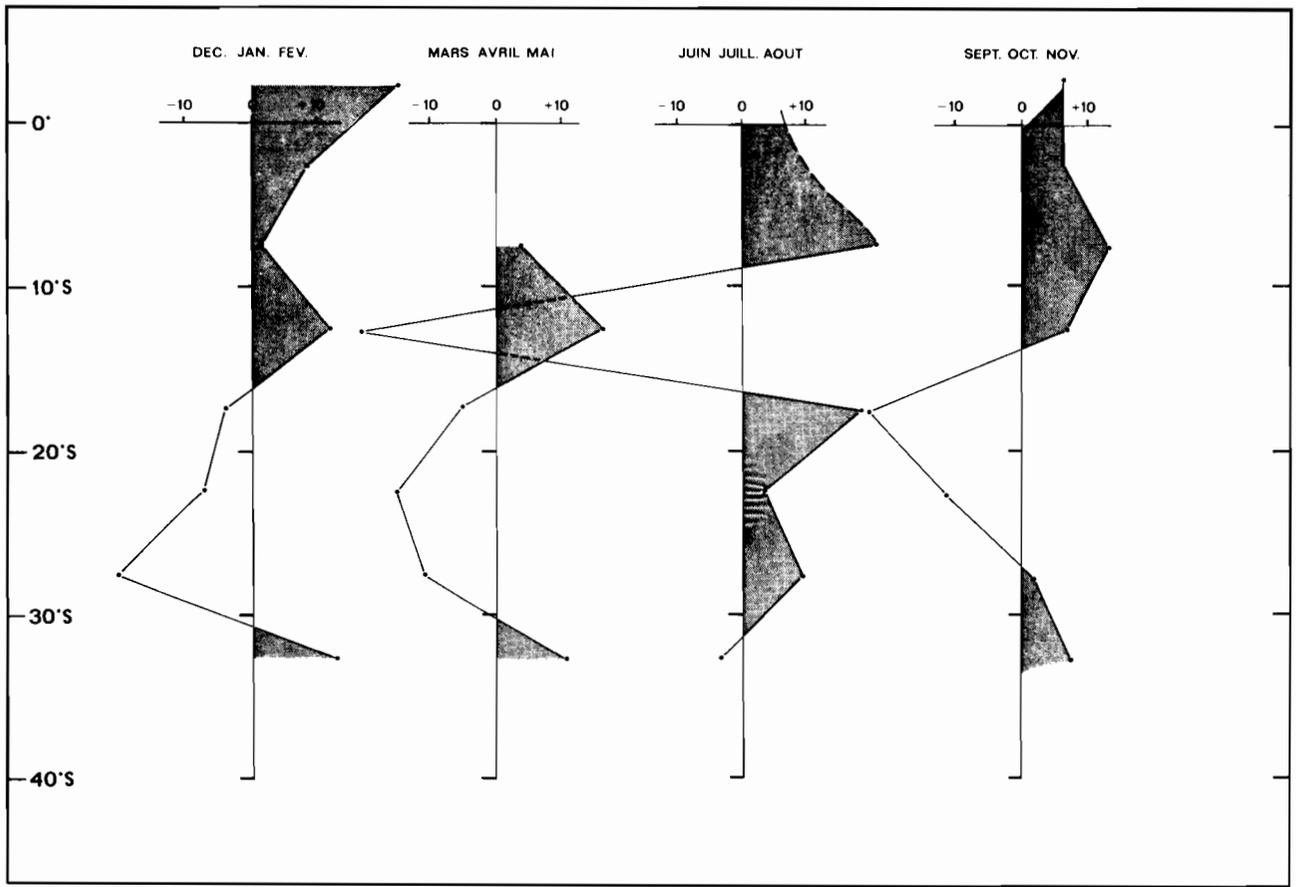


Fig. 2 a. — $\frac{\Delta (\text{rot } T)}{\Delta y}$ à 170° E (en 10^{-7} dyne/cm⁴).

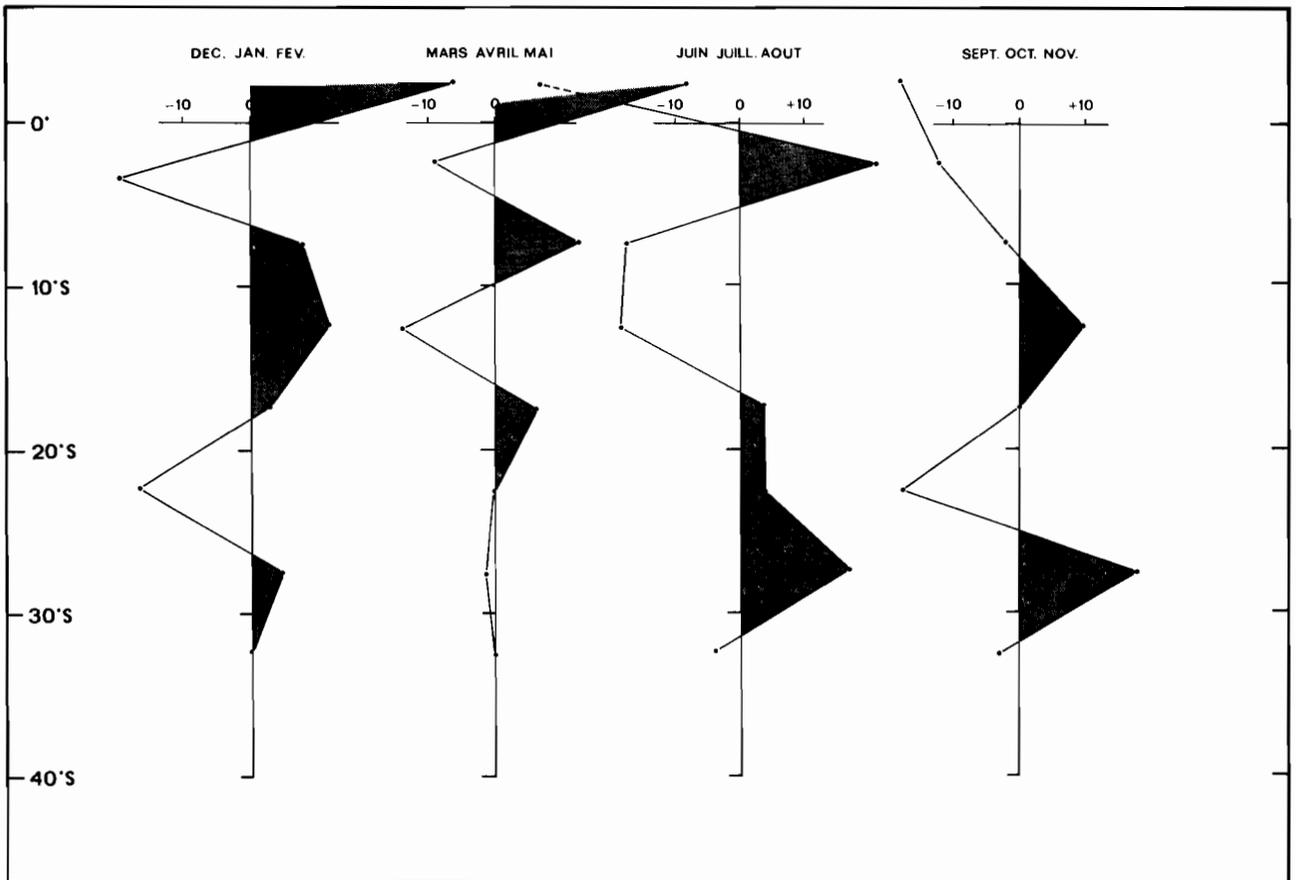


Fig. 2 b. — $\frac{\Delta (\text{rot } T)}{\Delta y}$ à 150° W (en 10^{-7} dyne/cm⁴).

de convergence est rarement signalée (fig. 1) et où les vents d'Est et Nord-Est prédominent.

YOSHIDA et KIDOKORO (1967) ont remarqué qu'aux flux superficiels portant à l'est correspondent des valeurs positives de la dérivée méridienne du rotationnel de la force d'entraînement des vents $\Delta(\text{rot } T)$. Aussi, la valeur et le signe de cette

Δy expression ont-ils été calculés à partir des données des Pilot Charts à 170° E et à 150° W (fig. 2). A 170° E, $\Delta(\text{rot } T)$ est positif en toute saison aux

environs de 10° S, ce qui traduit la possibilité d'observer toute l'année un contre-courant de surface à cette latitude. Entre 15° S et 20° S, il y a la même possibilité, excepté entre septembre et novembre. A 150° W, la valeur de $\Delta(\text{rot } T)$ est aussi positive

aux environs de 10° S, excepté entre juin et août où elle est positive de 5° S à l'équateur. Il s'ensuit qu'avec ces conditions climatiques normales, il y a la plupart du temps possibilité d'observer un contre-courant à 170° E et à 150° W.

Discontinuité des flux portant à l'est.

Jusqu'en 1970 s'est posé le problème de la continuité entre le contre-courant observé à 170° E et celui observé à 150° W. Il semble avoir été résolu à la suite de la croisière DANAIDES 1 (juin-juillet

1970) du Centre O.R.S.T.O.M. de Nouméa, qui a permis de compléter la carte de la circulation géostrophique moyenne de surface du Pacifique tropical sud-ouest (fig. 3). Cette carte a été obtenue en évaluant les hauteurs dynamiques de surface le long des méridiens 170° E, 180°, 175° W, 165° W, 153° W, 140° W et 132° W. Elle révèle deux systèmes indépendants de circulation séparés par le méridien 180°. A 170° E, le flux Est à 10° S appartient à une cellule cyclonique limitée à l'est à 180°. A 150° W, il appartient à une cellule anticyclonique différente limitée à l'ouest aux environs de 170° W. Le flux Est à 150° W est donc indépendant du flux Est à 170° E, ce que confirmera l'analyse hydrologique. Ces deux flux Est ont clairement été mis en évidence pendant la croisière DANAIDES 1 entre 164° W et 177° W sur la topographie dynamique de surface relative à 1000 décibars (fig. 4). Au sud de 15° S, on distingue le contre-courant équatorial sud observé à 10° S sur le méridien 170° E et, au nord de 7° S, le flux Est observé à 10° S à 150° W. Quant au contre-courant tropical sud signalé vers 18° S à 170° E, il ne semble pas se prolonger dans l'est plus loin que 175° E (fig. 3).

Origine et propriétés des flux Est.

La topographie dynamique moyenne de surface relative à 1000 décibars (fig. 3) limitée à 170° E ne donne pas d'indications sur l'origine des contre-

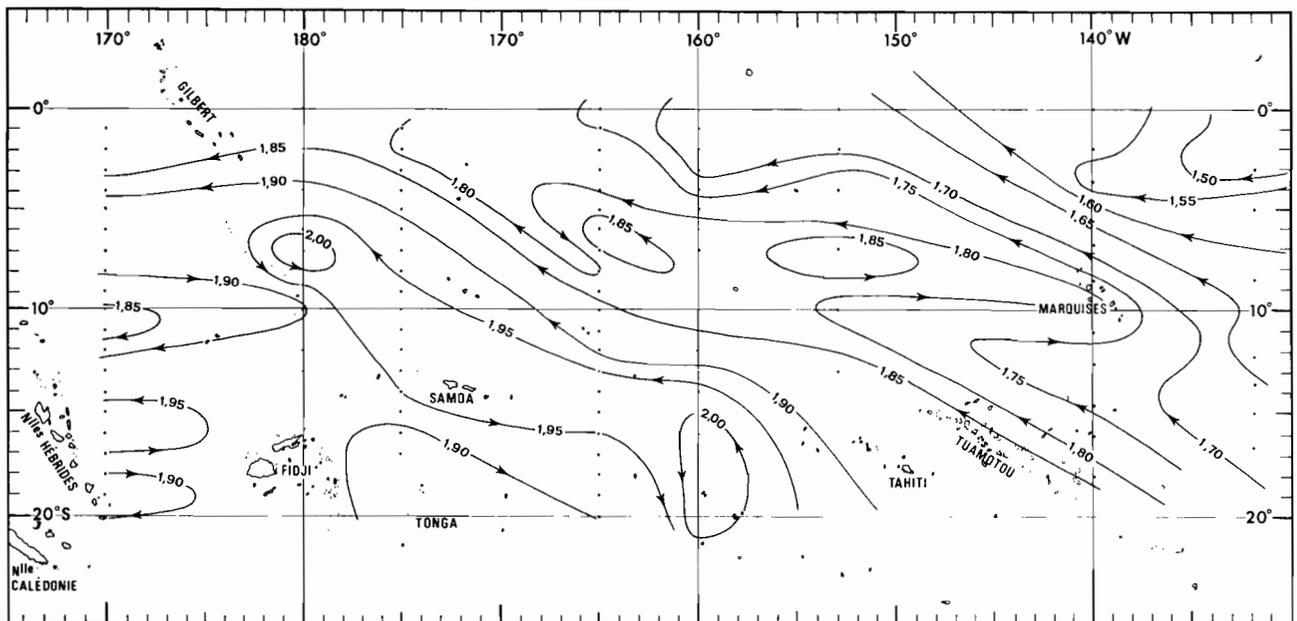


Fig. 3. — Moyenne des hauteurs dynamiques de surface par rapport à 1000 db (en m. dyn.).

courants de la partie occidentale du Pacifique sud-ouest. D'après JARRIGE (1968) et MERLE *et al.*, *op. cit.*, les contre-courants à 170° E sont toujours associés à une faible salinité de surface (fig. 5). DONGUY et HENIN (1975a) ont montré que l'eau dessalée qui marque le contre-courant équatorial sud était originaire de la Mer des Salomon ou du nord de la Mer du Corail, région occupée fréquemment par la zone de convergence des vents; les précipitations qui accompagnent cette zone peuvent renforcer la dessalure originelle du contre-courant équatorial sud. Cependant, le contre-courant tropical sud semble prendre naissance dans la partie occidentale de la Mer du Corail (DONGUY et HENIN, 1975b) et ne semble pas associé, à son origine, à une eau de surface particulièrement dessalée; la faible salinité observée à 170° E serait donc due à la traversée de l'archipel des Nouvelles Hébrides qui est une zone très arrosée.

A 150° W, le contre-courant observé à 10° S (fig. 3) semble dû à une oscillation assez localisée (de 170° W à 130° W) du courant équatorial sud qui porte à l'ouest entre l'équateur et 20° S. Il s'ensuit que les propriétés superficielles du flux Est

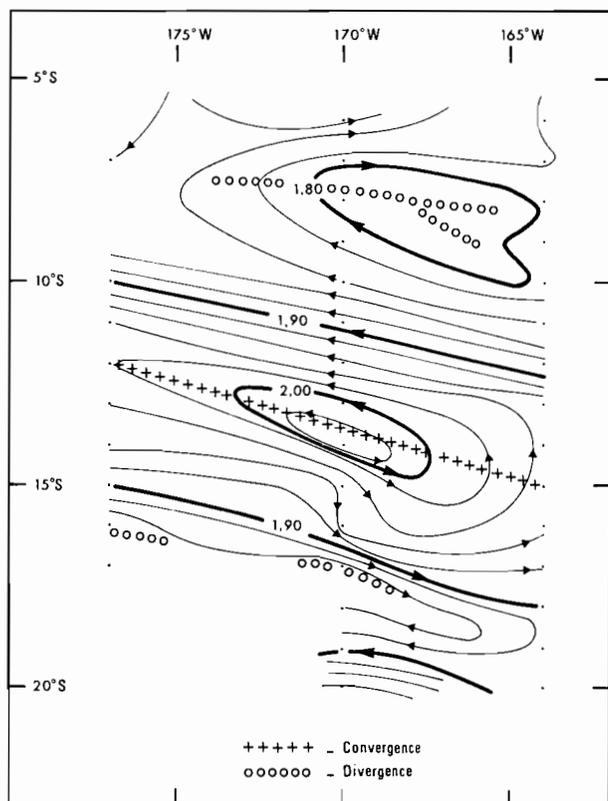


Fig. 4. — Topographie dynamique de surface par rapport à 1000 db (m. dyn.) au cours de la croisière Danaïdes (juillet 1970).

et du flux Ouest sont peu différentes. C'est ainsi que pendant la croisière DIADÈME en octobre 1967 à 140° W (fig. 6), le contre-courant à 10° S n'est pas caractérisé par une salinité de surface différente de celle du flux Ouest.

D'après les figures 5 et 6, les contre-courants ne sont pas profonds : à 170° E, la vitesse du contre-courant équatorial sud est inférieure à 10 cm/s au-dessous de 200 mètres de profondeur et celle du contre-courant tropical sud est inférieure à 10 cm/s au-dessous de 100 mètres; à 140° W, la vitesse du flux Est est inférieure à 10 cm/s au-dessous de 100 mètres de profondeur. JARRIGE (1968) attribue cependant une profondeur supérieure à 500 mètres au contre-courant équatorial sud mais avec des vitesses très faibles.

La topographie dynamique de surface relative à 1000 db pendant la croisière DANAIDES 1 (fig. 4) montre qu'à 170° W deux systèmes de circulation sont en présence : au nord de 15° S, la cellule cyclonique à laquelle appartient le contre-courant du Pacifique central (140° W); au sud de 15° S, la cellule anticyclonique à laquelle appartient le contre-courant équatorial sud du Pacifique occidental. A 170° W, la corrélation UAO*-PO₄P de la croisière DANAIDES 1 fait aussi apparaître deux systèmes de droites de régression. Le premier (fig. 7a) est caractéristique des stations à 10° S et 11° S dans le courant équatorial sud d'une part, ainsi que de celles à 6° S et 7° S dans le courant Est le plus nord d'autre part; ces deux courants appartiennent donc bien à une cellule fermée de circulation cyclonique. Le second (fig. 7b) est caractéristique des stations à 15° S et 16° S dans le contre-courant équatorial sud d'une part ainsi que de celles à 19° S et 20° S dans le courant Ouest le plus sud d'autre part; ces deux courants appartiennent donc également à la cellule de circulation anticyclonique mise en évidence plus haut. En surface, ces deux cellules sont 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.

Flux des contre-courants.

Les flux des contre-courants superficiels généralement calculés relativement à 1000 décibars sont assez variables. D'après JARRIGE (*op. cit.*), le flux du contre-courant équatorial sud à 170° E a varié de 2,2 à 19,6 $\times 10^6$ m³/s pendant les croisières du CORIOLIS de 1965 à 1967. Celui du contre-courant tropical sud, pendant les mêmes croisières est passé

* UAO, utilisation apparente de l'oxygène

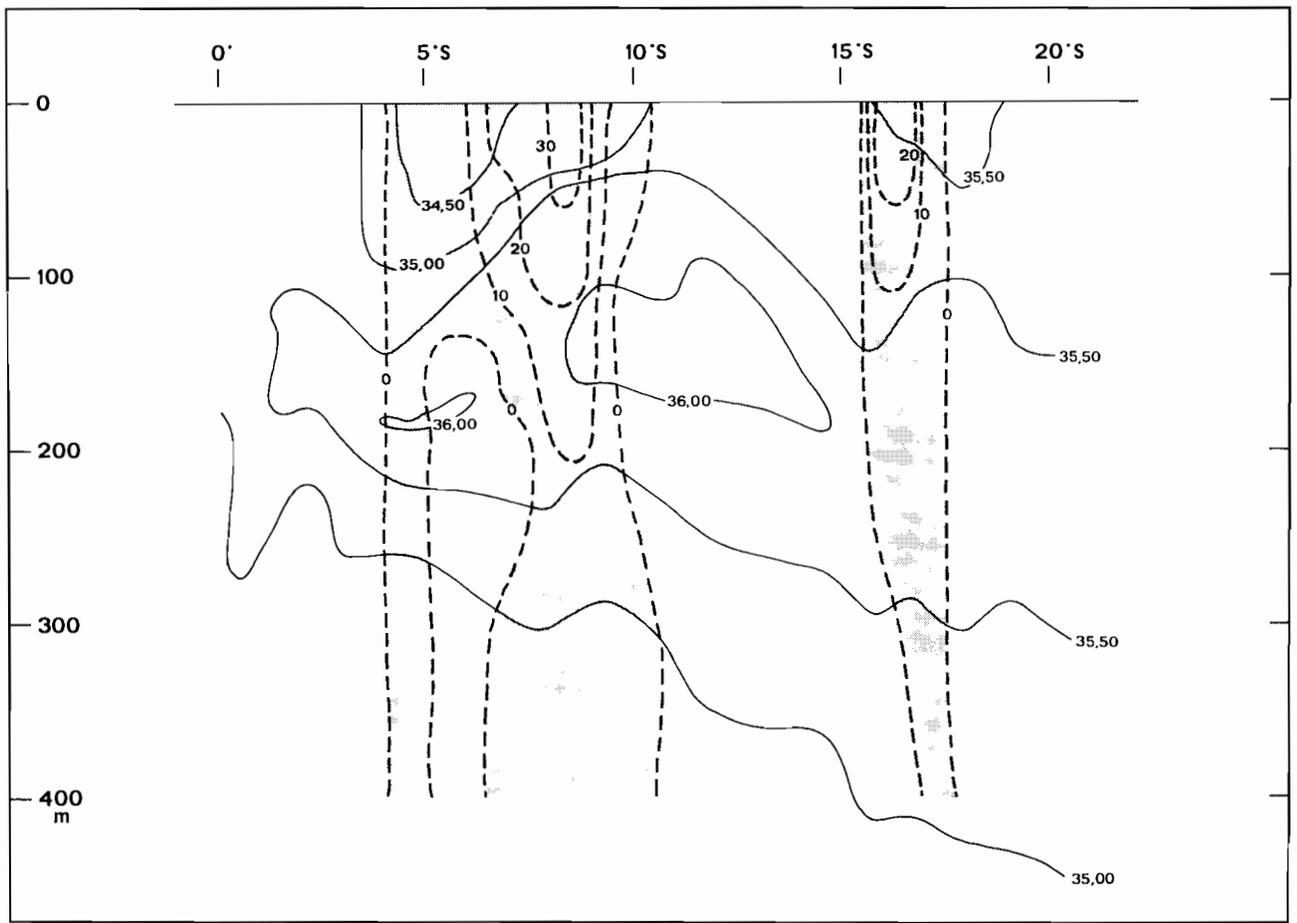


Fig. 5. — Bora 2 (mars 1966 - 170° E) — coupe verticale : salinité et contre-courants (cm/s), par rapport à 1000 db.

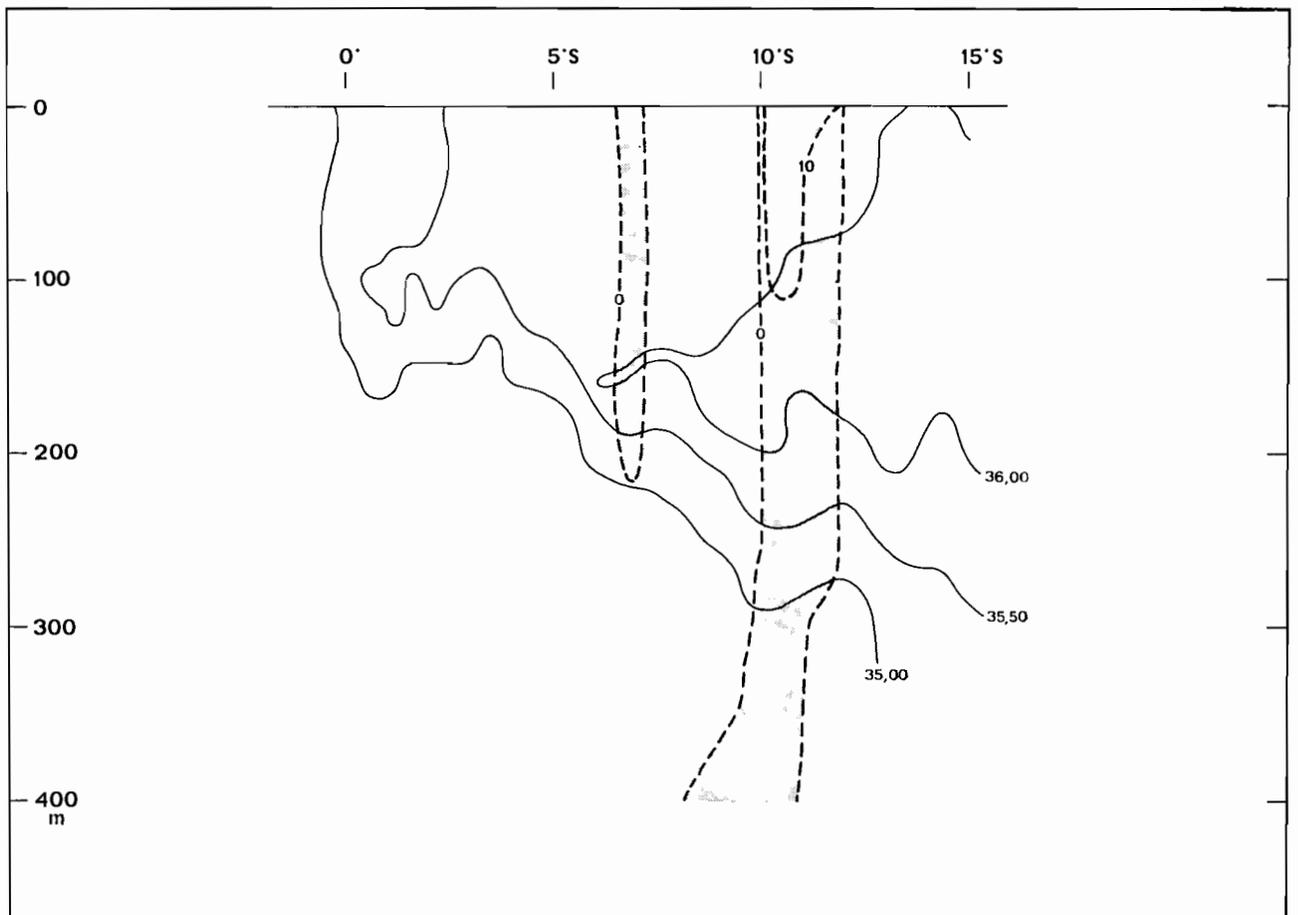
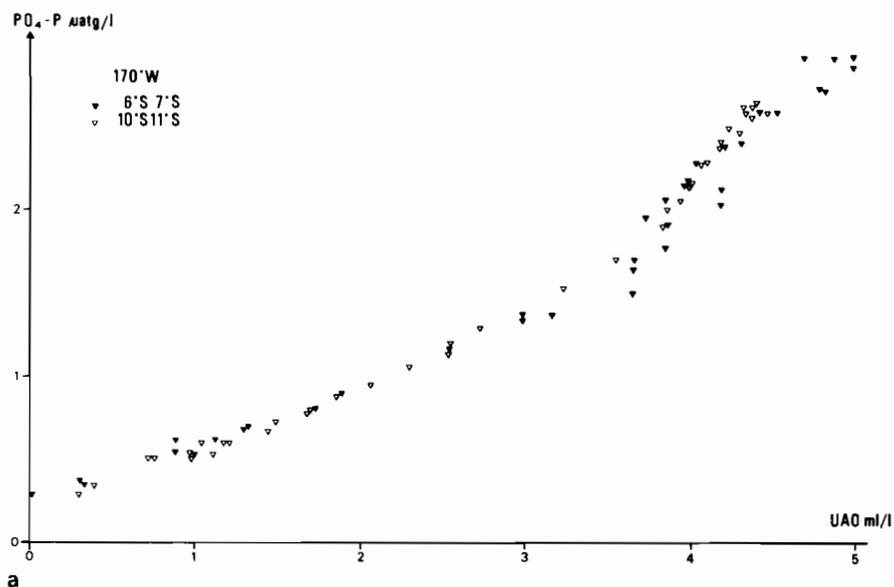
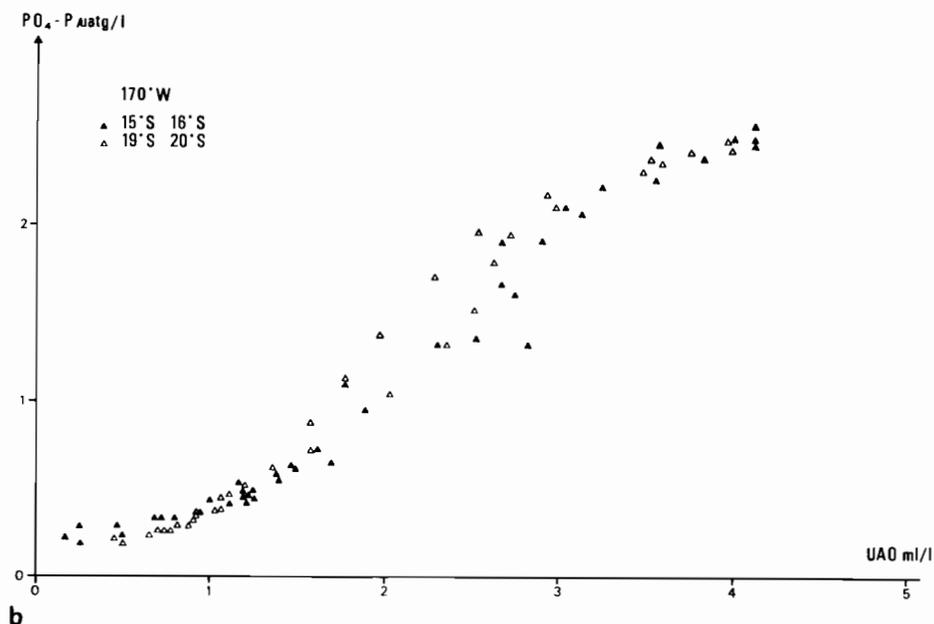
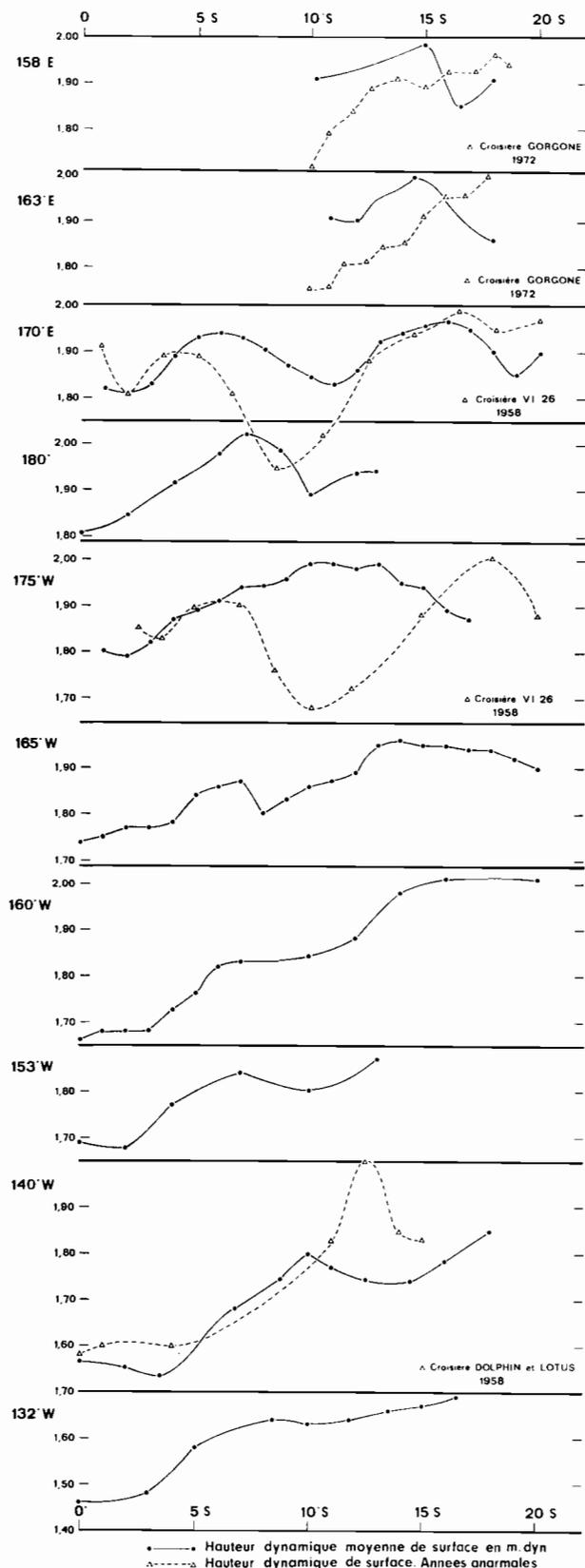


Fig. 6. — Diadème (octobre 1967 - 140° W) — coupe verticale : salinité et contre-courants en cm/s, par rapport à 500 db.

Fig. 7 a. — Diagramme $PO_4-P/U.A.O.$ à $170^\circ W$ de 6 à $7^\circ S$ et de 10 à $11^\circ S$.Fig. 7 b. — Diagramme $PO_4-P/U.A.O.$ à $170^\circ W$ de 15° à $16^\circ S$ et de 19° à $20^\circ S$.

de $0,5$ à $14 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ (MERLE *et al.*, *op. cit.*). D'après DONGUY et ROTSCHI (1970), le flux du contre-courant observé dans le Pacifique central pendant les croisières du CORIOLIS de 1967 à 1970 est compris entre 3 et $15 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$. Les flux des contre-courants calculés pendant d'autres croisières faites entre 1956

et 1973 sont du même ordre de grandeur (voir tableau), excepté pendant les croisières VI 26 et VI 27 du VITYAZ faites en décembre 1957 et juin 1958 où ils atteignent respectivement $34,2$ et $33,0 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$. Comme il le sera établi ultérieurement ces croisières ont été faites avec des conditions



météorologiques inhabituelles qui entraînaient l'existence d'un flux Est proche de l'équateur et particulièrement fort.

Variabilité de la circulation superficielle dans le Pacifique tropical sud-ouest.

DONGUY et HENIN (sous presse) ont montré que la variabilité des conditions de surface dans le Pacifique tropical sud-ouest était importante et qu'elle était liée à celle des conditions météorologiques observées simultanément. Comme la circulation est en grande partie due aux vents, il s'ensuit que le régime des contre-courants dépend lui aussi des conditions météorologiques. En dehors des variations saisonnières encore mal connues, le bouleversement des conditions météorologiques et des conditions de surface pendant les années « anormales » 1957-1958 et 1972-1973 (DONGUY et HENIN sous presse) a été évidemment sensible sur la circulation superficielle.

Sur la figure 8, les hauteurs dynamiques moyennes de surface relatives à 1000 décibars ont été évaluées le long des méridiens 158° E et 163° E entre 10° S et 20° S en Mer du Corail et le long des méridiens 170° E, 180°, 175° W, 165° W, 160° W, 153° W, 140° W et 132° W entre l'équateur et 20° S. Aux valeurs croissantes des hauteurs dynamiques vers le sud correspondent des flux superficiels portant à l'ouest et aux valeurs décroissantes des flux superficiels portant à l'Est. A 150° E et 163° E, en Mer du Corail, le flux porte à l'ouest de 10° S à 15° S et porte à l'est au sud de 15° S ce qui correspond au contre-courant tropical sud qui prend naissance en Mer du Corail, le contre-courant équatorial sud n'existant normalement qu'au nord des îles Salomon. A 170° E, on distingue le contre-courant équatorial sud de 5° S à 12° S et le contre-courant tropical sud de 17° S à 20° S. A 180°, le contre-courant équatorial sud existe de 7° S à 10° S mais il n'y a pas de données au sud de 13° S. A 175° W, le contre-courant équatorial sud s'étend de 10° S jusqu'au moins 18° S. A 165° W, le contre-courant équatorial sud n'est marqué qu'au sud de 15° S mais on observe un nouveau courant Est vers 7° S qui est l'amorce du flux Est du Pacifique central. A 160° W, par contre, ce flux n'est pas sensible mais on le reconnaît à 153° W entre 7° S et 9° S et à 140° W entre 10° S et 15° S ; il semble disparaître à 132° W.

←

Fig. 8. — Hauteur dynamique moyenne de surface en mètre dynamique à 158° E, 163° E, 170° E, 180°, 175° W, 165° W, 160° W, 153° W, 140° W, 132° W, par rapport à 1000 db.

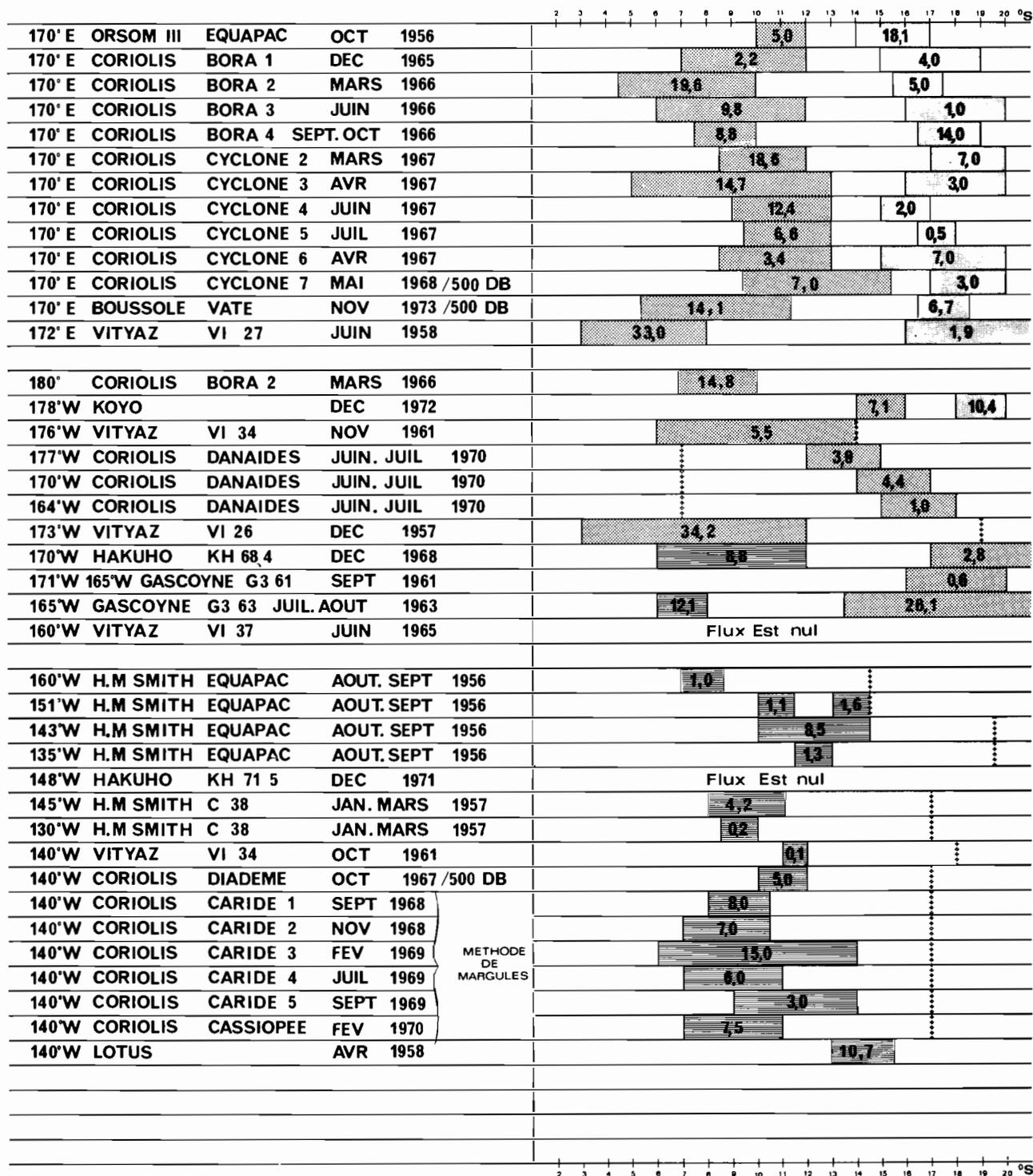


Tableau. -- Flux portant à l'Est par rapport à 1000 db en 10⁶m³/s.

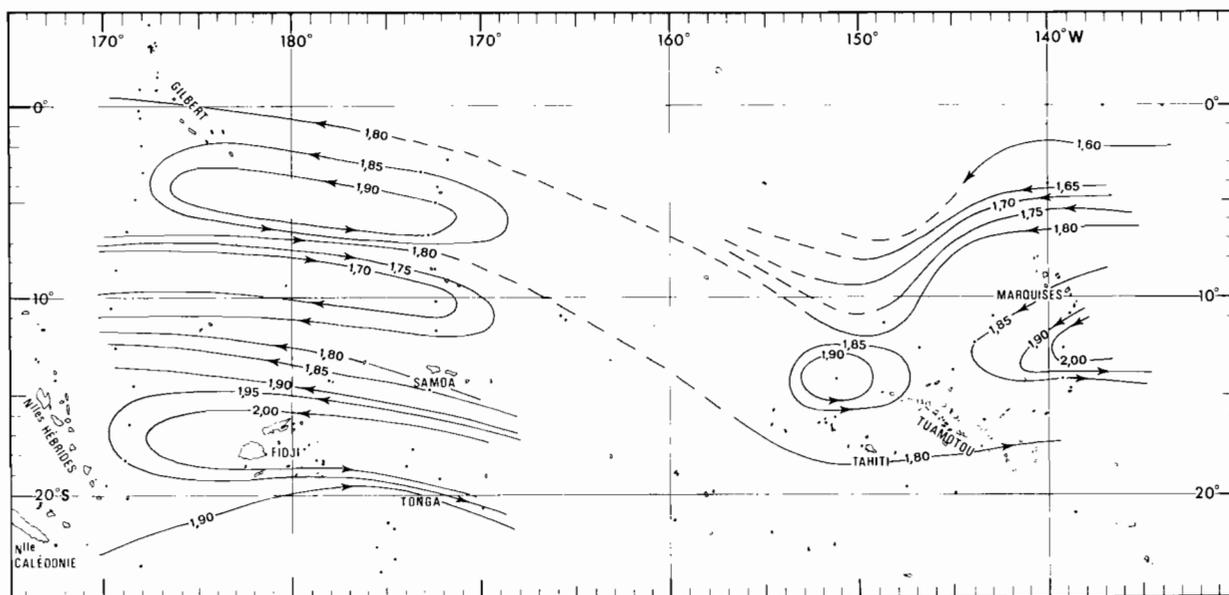


Fig. 9. — Topographie dynamique moyenne de surface relative à 1000 db (en m. dyn.) (début 1958).

En année anormale, le contre-courant tropical sud n'existe pas en Mer du Corail comme le montrent les données de la croisière GORGONE 1 en 1972. En 1957-1958 d'après les données des croisières VI 26 et VI 27, le contre-courant équatorial sud, situé entre 5° S et 10° S, est plus large qu'en année normale et sa pente dynamique plus forte que la moyenne correspond à un flux plus important (voir tabl. p. 23). De même à 140° W, les données des croisières DOLPHIN et LOTUS en 1958 présentent une pente dynamique qui correspond à un flux Est plus important que la moyenne.

La topographie dynamique de surface relative à 1000 décibars (fig. 9) début 1958, année anormale, est à mettre en relation avec le champ de vent et la distribution de la salinité de surface correspondante (fig. 10). Pendant au moins trois mois, un minimum de salinité s'étendait de l'équateur à 10° S atteignant à l'est 150° W; il était dû à de fortes précipitations amenées par des vents d'ouest. Cette eau dessalée et ce vent d'ouest semblent coïncider avec le contre-courant équatorial sud dont le flux est plus septentrional et plus important qu'en année normale. En Polynésie, également associé à de l'eau dessalée et à du vent d'ouest, un flux Est apparaît entre 17° S et 20° S à la place d'un flux Ouest en année normale (fig. 3); il semble

se prolonger à l'est de 140° W. Les observations manquant entre 170° W et 155° W, il n'est pas possible d'établir la continuité entre le flux Est situé à l'ouest de 170° W et celui observé en Polynésie. En outre, le contre-courant tropical sud semble plus fort qu'en année normale et se prolonge au moins jusqu'à 170° W.

Conclusion.

Les travaux du Centre O.R.S.T.O.M. de Nouméa ont permis de mettre en évidence dans le Pacifique tropical sud-ouest une circulation superficielle plus complexe que celle qui est habituellement envisagée. A la place de la cellule anticyclonique unique couvrant tout le Pacifique sud, on distingue de l'Australie à 130° W deux cellules indépendantes. A l'ouest de 160° W deux contre-courants apparaissent : le contre-courant équatorial sud et le contre-courant tropical sud. A l'est de 160° W, on n'en distingue plus qu'un seul indépendant des deux premiers. Les caractéristiques de ces contre-courants ont été déterminées mais leurs variations saisonnières et leur influence sur la productivité de la région restent à étudier.

Manuscrit reçu au S.C.D. de l'O.R.S.T.O.M. le 26 décembre 1975.

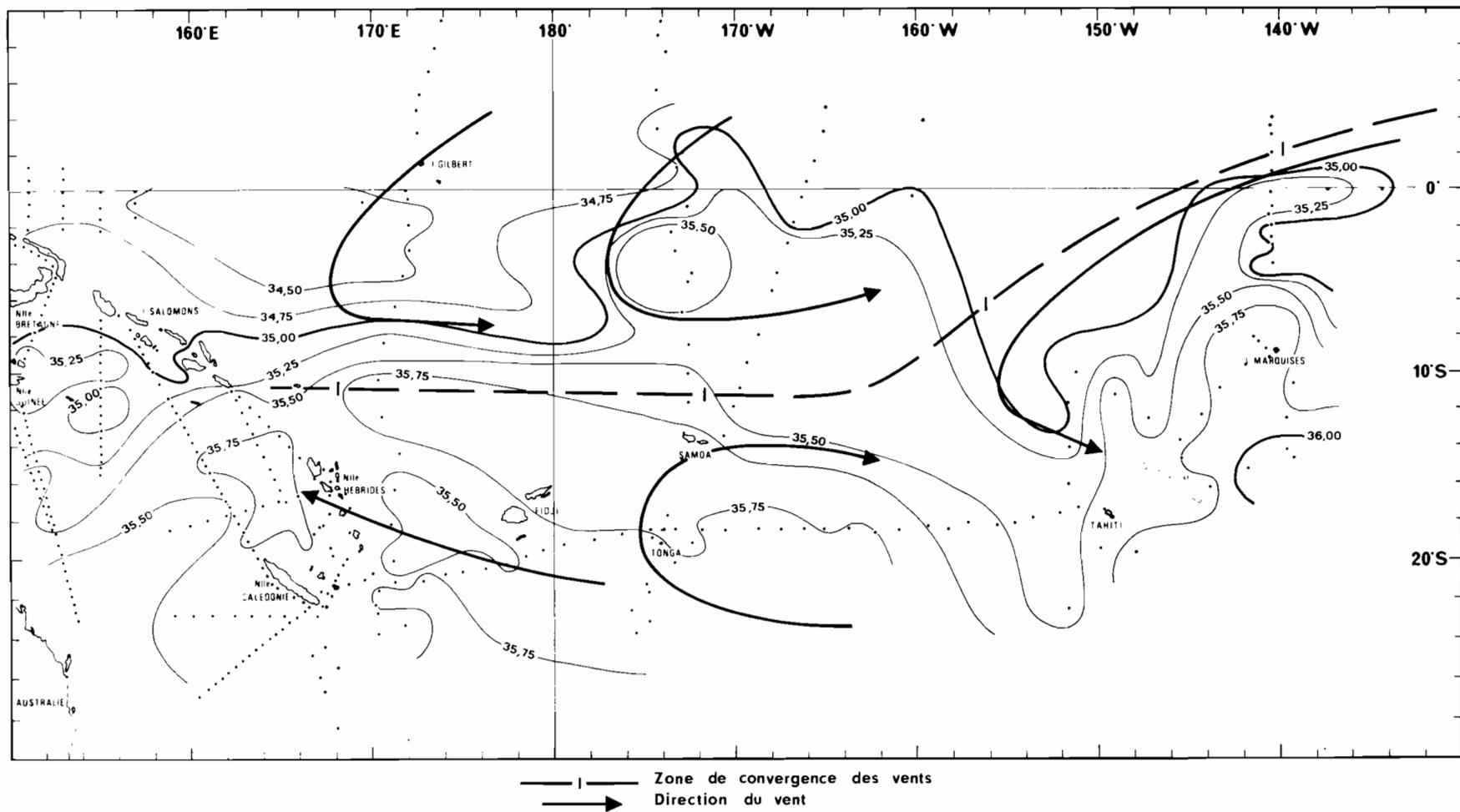


Fig. 10. — Salinité de surface (début 1958).

BIBLIOGRAPHIE

- ATKINSON (F. D.), SADLER (J. C.), 1970. — Mean-Cloudiness and Gradient-level wind charts over the tropics. Air Weather Service, United States Air Force.
- BURKOV (V. A.), 1966. — Structure and nomenclature of Pacific Ocean currents. *Oceanology* vol. 6, n° 1 : 1-10 (traduction anglaise).
- DONGUY (J. R.), ROTSCHI (H.), 1970. — Sur un courant Est dans le Pacifique central tropical sud. *C. R. Acad. Sc. Paris*, vol. 271 : 869-872.
- 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.
- DONGUY (J. R.), HENIN (C.), 1975 a. — Surface waters in the north of the Coral Sea. *Aust. J. mar. Freshwat. Res.*, vol. 26, n° 2 : 293-296.
- DONGUY (J. R.), HENIN (C.), 1975 b. — Evidence of the South Tropical Counter-Current in the Coral Sea. *Aust. J. mar. Freshwat Res.*, vol. 26, n° 3 : 405-409.
- DONGUY (J. R.), HENIN (C.), sous presse. — Anomalous navifacial salinities in the Tropical Pacific Océan. *J. Mar. Res.*
- 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.
- 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.
- WOOSTER (W. S.), 1961. — Further evidence of a Pacific south equatorial countercurrent. *Deep Sea Res.*, vol. 8, n° 3/4 : 294-297.
- YOSHIDA (K.), KIDOKORO (T.), 1967. — A subtropical countercurrent — A prediction of eastward flows at lower subtropical latitudes. *J. Oceanogr. Soc. Jap.*, vol. 23, n° 5 : 231-246.

UPWELLING ET DÔME DANS LE PACIFIQUE TROPICAL OCCIDENTAL : DISTRIBUTIONS PHYSICO-CHIMIQUES ET BIOMASSE VÉGÉTALE

CLAUDE OUDOT ET BRUNO WAUTHY

Océanographes, O.R.S.T.O.M., B.P. A 5, Nouméa-Cedex (Nouvelle-Calédonie)

RÉSUMÉ

Les distributions des variables physico-chimiques observées durant la campagne MINEPO (1973) sont présentées et interprétées en fonction du modèle modifié et adapté de circulation méridienne équatoriale proposé par CROMWELL. La répartition de la production primaire met clairement en évidence, outre l'upwelling équatorial, une importante zone productive associée à un dôme au sud de l'Équateur. Un important déplacement méridien des grands traits de structure hydrologique est relevé à court terme. L'étude du nitrite dans le champ de densité montre l'importance de la circulation méridienne en zone équatoriale et permet de distinguer différents stades, dans le temps et l'espace, de formation de ce sel. Les anomalies de distributions verticales des sels nutritifs (inversions), en particulier de nitrate, sont interprétées physiquement et biochimiquement.

ABSTRACT

The distributions of physicochemical observations collected during the MINEPO cruise (1973) are given and interpreted according to the modified theoretical model of meridional equatorial circulation proposed by CROMWELL. The repartition of primary production points out, besides the equatorial upwelling, an important productive area associated with a doming south of the Equator. An important meridional short-term shift of the hydrological features is noticed. The study of nitrite distribution in the field of density shows the importance of the equatorial meridional circulation and allows to discern various stages, in time and space, of the formation of this salt. The anomalies of vertical distributions of nutrients (inversions), particularly nitrate, are discussed physically and biochemically.

1. Introduction.

Il est communément admis depuis CROMWELL (1953) que dans les parties centrales et occidentales de l'Océan Pacifique Équatorial la production des eaux ne saurait être due à une advection de sels nutritifs depuis le secteur oriental bordant le continent sud-américain, siège d'enrichissements continus sous l'effet de phénomènes d'upwelling. Le régime des alizés dans le Pacifique central est suffisamment constant dans le temps et puissant pour entretenir une divergence des eaux de surface à l'Équateur

qui induit un upwelling, source de matières nutritives nécessaires à toute production primaire.

Jusqu'aux travaux du Centre O.R.S.T.O.M. de Nouméa, la présence d'un upwelling équatorial à l'ouest de 180° E n'apparaissait pas comme un des traits caractéristiques de la région : la force d'entraînement des alizés semblait trop faible pour provoquer un upwelling permanent qui puisse créer un refroidissement équatorial accompagné d'une augmentation des teneurs en sels nutritifs.

Sur onze croisières transéquatoriales le long du méridien 170° E, réparties sur une période de deux

ans et demi (novembre 1965 - mai 1968) neuf ont révélé l'existence d'un refroidissement équatorial. L'upwelling qui engendre ce refroidissement est rarement axé sur l'Équateur : on le trouve tantôt au nord, tantôt au sud. Ce décalage par rapport à l'Équateur, parfaitement illustré par CROMWELL (1953), résulte du régime des vents alizés soufflant sur la région, du secteur nord-est ou sud-est suivant la saison, et s'accompagne d'une circulation méridienne qui revêt un intérêt particulier pour la zone (OUDOT, RUAL et WAUTHY, 1972).

Dès les premières observations échelonnées le long du méridien 170° E entre 20° S et 4° N, de fortes concentrations de nitrite relevées au voisinage d'une zone de convergence, au sommet de la thermocline dans une couche bien oxygénée, ont retenu l'attention des chercheurs intrigués par l'origine de ce sel. La zone de convergence située approximativement à 5° S, est la limite entre le Contre-Courant Équatorial Sud (C.C.E.S.), courant de retour dessalé portant à l'est vers 10° S (JARRIGE, 1968) et le Courant Équatorial (C.E.), au nord de ce dernier, transportant vers l'ouest une production organique engendrée par l'upwelling équatorial. L'explication la plus communément acceptée pour les fortes teneurs en nitrite associées à la couche euphotique de l'océan ouvert considère le nitrite comme un stade intermédiaire de la formation de nitrate (RILEY et SKIRROW, 1965). Mais si des bactéries nitrifiantes oxydant l'ammoniaque ont bien été mises en évidence dans la couche euphotique (BRANDHORST, 1959 - CARLUCCI et Mc NALLY, 1969 - WADA et HATTORI, 1971), des bactéries dénitrifiantes engagées dans la réduction du nitrate ont été également signalées (PAGES, 1972 - HATTORI et WADA, 1971). Récemment des auteurs japonais (MIYAZAKI, WADA et HATTORI, 1973) utilisant des techniques d'analyse isotopique à l'azote marqué (N 15) ont montré que les activités potentielles pour la production de nitrite à partir de nitrate et d'ammoniaque sont du même ordre, dans les eaux peu profondes de la baie de Sagami. Ainsi le problème de l'origine du nitrite présent dans la couche superficielle (0-200 mètres) des océans, dont la résolution pourrait faire grandement avancer l'hypothèse de la reminéralisation de la matière organique dans la couche superficielle proposée par MENZEL et RYTHER (1970), reste entier.

Le nitrite, bien que connu pour son instabilité chimique relative, revêt par ailleurs un certain intérêt hydrologique : associé à un maximum de salinité il reflète une partie de la circulation zonale et méridienne. (WOOSTER, CHOW et BARRETT, 1965 - HISARD et PITON, 1969 - HATTORI et WADA, 1971 - OUDOT, HISARD et VOITURIEZ, 1969). La question de la continuité par advection de la couche d'accumulation de nitrite relevée à la latitude de la conver-

gence sud équatoriale sur pratiquement toute l'étendue du Pacifique, est posée.

En s'appuyant sur les résultats acquis au cours des nombreuses croisières accomplies par le N. O. CORIOLIS dans le Pacifique Occidental et principalement de la croisière ÉPONITE (août-septembre 1970) une hypothèse fût avancée sur la dynamique de la reminéralisation de la matière organique en zone équatoriale (OUDOT, RUAL et WAUTHY, 1972). Sous l'effet des vents alizés soufflant du secteur nord-est sur l'Équateur, les eaux froides et riches « upwellées » au nord de l'Équateur s'enfoncent à la latitude de la zone frontale du sud de l'Équateur, sous les eaux chaudes et homogènes de surface. Au cours de l'écoulement zonal et méridien la matière organique produite à la suite de l'upwelling est soumise au cycle progressif de la minéralisation illustré par la rencontre des fortes teneurs de nitrite

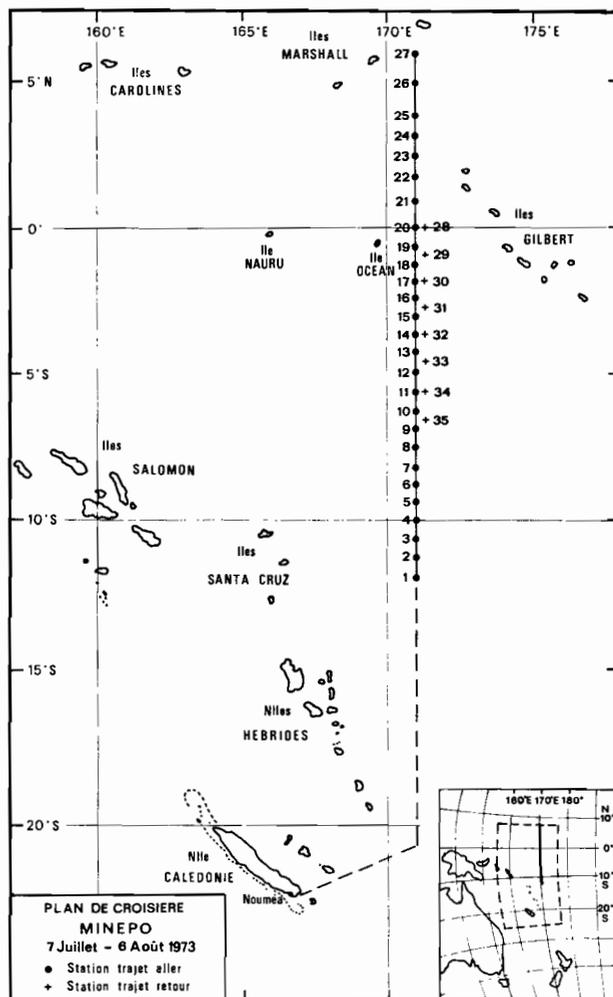


Fig. 1. — Position des stations effectuées par le N. O. LE NOROIT lors de la croisière MINEPO (1973).

puis de nitrate au voisinage de la convergence sud. Ce stock de sels nutritifs peut être utilisé pour alimenter un upwelling au sud de l'Équateur induit par des alizés de sud-est et renforcer la fertilité équatoriale. C'est dans le but de vérifier cette hypothèse dans d'autres conditions hydrologiques et de l'étayer si possible, qu'a été programmée la croisière MINEPO.

2. Plan de la croisière et méthodes.

La croisière MINEPO réalisée en juillet-août 1973 à bord du N. O. LE NOROIT présente deux phases d'exécution (fig. 1) :

- la première, la plus importante, consiste en un trajet méridien de 12° S à 6° N entrecoupé de stations hydrologiques et courantométriques espacées de 40 milles.
- la seconde, plus courte, avec un trajet méridien limité à 0° - 7° S, jalonné de stations hydrologiques et courantométriques tous les degrés.

L'intervalle de temps qui sépare les deux passages à l'Équateur est de huit jours et à 7° S de quinze jours.

Chaque station hydrologique conduit à un échantillonnage serré entre 0 et 200 mètres (20 niveaux suivant le trajet aller et 24 niveaux sur le trajet retour) au moyen de bouteilles Niskin 1,7 l (entièrement en PVC). Les déterminations de salinité, oxygène, ammoniacque, nitrite, nitrate, phosphate, silicate, azote et phosphore organique dissous et de pigments chlorophylliens sont réalisées à bord, immédiatement après la récolte des échantillons. En outre, les filtres qui ont servi à recueillir la matière particulée sont stockés pour l'analyse ultérieure au laboratoire de l'azote et du phosphore organique particulaire.

Les mesures de température, salinité et oxygène sont faites suivant les techniques classiques : respectivement thermomètres à renversement (fabrication japonaise YOSHINO), salinomètre à induction Autolab, méthode de WINKLER avec titrage potentiométrique automatique de l'iode libéré. Les sels nutritifs sont dosés automatiquement en adaptant à l'Auto Analyzer Technicon II les méthodes manuelles classiques : méthode de KOROLEFF (1969) pour l'ammoniacque, méthode de BENSCHNEIDER et ROBINSON (1952) pour le nitrite, méthode de WOOD, ARMSTRONG et RICHARDS (1967) pour le nitrate,

méthode de MURPHY et RILEY (1962) pour le phosphate, et méthode de BREWER et RILEY (1966) pour le silicate. Les mesures de chlorophylle *a* et de phaeopigments sont exécutées par fluorimétrie suivant la technique d'extraction acétonique des pigments retenus sur des filtres Millipore HA 0,45 μ (STRICKLAND et PARSONS, 1968).

La détermination de l'azote et du phosphore organique dissous a lieu suivant la technique d'irradiation ultra-violette (lampe à vapeur de mercure 450 W) d'échantillons d'eau filtrée sur des filtres en fibre de verre Gelman type A (ARMSTRONG et TIBBITS, 1968). Cette même technique d'irradiation U. V est appliquée pour doser l'azote et le phosphore organique particulaire. En outre, des mesures d'extinction de la lumière à 260 nm, en cuve de 10 cm, ont été exécutées (à l'aide d'un spectrophotomètre Beckman DU2) sur les échantillons d'eau de mer filtrée en vue d'apprécier globalement la matière organique dissoute M.O.D. (ARMSTRONG et BOALCH, 1961). Les résultats de matière organique dissoute et particulaire seront présentés dans une autre publication en préparation.

Les observations courantométriques sont effectuées au moyen de deux courantographes Hydro-Products modèle 501 B et les résultats sont donnés relativement à une couche de référence choisie à 500 m et supposée immobile (MAGNIER *et al.*, 1973).

Les observations météorologiques sont celles rapportées par la passerelle pendant le déroulement de la campagne.

3. Résultats d'observation (trajet aller).

3.1. CONDITIONS EN SURFACE.

L'analyse de la distribution des vents régnant sur la zone équatoriale pendant la croisière se résume en une opposition assez nette de part et d'autre de l'Équateur (fig. 2, a) :

- vent de secteur sud-est au nord de l'Équateur,
- vent de nord-est au sud,
- convergence à 3° N et vers 5°-7° S.

Sachant qu'il existe un temps de réponse entre la cause (vent) et l'effet (courant) plus ou moins long mais non négligeable, on est frappé par le bon accord entre la météorologie (fig. 2, a) et la circulation de surface (fig. 2, b), tout au moins dans la bande équatoriale proprement dite 4° N - 4° S. La divergence dynamique (1), au sein du C.E. est légèrement au

(1) On convient d'appeler « divergence dynamique » la divergence des composantes méridiennes du courant par opposition à « divergence hydrologique » qui est la manifestation au plan hydrologique (refroidissement thermique par exemple) de la divergence dynamique et qui est souvent décalée par rapport à cette dernière.

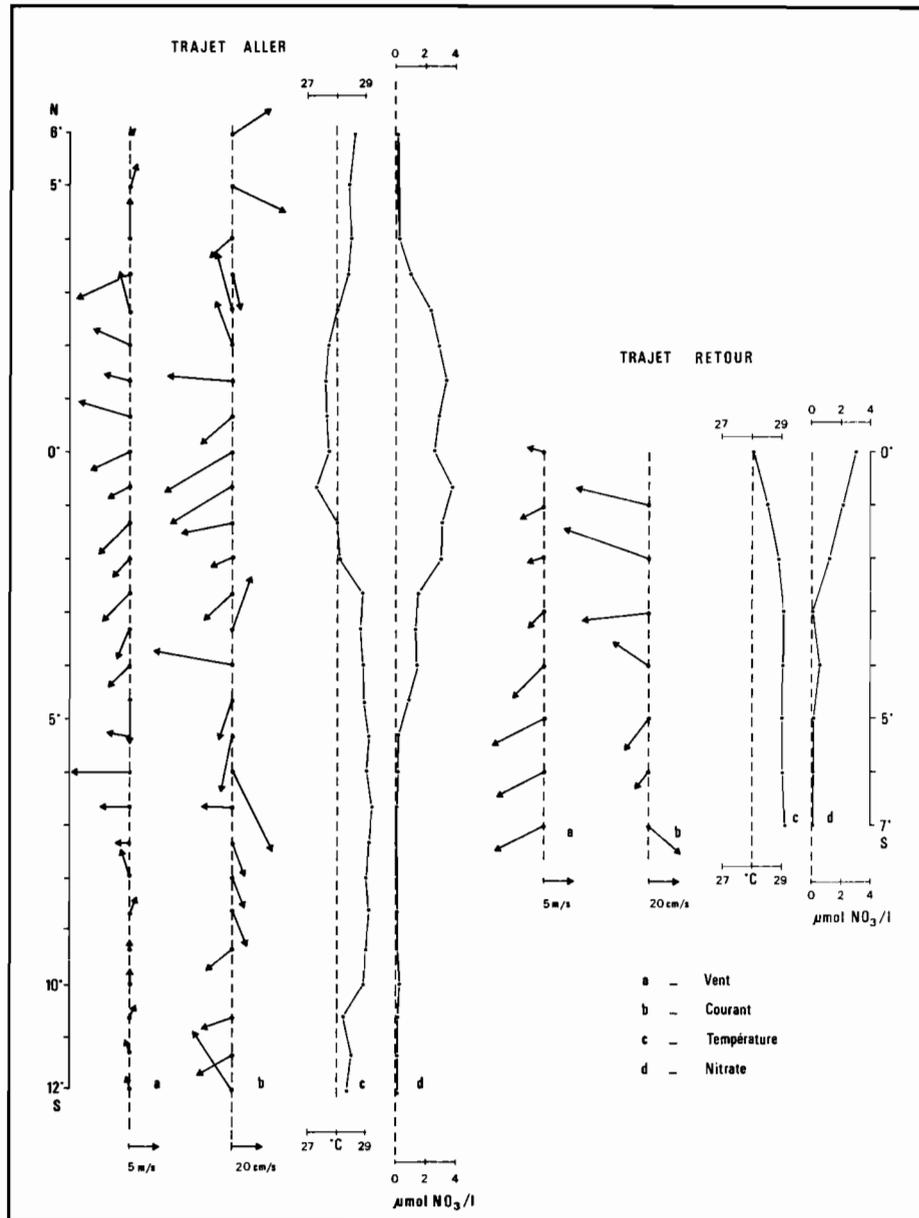


Fig. 2. — Distribution des vents (a), des courants (b), de la température (c) et de la teneur en nitrate (d) à la surface de la mer au cours des trajets aller et retour de la croisière MINEPO (1973).

nord de l'Équateur, ainsi que la divergence des composantes méridiennes du vent. Les flux est (C.C.E.N. au nord de 5° N et C.C.E.S. de 6° à 9° S) ne suivent pas exactement l'entraînement par le vent observé : ce sont en effet des courants de retour, de la masse d'eau accumulée sur la bordure occidentale de l'océan, qui s'écoulent dans une zone où les alizés plus faibles offrent une résistance moindre.

La situation hydrologique et ses conséquences

(distribution des sels nutritifs) montrent par contre le déphasage évoqué plus haut entre la cause et l'effet. L'upwelling ou divergence hydrologique, repéré en premier lieu par la distribution horizontale de la température (fig. 2, c) est situé légèrement au sud de l'Équateur. On note vers 10° S un léger refroidissement, qui sera commenté plus tard lors de la présentation de la coupe de distribution verticale de la température.

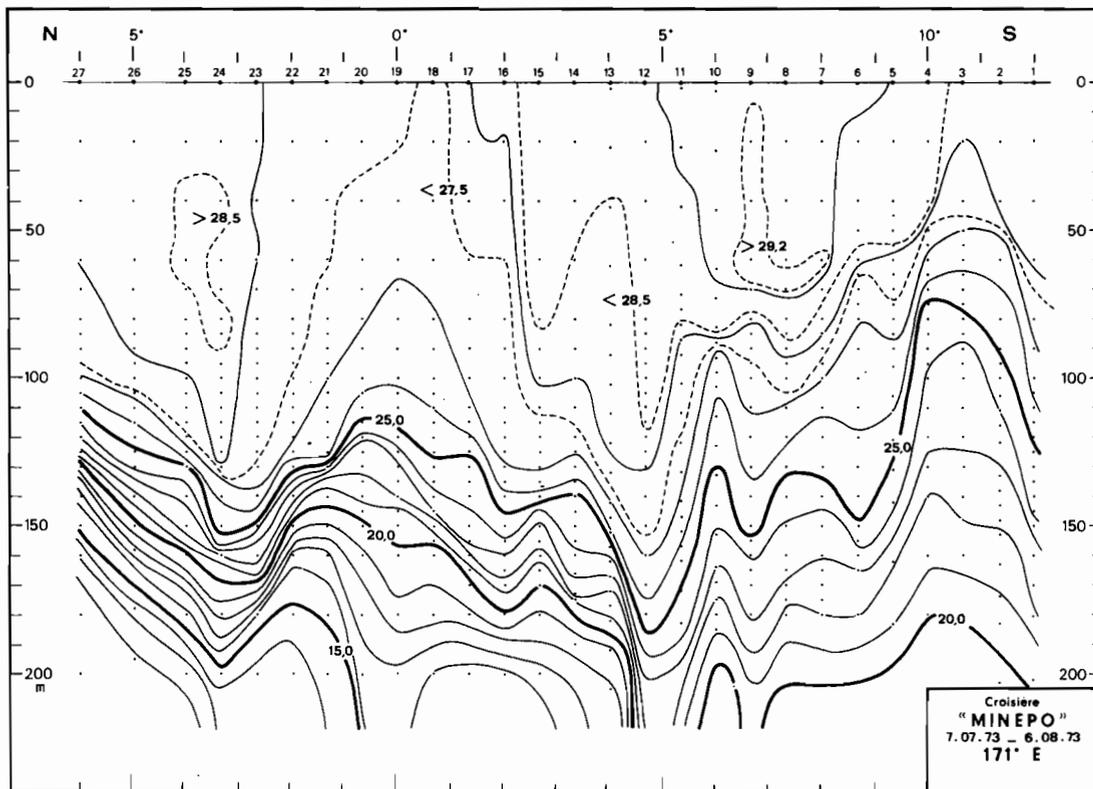


Fig. 3. — Distribution verticale de la température (°C) au cours du trajet aller.

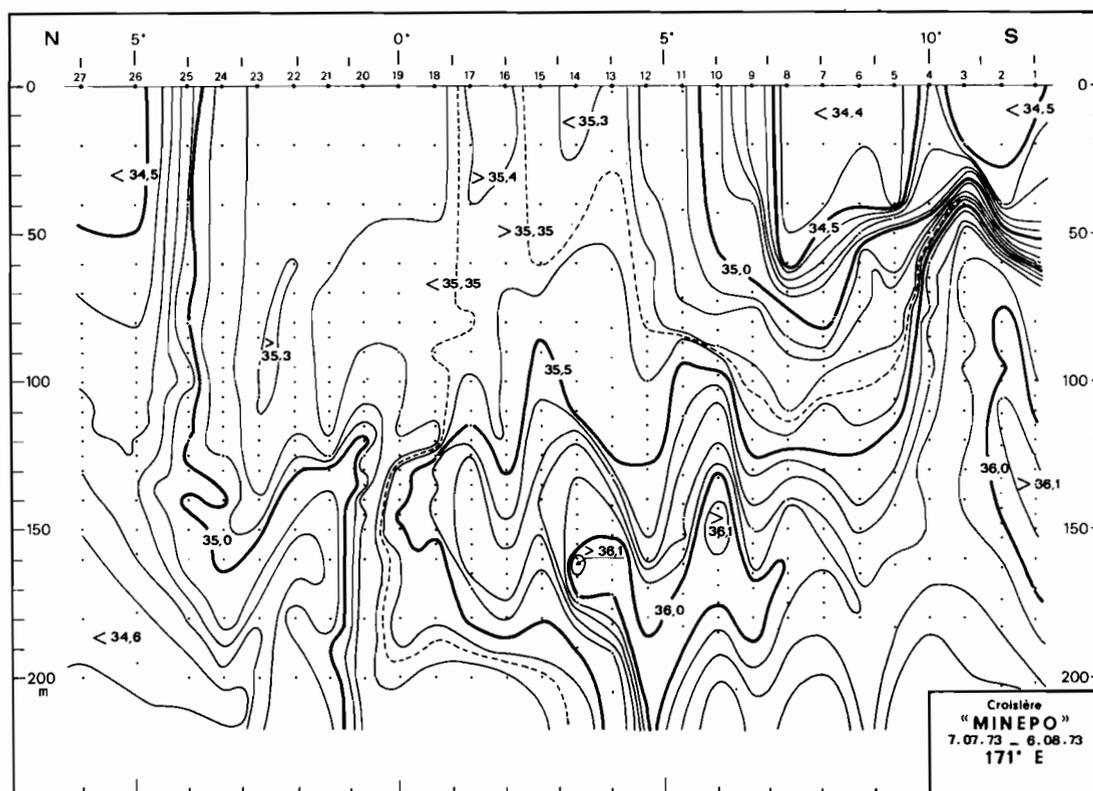


Fig. 4. — Distribution verticale de la salinité (‰) au cours du trajet aller.

La distribution des sels nutritifs à la surface de la mer (fig. 2, d) est l'image fidèle de la répartition des températures et des courants :

- l'axe de l'upwelling (maximum de nitrate) est légèrement au sud de l'Équateur,
- la zone d'enrichissement liée à l'upwelling équatorial est bordée par des zones épuisées en nitrate (teneurs inférieures à $0,10 \mu\text{mol/l}$),
- au voisinage de 10°S le très léger enrichissement sera confirmé par la distribution verticale du nitrate.

3.2. DISTRIBUTIONS VERTICALES ET MÉRIDIENNES DES PROPRIÉTÉS PHYSICO-CHIMIQUES.

Dans la couche de surface (0-100 mètres) les structures thermique (fig. 3) et haline (fig. 4) illustrent la présence d'un upwelling intense qui affecte la bande équatoriale de 3°N à 2°S . Le front halin à $3^\circ\text{-}4^\circ \text{N}$, frontière entre deux épaisses couches homogènes en température et salinité, et plus particulièrement la zone d'inversions de température ($T > 28,5^\circ \text{C}$) marquent la convergence entre une masse d'eau chaude et dessalée au nord et une autre

plus froide et plus salée à l'Équateur. En reprenant la terminologie de GRIFFITHS (1965) et pour schématiser la structure différente au nord de l'Équateur par rapport au sud, nous qualifierons cette limite de « front convergent ». Au sud de l'Équateur un même front halin se retrouve à $6^\circ\text{-}7^\circ \text{S}$, accompagné également d'une zone d'inversions de température ($T > 29,2^\circ \text{C}$). En outre une zone frontale thermique à 2°S vient compliquer la situation hydrologique : le gradient thermique méridien dû à l'upwelling équatorial et lié à la divergence des eaux de surface est appelé par analogie « front divergent ».

En subsurface (en dessous de 100 mètres) le trait caractéristique est l'affrontement à l'Équateur d'une masse d'eau dessalée d'origine nord et de la masse d'eau salée de l'hémisphère sud, elle-même scindée en deux noyaux de salinité supérieure à $36,0\text{‰}$. Au voisinage de 10°S , les isothermes aussi bien que les isohalines révèlent la présence d'un dôme prononcé entre 50 et 150 mètres de profondeur.

Les distributions verticales de sels nutritifs, à l'image de celle du nitrate (fig. 5), confirment les grands traits de structure définis précédemment. Outre l'enrichissement superficiel consécutif à l'upwelling équatorial limité par les zones frontales

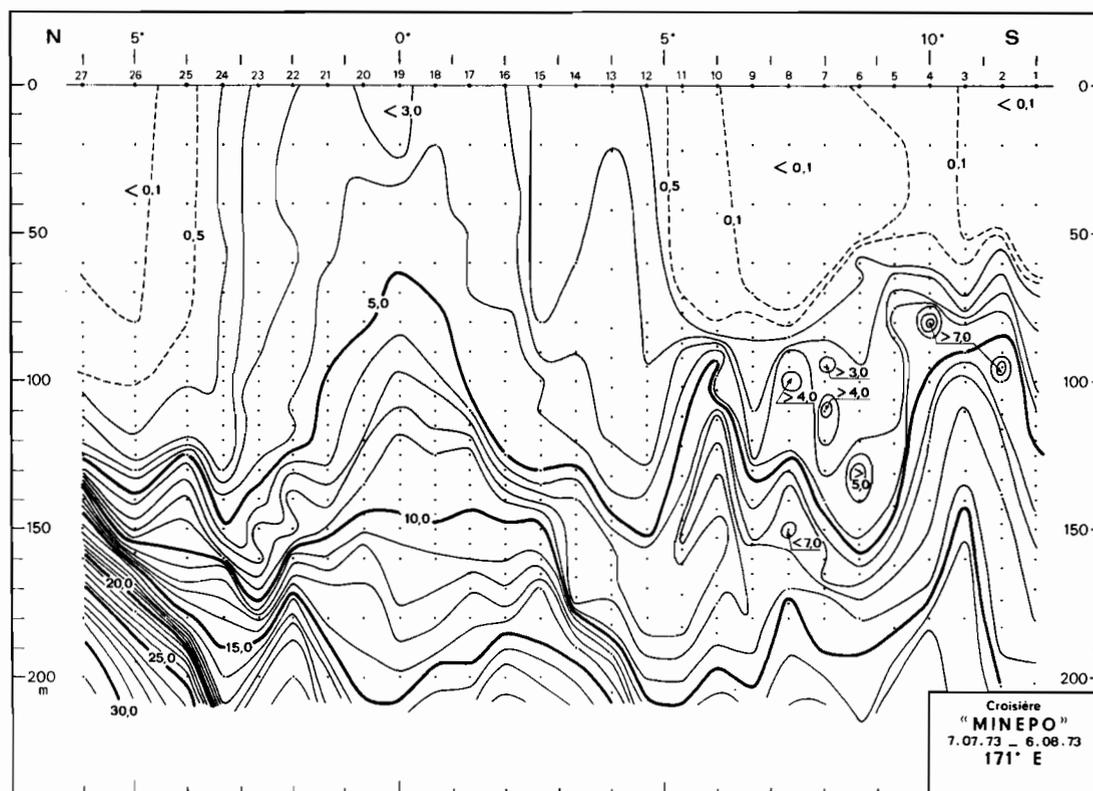


Fig. 5. — Distribution verticale du nitrate ($\mu\text{mol/l}$) au cours du trajet aller.

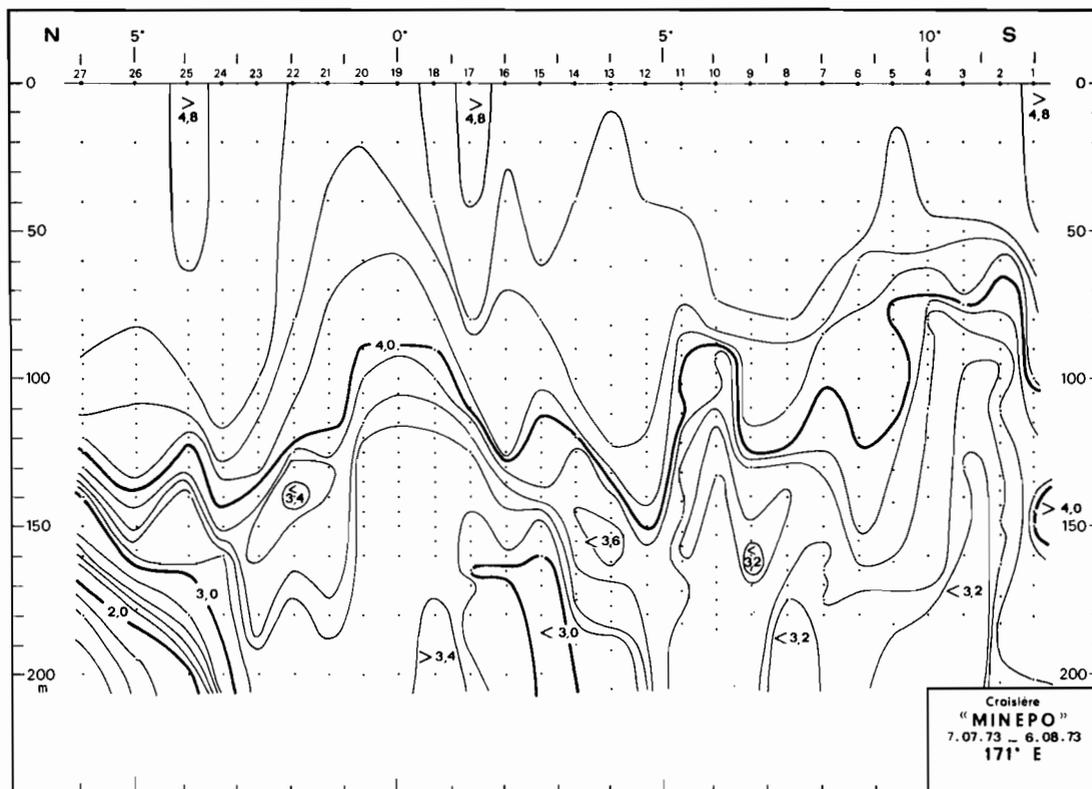


Fig. 6. — Distribution verticale de l'oxygène (ml/l) au cours du trajet aller.

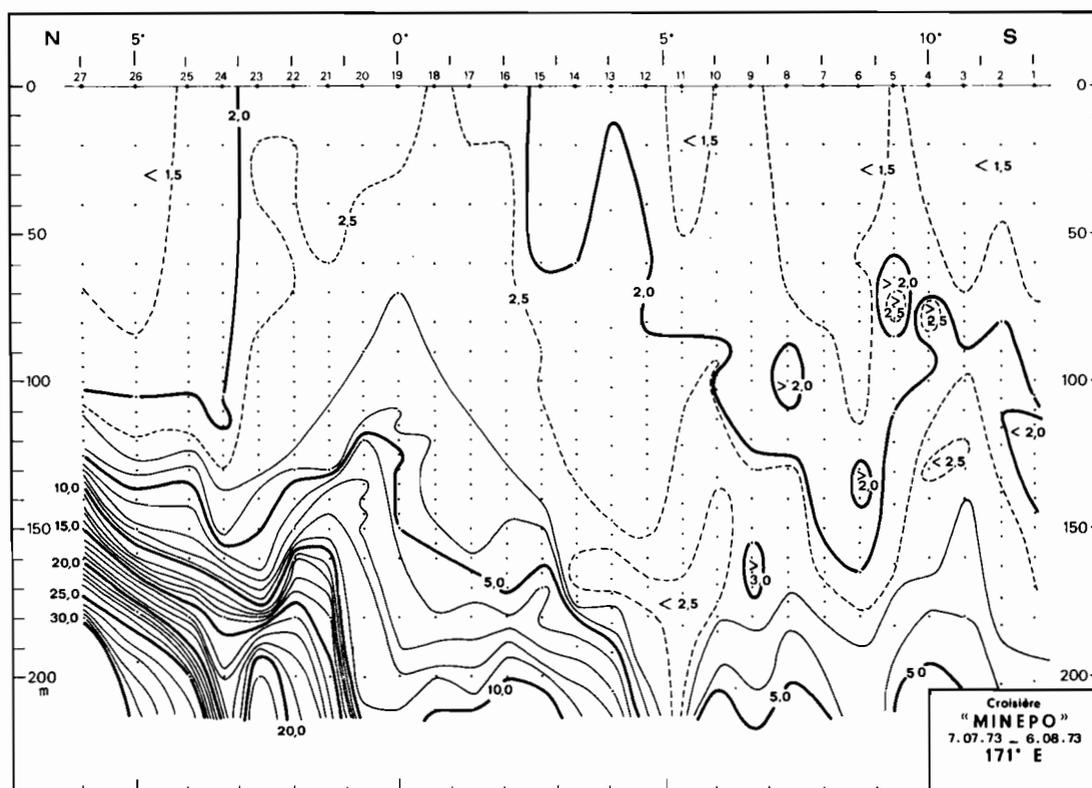


Fig. 7. — Distribution verticale du silicate ($\mu\text{mol/l}$) au cours du trajet aller.

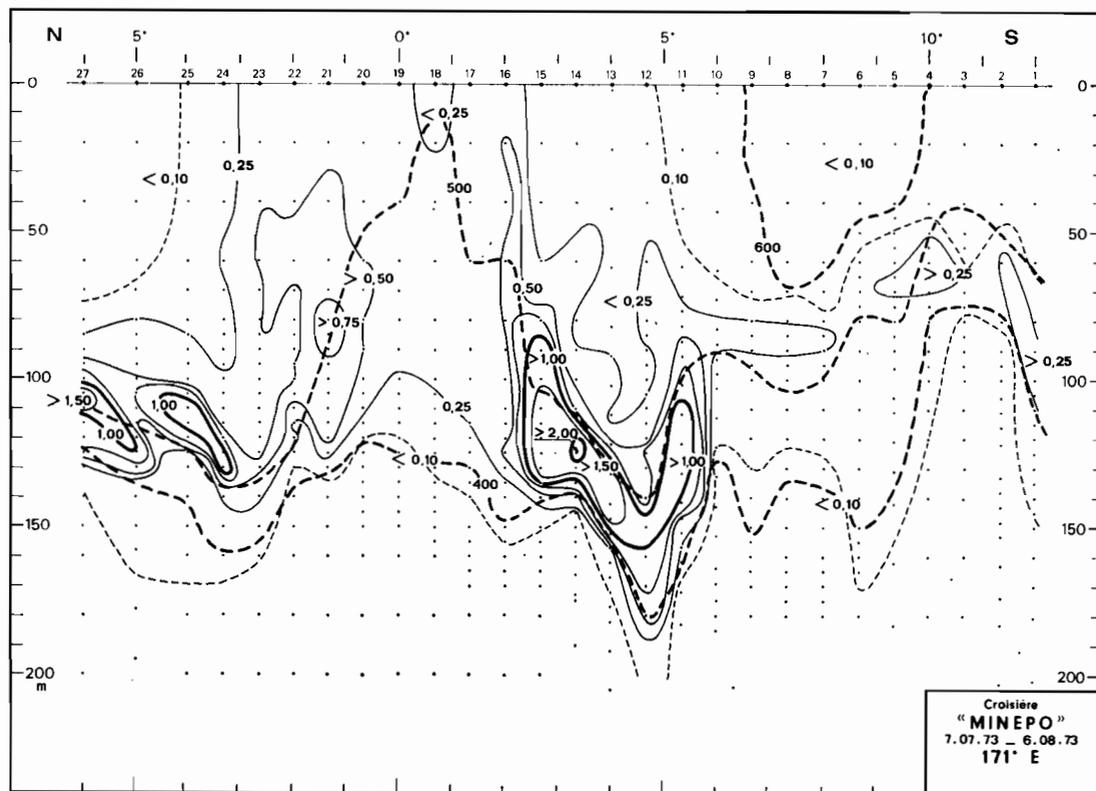


Fig. 8. — Distribution verticale du nitrite ($\mu\text{mol/l}$) au cours du trajet aller (en tirets : lignes isanostériques en cl/t).

à 3°N et 5°S et celui subsuperficiel consécutif au dôme à 10°S (et à un degré moindre à 6°S) les traits saillants de la distribution verticale des sels nutritifs sont les maxima (noyaux isolés au sud et inversions au nord) liés aux zones de convergence. La distribution de l'oxygène (fig. 6) fournit une nouvelle illustration de la structure hydrologique définie précédemment (upwelling — convergences — dôme). Il est des traits particuliers propres au silicate (fig. 7) qu'il convient de souligner. Si la distribution méridienne en subsurface du nitrate, entre 3°S et 3°N , est à peu près symétrique par rapport à l'Équateur il n'en va pas de même pour le silicate. Parallèlement à celle de la salinité, avec laquelle la corrélation inverse a été reconnue antérieurement (COLIN *et al.*, 1971), la distribution du silicate marque l'affrontement en subsurface à l'Équateur d'une eau originaire du Nord dessalée et riche en silice et d'une eau originaire du sud salée et pauvre en silice.

Le nitrite est connu pour présenter une distribution verticale différente des autres sels nutritifs. La couche d'accumulation de nitrite entre 2°S et 6°S (fig. 8), encore appelée « poche à nitrite », avec des teneurs dépassant $2\ \mu\text{mol NO}_2/\text{l}$ est caractéristique de la zone de convergence sud. Toutefois cette eau

riche en nitrite est reprise dans un mouvement ascendant d'alimentation de l'upwelling équatorial à la latitude du front divergent décrit précédemment à 2°S . Au voisinage de la convergence nord il existe également une couche d'accumulation qui est cependant moins nette (nous n'en apercevons vraisemblablement qu'une partie) et plus complexe (les deux noyaux supérieurs à $1\ \mu\text{mol NO}_2/\text{l}$ sont sur des surfaces isanostériques différentes). Les fortes teneurs à $1^\circ\text{--}2^\circ\text{N}$ appartiennent à l'eau salée qui constitue la bordure sud du front convergent de 3°N .

3.3. DISTRIBUTION DE LA PRODUCTION PRIMAIRE.

La répartition de la biomasse végétale illustrée par les distributions de chlorophylle *a* et de phaeophytine (fig. 9 et 10) suit la distribution des critères hydrologiques à un point tel que les limites inférieures (isolignes $0,1\ \text{mg/m}^3$) reflètent parfaitement le tracé des lignes isanostériques indicatrices des mouvements d'upwelling et de convergence. En surface il est confirmé une fois de plus que la seule zone riche en phytoplancton est celle de l'upwelling équatorial.

Le trait nouveau et important est la mise en évidence de façon aussi nette de la forte biomasse

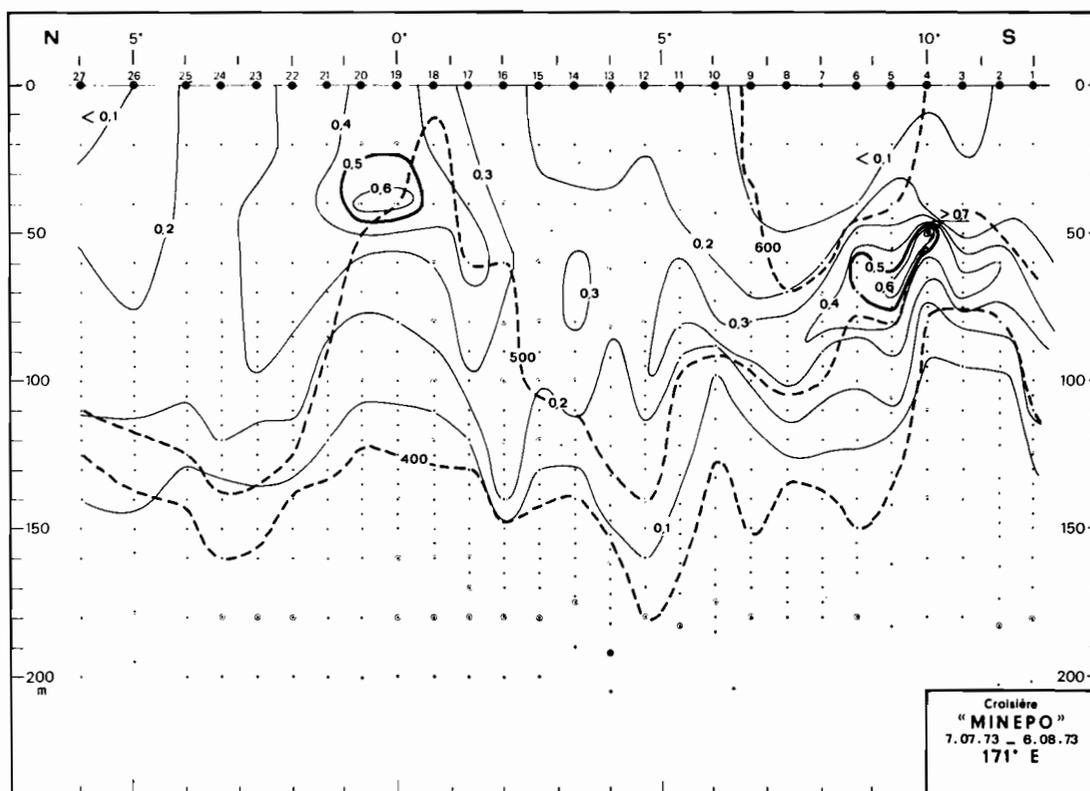


Fig. 9. — Distribution verticale de la chlorophylle *a* (mg/m^3) au cours du trajet aller (en tirets : lignes isanostériques en cl/t ; les points entourés d'un cercle représentent les mesures de chlorophylle *a*).

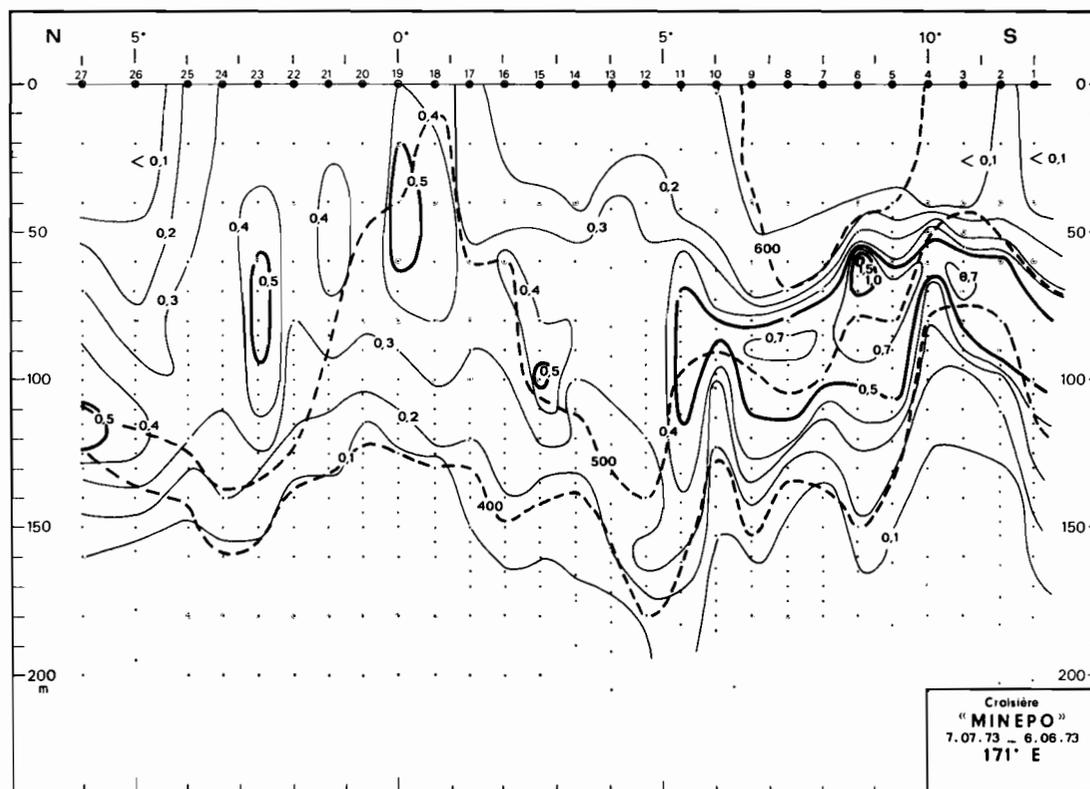


Fig. 10. — Distribution verticale de la phaeophytine (mg/m^3) au cours du trajet aller (en tirets : lignes isanostériques en cl/t ; les points entourés d'un cercle représentent les mesures de phaeophytine).

végétale subsuperficielle dans la région du dôme vers 10° S, déjà signalée par LE BOURHIS et WAUTHY (1969). Les teneurs en Chl. *a* sont aussi fortes qu'à l'Équateur et celles en phaeophytine dépassent largement celles relevées dans l'upwelling équatorial. Les pigments chlorophylliens s'accumulent au voisinage de 10° S dans un eau plus légère (550 cl/t) qu'à l'Équateur (500 cl/t). La couche de forte production associée au dôme est limitée verticalement par la présence d'une couche homogène et chaude en surface, contrairement à celle de l'Équateur; elle se développe donc largement dans le sens méridien. Son extension méridienne peut être également renforcée par le déplacement méridien du dôme, comme en témoigne l'existence d'un dôme secondaire à 6° S (fig. 5).

Il faut souligner qu'il existe des accumulations de phaeopigments en absence de Chl. *a*, en particulier à la latitude des convergences nord et sud, là où se trouvent des teneurs élevées en nitrite.

4. Interprétation des distributions méridiennes.

Les structures hydrologiques décrites précédemment s'expliquent aisément par les courants observés dans la région considérée. De 3° N à 6° S en surface, le courant Équatorial (C.E.) s'écoule vers l'ouest, bordé au nord par le Contre Courant Équatorial Nord (C.C.E.N.) et au sud par le Contre Courant Équatorial Sud (C.C.E.S.) (fig. 11). Aux limites nord et sud du C.E. se trouvent les fronts convergents hydrologiques définis précédemment. C'est dans ce flux ouest, où se développe un upwelling intense, que l'on relève les plus fortes teneurs en sels nutritifs (fig. 5) et en chlorophylle (fig. 9) : la distribution de cette dernière propriété à l'Équateur est à l'image du flux ouest.

En subsurface, le Sous Courant Équatorial (S.C.E.), ou Courant de CROMWELL, coulant à l'est le long de l'Équateur, induit une convergence des eaux nord et sud aux propriétés différentes (MONTGOMERY et STROUP, 1962 - Tschuchya, 1968) qui est illustrée par le front de salinité (fig. 4) et de silicate (fig. 7). Cette convergence peut également rendre compte de la position différente du front halin en subsurface par rapport à celui en surface où l'eau salée remontée par l'upwelling diverge vers le nord et vers le sud.

A 10° S, sous l'action conjuguée du C.C.E.S coulant vers l'est, au nord, et du C.E.S (Courant Équatorial Sud) coulant vers l'ouest, au sud, se développe un dôme subsuperficiel dont le rôle important a été signalé lors de la discussion de la distribution des sels nutritifs et des pigments chlorophylliens.

Le C.C.E.S est constitué d'une eau fortement dessalée ($S < 34,4 ‰$) originaire de la région à forte pluviosité au nord des Iles Salomon (JARRIGE, 1968 — DONGUY, OUDOT et ROUGERIE, 1970), tandis que le C.E.S transporte une eau salée dérivée de l'Eau Subtropicale du Pacifique Sud (E.S.P.S). Bien que la présence du C.C.E.S en subsurface n'ait pas été mise en évidence par les mesures de courants, son influence se manifeste par la scission du maximum de salinité de l'E.S.P.S en deux noyaux ($S > 36,0 ‰$). La position en latitude du dôme liée à l'emplacement du C.C.E.S, lui-même très variable au cours du temps (JARRIGE, 1968), n'est pas fixe. La remontée des isolignes de température, de salinité et de nitrate à 6° S (station 10) est vraisemblablement la marque d'un ancien dôme (ou l'amorce d'un nouveau) correspondant à une position du C.C.E.S plus proche de l'Équateur. Il existe en outre vers 3° S un petit flux est (fig. 11) associé à une dessalure superficielle montrant la variabilité méridienne du C.C.E.S. Durant la croisière ÉPONITE (1970) le dôme se situait à 8° S.

Les teneurs maximales en nitrate (fig. 5) au sud de la convergence sud, révélées pour la première fois durant ÉPONITE (1970), furent un argument en faveur de l'hypothèse de minéralisation avancée après cette croisière. Les mêmes anomalies de distribution verticale se retrouvent au nord (stations 22 et 23) sous une forme atténuée (inversions), car la structure verticale des masses d'eau est telle, qu'au sud les maxima de nitrate sont au-dessus du maximum de salinité (minimum de nitrate) tandis qu'au nord ils sont au-dessus d'une masse d'eau d'origine plus profonde donc riche en substances nutritives. Les indices de minéralisation (maxima de sels nutritifs) au nord sont d'ailleurs confirmés par un minimum d'oxygène à 2° N (fig. 6).

La distribution de l'ammoniaque, dont la source majeure est liée au métabolisme de la matière vivante est difficile à interpréter. Les imprécisions inhérentes à l'analyse de ce sel ne nous permettent pas de présenter une distribution des teneurs d'ammoniaque sur l'ensemble de la coupe 12° S-4° N. Cependant, de nos résultats d'analyses, il ressort principalement que les plus fortes teneurs sont relevées à 10° S, au voisinage du dôme, parallèlement à celles de phaeophytine, soulignant ainsi l'importance du broutage de la biomasse végétale dans la région du dôme. La croisière ÉPONITE (1970) avait déjà révélé les plus fortes teneurs près du sommet du dôme. La distribution de la matière organique dissoute évaluée sous forme d'azote et de phosphore est un peu à l'image de celle des pigments chlorophylliens en ce sens que l'eau subsuperficielle ramenée vers la surface sous l'effet de l'upwelling et du dôme est plus pauvre que l'eau environnante.

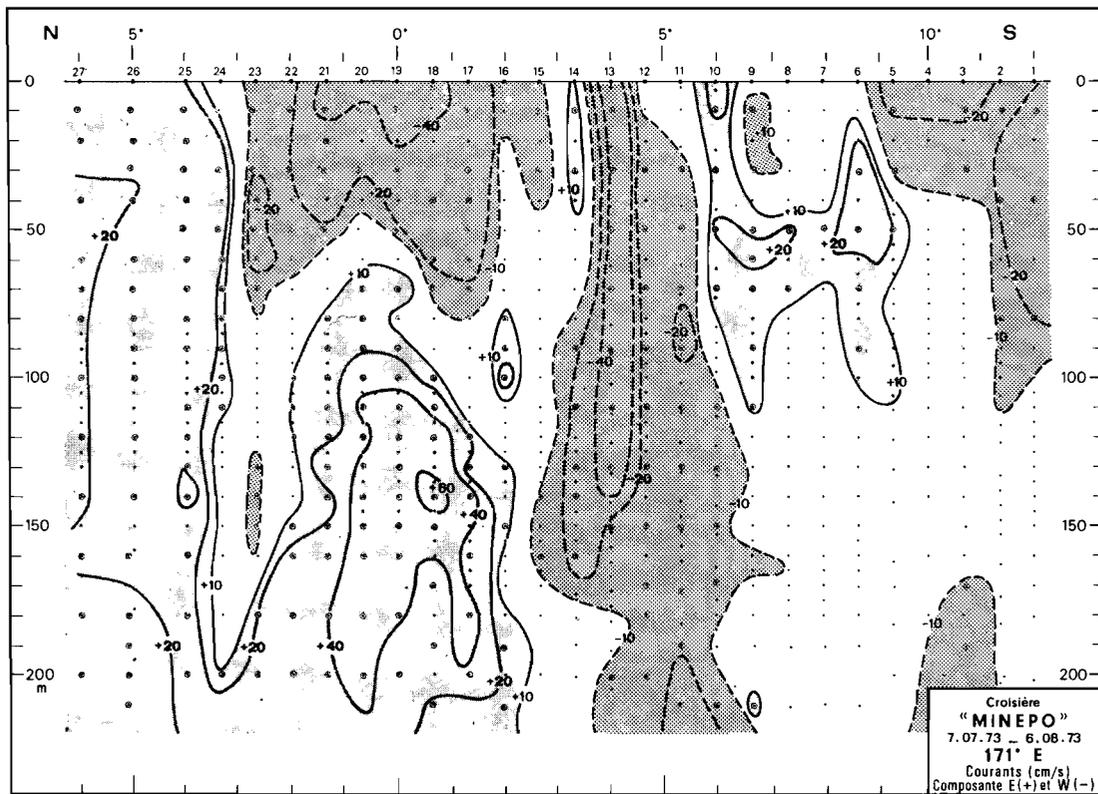


Fig. 11. — Distribution verticale des composantes zonales de courant au cours du trajet aller (les points entourés d'un cercle représentent les mesures de courant).

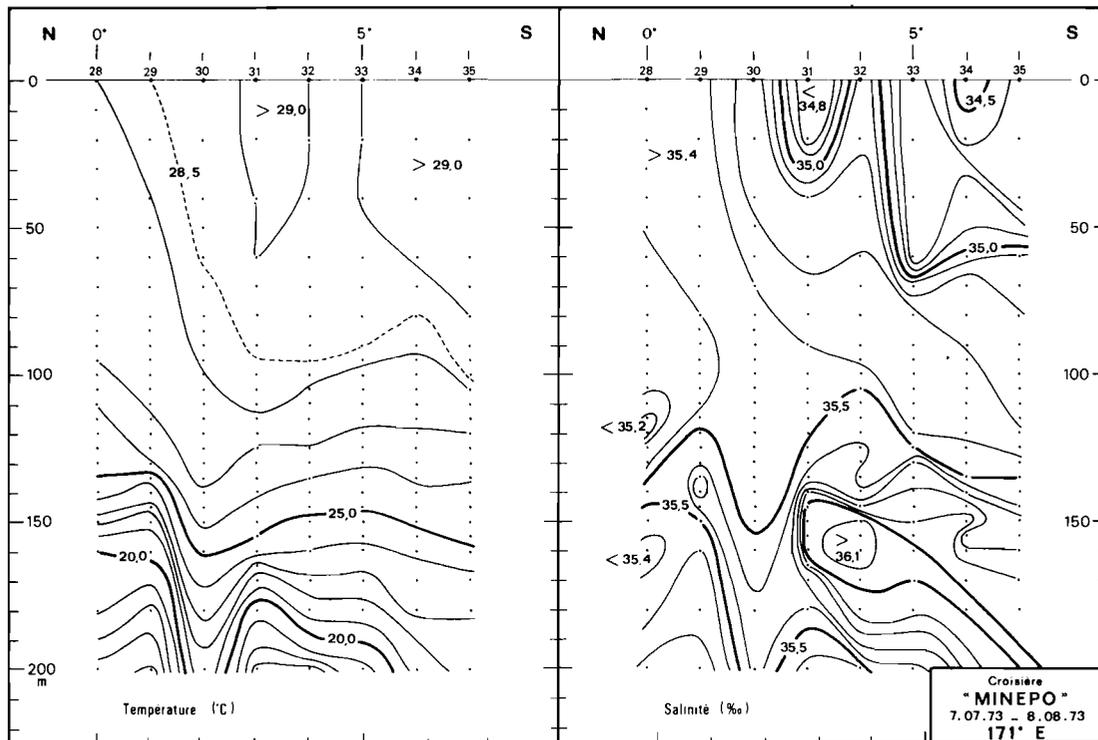


Fig. 12. — Distributions verticales de la température et de la salinité au cours du trajet retour.

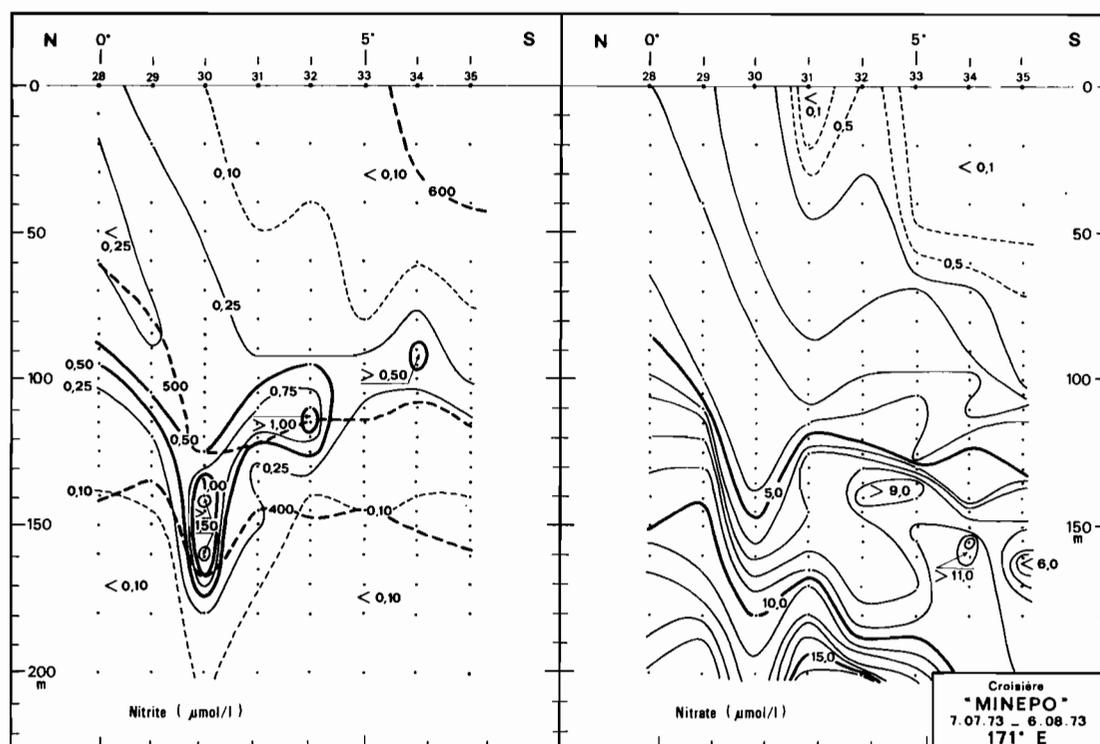


Fig. 13. — Distributions verticales du nitrite (en tirets : lignes isanostériques en cl/t) et du nitrate au cours du trajet retour.

5. Variations temporelles à court terme (8 à 15 jours).

Lors du trajet retour la circulation de surface n'est plus en accord parfait avec la situation météorologique (fig. 2) : entre 0° et 3° S, alors que les vents continuent à souffler du secteur nord-est, le courant porte à l'ouest-nord-ouest et non plus au sud-sud-ouest. La comparaison des distributions des variables physico-chimiques à l'aller et au retour (fig. 12) est en accord avec le déplacement des eaux de surface vers le nord qu'on peut attendre de la nouvelle circulation superficielle :

— la masse d'eau de surface homogène et chaude ($T > 29^{\circ} \text{C}$), épuisée en nitrate (fig. 2, d et 13), s'étale largement vers le nord jusqu'à 3° S (elle s'arrête à 5° S à la coupe aller). Le refroidissement maximum lié à l'upwelling n'apparaît plus au sud de l'Équateur.

— à l'Équateur les effets de l'eau salée du sud sont plus ressentis et la salinité dépasse $35,40\text{‰}$ en surface. Le front de salinité sud ($S = 35,00\text{‰}$) s'est déplacé d'au moins un degré vers le nord.

La salinité de la petite poche d'eau superficielle dessalée à 3° S a baissé d'environ $0,5\text{‰}$. Plutôt que de dériver d'une intensification locale de la

pluviosité, cette dessalure est plus probablement le résultat d'un renforcement d'un flux est (observé par les mesures directes à l'aller mais non au retour) qui expliquerait aussi la présence d'une convergence à sa bordure nord, vers 2° S; en effet à la station 30, la salinité varie de moins de $0,1\text{‰}$ de 70 à 150 m. La distribution des sels nutritifs (fig. 13) reflète le prolongement en subsurface de cette convergence vers 2° S et la disparition de celle observée vers 5° S à l'aller. Les noyaux isolés de nitrate observés à l'aller apparaissent liés à la position de la convergence subsuperficielle : au retour les plus septentrionaux sont au voisinage de 4° S, au lieu de 6° S à l'aller. Le déplacement méridien apparent des masses d'eau entrevu en surface est donc ressenti en subsurface également. Cependant, d'après la distribution méridienne de la salinité à la profondeur du maximum (fig. 12), il semble que le déplacement méridien en subsurface soit limité, car le front $S = 36,0\text{‰}$ reste fixe au voisinage de 3° S. Il ne faut pas oublier qu'en zone équatoriale les mouvements zonaux étant beaucoup plus intenses que les mouvements méridiens le Sous Courant Équatorial s'oppose efficacement à l'avancée vers le nord du maximum de salinité de l'E.S.P.S.

La modification la plus frappante et la plus

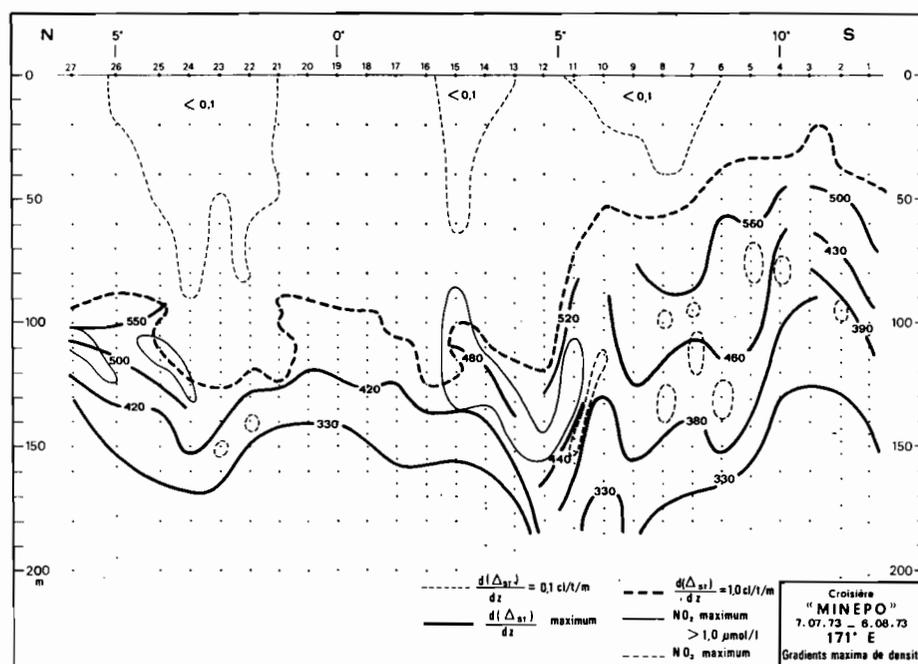


Fig. 14. — Distribution verticale du gradient de densité au cours du trajet aller. Les nombres affectant les lignes continues épaisses représentent l'anomalie thermostérique en cl/t du niveau de gradient maximum de densité.

intéressante est sans doute l'amenuisement de la « poche à nitrite » qui se réduit essentiellement à un noyau localisé au creux de la convergence (fig. 13). Le rétrécissement de la couche d'accumulation de nitrite dans un intervalle de temps assez court (une douzaine de jours) soulève le problème de sa continuité zonale à petite échelle (de l'ordre de quelques degrés) et par conséquent de sa cinétique de formation et de disparition. Une des causes possibles de sa disparition peut être recherchée dans l'alimentation de l'upwelling par l'eau riche en nitrite comme en témoigne le gradient vertical de nitrite analogue à celui de salinité.

6. Structures verticales et champ de densité.

La structure verticale de la pycnocline dans la région considérée est complexe, principalement de part et d'autre de la bande équatoriale, siège de l'upwelling. Toutefois, entre 5° N et 5° S, le gradient vertical de densité (fig. 14) est relativement constant et faible (inférieur à 1,0 cl/t/m) dans les 100 premiers mètres.

Sur l'ensemble de la coupe 12° S-6° N il est possible de dégager une certaine continuité de la valeur absolue de la densité aux maxima de gradients verticaux. La figure 14 fait par ailleurs clairement ressortir qu'il existe au voisinage de la surface

isanostérique 330 cl/t un plancher continu de densité ($d(\Delta\sigma_t)/dz$) de l'ordre de 4 à 6 cl/t/m, créé au sud de

l'Équateur par le maximum de salinité et au nord par un gradient thermique engendré par l'eau de type nord dessalée mais froide. Dans la zone interfrontale 3° N-3° S, où la circulation verticale est la plus intense, les gradients les plus superficiels disparaissent et il ne reste que deux niveaux de gradient maximum s'opposant aux échanges verticaux; le gradient supérieur, de l'ordre de 6 à 8 cl/t/m, correspond à la surface isanostérique 420 cl/t, sommet de la thermocline. Cependant c'est à la latitude des zones frontales que la couche homogène superficielle est la plus épaisse; le gradient vertical de densité est alors inférieur à 0,1 cl/t/m.

Dans une couche d'eau subsuperficielle, l'arrivée d'une masse d'eau qui a plongé à une zone frontale modifie la structure hydrologique de la région et notamment renforce les gradients verticaux de densité des couches supérieures et inférieures. La multiplication des maxima du gradient de densité, en dehors de la bande équatoriale, peut donc être considéré comme le reflet de plongées successives de masses d'eau aux critères hydrologiques différents acquis au moment du passage en surface, ou d'une suite de remontées d'eau sous l'effet du dôme plus ou moins actif, entre 5° et 10° S.

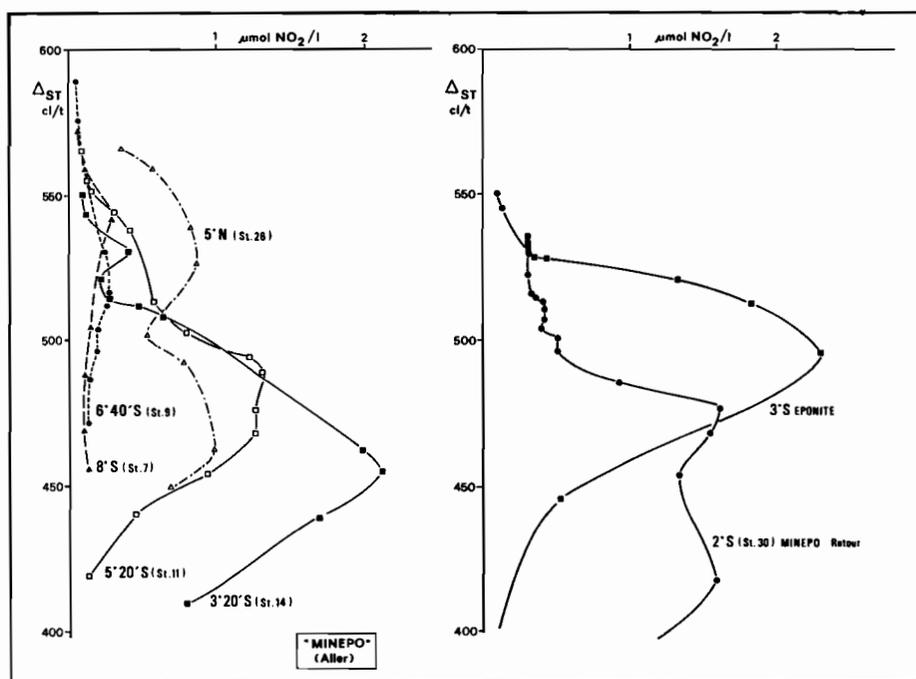


Fig. 15. — Profils verticaux de nitrite en fonction de la densité lors des croisières MINEPO (1973) et ÉPONITE (1970).

En plusieurs occasions (OUDOT, HISARD et VOITURIEZ, 1969 - OUDOT, RUAL et WAUTHY, 1972) on a montré que la distribution du nitrite est dictée par le champ de densité : la couche d'accumulation (teneur supérieure à $1,0 \mu\text{mol NO}_2/\text{l}$ est toujours prise entre deux maxima du gradient de densité. La figure 14 le confirme aussi bien au nord qu'au sud de l'Équateur, suggérant que la distribution du nitrite est plus sujette aux mouvements méridiens que verticaux. La distribution du nitrate est similaire dans la mesure où l'on rencontre des noyaux à teneurs maximales intercalés entre des barrières de densité (fig. 14).

L'étude de la distribution verticale du nitrite en fonction de la densité et de la position du maximum de nitrite dans le champ de densité va nous permettre de distinguer différentes époques de formation de la « poche à nitrite » (fig. 15). La densité à la couche d'accumulation sud observée durant MINEPO est nettement supérieure à celle rencontrée habituellement et en particulier au cours d'ÉPONITE. En effet lors de la campagne ÉPONITE (1970) la teneur maximale ($2,30 \mu\text{mol/l}$) à 3°S est relevée à 495 cl/t , tandis que la valeur maximale de nitrite de toute la croisière MINEPO ($2,12 \mu\text{mol/l}$) observée à la station 14 se trouve à environ 450 cl/t ; à la station 30 (retour) le maximum inférieur ($1,60 \mu\text{mol/l}$) approche même 420 cl/t . Mais lorsqu'on considère la bordure sud de cette couche d'accumulation

(stations 11-9-7) on constate que les teneurs maximales tout en décroissant intéressent des eaux plus légères. D'une manière plus générale nos observations antérieures le long du méridien 170°E ont montré que le nitrite s'accumule à des densités très variables au cours du temps.

La densité de la couche d'accumulation de nitrite découle de celle de la masse d'eau qui atteint la surface lors de l'établissement de l'upwelling et qui est le siège d'une intense production organique, progressivement dégradée au cours de la plongée à la convergence. A une longitude donnée, suivant la force de l'upwelling, des eaux de densité plus ou moins élevée atteignent la surface de la mer. D'autre part plus la masse d'eau renfermant le nitrite a atteint la surface loin vers l'est, là où l'upwelling plus intense est capable d'amener des eaux lourdes en surface, plus le nitrite sera associé à une densité élevée. Enfin, les particules organiques entraînées dans la plongée des eaux productives auront tendance à sédimenter et seront arrêtées à des profondeurs différentes suivant d'une part la structure verticale de densité de la région, d'autre part leur propre densité. Toutes ces raisons peuvent donc rendre compte des variations de densité et de profondeur de la couche d'accumulation de nitrite qui peuvent servir à évaluer l'âge relatif du nitrite : plus la densité de la couche d'accumulation est élevée, plus la couche de nitrite est ancienne car

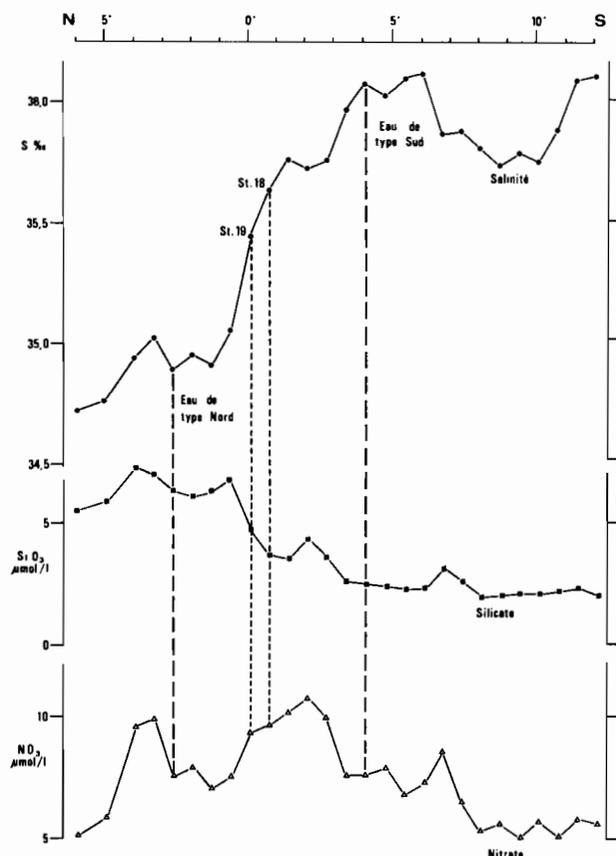


Fig. 16. — Distributions méridiennes de la salinité, du silicate et du nitrate sur la surface isanostérique 360 cl/t, au cours du trajet aller de la croisière MINEPO (1973).

formée plus à l'est; le nitrite le plus récent est sans doute celui de la couche qui s'étale au sud de la zone frontale à 6° S, le plus ancien étant celui qui participe à l'upwelling vers 2° S (comparaison entre les trajets aller et retour).

En ce qui concerne la couche d'accumulation au nord de l'Équateur on peut également dégager une structure double (fig. 15 : station 26) illustrant deux époques de formation différentes : le maximum supérieur appartenant au noyau le plus proche de la zone frontale est sans doute plus récent que le maximum inférieur.

7. Analyses isentropiques.

On admet en général que le déplacement des masses d'eau soustraites à l'influence des échanges océan-atmosphère est isentropique, d'où l'intérêt d'une étude de la distribution des variables hydrologiques sur des surfaces isopycnes ou isanostériques.

La distribution méridienne de la salinité sur la surface isanostérique 360 cl/t voisine du noyau de l'E.S.P.S. (fig. 16) montre clairement l'antagonisme des eaux fortement salées du sud de l'Équateur et faiblement salées du nord. Ces deux eaux-types entraînées dans un mouvement zonal se mélangent le long de l'Équateur dans le Courant de CROMWELL. La dessalure entre 7° et 10° S est l'empreinte du C.C.E.S qui partage en deux noyaux le maximum de salinité de l'E.S.P.S. Le petit maximum relatif, à la convergence nord (3° N), ne peut venir que du sud par l'intermédiaire de l'upwelling : ce passage du sel du sud au nord est par ailleurs suggéré par la forme des isohalines superficielles (fig. 4).

La distribution du silicate sur la même surface isanostérique est présentée pour mettre en parallèle sa dissymétrie par rapport à l'Équateur avec celle de la salinité. La teneur en silicate du S.C.E. (stations 18 et 19), comme la salinité, semble être le résultat du mélange de l'Eau de type Nord et de l'Eau de type Sud. Une évaluation du mélange quantitatif des deux eaux types donnant la salinité observée dans le Courant de CROMWELL montre, tableau I,

TABLEAU I

$\Delta\sigma_T$ cl/t	Eau de type sud			Eau de type nord			Station 18 (0°40' S)				Station 19 (0°)					
	S ‰	SiO ₃ μmol/l	NO ₃ μmol/l	S ‰	SiO ₃ μmol/l	NO ₃ μmol/l	S ‰	SiO ₃ (μmol/l)		NO ₃ (μmol/l)		S ‰	SiO ₃ (μmol/l)		NO ₃ (μmol/l)	
								calculé	ob-servé	calculé	ob-servé		calculé	ob-servé	calculé	ob-servé
500	35.55	2.4	3.2	35.03	3.0	5.0	35.29	2.7	2.7	4.1	4.0	35.29	2.7	2.9	4.1	4.5
480	35.70	2.5	3.5	35.02	3.5	5.9	35.35	3.0	3.0	4.8	5.9	35.30	3.1	3.3	4.9	6.2
460	35.82	2.5	4.1	35.02	4.0	6.6	35.30	3.5	3.4	5.7	7.6	35.24	3.6	3.5	5.9	7.2
440	35.90	2.5	4.9	35.02	4.5	7.1	35.36	3.7	3.8	6.2	8.5	35.24	4.0	4.0	6.6	8.5
420	35.95	2.5	6.1	35.02	5.0	7.5	35.31	3.7	3.6	6.8	9.4	35.25	4.4	4.6	7.2	9.1
400	36.00	2.6	6.8	34.92	5.0	7.5	35.62	3.4	3.4	7.0	9.5	35.24	4.3	5.1	7.3	9.1
380	36.04	2.6	7.2	34.92	5.7	7.4	35.61	3.8	3.8	7.3	9.5	35.33	4.6	5.0	7.3	9.1
360	36.07	2.6	7.6	34.86	6.4	7.6	35.63	4.0	3.7	7.6	9.7	35.44	4.6	4.8	7.6	9.4
340	36.12	2.2	7.2	34.85	7.0	8.4	35.61	4.1	4.0	7.7	9.9	35.47	4.7	4.8	7.8	9.7
320	36.08	2.4	7.2	34.82	7.8	9.0	35.58	4.6	4.2	7.9	10.1	35.51	4.8	4.7	8.0	10.1

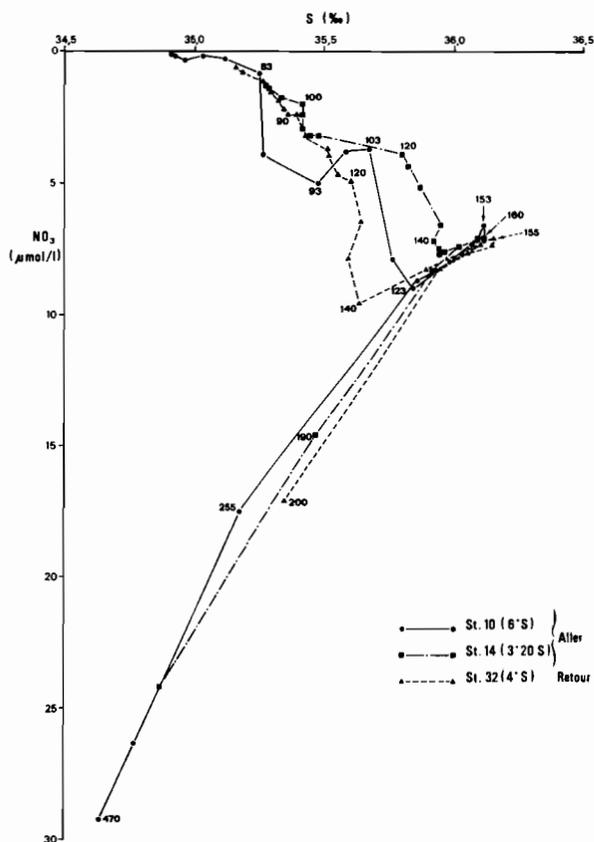


Fig. 17. — Diagramme salinité-nitrate à trois stations de la croisière MINEPO (1973).

qu'entre les anomalies thermostériques 500 et 320 cl/t, salinité et silicate se comportent de façon similaire comme des propriétés conservatrices, alors qu'il en va tout autrement du nitrate.

Cette différence entre deux sels nutritifs tels que silicate et nitrate apparaît déjà sur les profils verticaux : le gradient vertical de silicate est beaucoup plus faible que celui de nitrate dans les 150 premiers mètres, notamment dans la région sud-équatoriale (fig. 5 et 7). Cette différenciation est le résultat d'une redissolution moins rapide de la silice par rapport à la reminéralisation de l'azote organique, dans la couche superficielle des océans. On peut donc admettre dans notre cas que le silicate, beaucoup moins sujet que les autres sels nutritifs aux transformations biochimiques puisse être considéré comme une propriété conservatrice.

La distribution méridienne du nitrate sur 360 cl/t (fig. 16) fait ressortir quant à elle la richesse du Courant de CROMWELL, la pauvreté relative de l'E.S.P.S. et deux maxima au voisinage des zones frontales sud et nord. Le maximum vers 6° S a déjà été discuté, le maximum vers 4° N coïncide, avec

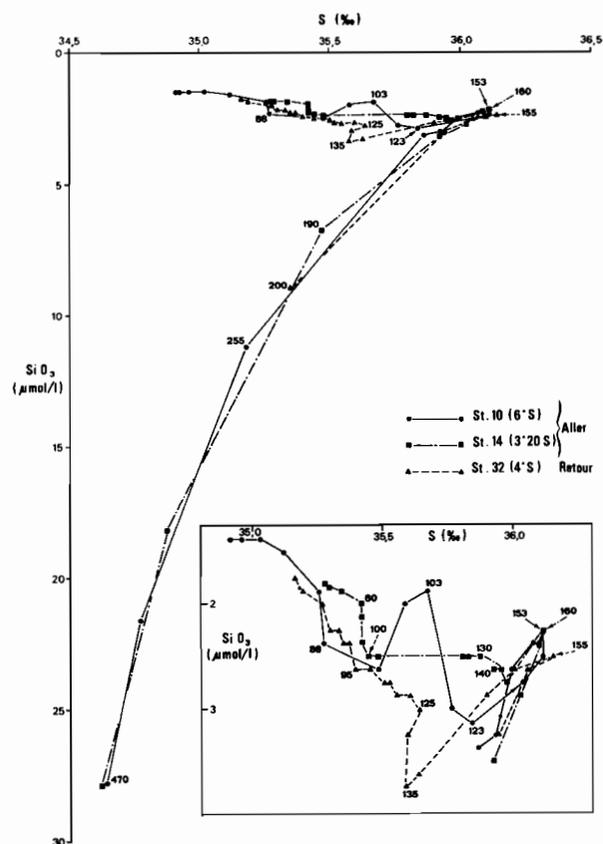


Fig. 18. — Diagramme salinité-silicate à trois stations de la croisière MINEPO (1973).

celui de salinité qui vient du sud de l'Équateur par l'intermédiaire de l'upwelling.

8. Diagrammes Salinité-Nitrate, Salinité-Silicate et Salinité-Température.

Les maxima de sels nutritifs situés au-dessus du maximum de salinité peuvent avoir des causes physiques découlant de la structure hydrologique et des causes chimiques impliquant des transformations liées au cycle biochimique de la production océanique.

Trois stations caractéristiques de l'E.S.P.S., pour lesquelles le diagramme S-NO₃ fait très nettement ressortir les maxima de nitrate (fig. 17) sont retenues pour illustrer cela. Dans le plan S-NO₃ les caractéristiques des noyaux de nitrate sont très proches de celles de l'eau sous-jacente au maximum de salinité, suggérant ainsi qu'ils soient le résultat d'un mélange de l'eau superficielle avec de l'eau subsuperficielle plus riche en sels nutritifs. Le diagramme S-SiO₃ (fig. 18) peut conduire à la même

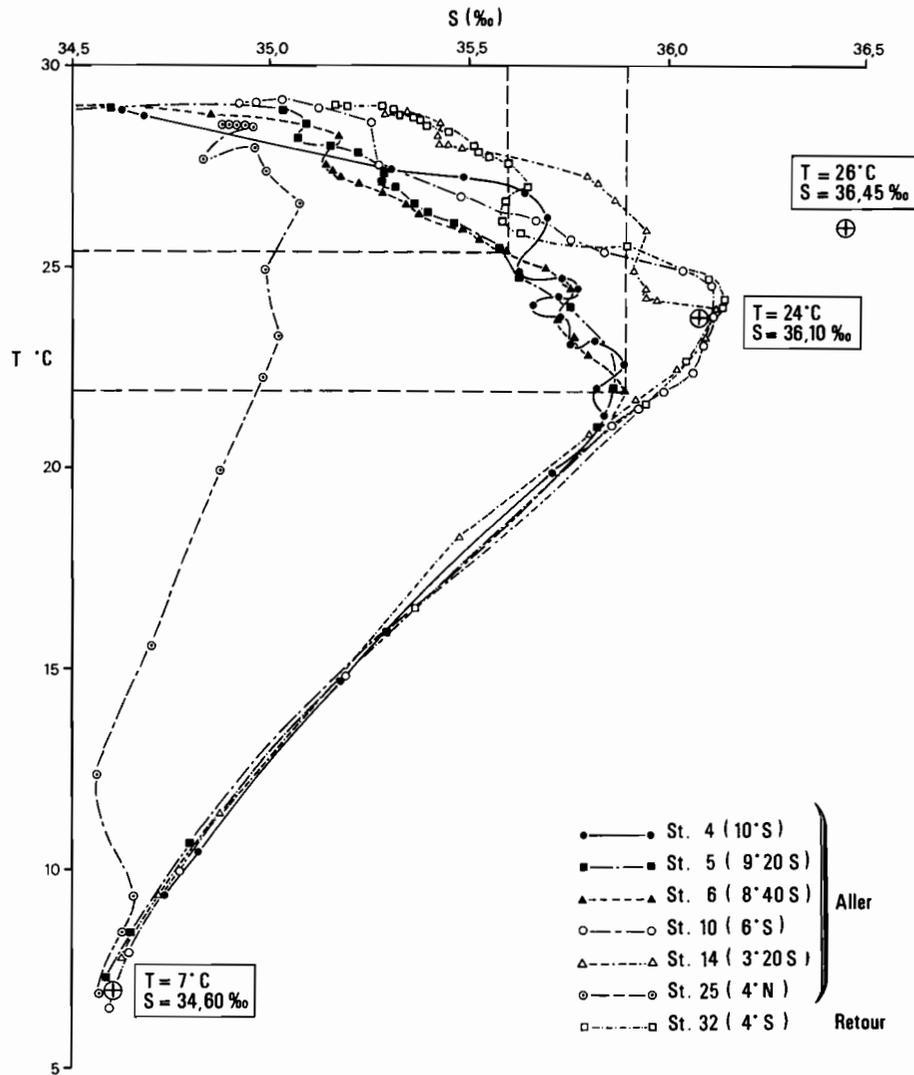


Fig. 19. — Diagramme température-salinité à 7 stations de la croisière MINEPO (1973).

hypothèse d'ordre hydrologique pour expliquer la présence de noyaux à teneurs maximales en silicate.

Mais il existe des maxima de gradient de densité (fig. 14) qui limitent les mouvements verticaux et isolent les fortes teneurs en sels nutritifs (noyaux de nitrate) des couches plus profondes et plus riches. Cependant, il peut y avoir rupture des barrières de densité, en particulier au voisinage du dôme, permettant ainsi un mélange entre les couches superficielles et subsuperficielles.

Seul un diagramme T.S permet de rendre compte réellement des possibilités de mélange physique des masses d'eau. Sur la figure 19 sont rassemblées les stations caractéristiques de l'E.S.P.S (10-14-32)

et du C.C.E.S (4-5-6). Le point représentatif de l'E.S.P.S à 170° E ($T = 24\text{ °C}$, $S = 36,10\text{ ‰}$) est sur la ligne de mélange entre l'E.S.P.S à sa source dans le Pacifique Central ($T = 26\text{ °C}$, $S = 36,45\text{ ‰}$) et l'Eau Antarctique Intermédiaire (E.A.I) dessalée et riche en sels nutritifs ($T = 7\text{ °C}$, $S = 34,60\text{ ‰}$). Dans le C.C.E.S les points représentatifs du maximum de salinité, également sur la droite de mélange précédente, indiquent une proportion plus grande d'eau intermédiaire; les diagrammes des stations 4-5-6 indiquent statistiquement par ailleurs un mélange d'une eau subsuperficielle ($T = 25,05\text{ °C}$, $S = 35,60\text{ ‰}$) avec l'E.S.P.S. enrichie par rapport aux eaux adjacentes ($T = 22\text{ °C}$, $S = 35,90\text{ ‰}$); l'eau ré-

sultat de ce mélange et située au dessus du maximum de salinité est par conséquent enrichie en sels nutritifs par rapport aux eaux adjacentes. Lorsqu'un déplacement méridien du C.C.E.S entraîne le remplacement de cette eau enrichie par une eau adjacente, avant que le mélange latéral soit achevé, il apparaît des noyaux isolés riches correspondants à ceux observés. Ce schéma est confirmé par le fait que le silicate en subsurface étant considéré comme une propriété conservative, les noyaux de silicate (fig. 7) associés à ceux de nitrate ne peuvent être que le résultat d'un mélange avec l'E.S.P.S. enrichie.

9. Modèle de distribution de nitrate.

Dans la couche des 200 premiers mètres de la zone 12° S-6° N, les masses d'eau qui rendent compte des distributions des diverses propriétés observées au sud de 2° S et au-dessus du maximum de salinité sont respectivement (fig. 19) :

- l'eau chaude et dessalée superficielle,
- l'eau du maximum de salinité dérivée de l'E.S.P.S. en subsurface,
- l'eau équatoriale née de l'upwelling, qui plonge au niveau de la zone frontale sud et s'écoule vers le sud entre les deux eaux précédentes.

Au nord de l'Équateur, la structure est semblable, à ceci près que l'eau du maximum de salinité est remplacée par l'eau de type nord dessalée et riche en sels nutritifs (fig. 19). Ce mélange physique rend-il bien compte du schéma précédent.

L'utilisation des diagrammes T.S pour le calcul des proportions de mélange de masses d'eau dont les propriétés sont susceptibles de modifications lors d'un passage en surface est sujette à caution. La forme bombée de la partie supérieure des diagrammes T.S pour les stations les plus proches de l'Équateur (fig. 19) peut être considérée comme l'effet d'un réchauffement consécutif au passage en surface. Cet effet thermique expliquerait qu'un certain nombre de points T.S soient en dehors du triangle de mélange. En conséquence, il est jugé préférable de considérer un triangle de mélange S-SiO₃, le silicate étant assimilé, pour les raisons exposées antérieurement, à une propriété conservative dans la tranche d'eau considérée; il permet de corriger la contribution de l'E.S.P.S enrichie au mélange des eaux superficielles et subsuperficielles. Les caractéristiques retenues pour les « eaux primaires », sommets du triangle de mélange, sont consignées dans le tableau II.

TABLEAU II

	Eau dessalée de surface (nord et sud)	Eau équatoriale de surface (nord et sud)	Eau du maximum de salinité (sud)	Eau du minimum de salinité (nord)
S‰.....	34.35	35.30	36.12	34.53
SiO ₃ (μmol/l).....	1.2	2.8	2.0	20.0
NO ₃ (μmol/l).....	0,0	4.2	5.9	22.0

Connaissant la contribution de chaque « eau primaire » (sous forme de pourcentage) à la formation de la masse d'eau considérée on peut calculer la teneur en nitrate de cette dernière.

Les résultats sont consignés sous forme d'une coupe de distribution verticale des écarts entre les valeurs calculées et les valeurs observées (fig. 20). Ce mode de représentation fait clairement ressortir des plages d'écarts négatifs qu'on peut supposer être représentatifs d'une certaine reminéralisation (la teneur en nitrate observée est supérieure à celle déduite d'un mélange physique). Les écarts négatifs sont situés en subsurface, dans les zones de convergence nord et sud au voisinage des fortes teneurs en nitrite et au niveau des noyaux à teneurs fortes en

nitrate et faibles en oxygène. Les écarts positifs (la teneur en nitrate observée est inférieure à celle calculée) sont répartis dans la couche superficielle, à la latitude des zones frontales et au sommet du dôme : c'est-à-dire dans des eaux où le nitrate a été consommé et non renouvelé. Ainsi donc l'enrichissement des couches subsuperficielles par mélange avec l'E.S.P.S enrichie ne suffit pas pour rendre compte des fortes valeurs de nitrate au-dessus du maximum de salinité.

C'est sur la base de résultats semblables mais déduits d'un modèle T.S., qu'après ÉPONITE (OUDOT, RUAL et WAUTHY, 1972) il fût admis que les noyaux de sels nutritifs au sud de la « poche à nitrite » étaient le résultat d'une oxydation biochi-

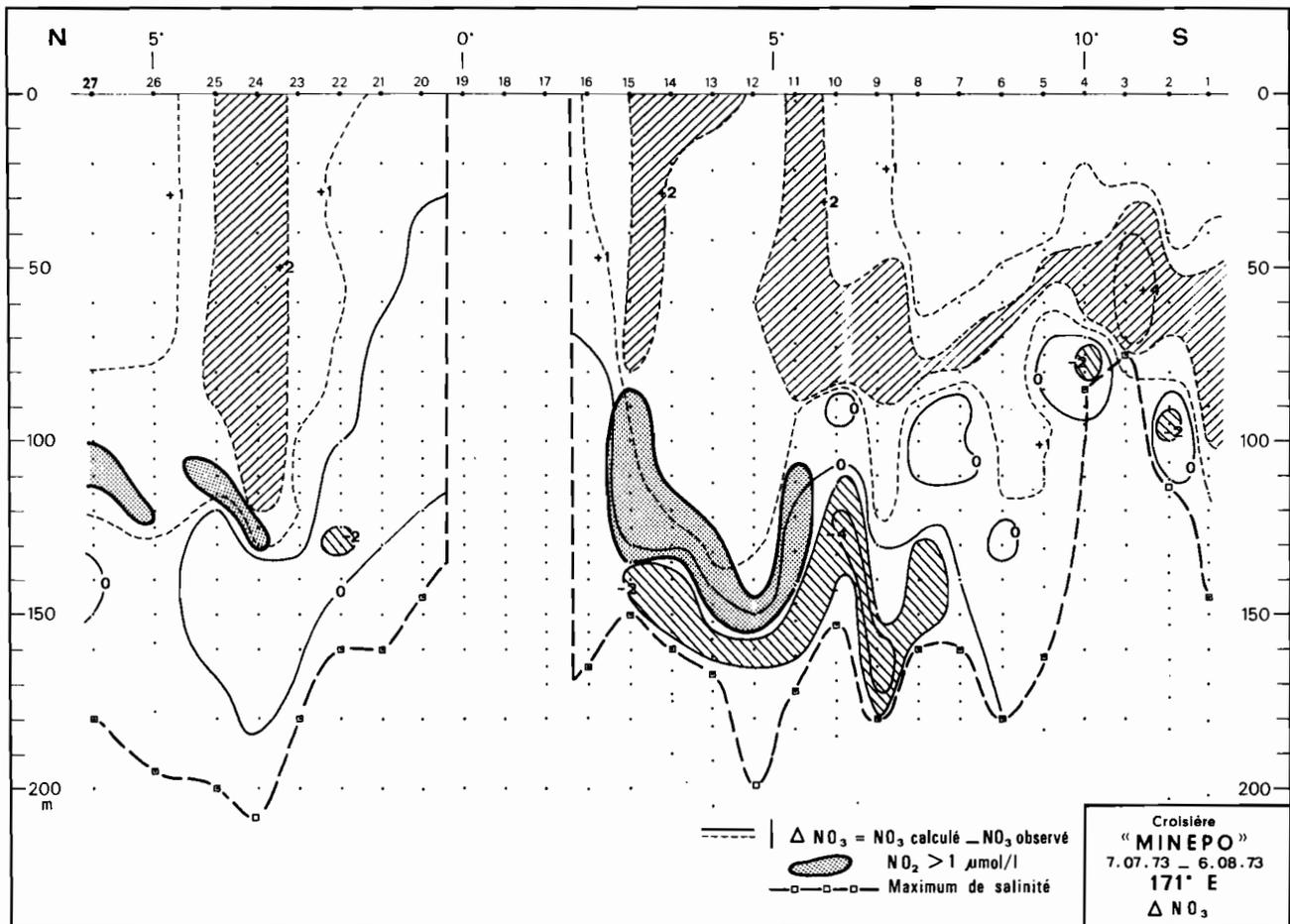


Fig. 20. — Distribution verticale des écarts entre les valeurs calculées et les valeurs observées de nitrate au cours du trajet aller (les aires en pointillés représentent les couches d'accumulation de nitrite).

mique de la matière organique. Nous devons préciser après MINEPO que les noyaux de nitrate ne sont pas uniquement le reflet d'une minéralisation de la matière organique azotée mais également le résultat de processus physiques induits par la présence d'un contre-courant. De plus MINEPO révèle qu'au niveau de la convergence nord où les conditions hydrologiques sont bien différentes de celles décrites au sud (absence du maximum de salinité — empreinte plus nette du C.C.E.N que du C.C.E.S) les mêmes excès de sels nutritifs sont présents à proximité de la couche d'accumulation de nitrite. Nous avons ainsi la confirmation que les traits de structure qui illustrent les stades successifs du processus de la minéralisation de la matière organique sont directement reliés à la plongée des eaux équatoriales très productives de part et d'autre de l'upwelling.

10. Discussion.

Les résultats de la croisière ÉPONITE (1970) nous

avaient conduits à avancer une hypothèse sur le rôle de la circulation méridienne dans les distributions de sels nutritifs au sud de l'Équateur.

Le modèle théorique de circulation méridienne de CROMWELL indique, lorsque des alizés de nord-est soufflent sur la région équatoriale, une divergence des eaux de surface et un upwelling au nord de l'Équateur, une plongée des eaux au sud au niveau de la zone de convergence. Dans ces conditions, qui sont celles rencontrées durant la croisière ÉPONITE (1970), la matière organique produite lors de l'établissement de l'upwelling se trouve entraînée dans un mouvement vers le sud tout en étant soumise au processus de dégradation et de minéralisation. L'azote organique donne naissance en premier lieu à l'ammoniaque qui est rapidement consommée par le phytoplancton. Une partie cependant est oxydée en nitrite et donne naissance à une couche d'accumulation. Le nitrite est oxydé à son tour et disparaît progressivement au profit

du nitrate. Mais la situation météorologique à l'Équateur est sujette à des modifications plus ou moins fréquentes et il était possible d'envisager ce qui pourrait se produire, le vent de sud-est succédant au vent de nord-est. La divergence déplacée alors au sud de l'Équateur ferait remonter vers la surface les sels nutritifs, en particulier le nitrite, accumulés antérieurement au sud. La production organique née de cette phase d'upwelling serait entraînée vers le nord dans le mouvement de plongée des eaux au niveau de la zone frontale nord et donnerait naissance à des distributions particulières de sels nutritifs au nord de l'Équateur.

Bien que la croisière MINEPO se soit déroulée à la même saison que la croisière ÉPONITE (respectivement en juillet 1973 et août-septembre 1970) la structure hydrologique méridienne en zone équatoriale (upwelling) était inversée par rapport à l'Équateur et en évolution rapide comme en fait foi la comparaison des distributions des paramètres à l'aller et au retour de la campagne. Grâce à cette situation hydrologique nouvelle la validité de notre hypothèse a pu être testée complètement. Selon notre schéma de circulation la divergence hydrologique ou upwelling au sud de l'Équateur, pendant MINEPO, « puisait » le nitrite accumulé dans la « poche » sud comme en témoigne la cheminée où la concentration est supérieure à $0,5 \mu\text{mol NO}_2/\text{l}$ à 2°S (fig. 8). Dix jours plus tard lors du trajet retour la « poche » était considérablement rétrécie et il est probable que nous observâmes alors la fin de la couche d'accumulation qui a alimenté l'upwelling sud équatorial. Les maxima de sels nutritifs (nitrate) résultat de la minéralisation de la production organique équatoriale se rencontrent à des latitudes très variables depuis 10°S jusqu'à 3°S , endroit où ils peuvent, comme le nitrite, être appelés à jouer un rôle dans l'effet fertilisant de l'upwelling.

Simultanément l'eau équatoriale de surface plonge au nord de l'Équateur en créant une zone frontale très nette à 3°N . L'indice d'une « poche » nord se profile sous la couche homogène superficielle nord-équatoriale, et bien que nos observations présentes et passées ne nous permettent pas de cerner exactement l'importance de cette couche d'accumulation de nitrite au nord de l'Équateur, cette dernière pourrait être moins accentuée que la couche sud. Malgré l'absence au nord de maximum de salinité pour renforcer la stabilité et assurer une aussi spectaculaire accumulation de nitrite, le plancher de densité est présent comme au sud (fig. 14). L'association de la poche nord à un flux est permanent (C.C.E.N) pourrait plutôt être la condition différente qui s'opposerait au plein épanouissement de la « poche à nitrite » nord.

La symétrie du modèle de circulation méridienne

par rapport à l'Équateur suivant le régime des vents est vérifiée de plus par les inversions dans les profils verticaux de sels nutritifs (nitrate-phosphate) et d'oxygène relevées aussi bien à proximité de la convergence nord que de la convergence sud. L'ensemble de nos croisières le long du méridien 170°E nous avait induits à penser que le balancement des vents alizés dans le Pacifique Équatorial Occidental pourrait avoir un rythme saisonnier : alizés de nord-est en hiver (croisière CYCLONE 2 en février 1967) et alizés de sud-est en été (croisière CYCLONE 6 en août 1967). Il n'en est rien : ce balancement, irrégulier, peut se produire beaucoup plus fréquemment et accélérer ainsi le cycle d'utilisation des sels nutritifs en zone équatoriale.

Le dôme à 10°S , dont l'activité est illustrée par les fortes concentrations de pigments chlorophylliens relevées entre 10°S et 5°S peut jouer un rôle non négligeable dans la production organique accumulée au niveau de la convergence sud. Contrairement à ce qui est observé dans l'upwelling, la biomasse végétale associée au dôme est cantonnée en subsurface mais elle n'en est pas moins importante et réelle bien que la présence du dôme soit très variable dans le temps et dans l'espace. La présence de concentrations élevées de nitrate reminéralisé (écarts négatifs) au voisinage du sommet du dôme (fig. 20) laisse supposer que ce dernier peut favoriser l'utilisation des produits de dégradation de la production organique équatoriale en les ramenant vers la surface; lors de son affaïssement en revanche il peut renforcer la poche à nitrite par apport de matière organique. La production organique dans le dôme sud serait supportée d'une part par les sels nutritifs issus de la production organique équatoriale (production de régénération), d'autre part par des sels nutritifs plus profonds issus d'un mélange avec l'eau sous-jacente au maximum de salinité (production nouvelle) (DUGDALE et GOERING, 1967). D'après nos résultats (fig. 20) la régénération contribuerait au maximum pour 30 à 40 % à la distribution du nitrate dans la couche de reminéralisation, soit environ pour la moitié du reste (60 à 70 %) qui représente l'apport par mélange avec l'E.S.P.S. enrichie.

La distribution verticale de la matière organique dissoute dans le Pacifique Équatorial Occidental s'accorde avec la théorie de MENZEL selon laquelle les substances organiques sont rapidement dégradées et minéralisées dans la couche supérieure des océans. En même temps que les sels nutritifs la matière organique libère d'autres principes chimiques, tels que les oligoéléments qui sont indispensables au développement de la vie marine. Selon la théorie de MENZEL, ces derniers seraient contenus dans la couche de surface (200 premiers mètres) et beaucoup moins abondants dans l'eau subsurface.

sous-jacente pourtant riche en sels nutritifs, ramenée vers la surface sous l'action de l'upwelling et dans une certaine mesure du dôme. Cela pourrait expliquer la répartition de la production primaire abondamment étalée sur les versants de l'upwelling ou du dôme plutôt que dans l'eau subsuperficielle ramenée vers la surface.

11. Conclusions.

La croisière MINEPO nous donne l'occasion de vérifier le bien fondé de l'influence de la circulation méridienne sur les distributions particulières de sels nutritifs de part et d'autre de l'Équateur. Une divergence hydrologique au sud de l'Équateur associée à un front convergent au nord rendent compte de l'épuisement de la couche d'accumulation sud de nitrite qui alimente l'upwelling. Les traits particuliers des distributions de sels nutritifs mises en évidence au sud de l'Équateur après la croisière ÉPONITE sont relevés également au nord. Le balancement de la circulation méridienne principale dans la couche de surface, en zone équatoriale, portant tantôt vers le nord tantôt vers le sud, pourrait être beaucoup plus aléatoire et fréquent dans le temps qu'on ne l'avait envisagé primitivement. La modification de la structure hydrologique au cours de la campagne nous permet d'évaluer le déplacement méridien apparent des grands traits de structure à environ deux degrés en une douzaine

de jours. L'examen de la distribution du nitrite dans le champ de densité a permis de distinguer les différents niveaux d'accumulation de la couche à nitrite.

A la limite entre le C.C.E.S et le C.E.S. il existe un dôme dont l'activité et l'impact sur la production primaire en zone équatoriale ont été sous-estimés jusqu'à présent. Le rôle de ce dôme s'accorde bien avec le modèle théorique de circulation méridienne que nous avons proposé antérieurement. Suivant l'importance du C.C.E.S les sels nutritifs, produit de la dégradation de la matière organique synthétisée après apparition de l'upwelling équatorial et accumulée le long de la convergence sud d'une part et résultats d'un mélange avec les couches subsuperficielles d'autre part, peuvent supporter la croissance du phytoplancton dans le dôme sud. Cette production organique peut à son tour renforcer la poche à nitrite et le stock de sels nutritifs liés à la convergence.

Le modèle théorique de circulation méridienne proposé par CROMWELL, qu'illustrent nos résultats dans le Pacifique Occidental avec ce qu'il implique dans la redistribution de la production organique équatoriale, s'inscrit dans le cadre plus général de la théorie de MENZEL de recyclage de la matière organique dans la couche supérieure des océans. La répartition de la production primaire et de la matière organique dissoute dans la région prospectée est en faveur d'une telle théorie.

BIBLIOGRAPHIE

- ARMSTRONG (F. A. J.) et BOALCH (G. T.), 1961. — The ultraviolet absorption of sea water. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, vol. 41 : 591-597.
- ARMSTRONG (F. A. J.) et TIBBITTS (S.), 1968. — Photochemical combustion of organic matter in sea water for nitrogen, phosphorus and carbon determination. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, vol. 48 : 143-152.
- BENSCHNEIDER (K.) et ROBINSON (R. J.), 1952. — A new spectrophotometric method for the determination of nitrite in sea water. *J. Mar. Res.*, vol. 11, n° 1 : 87-96.
- BRANDHORST (W.), 1959. — Nitrification and denitrification in the eastern tropical north Pacific. *J. Cons. International. Explor. Mer*, vol. 25 : 3-20.
- BREWER (P. G.) et RILEY (J. P.), 1966. — The automatic determination of silicate-silicon in natural waters with special reference to sea water. *Anal. Chim. Acta*, vol. 35 : 514-519.
- CARLUCCI (A. F.) et McNALLY (P. M.), 1969. — Nitrification by marine bacteria in low concentrations of substrates and oxygen. *Limnol. Oceanogr.*, vol. 14 : 736-739.
- COLIN (C.), HENIN (C.), HISARD (Ph.) et OUDOT (C.), 1971. — Le Courant de Cromwell dans le Pacifique Central en février 1970. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*, vol. 9, n° 2 : 167-186.
- CROMWELL (T.), 1953. — Circulation in a meridional plane in the central equatorial Pacific. *J. Mar. Res.*, vol. 12, n° 2 : 196-213.
- DONGUY (J. R.), OUDOT (C.) et 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. 8, n° 1 : 3-20.
- DUGDALE (R. C.) et GOERING (J. J.), 1967. — Uptake of new and regenerated forms of nitrogen in primary productivity. *Limnol. Oceanogr.*, vol. 12, n° 2 : 169-206.

- GRIFFITHS (R. C.), 1965. — A study of oceanic fronts off Cape San Lucas, Lower California. U. S. Fish and Wildlife Serv. Sc. Rep. n° 499, 54 p.
- HATTORI (A.) et WADA (E.), 1971. — Nitrite distribution and its regulating processes in the equatorial Pacific Ocean. *Deep Sea Res.*, vol. 18, n° 6 : 557-568.
- HISARD (Ph.) et PITON (B.), 1969. — La distribution du nitrite dans le système des courants équatoriaux de l'Océan Pacifique à 170° E. *J. Cons. Inter-nation. Explor. Mer*, vol. 32, n° 3 : 303-317.
- JARRIGE (F.), 1968. — On the eastward flow of water in the western Pacific south of the Equator. *J. Mar. Res.*, vol. 26, n° 3 : 286-289.
- KOROLEFF (F.), 1969. — Direct determination of ammonia in natural waters as indophenol blue. *ICESCM 1969/C* : 9, 4 pp. (mimeo).
- LE BOURHIS (J.) et WAUTHY (B.), 1969. — Quelques aspects de la distribution de la production primaire le long du méridien 170° E entre 20° S et 5° N. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*, vol. 6, n° 4 : 83-93.
- MAGNIER (Y.), ROTSCHI (H.), RUAL (P.) et COLIN (C.), 1973. — Equatorial circulation in the western Pacific. *Prog. in Oceanography*, vol. 6, B. Warren ed., Pergamon Press.
- MENZEL (D. W.) et RYTHER (J. H.), 1970. — Distribution and cycling of organic matter in the Ocean. *Univ. Alaska Symposium of organic matter in natural waters*, 1968, 625 p.
- MERLE (J.), ROTSCHI (H.) et VOITURIEZ (B.), 1969. — Zonal circulation in the tropical western south Pacific-in « *Perspectives in Fisheries Oceanography* » *Jap. Soc. Fish. Oceanogr.* : 91-98.
- MIYAZAKI (T.), WADA (E.) et HATTORI (A.), 1973. — Capacities of shallow waters of Sagami Bay for oxydation and reduction of inorganic nitrogen. *Deep Sea Res.*, vol. 20, n° 6 : 571-577.
- MURPHY (J.) et RILEY (J. R.), 1962. — A modified simple solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, vol. 27 : 31-36.
- MONTGOMERY (R. B.) et STROUP (E. D.), 1962. — Equatorial waters and currents at 150° West in July-August 1952. *Johns Hopkins Oceanogr. Stud. n° 1*, The Johns Hopkins Press, Baltimore, 68 p.
- OUDOT (C.), HISARD (P.) et 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. 7, n° 4 : 67-82.
- OUDOT (C.), RUAL (P.) et WAUTHY (B.), 1972. — Mineralisation south of the Equator in relation to equatorial fertility. *International Symposium on Oceanography of the South Pacific 1972*, Wellington, New Zealand 524 p.
- PAGES (J.), 1972. — *Rap. Sci. Croisière EPONITE, N° 48* — rap. multigraphié Centre O.R.S.T.O.M., Nouméa, 103 p.
- RILEY (J. P.) et SKIRROW (G.), 1965. — *Chem. Oceanogr.* — vol. 1, Academic Press, London and New York, 712 p.
- STRICKLAND (J. D. H.) et PARSONS (T. R.), 1968. — A practical handbook of sea water analysis. *Fish. Res. Board. Canada, Bull.* 167, 311 p.
- TSUCHIYA (M.), 1968. — Upper waters of the intertropical Pacific Ocean. *Johns Hopkins Oceanogr. Stud. n° 3*, The Johns Hopkins Press, Baltimore, 50 p.
- WADA (E.) et HATTORI (A.), 1971. — Nitrite metabolism in the euphotic layer of the central North Pacific Ocean. *Limnol. Oceanogr.*, vol. 16 : 766-772.
- WOOD (E. D.), ARMSTRONG (F. A. J.) et RICHARDS (F. A.), 1967. — Determination of nitrate in sea water by cadmium-copper reduction to nitrite. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, vol. 47 : 23-31.
- WOOSTER (W. S.), CHOW (T. J.) et BARRETT (I.), 1965. — Nitrite distribution in Peru current waters. *J. Mar. Res.*, vol. 23 : 210-221.

PRÉSENCE DANS LE SUD-OUEST PACIFIQUE DU CALMAR GÉANT *OMMASTREPHERS CAROLI* FURTADO 1887 (*CEPHALOPODA-OEGOPSIDA*) ET DESCRIPTION DU MÂLE

PAUL RANCUREL

O.R.S.T.O.M., B.P. A 5, Nouméa-Cedex, Nouvelle-Calédonie

RÉSUMÉ

D'une quarantaine d'exemplaires d'Ommastrephes caroli Furtado échoués sur une plage de l'île des Pins (Sud-Ouest Pacifique), neuf échantillons purent être étudiés, parmi lesquels huit du sexe mâle jusqu'alors inconnu.

Les descriptions de la femelle et des mâles sont effectuées et ne présentent que de très légères différences avec celles des spécimens de la même espèce échoués en Atlantique. Il est proposé pour les spécimens nouvellement connus du Pacifique, la désignation subspécifique de stenodactyla, illustrant la brièveté relative des bras.

ABSTRACT

From about forty Ommastrephes caroli Furtado stranded on a beach of ile des Pins (Pacific S.W.), nine specimens are studied, among them eight are males, unknown at this time.

Descriptions of female and males are done and only slight divergences are noted, with stranded specimens of Atlantic coasts. It is proposed for the Pacific specimens of this species known only from the North Atlantic, the subspecific denomination of stenodactyla, based on the relative shortness of arms.

La faune teuthologique du Sud-Ouest Pacifique n'a fait pour l'instant l'objet que de travaux locaux principalement consacrés aux Céphalopodes plus ou moins côtiers. La haute mer peut réserver encore bien des surprises, surtout dans les domaines des grandes formes pélagiques qui ne sont pour ainsi dire jamais capturées par les moyens classiques d'investigation et il faut compter souvent sur le hasard pour compléter nos connaissances.

Ainsi, le 3 septembre 1973, en effectuant une visite de routine au marché aux Poissons de Nouméa, il me fut signalé une caisse de « Seiches » mises à congeler pour servir d'appâts. Dégelés, ces animaux se sont révélés être des *Ommastrephes caroli* Furtado dont aucun exemplaire n'avait jusqu'à présent été signalé dans le Pacifique.

Les animaux provenaient de la plage de la baie de Ouaméo sur la côte ouest de l'île des Pins (22°40' S-167°30' E) située dans le sud-est de la Nouvelle Calédonie, où un pêcheur en avait trouvé une quarantaine le 17 octobre après midi. Les animaux de 30 à 50 cm de longueur palléale étaient encore frais et avaient dû s'échouer lors de la marée du petit matin. Ils servirent pour la plupart d'appât aux pêcheurs.

Neuf spécimens complets, plus une tête séparée purent seulement être récupérés et conservés. Parmi eux une seule femelle de grande taille était présente; les 8 autres, de taille plus petite, ainsi que la tête, étaient des mâles. Les deux sexes présentaient des produits sexuels complètement mûrs et étaient certainement en cours de reproduction. La présence

TABLEAU I

N°	1		2		3		4		5	
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
Sexe.....	♂		♂		♀		♂		♂	
LM.....	365		380		520		360		365	
IM.....	85	23,2	130	34,2	140	29,9	100	27,7	100	27,3
IN.....	280	76,7	310	81,5	420	80,7	315	87,5	330	90,4
LN.....	155	42,4	180	47,3	240	46,1	170	47,2	175	47,9
IT.....	70	19,1	80	21,0	100	19,2	—	—	—	—
L. cart. ventral....	40	10,9	37	9,7	48	9,2	40	11,1	35	9,5
L. cart. nucal.....	45	12,3	50	13,1	47	9,0	47	13,0	45	12,3
I.....	+140+120	> 38,3	180	47,3	+170—240	46,1	195—195	54,1	170—170	46,5
II.....	150—130	41,0	210	55,2	+180+230	+44,2	220—	61,1	210+180	57,5
III.....	150—140	41,0	210	55,2	+140+230	+44,2	220+200	61,1	±180	+49,3
IV.....	165—200	54,7	210	55,2	+200—230	44,2	±185—220	61,1	215—230	63,0
Lt.....	Coupés	—	510	134,2	±410	+78,8	450	125,0	coupés	—
∅ vent. tt.....	—	—	10	2,63	—	—	10	2,7	—	—
∅ vent. bras.....	6	1,65	5	1,30	11	2,10	6	1,6	11	3,0
½ branchie.....	—	—	env. 65	—	—	—	env. 65	18,0	—	—
Velum III.....	—	—	env. 125	32,9	—	—	—	—	105	28,7

N°	6		7		8		9	
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
Sexe.....	♂		♂		♂		♂	
LM.....	375		360		338		385	
IM.....	100	26,6	75	20,8	90	26,6	85	22,0
IN.....	320	85,3	290	80,5	280	82,8	325	84,4
LN.....	185	49,3	165	45,8	150	44,3	180	46,7
IT.....	—	—	—	—	—	—	—	—
L. cart. ventral....	38	10,1	35	9,7	35	10,3	37	9,6
L. cart. nucal.....	45	12,0	48	13,3	—	—	—	—
I.....	180—190	50,6	+160—170	47,2	—170	50,2	180—170	46,7
II.....	180—210	56,0	200—200	55,5	185+165	54,7	±180—195	50,6
III.....	200—200	53,5	215±200	±59,7	+165	48,8	±185—180	48,0
IV.....	200—210	53,5	+110±190	±52,7	180—220	65,0	205±210	54,5
Lt.....	510	136,0	coupés	—	coupés	—	450	116,8
∅ vent. tt.....	9	2,4	—	—	—	—	9	2,3
∅ vent. bras.....	6	1,6	6	1,7	6	1,7	7	1,8
½ branchie.....	—	—	—	—	—	—	—	—
Velum III.....	110	29,5	env. 70	env. 19,5	80	— 23,6	80	20,7

N.B. : Les dimensions sont toutes exprimées en millimètres. Les pourcentages ont été calculés en fonction de la longueur palléale (LM). Largeur du manteau = IM ; Longueur de la nageoire = LN ; largeur = IN ; largeur de la tête IT ; diamètre des plus grandes ventouses tantaculaires = ∅ vent. tt ; Lt = longueur des tentacules.

de cette espèce dans le Pacifique est intéressante, car elle n'était signalée avec certitude jusqu'à présent que des régions septentrionales de l'Atlantique, et sa présence la plus australe ne se situait avec certitude qu'à la latitude de Lisbonne pour l'Atlantique Est (38°40' lat. N environ) et qu'à celle des Grands Banks pour l'Atlantique Ouest (43° env. lat. N) (1). On pouvait donc estimer avoir

à faire à une espèce d'eaux froides; plus intéressante encore est la présence des neuf mâles adultes, encore inconnus; les spécimens étudiés jusqu'à présent étaient tous des femelles de grande taille échouées sur des rivages, sauf la femelle capturée par 112 brasses sur le bord S-W des Grands Bancs de Terre Neuve, déterminée comme *O. caroli* mais non décrite.

Les conditions météorologiques, fournies par le

(1) Voir remarque plus bas.

Service de la Météorologie font état, les 15 et 16 octobre, d'un régime anticyclonique dans le Sud du Territoire avec des vents de Sud à Sud-Est de 15 à 20 nœuds et d'une houle de 2,50 à 3 mètres de creux. Le 17, jour de l'échouage, une houle secondaire en provenance du Sud des Nouvelles Hébrides, induisit une houle résultante de Sud-Sud-Ouest de 4 mètres de creux pendant environ 24 heures, cette houle a été signalée par un navire situé à 24°5 S et 169° E. Cette longue houle vint battre directement le récif, puis la plage de Ouaméo à marée haute permettant probablement l'échouage.

Description de la femelle (tabl. I; fotogr. I, 5-6, échantillon n° 3).

La tête était pratiquement détachée du corps et seulement reliée par un lambeau de peau attenant au haut du siphon, sectionné lors de l'étude. Le tentacule gauche est coupé à 17 cm de la base, le droit est entier jusqu'aux trois quarts distaux de la massue.

Le corps est assez épais, de constitution très ferme, revêtu d'un peau assez rêche et d'apparence fibreuse. Le manteau allongé, d'abord cylindrique, s'effile vers le tiers proximal au niveau de la nageoire pour se terminer en une pointe obtuse, carénée ventralement, et recouverte par la nageoire.

Le bord de l'ouverture palléale est arrondi et souligné par un petit ourlet extérieur. Le bord dorsal du manteau forme un angle nucal très ouvert (environ 145°) mais bien net, pourvu d'un petit processus, provenant du cartilage dorsal. Le manteau est musculéux et ses parois ont une épaisseur moyenne de 9 mm. La couleur ventrale du manteau est rosâtre avec une teinte plus ou moins blanche argentée sur les côtés. La partie postérieure du corps est de couleur lie de vin à brunâtre sous la nageoire, qui présente elle-même cette teinte sur ses deux faces. Dorsalement, la peau a été râpée lors de l'échouage et seule une teinte blanche est visible sur le spécimen.

La nageoire est large, forte, musculéuse (81 % de LM) mais assez courte. Son bord antérieur, très convexe, porte une bande de tissu plus fin qui forme comme une bordure. Les angles, situés au tiers antérieur sont modérément pointus et le bord postérieur est presque droit. La nageoire enveloppe nettement la partie postérieure du corps.

La tête a été aplatie lors de la conservation et les yeux ont éclaté au cours de la congélation; le sinus oculaire est bien marqué. Grossièrement quadrangulaire, elle est nettement limitée à l'arrière par un faible bourrelet transversal plus foncé, qui forme une légère pointe nucal; les plis collaires

sont abîmés, mais ne paraissent pas différer sensiblement de ceux figurés par ROBSON (1925 p. 294 fig. 1). On y distingue : un assez grand pli vertical au niveau temporal, un pli oblique en dessous, un autre pli au voisinage de la fossette siphonale et un repli plus important au bord même de cette fossette.

La fossette elle-même porte 9 plis principaux, un grand pli semi-lunaire et 3 petites poches latérales.

Le siphon est robuste, très large, muni d'une puissante valvule. Les cartilages de fixation, très fortement sculptés, ne me paraissent pas présenter de différences significatives avec ceux d'autres grands Ommastrephidae.

Le bec, est entouré du manchon péribuccal qui porte sur sa paroi interne des bandes de papilles arrondies revêtues d'un enduit ayant l'apparence d'un coagulat muqueux, que l'on retrouve d'ailleurs chez les mâles décrits plus loin. Entre le manchon et la membrane péribuccale proprement dite se trouvent d'assez grandes quantités de spermatozoaires piqués dans cette membrane. Les attaches de la membrane péribuccale sont normales : bras dorsaux, fixations dorsales; dorsaux-latéraux, fixations dorsales; ventraux-latéraux, fixations ventrales; ventraux, fixations dorsales.

Les bras sont courts et forts, robustes et épais : les bras dorsaux ont leur face supérieure aplatie, anguleuse sur ses bords sans toutefois former une carène bien individualisée. Leur section est pratiquement trapézoïdale, avec des membranes de protection très peu développées, ayant au plus 5 mm de hauteur et soutenues par de petites travées dont la base est en connexion avec celle des ventouses voisines. Les bras 2 sont aplatis transversalement (32 mm de largeur vers la base) et munis d'une légère carène externe, le dessus du bras est légèrement bombé, tandis que sa face ventrale est plate. Les membranes de protection dorsales sont peu élevées (8 à 9 mm), tandis que les membranes ventrales sont plus hautes : 15 mm. Les bras 3 caractérisés par l'expansion triangulaire très importante de la membrane de protection ventrale, est lui-même élargi dans sa partie moyenne où il porte une expansion triangulaire de 52 mm de largeur. Il est aplati dorso ventralement, légèrement creusé sur sa face ventrale en contact avec le tentacule. La membrane de protection dorsale est basse, tandis que la ventrale s'élargit rapidement dès les premières ventouses pour atteindre une largeur au sommet de plus de 150 mm. Cette membrane est fragile, souple, et son extension est difficilement chiffrable avec exactitude. Elle se déchire facilement et la pointe du bras peut bien en être séparée (planche I, 7). La face ventrale de ce voile est revêtue d'une couche de chromatophores, formant comme

de petites poches en forme d'écailles de couleur rouille qui se rompent très facilement libérant leur pigment. Ces écailles, éloignées les unes des autres auprès du bras, se concentrent sur le voile lui-même, se serrent et se chevauchent plus ou moins, cet aspect est certainement dû à l'état de rétraction du velum. Il est possible, d'autre part, que cet aspect écailleux soit dû à une altération de chromatophores normaux due à la conservation par le froid. Au-dessus de cette face ventrale colorée, se trouve une couche translucide, blanchâtre, traversée par les bandes musculaires soutenant ce voile.

Les piliers de soutien du velum issus des bras présentent, sur une longueur normale de 10 à 15 mm, une constitution habituelle, musculeuse, dense et opaque; puis, brusquement, ils se transforment en bandelettes musculaires blanches, nacrées et transparentes qui traversent le voile perpendiculairement au bras, en se divisant en bandelettes plus fines mais toujours grossièrement parallèles entre elles. Perpendiculaires à ces premières bandes, se trouvent d'autres faisceaux musculaires parallèles d'abord au bras, puis arrondissant leur cours pour devenir ensuite parallèles au bord du velum. Ces bandes forment ainsi un réseau à mailles très lâches de fibres musculaires, qui permettent certainement des mouvements de contraction et d'expansion de cette membrane.

Le bras 4, également caréné sur son bord externe est aplati transversalement, plat sur sa face ventrale, légèrement creusé en gouttière sur sa face dorsale. Les membranes de protection sont toutes les deux très basses.

Le tentacule gauche est long (plus de 410 mm) et presque aussi long que la longueur palléale. Le tentacule droit est coupé à 170 mm de la base. Les tiges sont robustes, de section ronde, d'un diamètre moyen de 20 mm.

La membrane natatoire se poursuit depuis la

base de la tige jusqu'à la massue sous forme d'un mince bourrelet clair, ventralement plus foncé, sur la face interne de la tige. La membrane de protection dorsale prend naissance vers la moitié de la tige et porte de petits bourrelets qui se transformeront, vers la massue, en piliers de soutien. La membrane ventrale, qui naît vers le tiers proximal de la tige, n'est marquée que par une différence de coloration entre sa face ventrale et sa face interne.

L'appareil de fixation, coupé à la base de la massue, comporte : 6 ventouses denticulées proximales, puis deux boutons et deux ventouses à anneaux lisses alternés. La rupture de la massue ne permet pas un décompte complet.

TABLEAU II

Bras	Nombre de ventouses	Plus grande ventouse	Diamètre en mm
I	50	10 ^e	10—(8)
II	+28	12 ^e	12—(9)
III	+30	11 ^e	10—(7)
IV	62	12 ^e	12—(9)

Les ventouses brachiales sont disposées transversalement sur les bras dorsaux, puis de manière beaucoup plus oblique sur les autres bras, si bien qu'une ventouse de petite taille paraît isolée à la base du bras. Les ventouses les plus distales sont très difficiles sinon impossibles à compter du fait de leur mauvais état, de leur taille très petite ou tout simplement de l'absence des extrémités des bras.

Dans la colonne diamètre des plus grandes ventouses, le chiffre entre parenthèses représente le diamètre de l'anneau corné.

TABLEAU III

Nombre de ventouses sur les bras d'*Ommastrephes caroli* de l'île des Pins

bras	1*	2	3	4	5	6	7	8	9	Tête
I.....		±45	50	48	48	50	48	50	50	46
II.....		54	+28	56	54	+32	±60	+44	56	±50
III.....		+42	+30	54	+32	+38	54	+34	+46	52
IV.....		19 D	62	24 G+50	76—23 D	21 G—70	20 G—	22 G+46	23 G—70	64—21 D

N.B. : * le n° 1 a les extrémités des bras trop abîmées pour donner des nombres valables.

± : seule l'extrême pointe du bras est coupée. + : assez grande partie de la pointe coupée.

Pour les bras ventraux IV, D et G indiquent le bras droit ou gauche hectocotylisé.

Les ventouses (planche III) offrent une image classique : largement séparées, les rangées, plus ou moins obliques montrent leur plus grosse ventouse vers le 10^e rang. Cette plus grosse ventouse correspond à peu près, aux dernières ventouses comportant des denticules proximaux sur l'anneau. Les anneaux ayant leur bord ventral lisse se classent de la façon suivante : bras I : 11^e rang; II : 12^e rang; III : 11^e rang; IV : 10^e rang. La perte des denticulations ventrales est ainsi encore plus proximale que dans l'échantillon décrit par ROBSON en 1925.

Les dents apicales comportent classiquement une grande dent médiane, entourée de grandes dents de dimensions décroissantes. Ces dents, espacées, sont marquées à leur base par une dépression foncée. Le nombre des latérales varie en fonction de la taille des anneaux : deux de part et d'autre sur les ventouses à bord proximal lisse, 3 ou 4 sur les plus grosses. De petites dents secondaires peuvent venir s'intercaler entre les grandes dents; ces dernières peuvent être munies d'expansions latérales, ou même ne comporter que des dents de dimensions égales sur tout le pourtour. Mais il s'agit là de malformations, peut-être dues à une régénération. Les denticules proximaux, plus développés latéralement, sont formés par de petites excroissances coniques du bord de l'anneau.

L'animal ouvert présente un énorme développement de l'ovaire qui occupe toute la cavité générale et remonte jusqu'à 60 mm du bord palléal. Les glandes nidamentaires sont, elles aussi, énormes (230 mm).

L'estomac ne contenait que du gravier corallien dont il était rempli.

La branchie, grande, compte 57 filaments par demie-branchie.

La radula qui a été extraite, a une largeur utile de 7 mm.

BEC SUPÉRIEUR (Tabl. IV; planche II, 3, 4, 7, 8, 9).

Le rostre est relativement court, formant un angle mandibulaire très profond, net, situé dans le plan de la paroi externe. Le bord tranchant est arrondi et légèrement proéminent. L'aile, assez courte, porte une toute petite bande non noircie à sa partie postérieure. Les parois sont entièrement brunes, sauf une bande de quelques millimètres à leur bord postérieur. La crête est épaisse et de consistance assez cartilagineuse, permettant des cassures chondroïdes. Le bec lui-même porte deux sillons palatins profonds, délimitant en leur milieu une bande légèrement concave à bords abrupts (pl. fotogr. II, 3); Ils sont limités extérieurement par une bande assez plate d'aspect feuilleté, formée par la juxtaposition des couches de matériel consti-

tuant le palais. Le bord extérieur, provenant du rostre, est d'apparence palissadique différant nettement du précédent.

L'angle mandibulaire forme une fossette interne, dont la présence ne se manifeste pas à l'extérieur.

BEC INFÉRIEUR.

Les ailes ont une surface presque perpendiculaire à l'axe du bec. Le capuchon est court, ainsi que le rostre qui est muni de deux crans (pl. II, fig. 4) : un premier cran au tiers apical délimitant un crochet terminal et une bande tranchante horizontale postérieure qui se termine par un angle mandibulaire portant dans son échancrure, sur la face interne de la paroi latérale, une dent tranchante plus ou moins arrondie dirigée vers l'avant. Ce processus et le bord tranchant délimitent une fossette à ouverture externe, qui est en continuité directe avec la paroi externe de l'aile.

Les parois latérales sont trapézoïdales avec un angle postéro-inférieur pointu, bordé par une bande claire. La crête, assez large, est très arrondie à sa partie dorsale; elle se prolonge en arrière par une petite pointe non colorée et molle. Elle est séparée des parois latérales par une gouttière largement arrondie, qui naît au dessous du capuchon pour s'ouvrir largement sur la partie supérieure du bord postérieur de la paroi latérale.

La radula possède des dents identiques à celles figurées par ROBSON 1925.

Description du mâle (pl. fotogr. I, 1-4; pl. fotogr. II, 1, 2, 5, 6, 10, 11, 12; pl. fotogr. IV).

Nettement plus petits que la femelle, les mâles recueillis ont tous un aspect semblable : ils donnent une impression d'être plus trapus et proportionnellement plus courts que la femelle, bien que les mensurations donnent des chiffres presque similaires. Leurs LM s'échelonnent entre 338 et 385 mm donnant ainsi un groupe de tailles remarquablement homogène. Tous étaient en reproduction. L'état des échantillons était bon, bien que les extrémités des bras aient été abimés et quelques tentacules coupés.

Le manteau cylindrique d'abord, s'affine rapidement au niveau de la nageoire qui recouvre toujours l'extrême pointe du corps; il porte ventralement une carène d'une dizaine de millimètres de longueur. Le bord palléal antérieur est, comme chez la femelle, ourlé sur l'extérieur par une petite marge plus foncée que la couleur ventrale. Le processus dorsal est bien marqué et forme un angle ouvert très net; le bord ventral est légèrement concave. La nageoire

TABLEAU IV

Mesures exprimées en millimètres. l représente la mesure de la largeur du bec à l'angle mandibulaire. Becs de la femelle n° 3 et de la tête isolée d'un mâle de LM = 360.

	c	r	cr	l	e	P	
Bec supérieur ♂	30	9,5	38,5	9	25	—	<p>Les diagrammes illustrent les mesures morphologiques des becs. Le bec supérieur est représenté par une forme en arc avec des mesures c (largeur à l'apex), r (largeur à l'angle mandibulaire), cr (largeur à la base), e (longueur) et P (longueur totale). Le bec inférieur est représenté par une forme plus complexe avec des mesures c, r, cr, l, e et P.</p>
Bec supérieur ♀	40,5	14	53	12,5	38	—	
Bec inférieur ♂	9	9	20	7,5	24,5	25,5	
Bec inférieur ♀	11,5	13	27,5	11	37	35,5	

possède un bord antérieur convexe, bordé par une bande de peau amincie et plus claire (photogr. I, 1, 2, 3, 4). La pointe des nageoires se situe au tiers distal et son bord postérieur est légèrement sinueux, avec une très légère concavité postérieure.

La couleur, rosâtre ventralement, est donnée par des chromatophores bruns à lie de vin disséminés dans le tégument, qui est d'apparence fibreuse. Cette coloration se teinte de gris blanchâtre sur les côtés. La partie dorsale, d'apparence foncée, semble avoir souffert de l'échouage par perte de pigment. La nageoire, foncée dorsalement, est bien colorée en brun rouge, ainsi que la partie du manteau située à son niveau, elle est plus claire et plus rougeâtre ventralement. La tête, plus ou moins quadrangulaire, porte des plis postérieurs bien marqués, mais ne différant pas de ceux de la famille. L'œil est grand : diamètre de l'orbite 35 mm, du cristallin 15 mm. Le sinus est très bien marqué.

Le siphon, large et puissant, ne comportait pas d'organe muqueux visible lors de l'ouverture. La fossette siphonale comporte 6 plis principaux, le grand repli semi-lunaire et 2 poches latérales.

Les bras paraissent assez courts. Les bras I dorsaux ont une section trapézoïdale, plats sur la face dorsale; les côtés latéraux, aussi hauts que la longueur du côté dorsal, unissent une face ventrale étroite sur laquelle sont fixées les ventouses. Les membranes de protection sont très basses et, à la jonction des faces latérales et dorsales, portent

de petites crêtes. Les bras 2 ont une section triangulaire avec une face interne presque verticale; la face dorsale est aplatie ainsi que la face ventrale qui se termine latéralement par une bordure plate. La membrane de protection dorsale est assez basse (9 mm), tandis que la membrane ventrale s'élargit jusqu'à 15 mm vers le tiers antérieur du bras. Cette membrane est fine, sans soutien de piliers, qui ne se rencontrent qu'à sa base, au contact des ventouses. Les bras 3 sont très aplatis dorso-ventralement avec une expansion médiane triangulaire assez large (30 mm) bien que proportionnellement moins large que chez la femelle. La membrane de protection dorsale est assez basse tandis que la membrane ventrale est très élargie, peut être encore plus que chez sa femelle. Chez le mâle n° 9 elle atteint 110 mm pour une longueur palléale de 385 mm. Elle est formée des mêmes éléments que ceux décrits pour la femelle.

Les bras 4 sont aussi aplatis, avec une face supérieure légèrement creusée et une face supérieure un peu bombée. L'héctocotylisation (pl. photogr. II, 10, 11, 12) se produit soit à droite soit à gauche. Sur 9 mâles on compte 6 bras gauches et 3 bras droits. L'héctocotylisation est formée par la perte distale des ventouses et la prolongation jusqu'au voisinage de l'extrémité du bras de la partie creuse interne proximale, qui forme ainsi une légère gouttière, marquée seulement à l'extrémité par un bourrelet de peau longitudinal. Les deux bras ventraux ont sensiblement la même longueur et la partie

dépourvue de ventouses mesure 95 mm environ. Il subsiste encore de 19 à 24 ventouses proximales, c'est-à-dire à peine la moitié de celles du bras non hectocotylisé. La partie apicale, pointue, élançée, est lisse, tandis que sa base porte encore les bourrelets porteurs des ventouses. Sur les plus antérieurs de ces bourrelets se remarquent encore la base du pédoncule d'une ventouse qui semble s'être détachée depuis peu; l'hectocotylisation pourrait ainsi se parfaire par la perte des plus distales des ventouses du bras. La face externe porte un petit canal, assez peu marqué, se terminant vers la pointe en diminuant de profondeur vers la moitié de la zone non hectocotylisée.

Les tentacules sont plus longs que le manteau et ont une tige cylindrique d'une quinzaine de millimètres de diamètre. La massue est allongée et mesure environ 150 mm de longueur.

Le côté externe est parcouru sur toute sa longueur par une faible crête nataoire. Elle prend naissance pratiquement à la base de la tige tentaculaire sous forme d'un léger bourrelet qui se poursuit jusqu'à l'extrémité de la massue où elle s'élargit quelque peu.

Les ventouses (photogr. IV) ne diffèrent de celles de la femelle que par leurs diamètres plus petits, correspondant à une longueur palléale plus courte. Le passage des ventouses entièrement denticulées aux ventouses à bord proximal lisse est également très analogue; ainsi, Hectocotyle : 10^e rang lisse; bras IV non hectocotylisé : 10^e rang; III : 12^e rang; II : 10^e rang; I : 10^e rang. Les ventouses proximales présentent, comme chez la femelle, des dents courtes, plates, triangulaires qui se continuent un peu plus haut sur les bras dorsaux que sur les autres; les denticules primaires sont plus courts que chez la femelle, mais légèrement plus nombreux.

Les anneaux cornés des ventouses tentaculaires sont également classiques, munis de grandes dents disposées aux extrémités de deux diamètres perpendiculaires, la dorsale étant la plus grosse, et comportent 7 à 8 denticules secondaires dans chaque quadrant. Les ventouses post-apicales sont armées d'une douzaine de petites dents dorsales et également d'une douzaine de denticules ventraux.

La face interne du tentacule est bordée par les deux membranes de protection. La membrane ventrale naît au tiers proximal de la tige sous forme d'une légère démarcation colorée entre l'épiderme interne un peu plus rosé-foncé et l'épiderme ventral plus clair. Des traces de petits bourrelets transverses représentant les premiers piliers de soutien de la membrane se remarquent dès la moitié de la tige. Cette membrane très basse, se poursuit sur toute la longueur de la massue où elle demeure très peu développée et soutenue par de très courts piliers.

La membrane dorsale prend naissance également au même niveau que la ventrale mais se développe tout de suite pour former une pellicule mince soutenue par de petits bourrelets qui s'élèvent de la tige et qui se prolongent jusqu'à son bord. Ces bourrelets forment les piliers de soutien au niveau de la massue. La membrane se poursuit tout au long de la massue en restant peu élevée (4 à 5 mm). La massue elle-même est étroite, à peine plus large que la tige et les grosses ventouses médianes débordent de part et d'autre. A partir de la première ventouse à anneau lisse de l'appareil de fixation on peut compter 12 rangées de 4 ventouses denticulées, dont les deux rangs médians contiennent les ventouses les plus grosses, et, parmi elles, les ventouses dorsales sont les plus grandes; elles sont enchâssées dans la massue et portées par de courts pédoncules. Les ventouses latérales dorsales et ventrales sont fixées par un long pédoncule sur le rebord de la massue en dedans de la membrane protectrice et sur le prolongement d'une ride qui prend naissance au milieu de la massue, face à la grande ventouse opposée. Ainsi, sur le bord ventral, chaque petite ventouse latérale est opposée à une grande ventouse dorsale du rang moyen et vice-versa. On obtient donc des rangées transversales artificielles de 2 ventouses : une marginale ventrale face à une grosse dorsale médiane, puis une marginale dorsale, face à une grosse médiane ventrale. En réalité, les ventouses forment des rangées classiques de 4, mais disposés très obliquement sur la massue. A la suite des 12 rangées précédentes se trouve une série d'environ 25 rangées de petites ventouses denticulées et longuement pédonculées, très serrées et dont l'état ne permet pas un décompte très exact. Enfin, la partie apicale forme une pastille arrondie couverte par 6 à 7 rangées de petites ventouses non denticulées. L'extrémité de la massue est légèrement aplatie transversalement.

L'appareil de fixation (fig. 1) est conforme aux descriptions de FURTADO et de STEENSTRUP en ce qui concerne l'appareil lui-même, mais en diffère par le nombre de ventouses basales. Sur l'échantillon ayant les tentacules les mieux conservés, on a compté sur le tentacule gauche : 9 ventouses denticulées proximales, comprenant, immédiatement en arrière de la rangée marquée par la première ventouse lisse : 1 rangée de 4 ventouses de dimensions identiques, puis deux rangées obliques de 2 ventouses débutant ventralement à la première du rang précédent, puis une ventouse ventrale toujours de même dimension, isolée. Le bord dorsal porte 4 ventouses à anneaux lisses alternées avec 3 boutons à pédoncule allongé (pl. photogr. II, 13); chacune des ventouses faisant partie d'une série oblique de 4 ventouses (3 denticulées) dont seule la médiane

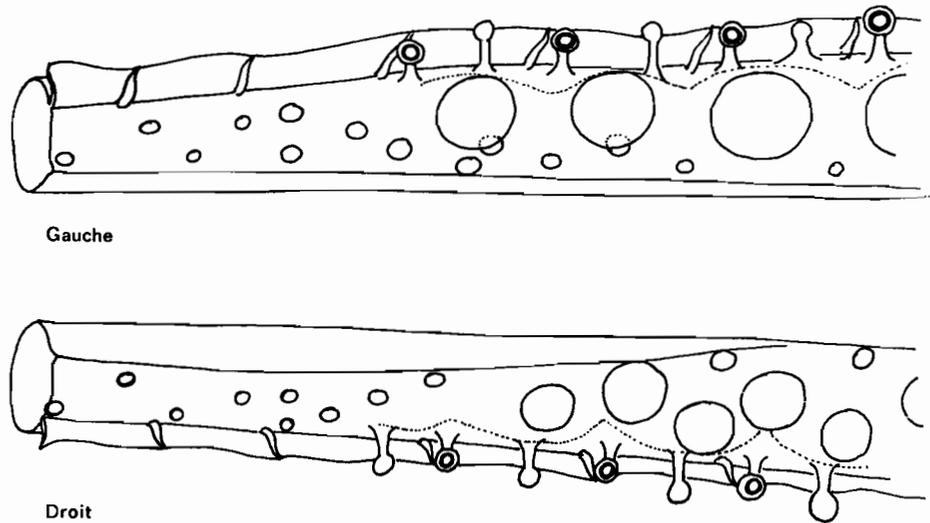


Fig. 1. — Appareil de fixation du mâle.

dorsale est élargie, les boutons n'entrant pas dans le décompte des rangées sur le tentacule droit; la disposition et le nombre de ventouses denticulées postérieures sont les mêmes et l'appareil de fixation est constitué par 4 boutons pédonculés qui alternent avec 3 ventouses à bord lisse.

BEC SUPÉRIEUR : (mesures tabl. IV, pl. fotogr. II, 1, 2, 5, 6).

Le rostre est assez court, épais, l'angle mandibulaire nettement entaillé et profond, le bord tranchant de l'épaule est très nettement arrondi à sa partie dorsale et passe ventralement à l'aile par une ligne presque droite. L'aile elle-même est assez courte. Le bec est entièrement bruni, sauf sur une légère bande postérieure de l'aile et sur la partie postérieure de la paroi latérale. Le capuchon n'est bordé que par une légère marge de tissus clairs. Le palais est creusé de deux sillons profonds dont les bords externes rejoignent l'épaule. La partie comprise entre ces sillons est concave et tombe de façon abrupte dans les sillons latéraux. La partie palatine du bec, comprise entre les sillons et le bord externe, a une apparence feuilletée donnée par les couches juxtaposées de matériel « corné ». Le bord extérieur ne présente aucune stratification.

BEC INFÉRIEUR.

Les ailes sont tout à fait orthogonales à l'axe du bec. Le rostre, assez court, présente un retour presque horizontal qui se termine par un bord tranchant interne sous forme d'une petite dent et qui domine une dépression constituant le fond de

l'angle mandibulaire. Le capuchon est court et les parois latérales sont trapézoïdales. Le bord postérieur de la crête n'est pas complètement bruni et dépasse légèrement en une pointe molle. Les parois latérales sont bordées par une mince bande de matériel clair que l'on retrouve à leur jonction avec les ailes. L'aile elle-même ne comprend qu'un ourlet clair très fin; elle porte quelques taches plus foncées au niveau de l'angle mandibulaire qui sont des points d'opacification peut être dus à des blessures.

La radula ne diffère pas sensiblement de celle décrite par ROBSON 1925. Les deux dents latérales sont longues, 0,76 et 0,95 mm respectivement pour la seconde et la première. L'admédiaire également longue 0,76 mm, porte une cuspidé externe assez élevée (0,45 mm) tandis que la dent médiane est constituée d'un mésocone aigu, légèrement incurvé vers l'avant (0,64 mm de hauteur) flanqué, de part et d'autre, par un ectocone presque aussi haut que lui (0,57 mm).

L'épaisseur des parois du manteau est de 12 mm en moyenne. Les testicules sont très développés dans chaque spécimens et mesurent de 120 à 150 cm de longueur. Les poches de Needham sont bourrées de spermatophores, dont certains sont engagés en paquets dans le pénis. Les organes génitaux mâles ont une forme classique. Le nucleus génital, bien arrondi sur la gauche de la masse viscérale, surplombe et recouvre classiquement la poche de Needham extrêmement développée, se terminant par un pénis volumineux et muni d'un prolongement latéral.

Le vas deferens (fig. 2) de section triangulaire débouche dans un complexe de glandes muqueuses

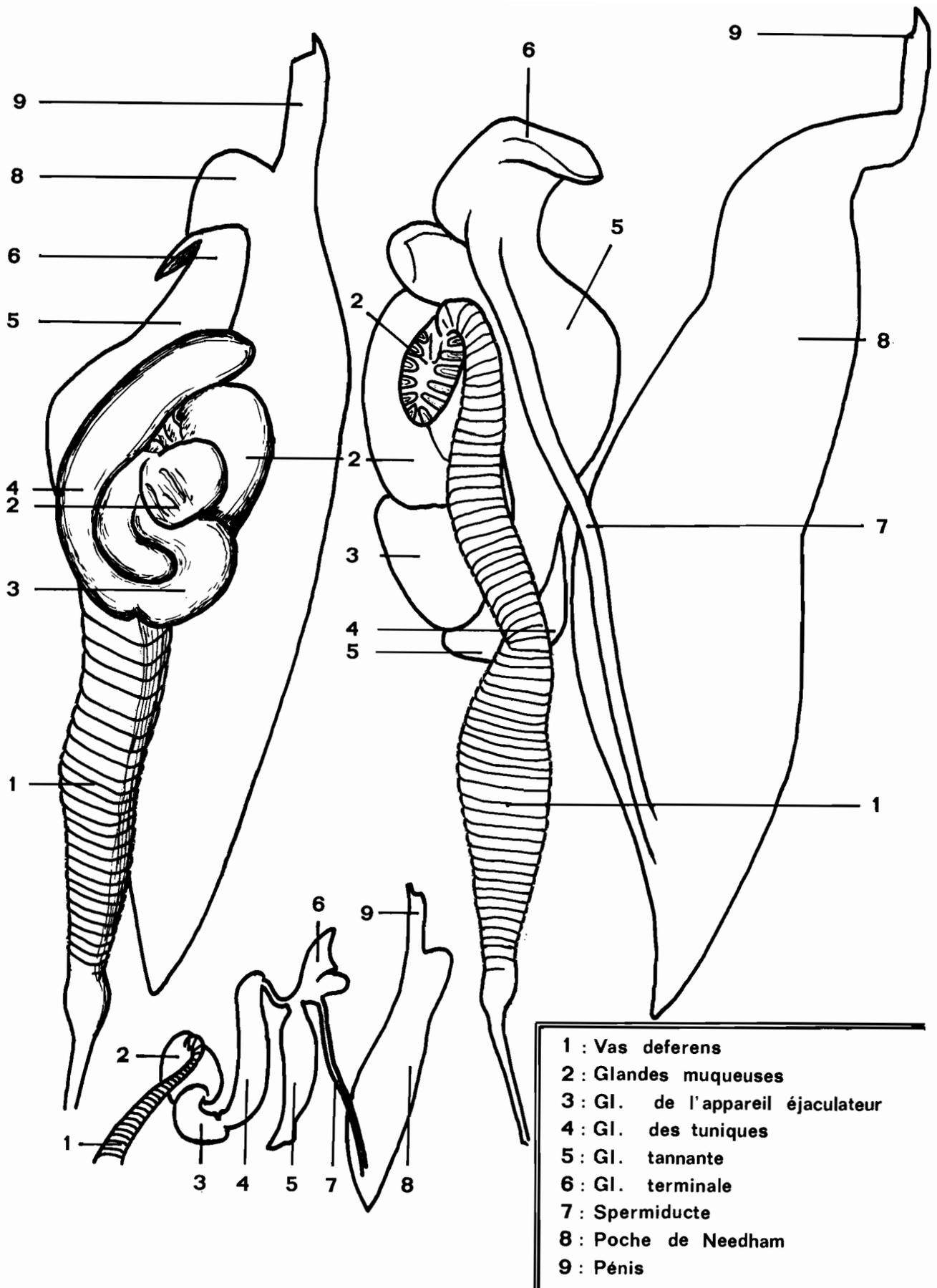


Fig. 2. — Appareil génital mâle. La figure gauche montre l'appareil en place dans la cavité palléale ouverte par sa face ventrale ; dans la figure de droite le bloc glandulaire a été déversé sur la gauche, la poche de Needham restant en place. Au bas de la figure, l'appareil est représenté en extension artificielle.

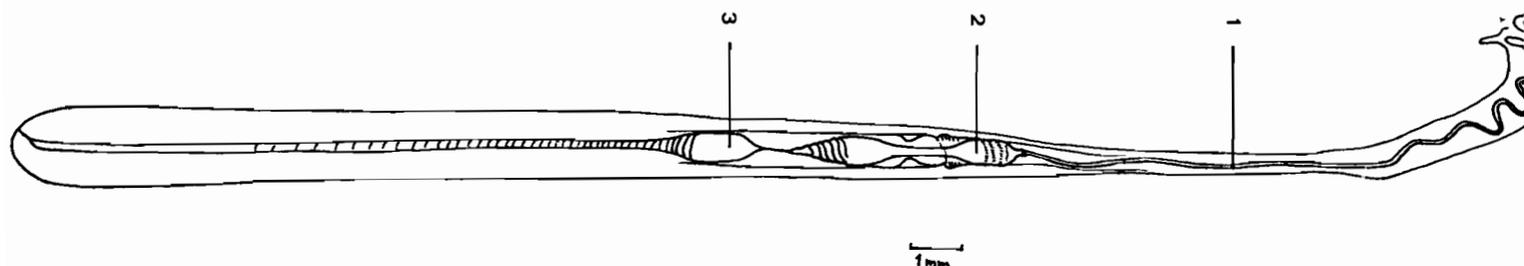


Fig. 3. — Spermatophore d'*O. caroli* en partie reconstitué. 1 : Filament spirale ; 2 : Corps cémentaire ; 3 : masse spermatique.

dont la première offre une image diverticulée très nette. Si l'on suit la terminologie de DREW (1919) on rencontre successivement : après les glandes muqueuses bien développées (2), la glande de l'appareil éjaculateur (3), la glande des tuniques (4) (qui n'offre pas de particularités remarquables), puis la glande que j'appellerai tannante (5) (hardening gland de DREW) sans pour cela préjuger de ses qualités physico-chimiques, qui présente une forme allongée, munie à sa partie postérieure d'un coecum de forme diverse selon les individus, puis la glande terminale (finishing gland) ou glande de fin d'élaboration (6) possédant un capuchon retourné sur lui-même, puis la poche de Needham (8) liée à la dernière glande par le spermiducte (7). Rien semble-t-il que de très classique dans cette organisation, dont la description sommaire n'est donnée qu'à titre informatif.

Les spermatophores (fig. 3) contenus dans la poche de Needham sont tous plus ou moins éjaculés et la masse spermatique a été en partie évacuée. Il n'est donc possible que de décrire l'appareil tel qu'il se présente. Les spermatophores mesurent environ 31 millimètres de longueur, mesure prise sur les moins extravasés. Le cordon spiralé est toujours encore en place et lié à un organe cémentaire ovoïde, mucroné, entouré par 3 ou 4 légères dépressions circulaires; il est lié à la masse spermatique par un corps ovoïde dont la partie postérieure spiralée est en liaison, par un fin filament, à ce qui reste de cette masse spermatique, elle-même spiralée et très étirée dans l'enveloppe du spermatophore.

Les estomacs ne renferment pratiquement aucune nourriture en dehors de restes de débris de Poissons, de becs de Céphalopodes, d'une radula de Gastéropode pélagique; ils étaient, par contre, remplis de gravier et sable coralien. Il semblerait que cette ingestion du sable se soit produite lors de l'échouage, au cours de l'agonie; en effet, l'œsophage et la cavité buccale étaient eux aussi colmatés par ces matériaux.

Les branchies sont longues, et l'on peut compter

67 filaments par demi-branchie; la glande branchiale est peu développée.

Discussion.

Depuis sa description par FURTADO en 1887, peu d'échantillons d'*O. caroli* ont pu être étudiés par des malacologistes et je ne connais que dix spécimens dont les mensurations aient été publiées. Ne disposant pas du matériel de comparaison nécessaire, je n'entre-rais pas dans la controverse qui oppose certains spécialistes tenant *O. caroli* comme synonyme d'*O. bartramii* et certains autres considérant *O. caroli* comme une espèce valable; je n'essaierai que de faire ressortir les particularités propres aux échantillons du Pacifique. Les six échantillons, déjà décrits, pour lesquels nous possédons des données chiffrées, sont des femelles trouvées échouées sur les côtes européennes après un mauvais temps hivernal. Seul, notre spécimen n° 3 qui est également une femelle pourra donc être comparé aux animaux décrits.

Si l'on reprend les données numériques publiées (tabl. V), on est frappé par la similitude des valeurs relatives calculées en fonction de la longueur palléale, de la longueur de la nageoire qui varie de 46,5 à 48,1 %, alors que la femelle pacifique donne 46,1 % les largeurs de la nageoire varient respectivement de 65,8 à 85 % pour 80,7 %. Les différences sont plus marquées en ce qui concerne la longueur des bras et, chose curieuse, les mesures relatives de la femelle de l'île des Pins correspondent seulement à celles du spécimen des Feroës décrit par Lönnberg en 1891, qui se différencie de tous les autres spécimens décrits par des mesures relatives brachiales plus courtes de 10 %.

Ici également, en dehors des bras dorsaux, de mesures comparables, les autres bras sont tous plus courts de 15 à 20 %.

TABLEAU V

Origine	Furtado 2 1887 Portugal		Furtado 3 1887 Portugal		Lönnberg 1891 Féroës		Robson 1925 Yorkshire		Hertling 1938 Heligoland		Rees 1950 Cornouailles	
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
Sexe.....	♀		♀		♀		♀		♀		♀	
LM.....	510		610		550		760		683		670	
IM.....	150	29,4	180	29,5	167,5	30,4	285	37,5	228	33,4	245	36,7
IN.....	380	74,5	450	73,7	362	65,8	635	83,5	530	77,6	570	85,0
LN.....	245	48,0	280	45,9	265	48,1	365	48,0	302	44,2	312 ?	46,5?
IT.....	—	—	—	—	—	—	200	26,3	140	20,5	170	25,3
LT.....	105	20,4	130	21,3	130 ?	23,6 ?	—	—	83	12,2	100	14,9
I.....	250-250	49,0	305-300	50,0	220	40,0	407-410	53,9	340-338	49,8	360-355	53,7
II.....	310-290	60,7	380-385	63,1	270	49,0	475-470	62,5	387-376	56,7	415-415	61,9
III.....	310-300	60,7	395-415	68,0	250	45,4	532-525	70,3	367-357	53,8	415-400	61,9
IV.....	290-320	62,7	380-400	65,5	250	45,4	470-460	62,5	345-340	50,5	445-445	66,4
Lt.....	750	147,0	960	157,3	700	127,2	1152	151,5	— 690	101,0	1100-1300	194,0
∅ vent tt.....	—	—	21	3,4	—	—	22	2,8	18,5	2,7	21	3,1
∅ vent bras.....	—	—	19,2	3,1	—	—	20	2,6	17,8	2,6	20	2,9
Velum IV.....	—	—	240	39,3	—	—	285	37,5	210	30,7	220	32,8

En dehors du bras ventral intact, les bras latéraux ont leurs extrêmes pointes coupées, mais les longueurs manquantes n'excèdent pas 10 à 20 mm, alors que, pour atteindre les proportions des spécimens « classiques », il faudrait ajouter près de 100 mm.

Ce raccourcissement des bras, bien qu'évident, n'est pas suffisant pour rapprocher ces échantillons de *bartramii*, qui possède des bras encore plus courts. Les mesures relatives tirées des chiffres donnés par R. E. YOUNG (1972) p. 31 pour les plus gros spécimens mâles de *bartramii* Est-Pacifiques sont les suivants : mâles de LM 302 et 306 mm; bras I = 31,4 et 31,6 %, bras II : 39,4 et 40,5 %, bras III : 38,7 et 37,6 %, bras IV : 46,6 et 39,9 %.

Si la disposition générale des ventouses et leur ornementation sont sensiblement identiques aux descriptions, nous relevons que, pour un nombre de paires de ventouses semblable, le diamètre de la plus grosse ventouse est toujours plus grand chez les exemplaires européens et que le changement d'armature des anneaux cornés se fait à un niveau beaucoup plus proximal; ROBSON (1925) mentionne la perte des dents proximales au 18^e rang sur le bras I au lieu du 10^e, au 13^e rang du bras II au lieu du 12^e, au 15^e rang au lieu du 11^e sur le bras III et au 12^e rang au lieu du 14^e sur le bras IV. Il signale également que « the tips of all arms are devoid of suckers for some 5-10 mm ». Les ventouses les plus apicales existent chez nos spécimens, mais sont très petites et il est fort possible qu'elles aient disparues par abrasion sur l'exemplaire de ROBSON.

La découverte de 9 mâles, portant chacun un velum formé par la membrane de protection ventrale du bras III, permet de conserver à cet organe un caractère spécifique précis, et non un caractère

sexuel secondaire. L'hectocotyle a une structure identique à celle des autres grands Ommastrephidae, dont il ne diffère que par la réduction des membranes de protection et le plus petit nombre de ventouses proximales restantes. L'hectocotyle d'*O. bartramii* décrit par YOUNG (1972) p. 29 provient certainement, comme il le signale, d'un mâle incomplètement mûr; il en est probablement de même pour la figure donnée par SASAKI (1929) pl. 24, fig. 2. Ces organes possèdent encore quelques ventouses dorsales sur la pointe dénudée du bras, ventouses qui tomberont probablement à maturité; PFEFFER (1912) pl. 35, fig. 4, 5, par contre, figure deux bras hectocotylisés sans ventouses dorsales apicales.

Il est donc difficile de vouloir se baser sur la structure de cet organe pour apporter une contribution à la clarification du problème *bartramii-caroli*.

La coloration de nos échantillons ne laisse pas entrevoir la bande dorée ventrale caractéristique de *bartramii* mais seulement une teinte rosée uniforme ventralement.

De la comparaison avec les descriptions publiées d'*O. caroli* femelles de l'Atlantique Nord et des régions européennes septentrionales, il semble apparaître que les grands Calmars échoués à l'île des Pins ne présentent pas de différences spécifiques avec *Ommastrephes caroli* FURTADO 1887. Le raccourcissement marqué des bras, les plus grandes ventouses d'un diamètre proportionnellement plus petit et la position plus proximale des ventouses ayant différencié un bord ventral lisse, pourraient être interprétés comme une différenciation subsppécifique et nos échantillons pourraient prendre le nom *subspécifique* de *stenobrachium*.

BIBLIOGRAPHIE

- ADAM (W.), 1952. — Expedition Océanographique dans les eaux côtières de l'Atlantique Sud. III (3) : 1-142. *Inst. Roy. Sci. Nat. Belgique*.
- ADAM (W.), 1960. — Notes sur les Céphalopodes — XXIV Contribution à la connaissance de l'hectocotyle chez les Ommastrephidae. *Inst. Roy. Sci. Nat. Belg.* 36 (19) : 1-10.
- CARUS (J. V.), 1889. — Prodomus Faunae Mediterraneae II. *Stuttgart*. (Cephalopoda 1890 : 446).
- CLARKE (W. J.), 1930. — Giant Squid (*Stenoteuthis caroli*) at Filey. *Naturalist. Hull* n° 879 : 168.
- CLARKE (M. R.), 1966. — A review of the systematics and ecology of Oceanic squids *Adv. Mar. Biol. Plymouth*, 4 : 91-300.
- CLARKE (W. J.) & ROBSON (G. C.), 1929. — Notes on the Stranding of giant squids on the North East Coast of England *Proc. Malac. Soc. London* 18 : 154-158.
- FURTADO (A.), 1887. — Sur une nouvelle espèce de Céphalopode appartenant au genre *Ommastrephes*. *Mém. Acad. Roy. Sci. Lisbonne* 6 : 1-17.
- GIRARD (A.), 1890. — Révision des Mollusques du Museum de Lisbonne. I, Cephalopodes. *J. Sci. Ac. Lisboa* sér. 2 : 265.
- GRIMPE (G.), 1922. — Systematische Übersicht der europäischen Cephalopoden *Sitz-Naturf. Ges. Leipzig* : 45.
- HERTLING (H.), 1938. — Ueber eine auf Juist gestrandete *Stenoteuthis caroli* (Furtado). *Helgölander wiss. Meeresunters* 1, 93-111.
- ISSEL (R.), 1925. — *Stenoteuthis Bartrami* gigantesco del Mare Ligustico *Ann. Mus. Civ. Stor. Nat. Giacomo Doria* 52 : 5-8.
- LONNBERG (A.), 1891. — Oversigt öfver Sveriges Cephalopoda. *Bih. K. Svensk. Vel. Akad. Handl.* (4) 17 (6) : 1-41.
- LONNBERG (A.), 1896. — Two Cephalopods from Teneriffe collected by A. Tullgren. *Oftv. Kongl. Vel.-Akad. Forh. Stockholm* n° 10 : 697-706.
- MAGAZ (J.), 1934. — Catalogo provisional de los Moluscos Cephalopodos vivientes en las costas de la Peninsula Iberica y Baleares. *Inst. Esp. Oceanogr. Notas Resum* (2) 82, 1-53.
- PFEFFER (G.), 1900. — Synopsis der Oegopsiden Cephalopoden. *Mill. Naturh. Mus. Hamburg* 17, : 147-198.
- PFEFFER (G.), 1908. — Die Cephalopoden. *Nordisches Plankton — Zool. Teil.* Bd II : 9-116.
- PFEFFER (G.), 1912. — Die Cephalopoden der Plankton Expedition (Oegopsiden Cephalopoden) Bd : 1-815. *Ergebn. Plankton. Exped. Humboldt-Stiftung*.
- RANCUREL (P.), 1973. — Ouameo Bay Squids stranding. *Smith Inst. Cent. Short. Lived Phen.* 1742 — 143-73.
- RANCUREL (P.), 1974. — Les calmars géants existent-ils en Nouvelle Calédonie ? *Bull. Pacifique Sud*, 3^e trim. : 5-8.
- REES (W. J.), 1950. — On a giant squid *Ommastrephes caroli* Furtado stranded at Looe Cornwall. *Bull. Brit. Mus. (N-H)* 1 (2) : 29.
- REES (W. J.) & MAUL, 1956. — The Cephalopoda of Madeira. *Bull. Brit. Mus. (N. H.)* 3 (6) : 259-281.
- ROBSON (G. C.), 1925. — On a specimen of a rare squid *Stenoteuthis caroli* stranded on the Yorkshire coast. *Proc. Zool. Soc. London* : 291-301.
- ROBSON (G. C.), 1929. — A giant squid from the North Sea. *Nat. Hist. Mag.* 2 : 6-8.
- SASAKI (M.), 1929. — A monograph of the dibranchiata Cephalopods of the Japanese and adjacent waters. *J. Coll. Agr. Hokkaido Imp. Univ. Sapporo. Suppl.* vol. XX-1928 : 1-357.
- STEENSTRUP (J.), 1887. — Notae Teuthologicae : 8. *Ommastrephes caroli* Furtado. *Ov. Dansk. Vidensk. Selsk. Forh.* 128-146 (Trad. 1962 *Danish. Sci. Press.* A. VOLSOE, J. KNUDSEN, W. REES : p. 235-250).
- STENDALL (J. A. S.), 1936. — Giant cuttlefish (*Stenoteuthis caroli*) Furtado, ashore in Co Londonberry *Ir. Nat. J.* 6 : 23-4.
- STEPHEN (A. C.), 1933. — Rare cuttlefish (*Stenoteuthis caroli*) washed ashore at Buckie. *Scott. Nat.* 96.
- STEPHEN (A. C.), 1938. — Rare squid in Orkney *Scott. Nat.* : 119.
- STEPHEN (A. C.), 1944. — The cephalopoda of scottish and adjacent waters. *Trans. Roy. Soc. Edinburgh* 61 (1), 9 : 247-270 figs.
- STEVENSON (J. A.), 1935. — The Cephalopods of the Yorkshire coast. *Journ. Conch.* 20 : 102-116.
- TRELFALL (W.), LU (C. C.) & ALDRICH (F. A.), 1971. — *Tentacularia coryphaenae* Bosc 1802, from two species of Ommasphid squids. *Journ. Paras.* 57 (4) : 926-927.
- YOUNG (R. E.), 1972. — The systematics and areal distribution of Pelagic Cephalopods from the Seas of Southern California. *Smith. Cont. Zoology* n° 97 : 1-159.

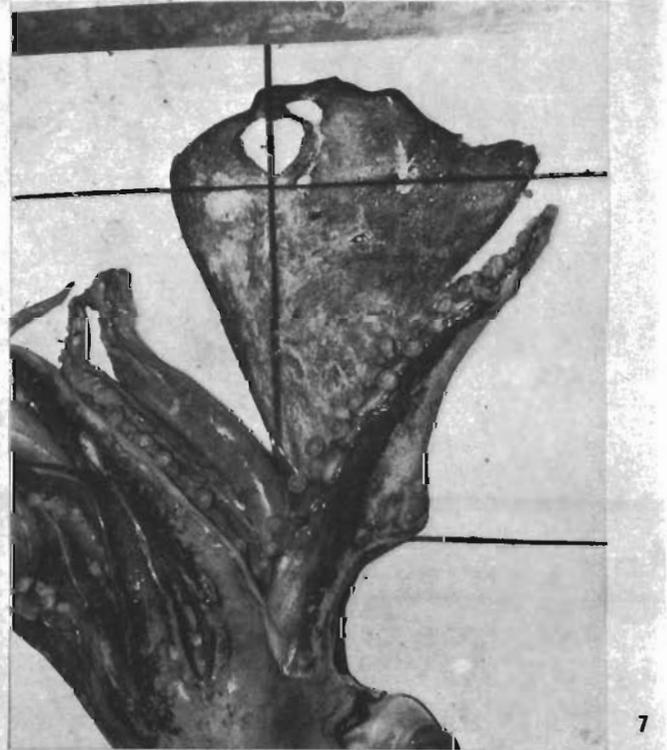
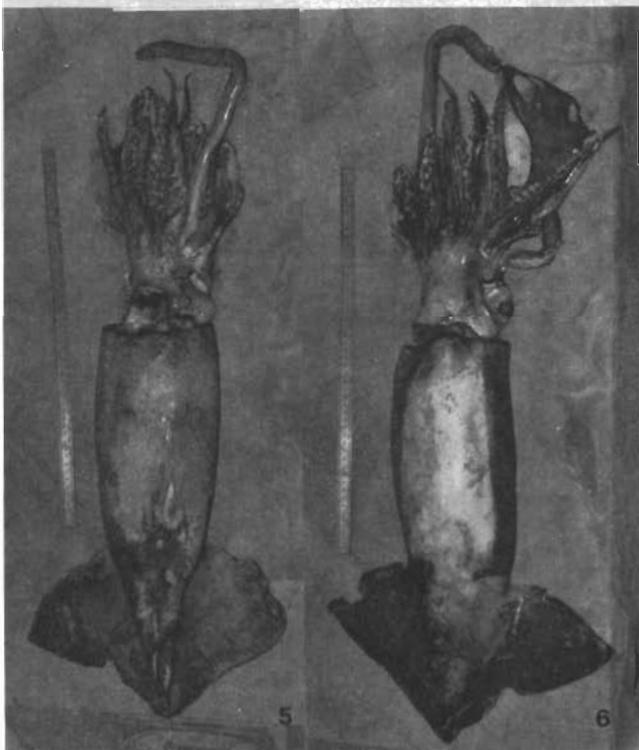
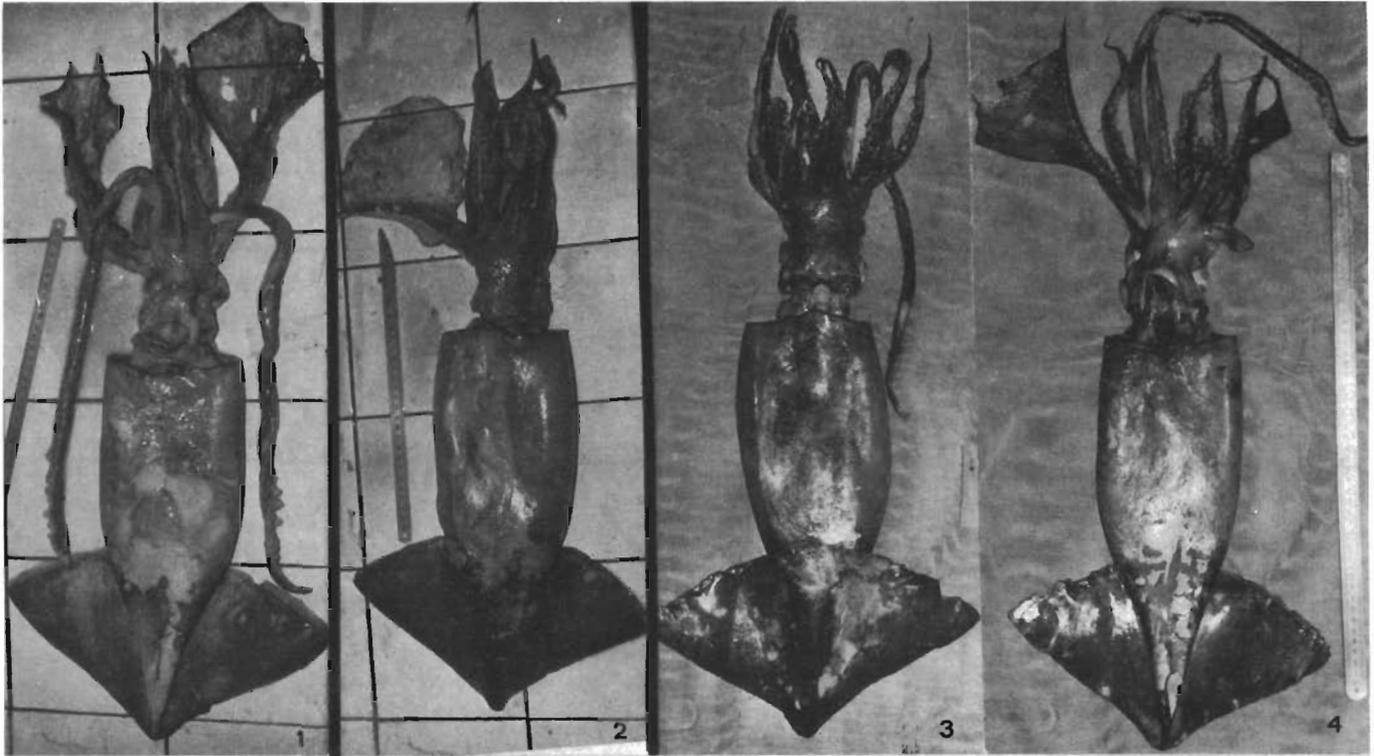


PLANCHE I. — *Ommastrophes caroli* — 1 : ♂ n° 6 ; 2 : ♂ n° 9 ; 3 et 4 : ♂ n° 2 ; 5 et 6 : ♀ n° 3 ; 7 : III bras de la ♀.

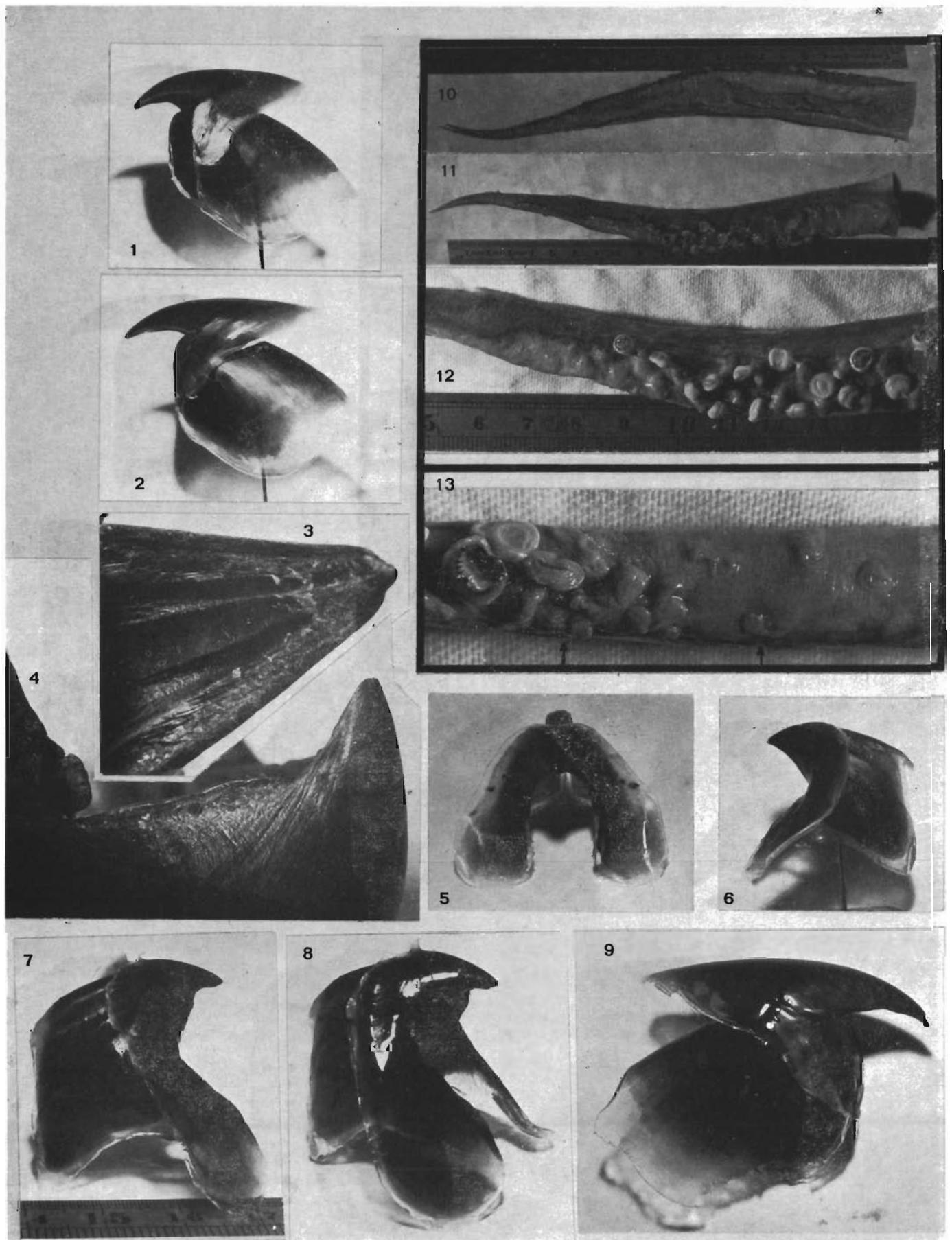


PLANCHE II. — *O. caroli* — 1 et 2 : bec supérieur ♂, tête séparée ; 3 : bec supérieur ♀ n° 3, détail de sillons palatins ; 4 : bec inférieur ♀ n° 3, bord tranchant et épaulement ; 5 : bec inférieur ♂ ; 6 : bec inférieur ♂ ; 7 : bec inférieur ♀ ; 8 : bec inférieur ♀ ; 9 : bec supérieur ♀ ; 10, 11 et 12 : hectorotype, tête séparée ; 13 : détail appareil de fixation. Les flèches montrent deux des « boutons ».

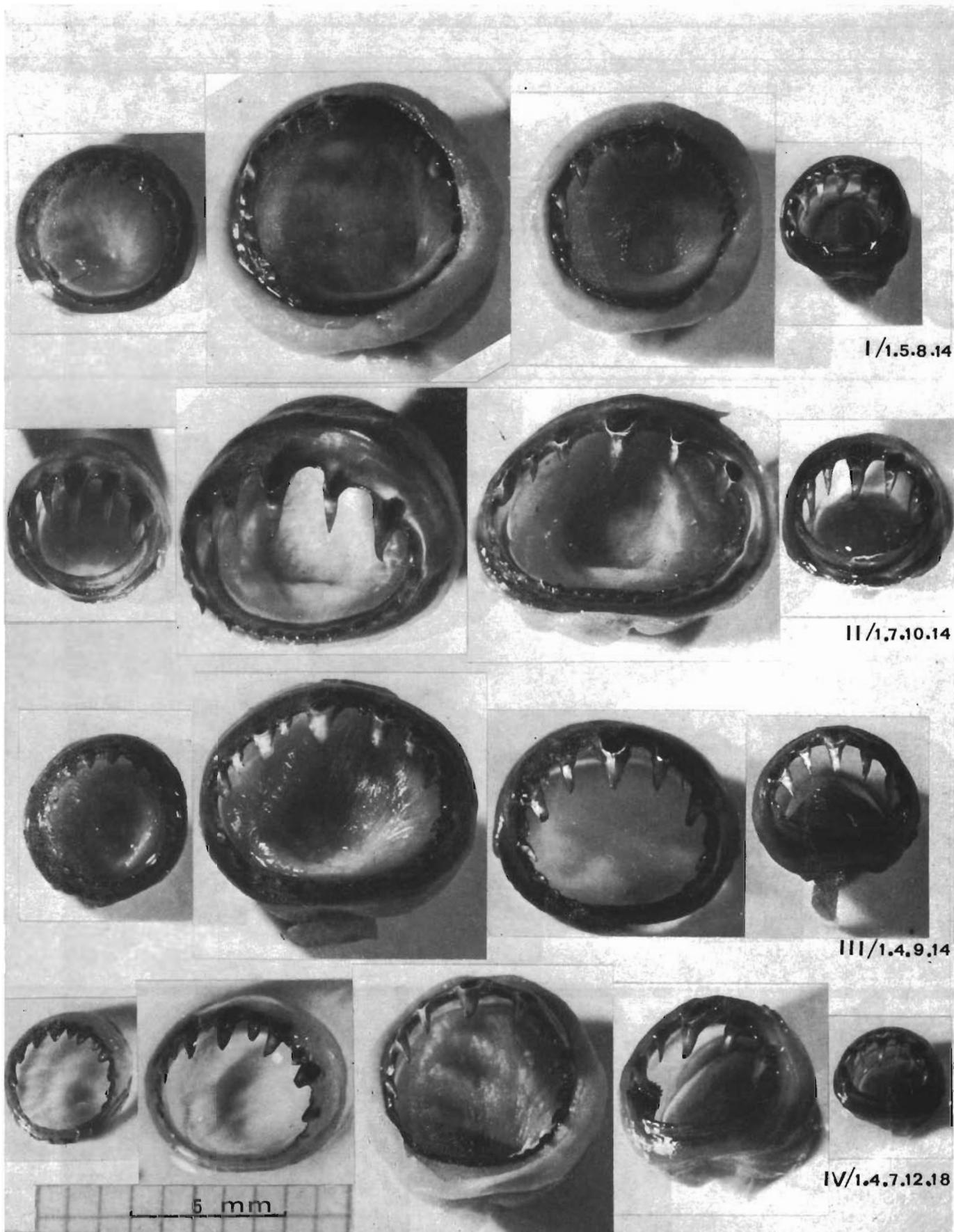


PLANCHE III. — *O. caroli* ♀ : Ornementation des ventouses.

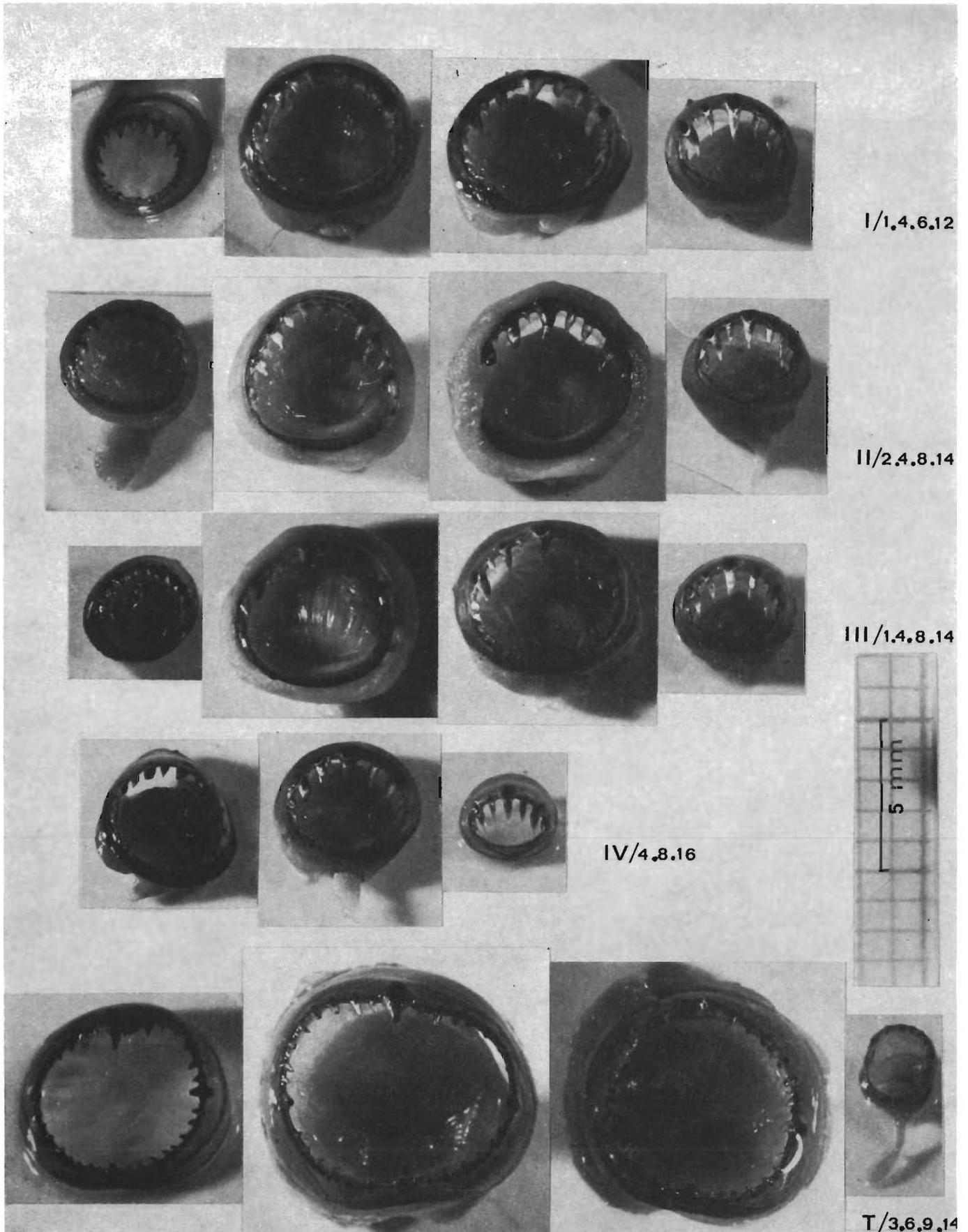


PLANCHE IV. — *O. caroli* ♂ : Ornementation des ventouses.

NOTE SUR LES CÉPHALOPODES DES CONTENUS STOMACAUX DE *THUNNUS ALBACARES* (BONNATERRE) DANS LE SUD-OUEST PACIFIQUE

PAUL RANCUREL

O.R.S.T.O.M., B.P. A 5, Nouméa-Cedex, Nouvelle Calédonie

RÉSUMÉ

L'étude des Céphalopodes contenus dans un lot de 300 estomacs de Thons à nageoires jaunes pêchés à la longue ligne japonaise dans le Golfe de Papuasie (Nouvelle Guinée) fait ressortir la part prépondérante des Céphalopodes dans l'alimentation des Thons.

L'étude porte sur la répartition numérique des diverses espèces de Céphalopodes entre elles avec une énorme abondance de larves d'Octopodidae (45,85 %) puis d'Ommastrephidae (23,40 %) d'Enoploteuthidae (17,27 %) et d'Onychoteuthidae (7,59 %); enfin un essai de corrélation entre la taille des Céphalopodes et celle des Thons montre que les Poissons se nourrissent sur toutes les espèces d'une taille inférieure à une certaine longueur, limitée par leur propre taille et dépendant de l'agilité respective du Poisson et du Céphalopode.

Des répartitions dans les estomacs, on a tenté de déduire le comportement des principales espèces de Céphalopodes-proies. Enfin, il semble que l'influence de la proximité de la côte n'intervient pas énormément dans la répartition de certaines espèces de Décapodes (Symplectoteuthis-Todarodes) alors qu'elle influe sur celle des deux formes de larves d'Octopodes.

ABSTRACT

The study of the Cephalopoda obtained from 300 Tuna stomach contents caught by long lines in the Gulf of Papua, points out the major part of Cephalopoda in the diet of Tuna. Numerical repartition of Cephalopoda different species is examined between them, with a big abundance of Octopodidae larvae (45,85 %), then Ommastrephidae (23,40 %), Enoploteuthidae (17,27 %) and Onychoteuthidae (7,59 %) at last, a correlation had tentatively been made between Cephalopoda mantle length and tuna length. Fishes seems to forage on all the Cephalopoda species with a mantle length below a limit given by their proper-length and depending of the respective motility of the Fish and the Cephalopoda.

From the study of the species gathering in the stomachs, the main species behavior had been attempted. At last, certain forms of Octopoda larvae are very much abundant near the coast; other squids have a non significative distribution between open sea and coastal waters.

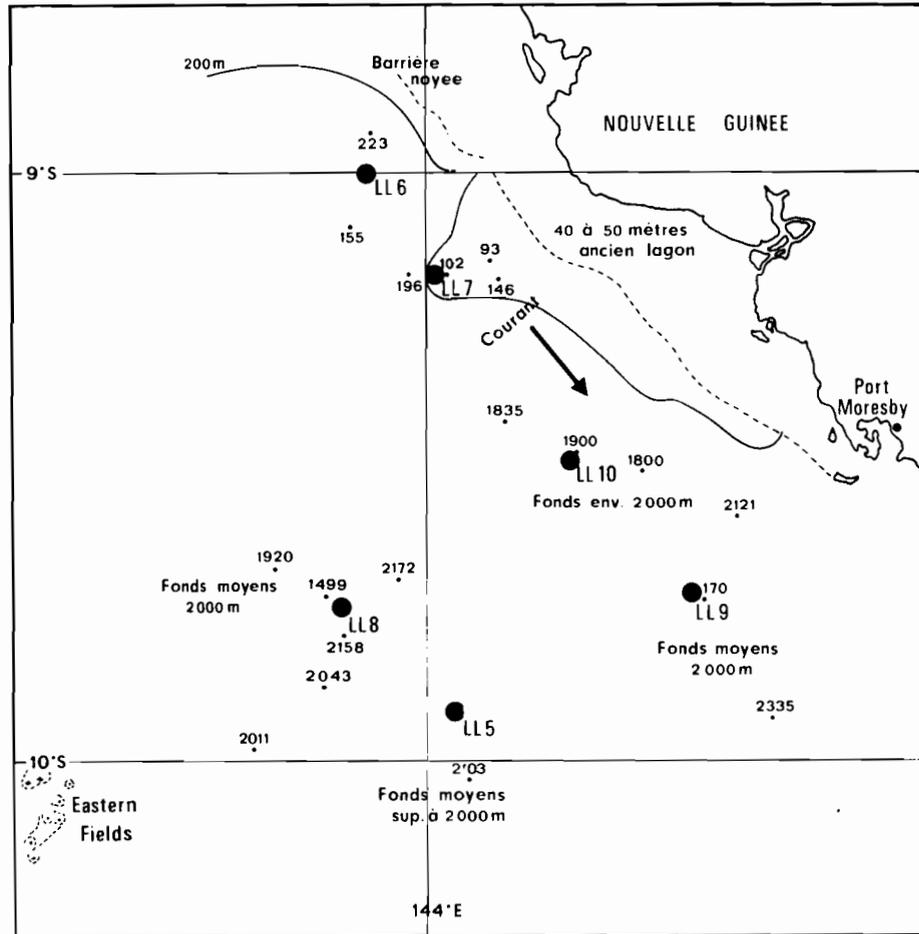


Fig. 1. — Carte des stations de longues lignes étudiées. En trait plein est représenté l'isobathe 200 par interpolation des sondes portées sur la carte n° 4972 du S.H. ; en pointillé : Barrière de corail noyée, délimitant l'ancien lagon.

Au cours de la campagne de pêche du « Kaiyo Maru », entre le 10 octobre et le 15 novembre 1971, J. Rivaton du Centre O.R.S.T.O.M. de Nouméa put récolter à bord même 300 estomacs de *Thunnus albacares* (BONNATERRE) pêchés à la longue ligne par ce palangrier expérimental (1).

Les récoltes ont porté sur les résultats de neuf séries de longues lignes effectuées en partie le long de la Grande Barrière Australienne (Longue-Lignes 2-4 : 146°28 E-16°35 S à 147°16 E-17°50 S) ainsi que dans le Golfe de Papuasie en Nouvelle Guinée (de 146°23' E-9°55 S à 146°35 E-9°29' S).

En fait, la première série ne comprend que 3 palangres, dont les résultats furent peu abondants

(12 thons). Il ne sera donc malheureusement pas question d'effectuer ici une comparaison entre les populations teuthologiques du Golfe de Papuasie et celles de la côte nord-est australienne, mais seulement une étude succincte des espèces de Céphalopodes recueillies dans les estomacs des thons pêchés sur la côte de Nouvelle Guinée.

Si l'on examine les positions des Longues Lignes le long de cette côte, on remarque qu'il peut être intéressant de former arbitrairement deux groupes : un groupe, que j'appellerai « côtier », groupant les Longues Lignes 6 et 7 et un groupe du « large » renfermant les autres stations (LL 5; 8, 9, 10).

Il est évident d'après la carte (fig. 1) que les deux

(1) Le « Kaiyo Maru » est un palangrier navire-école de 40 mètres de long lancé au début de l'année 1971 et appartenant à la « Tokushima Prefectural Fisheries High School » et sur lequel un accord d'embarquement pour un scientifique français avait été passé entre le Centre O.R.S.T.O.M. Nouméa et la Far Seas Fisheries Research Laboratory (Extrait du rapport de Mission de J. Rivaton, fév. 1972).

stations « côtières » avoisinent les fonds de 200 mètres et ne sont éloignées du récif barrière immergé que de 9 à 10 milles nautiques. L'influence continentale est certainement importante, influence renforcée par le fait que l'isobathe 200 semble se refermer au nord au-dessus de LL 6 et que le courant général provient de cette région.

Les stations du « large » sont toutes situées au-dessus de fonds voisins de 2000 mètres et éloignées du récif au large de Port Moresby, par des distances de 15 à 20 milles pour LL 9 et LL 10 et d'environ 40 milles pour LL 5 et LL 8. Ces deux dernières stations sont à égale distance de la côte et d'un haut-fond important situé à 35 milles dans leur Sud-Ouest (Eastern Fields).

Les travaux effectués sur les contenus stomacaux des Thons à nageoires jaunes étant relativement nombreux, nous voudrions faire porter notre effort sur l'examen des Céphalopodes en tant que proies des thons, ces derniers étant seulement considérés comme un moyen d'échantillonnage, il a aussi semblé intéressant de voir si les populations des 2 groupes définis plus haut, au large et près de la côte, avaient des points communs.

300 estomacs de thons à nageoires jaunes ont été récoltés, congelés et leur contenu trié et étudié. Sur cette quantité 93 se sont trouvés soit vides soit ne contenant aucun Céphalopode en cours de digestion (n'ont pas été comptabilisés les becs isolés, qui forment toujours une masse de matériel non digestible parmi le bol alimentaire).

Comme l'ont déjà noté nombre d'auteurs, la quantité de Céphalopodes est importante et 69 % des estomacs examinés en contenaient.

Si l'on examine les contenus des 207 estomacs restant on s'aperçoit que numériquement, les proies se classent entre elles de la façon suivante : Sur 1158 Céphalopodes identifiables examinés, 581 soit 45.85 % sont représentés par des larves d'*Octopus* qui sont présentes dans toutes les stations mais en nombre variable avec l'éloignement des côtes, puis viennent les *Ommastrephidae* avec 271 échantillons, soit 23.40 %, puis les *Enoploteuthidae* 17.27 % et enfin les *Onychoteuthidae* 7.59 %. Les autres familles ne sont représentées que de façon sporadique et seulement par des individus en général isolés.

Les mesures volumétriques et pondérales n'ayant pu malheureusement être effectuées au fur et à mesure du tri, il ne sera pas possible d'étudier l'importance de ces familles de Céphalopodes dans la nutrition elle-même des thons, et il ne sera traité ici que de l'importance relative des diverses espèces entre elles, le poisson étant seulement considéré comme un engin de capture actif et conscient.

Relation tailles Proie-Prédateur.

Il nous a semblé intéressant d'essayer de voir s'il existait une relation longueur prédateur-longueur proie sur les échantillons dont nous disposions.

Si l'on effectue les régressions des couples : longueur à la fourche des thons et longueur dorsale palléale des Céphalopodes ingérés on obtient le tableau suivant, dans lequel n représente le nombre de spécimens, \bar{x} la longueur moyenne des Céphalopodes, \bar{y} celle des thons, r le coefficient de régression, a l'origine de la courbe aux ordonnés, b la pente.

TABLEAU I

	n	\bar{x}	\bar{y}	a	b	r
<i>Symplectoteuthis</i> .	73	7,31	124,65	118,36	0,86	0,124
<i>Todarodes</i>	30	5,08	120,66	105,63	2,96	0,256
<i>Onykia</i>	46	4,47	120,65	129,87	-2,06	-0,192
<i>Enoploteuthis</i> ...	55	2,72	119,81	118,70	0,41	0,022
<i>Larves Octopus</i> ..						

Si l'on examine les valeurs de r correspondantes portées dans une table des coefficients de régression pour la probabilité de 5 % et que l'on effectue un test d'indépendance t des deux variables on se rend compte que tous les résultats ont tendance à n'être nullement significatifs et l'on peut penser que la distribution des tailles des Céphalopodes ingérés en fonction de la longueur du thon est due au hasard.

TABLEAU II

	n	r	r théorique $\alpha = 5 \%$	test t	probabilité $\alpha \%$
<i>Symplectoteuthis</i>	73	0,124	0,23	1,05	# 30
<i>Todarodes</i>	30	0,256	0,38	1,36	# 20
<i>Onykia</i>	46	-0,192	0,28	1,30	# 20
<i>Enoploteuthis</i> ..	59	0,022	0,25	0,14	# 80
<i>Larves Octopus</i> .					

Mais, si l'on examine les coefficients des droites de régression, on s'aperçoit qu'elles ont toutes (sauf celle relative aux *Onykia*) une pente légèrement positive.

On peut donc penser qu'il n'y a pratiquement pas de relation absolue entre la taille des proies et celles des prédateurs, pour le lot de Thons considéré (de 90 à 160 cm); que les thons paient sur tous les Céphalopodes rencontrés et susceptibles d'être interceptés. Ainsi, on trouve dans tous les estomacs examinés des petits Céphalopodes qui sont ingérés quelle que soit la longueur du Poisson, mais la taille

TABLEAU III

Groupements des Céphalopodes dans les estomacs. Nombre d'estomacs contenant un certain nombre d'individus appartenant aux cinq groupes principaux de Céphalopodes-proies (seuls les individus en état de digestion identique ont été retenus).

Espèces	Nombre d'individus par estomac																														Total				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	...	30													
<i>Symplectoteuthis</i>	43	10	5	0	1	0	0	1	2	0	0	1	0	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	65		
<i>Todarodes</i>	32	4	1	4	0	0	0	0	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	42	
<i>Onykia</i>	27	8	4	0	0	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40	
<i>Enoplateuthis</i>	26	6	8	0	3	0	2	0	2	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	1	51
Larves <i>Octopus</i>	31	23	11	7	13	3	5	3	1	2	3	0	2	0	3	0	3	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	113

des proies augmente légèrement avec celle du prédateur : qui devenant plus rapide avec l'augmentation de sa taille, peut se permettre de rattraper de plus gros Calmars également plus rapides. Il n'y a donc pas de recherche systématique de proies d'une certaine taille, mais bien une capture au hasard de la nage.

Nous verrons que la répartition du nombre d'individus d'une même espèce de Céphalopode conduit à penser que les Thons chassent à vue et que les groupes de Calmars les attirent bien plus que les individus isolés. Il faut donc, pour interpréter la présence dans les estomacs d'individus d'une même espèce isolés ou groupés, faire intervenir la notion de surdispersion ou de sous-dispersion des Céphalopodes, ainsi que la vitesse de fuite et d'évitement des individus par rapport à des Poissons de taille donnée.

Groupement des proies.

Lorsqu'on analyse les contenus stomacaux, on se rend compte que parmi les espèces de Céphalopodes le plus souvent rencontrées certaines se trouvent représentées par plusieurs individus dans certains estomacs et que l'état de digestion de ces animaux semble plaider pour une ingestion pratiquement simultanée. Il n'est bien sûr pas possible de faire dire aux histogrammes si les proies ont été avalées simultanément par le Thon en passant au milieu d'un essaim compact, ou si elles ont été cueillies une à une dans un temps très bref. De toutes façons ces deux éventualités laissent à penser que les proies étaient groupées lors de l'approche du prédateur, qu'elles sont restées rassemblées dans une manifestation de l'effet de protection du groupe dans le premier cas, qu'elles se sont dispersées dans le second.

On peut tirer du tableau IV et des histogrammes que les larves d'*Octopus* qui présentent une fréquence moyenne de 2,56 individus par 207 estomacs et qui

TABLEAU IV

Fréquences moyennes du nombre de Céphalopodes par estomac, pour 207 contenus stomacaux, variances et écart-types à la moyenne. Les estomacs dépourvus des espèces considérées sont entrés dans le calcul.

	<i>Symplectoteuthis</i>	<i>Todarodes</i>	<i>Onykia</i>	<i>Enoplateuthis</i>	Larves d' <i>Octopus</i>
Fréquence moyenne par estomac.....	0,797	0,328	0,294	0,864	2,560
Variance.....	7,220	0,872	0,548	8,748	19,024
Écart-type.....	2,688	0,935	0,740	2,958	4,363

sont largement dispersées sur l'échelle des ordonnées (variance 19,024) représentent le type le mieux individualisé d'organismes paraissant vivre groupés en essaims compacts, n'ayant pas une vitesse d'échappement importante et qui sont avalés par groupes pouvant aller jusqu'à 30 par Poisson. Le plus souvent, il est trouvé dans les estomacs une à deux larves, mais les bols alimentaires en comprenant un nombre plus élevé ne sont pas rares.

Il en est de même pour les jeunes *Enoplateuthis* rencontrés en abondance, moyenne 0,864, avec une variance de 8,748 qui indique un étalement relativement important des fréquences. Il s'agit cette fois d'animaux non encore adultes, dont la longueur palléale oscille entre 20 et 30 millimètres et dont le comportement à l'échappement lors de la poursuite par le prédateur semble déjà plus rapide, puisque les plus grandes abondances se situent entre des fréquences de 1 à 3.

Symplectoteuthis présente aussi un étalement des fréquences de groupement : moyenne 0,797, variance 7,220 mais la plus grande abondance d'individus

TABLEAU V

Fréquences de la taille de certaines espèces de Céphalopodes dans les contenus stomacaux de Thons à nageoires jaunes (seuls les échantillons en bon état ont été mesurés. Ceux en voie de digestion avaient des tailles similaires).

Longueur palléale en m/m	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	extrêmes
<i>Symplectoteuthis</i>	—	1	6	2	6	12	26	22	11	2	1	—	1	—	—	28-138
<i>Todarodes</i>	—	2	4	10	4	5	3	2	—	—	—	—	—	—	—	23-81
<i>Onykia</i>	1	4	15	10	6	8	1	1	—	—	—	—	—	—	—	18-80
<i>Thysanoteuthis</i>	1	0	1	3	5	4	—	—	—	1	—	—	—	—	1	25-95
<i>Enopoteuthis</i>	5	29	28	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	15-40

isolés, plaide en faveur d'une plus grande agilité devant le Poisson qui, pourchassant une proie charnue et de taille le plus souvent relativement élevée (70 à 80 mm de longueur palléale) pourrait entreprendre des poursuites individuelles à partir d'un banc éclaté après une première attaque.

Quant aux deux autres espèces, *Todarodes* et *Onykia*, de tailles sensiblement identiques, elles sont moyennement représentées (0,294 et 0,328 de fréquence moyenne) avec une variance assez faible, rapprochant ainsi leur courbe de celle de la loi de Poisson.

Les essaims de ces Calmars qui ont probablement un volume réduit, allié à une vitesse d'échappement importante sont représentés par une fréquence élevée en individus isolés dans les contenus stomacaux.

Taille des Céphalopodes ingérés (tabl. V, fig. 2 et 3).

Le tableau indique les longueurs palléales des principales espèces de Céphalopodes rencontrés dans les contenus stomacaux de 207 thons de 75 à 180 cm de longueur à la fourche. De ce tableau ressort immédiatement qu'il s'agit pour tous les groupes, d'animaux de tailles sensiblement égales par espèces et que ces espèces sont toutes juvéniles.

Parmi les *Ommastrephidae* la majorité des individus consommés a une longueur palléale de 70 mm à 80 mm, avec comme valeurs extrêmes 28 et 138 mm chez les *Symplectoteuthis oualaniensis* qui, pour la variété sans organe lumineux dorsal, qui est la plus petite, atteint une longueur palléale dorsale de 140 à 150 mm chez l'adulte au bec entièrement bruni (travail en cours). Chez les *Todarodes*, dont l'adulte a une longueur palléale supérieure à 250 mm environ, la taille la plus fréquemment rencontrée se situe nettement vers 40 mm (extrême 23-81) il s'agit donc ici aussi de juvéniles.

Il en est de même chez les *Onykia* (principale

abondance entre 30 et 40 mm (extrême 18-80) espèce non identifiée (RANCUREL 1972), bien que fréquente dans les contenus stomacaux de la région, et dont des individus de 87 mm de longueur palléale ont été mesurés.

Enopoteuthis et à plus fortes raisons *Thysanoteuthis* ainsi que les larves d'*Octopus* sont représentés par des jeunes de l'espèce avec des longueurs palléales respectivement de 20 à 30 mm; 50 à 60 mm et 15 à 17 mm.

Résultats comparés entre les populations côtières et les populations du large.

Nous avons séparé deux groupes de longue-lignes. Un groupe A dit côtier (LL 6-LL 7) éloigné d'une dizaine de milles de la côte et très voisin des fonds de 200 mètres et un groupe B dit du large, situé entre 30 et 40 milles de la côte et des haut-fonds et pêchant au dessus de profondeurs de 2000 mètres. Les périodes de pêche séparant ces deux groupes étant de trois jours au maximum.

Le tableau VI donne le résumé des comptages

TABLEAU VI

	Groupe côtier A (LL 6/7) 134 estomacs		Groupe du large B (LL 5/10) 147 estomacs	
Estomacs vides.....	27	20,14 %	56	38,09 %
Estomacs avec Céphalopodes.....	106	79,10 %	90	61,22 %
<i>Symplectoteuthis</i>	82	77,35	81	90,00
<i>Todarodes</i>	34	32,07	17	18,88
<i>Onykia</i>	31	29,24	21	23,33
<i>Enopoteuthis</i>	100	94,33	76	83,44
Larves <i>Octopus</i> :				
bras longs.....	55	51,88	40	44,44
bras courts.....	205	292,45	86	95,55
Total larves <i>Octopus</i> ...	220	344,33	126	140,00

effectués dans le tableau général VIII. Il présente, outre le pourcentage de présence ou d'absence de Céphalopodes dans les estomacs, la quantité de spécimens de chaque espèce ramenée à 100 estomacs pour chacun des deux groupes, numériquement très voisins (134 et 147).

Les pourcentages entre estomacs « pleins » et estomacs « vides » font apparaître d'abord que le groupe côtier renferme plus souvent des Céphalopodes que le groupe du large et cette différence en apparence opposée aux observations habituelles est principalement produite par l'abondance énorme de larves d'*Octopus* près de la côte.

Il semblerait d'autre part que les quantités de Calmars soient légèrement différentes entre le groupe côtier A et le groupe du large B. Les effectifs n'étant pas exactement égaux nous avons eu recours au test de MANN WHITNEY pour tester les populations de ces deux groupes. Comme l'indique le tableau VII,

TABLEAU VII

<i>Symplectoteuthis</i>	$\alpha = 0,161$	16 %
<i>Todarodes</i>	$\alpha = 0,202$	20 %
<i>Onykia</i>	$\alpha = 0,319$	31 %
<i>Enoploteuthis</i>	$\alpha = 0,270$	27 %
Larves d' <i>Octopodes</i> :		
— bras longs.....	$\alpha = 0,424$	42 %
— bras courts.....	$\alpha = 0,0008$	0,08 %

α = probabilité pour que le groupe A soit identique au groupe B.

en dehors des larves d'*Octopodes* à bras courts qui sont de toute évidence inféodées à la proximité des côtes, toutes les espèces de Calmars présentent des probabilités telles qu'il ne semble pas possible de reconnaître de différences bien marquées entre les deux groupes.

Bien qu'élevé, la probabilité pour que les populations de *Symplectoteuthis* soient identiques dans les deux groupes est tout de même la plus faible et il est regrettable que la taille des spécimens et leur état de conservation n'aient pas permis de savoir s'il s'agissait de la forme avec organe lumineux dorsal ou non.

Les valeurs trouvées pour les *Todarodes*, *Onykia*, *Enoploteuthis* et larves d'*Octopodes* à longs bras sont assez élevées pour qu'il soit difficile d'envisager des populations différentes dans les deux groupes.

Enfin, on doit noter la grande abondance des formes jeunes d'*Octopus* qui ont été divisées, lors du tri, et souvent avec difficulté, en formes à longs

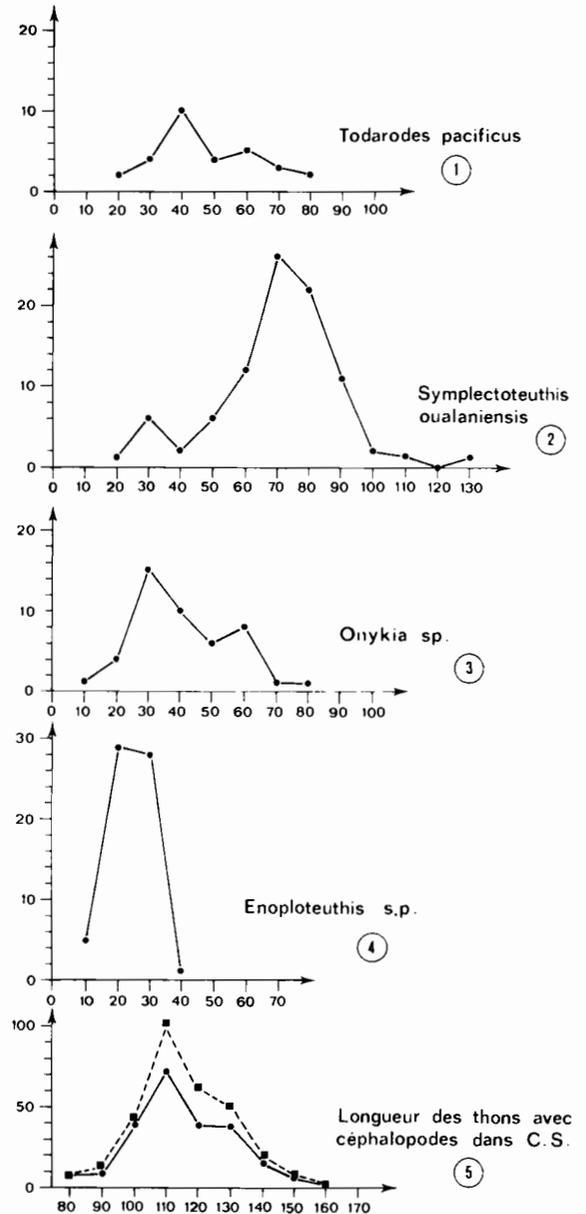


Fig. 2. — 1-2-3-4 : Courbes de fréquence de *Todarodes pacificus*, *Symplectoteuthis oualaniensis*, *Onykia* sp. et *Enoploteuthis* sp. ; en ordonnées longueurs palléales en millimètres, en abscisses nombre d'individus — 5 : Fréquence des tailles des thons ; en pointillé, population totale, en trait plein, thons avec des Céphalopodes dans l'estomac.

bras ou à bras moyens (à apparence d'*O. teuthoides*) et groupe à bras courts inidentifiables. Si la forme à bras longs semble aussi bien présente près de la côte qu'au large et pourrait appartenir à une espèce benthique à cycle larvaire long ($\alpha = 42\%$) la forme à bras courts est de toute évidence la larve d'une

TABLEAU VIII

	LL2	LL3	LL4	LL5	LL6	LL7	LL8	LL9	LL10	Σ	%	Fréq.	%	%	%	LL6-7	LL5-10
	n = 2	n = 8	n = 1	n = 14	n = 86	n = 20	n = 34	n = 26	n = 16	n = 207	1158		n = 207	n = 612	n = 369	pr. 100 CS = 106	pr. 100 CS = 90
<i>Ommastrephidae</i> sp.....	—	—	—	2	15	12	7	0	1	37	3.19	25	12.07	4.41	2.47	25.23	11.11
<i>Symplectoteuthis oualaniensis</i>	—	—	—	35	63	19	24	19	3	163	14.07	65	31.40	3.39	21.95	77.35	90.00
<i>Todarodes pacificus</i>	5	9	1	6	26	8	6	5	0	66	5.69	42	30.28	5.55	4.60	32.07	18.88
<i>Hyaloteuthis pelagicus</i> ..	1	1	—	—	—	—	—	—	—	2	0.17	2	0.96	—	—	—	—
<i>Ornithoteuthis antillarum</i>	—	—	—	—	1	—	2	—	—	3	0.25	3	1.44	0.16	0.54	0.94	2.22
	6	10	1	43	105	39	39	24	4	271	23.40	137	66.18	23.52	29.81	135.84	122.22
<i>Onychoteuthidae</i> sp.....	—	—	—	—	7	1	1	—	—	9	0.77	7	3.38	1.30	0.27	7.54	1.11
<i>Onykia</i> sp.....	—	—	2	10	25	6	3	6	2	54	4.66	40	19.32	5.06	5.69	29.24	23.33
<i>Moroteuthis</i> sp.....	—	—	—	2	3	3	5	2	2	17	1.46	16	7.72	0.98	2.98	5.66	12.22
<i>Telronychoteuthis massyae</i>	—	—	—	—	2	—	2	2	1	7	0.60	7	3.38	0.32	1.35	1.88	5.55
<i>Onychoteuthis</i> sp.....	—	—	—	—	1	—	—	—	—	1	0.08	2	0.96	0.16	—	0.94	—
	0	0	2	12	38	10	11	10	5	88	7.59	71	34.29	7.84	10.29	45.28	41.75
<i>Enoplateuthidae</i> sp.....	—	—	—	—	1	—	3	—	—	4	0.34	4	1.93	0.16	0.81	0.94	3.33
<i>Enoplateuthis</i> sp.....	—	2	—	—	89	11	50	22	4	178	15.37	51	24.63	16.33	20.59	94.33	83.44
<i>Thelidioteuthis alessandrini</i>	—	—	—	—	15	1	1	—	—	17	1.46	11	5.31	2.61	0.27	15.09	1.11
<i>Pyroteuthis margaritifera</i>	—	—	—	—	1	—	—	—	—	1	0.08	1	0.48	0.16	—	0.94	—
	0	2	0	0	106	12	54	22	4	200	17.27	67	32.36	19.28	21.68	111.32	88.88
<i>Chiroteuthidae</i>																	
<i>Chiroteuthis (picteti) ?</i> ...	—	—	—	—	6	4	4	1	1	16	1.38	15	7.24	1.63	1.62	9.43	6.66
<i>Cranchiidae</i> sp.....	—	—	—	1	—	—	—	—	—	1	0.08	1	0.48	—	0.27	—	1.11
<i>Cranchia scabra</i>	1	—	—	—	—	—	—	—	—	1	0.08	1	0.48	—	—	—	—
<i>Liocranchia reinhardti</i> ..	—	2	—	—	2	—	—	—	1	5	0.43	4	1.93	0.32	0.27	1.88	1.11
<i>Batothaua</i> sp.....	—	4	—	—	—	—	—	—	—	4	0.34	1	0.48	—	—	—	—
<i>Taonius pavo</i>	—	—	—	—	—	—	1	—	—	1	0.08	1	0.48	—	0.27	—	1.11
	1	6	0	1	2	0	1	0	1	12	1.03	8	3.86	0.32	0.81	1.88	3.33
<i>Heteroteuthidae</i> sp.....	—	1	—	—	7	2	—	—	—	10	0.86	9	4.34	1.47	—	8.49	—
<i>Stephanoteuthis hawaiiensis</i>	—	2	—	—	1	—	—	—	1	4	0.34	3	1.44	0.16	0.27	0.94	1.11
	0	3	0	0	8	2	0	0	1	14	1.20	12	5.79	1.63	0.27	9.43	1.11
<i>Thysanoteuthidae</i>																	
<i>Thysanoteuthis rhombus</i>	0	1	0	0	3	0	0	0	0	4	0.34	4	1.93	0.49	—	2.83	—
<i>Sepiolidae</i> sp.....	0	0	0	0	1	0	0	0	1	2	0.17	2	0.96	0.16	0.27	0.94	1.11
<i>Histioteuthidae</i>																	
<i>H. celetaria</i>	—	—	1	—	3	1	—	—	—	5	0.43	4	1.93	0.65	—	3.77	—
<i>H. dofleini</i>	—	—	—	—	—	1	—	—	—	1	0.08	1	0.48	0.16	—	9.43	—
	—	—	1	—	3	2	—	—	—	6	0.51	5	2.41	0.81	—	4.71	—
<i>Argonautidae</i>																	
<i>Argonauta argo</i>	—	—	—	1	—	—	—	—	—	1	0.08	1	0.48	0.81	—	—	1.11
<i>Argonauta hians</i>	1	—	—	—	4	—	—	—	—	5	0.43	5	2.41	0.65	—	3.77	—
	1	—	—	1	4	—	—	—	—	6	0.51	6	2.89	0.65	0.27	3.77	1.11
<i>Tremoctopodidae</i>																	
<i>Tremoctopus violaceus</i> ..	—	—	—	—	—	1	—	—	—	1	0.08	1	0.48	0.16	—	0.94	—
<i>Amphitretidae</i>																	
<i>Amphitretus pelagicus</i> ..	—	—	—	1	—	—	—	—	—	1	0.08	1	0.48	—	0.27	—	1.11
<i>Bolitaenidae</i>																	
<i>Eledonella</i>	—	—	—	—	3	—	—	—	—	3	0.25	3	1.44	0.49	—	2.83	—
	—	—	—	—	2	—	—	1	—	3	0.25	3	1.44	0.32	0.27	1.88	1.11
	0	0	0	0	5	0	0	1	0	6	0.51	6	2.89	0.81	0.27	4.71	1.11
<i>Octopodidae</i>																	
Larves à longs bras.....	0	13	—	—	55	—	3	8	29	108	9.32	21	10.14	8.98	10.84	51.88	44.44
Larves à bras courts....	2	24	1	—	270	40	52	13	21	318	27.46	101	48.79	33.33	20.59	292.45	95.55
	2	37	1	0	325	40	55	21	50	531	45.85	122	58.93	59.64	34.14	344.33	140.00
TOTAUX.....	10	59	5	58	606	110	164	79	67	1158							

n : Nombre de CS
Np : Nombre de proies 1053

Ncs : Nombre CS avec Céphalopodes 207
N : Nombre total CS 300

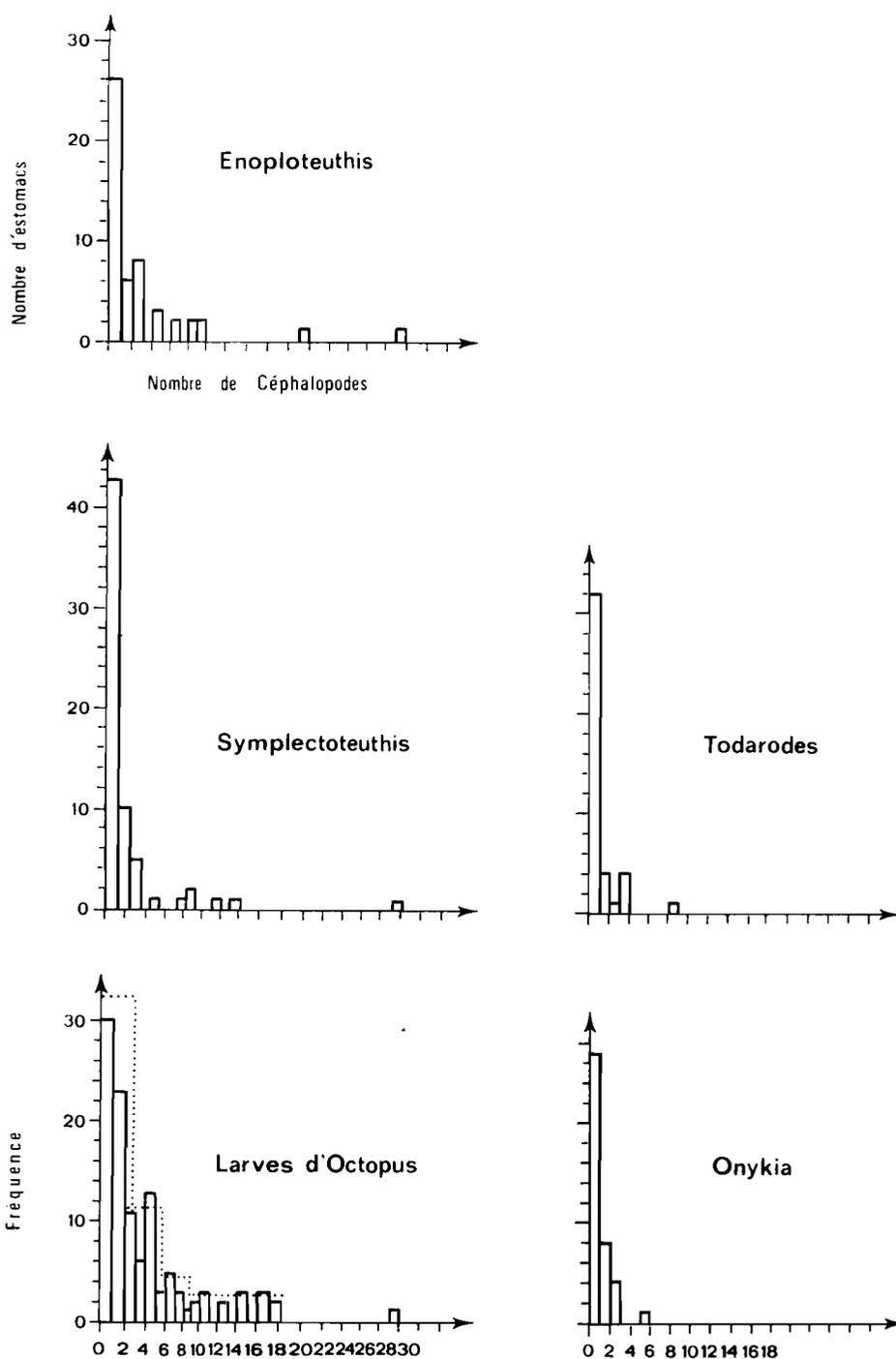


Fig. 3. — Histogrammes tracés avec les données du tableau général VIII. Les contenus stomacaux ne contenant pas l'espèce examinée n'ont pas été compris.

espèce côtière probablement peu profonde et fréquentant le talus récifal ($\alpha = 0,08\%$). La présence de ces grandes quantités de larves d'Octopodes est intéres-

sante à noter du point de vue nutritionnel d'abord, du point de vue taxonomique ensuite. La faune des Octopodes benthiques de ces régions est très mal

connue en dehors des formes côtières très classiques comme *O. cyaneus*, *O. macropus*, *O. horridus*, mais il semble exclu que les formes larvaires récoltées appartiennent à ces espèces et un travail plus poussé dans leur étude devrait être entrepris prochainement dans cette aire géographique.

Les autres espèces relevées dans les contenus stomacaux sont numériquement trop peu nombreuses pour donner lieu à une interprétation valable d'habitat, et nous ne ferons que les mentionner dans le tableau VIII.

Si l'on essaie de résumer les informations pouvant être déduites du tri et de la composition des espèces de Céphalopodes des contenus stomacaux des Thons à nageoires jaunes du Golfe de Papua, il semble ressortir que six espèces principales se rencontrent en majorité.

Parmi celles-ci ce sont les représentants des *Ommastrephidae* qui sont le plus souvent présents : 66,18 %, suivies par les larves d'*Octopus* 58,93 %, puis avec presque équivalence, les *Onychoteuthidae* (34,29 %) et les *Enoploteuthidae* (32,36 %). Les autres espèces ne sont présentes que de façon épisodique. On doit pourtant remarquer une proportion non négligeable (7,24 %) d'un grand *Chiroteuthidae* (probablement *Ch. picteti*) dont le manteau n'est pourtant que peu charnu. Les autres espèces ne semblent être prises qu'au hasard des rencontres. Parmi les *Ommastrephidae*, *Symplectoteuthis oualaniensis* est de loin le plus fréquemment présent; sa consistance charnue et le volume corporel habituel des individus rencontrés en fait un élément énergétique de premier ordre. Nous avons vu que pour la série de Thons examinés (80 à 160 cm), la longueur palléale moyenne des Céphalopodes est située entre 70 et 80 mm, donnant un volume individuel d'environ 12 cm³. Ces individus juvéniles semblent groupés en bancs de taille et d'âge identiques sur lequel s'exerce la prédation des Thons. La vitesse d'échappement assez élevée que doivent posséder des Calmars de cette taille, fait qu'un nombre relativement important d'individus isolés se rencontrent dans les estomacs. Par contre, des groupes de plus de 10 individus sont parfois trouvés, tous dans le même état de digestion induisant une capture pratiquement simultanée.

Le nombre de *Symplectoteuthis* semble augmenter avec l'éloignement des côtes, dans la limite des distances examinées. Il n'a pas été possible de reconnaître s'il s'agissait de la forme avec ou sans organe lumineux dorsal.

Todarodes pacificus, moins nombreux que le précédent, a une taille moyenne variant de 23 à 81 mm avec une abondance maximale pour 40 mm. Plus petit et plus effilé que l'espèce précédente, son volume est légèrement plus faible.

L'apparence plus isolée des individus de cette espèce dans les contenus stomacaux fait penser soit à un volume des bancs moins important que ceux de l'espèce précédente, soit à une vitesse d'échappement au prédateur plus élevée. Leur nombre est légèrement plus élevé près de la côte que dans les stations au large. Les autres espèces : *Hyaloteuthis pelagicus* et *Ornithoteuthis antillarum* (?) ont été récoltées de façon isolée et en très petit nombre, et toujours de faible taille.

Les *Onychoteuthidae* également abondants numériquement ne représentent pourtant que 7,59 % de la masse totale des Céphalopodes. Ce sont des animaux de taille moyenne qui comprennent essentiellement des *Onykia*, quelques très jeunes *Moroteuthis* et quelques *Tetronychoteuthis*.

Les *Onykia sp.* sont identiques à ceux récoltés et décrits des estomacs d'*Alepisaurus* (RANCUREL 1970). Il s'agit d'animaux juvéniles à subadultes, rencontrés dans les estomacs le plus souvent isolés, indiquant soit une dispersion des individus, soit plutôt de petits groupes d'animaux assez agiles pour se disperser rapidement devant les Thons. Ils sembleraient également répartis dans le groupe côtier que dans le groupe du large.

Les autres représentants de la famille sont de formes juvéniles de *Moroteuthis* dont l'espèce est inidentifiable sur les quelques exemplaires récoltés; leur abondance semble un peu plus forte dans les stations côtières ce qui correspondrait à l'habitat souvent rencontré chez cette espèce dans des fonds voisins de la rupture de pente du talus continental.

Tetronychoteuthis massyae a été identifié seulement 7 fois, soit par des individus entiers, soit par des fragments de manteau portant l'ornementation caractéristique.

La famille des *Enoploteuthidae* constitue le troisième groupe d'Oegopsida régulièrement rencontré. Toujours à l'état juvénile, de petite taille, l'espèce d'*Enoploteuthis* n'a pas été déterminée. Avec *Thelidioteuthis alessandrini*, également juvénile, cette famille est représentée par 200 individus, soit 17,27 % du nombre total. En dehors de la seconde espèce, peu abondante mais suivant en gros les mêmes groupements, les individus d'*Enoploteuthis* sont le plus souvent groupés en essais peu mobiles, avalés par groupes entiers par le Thon, et se répartissent sensiblement de la même façon près de la côte qu'au large, avec toutefois une légère prédominance près de la côte.

Toutes les autres familles, en nombre individuels très faibles irrégulièrement représentées, ne peuvent donner lieu à aucune interprétation de comportement et de répartition. Par contre, un nombre extrêmement élevé de larves d'Octopodes a été

récolté, qui représentent 45,85 % de la totalité. Ces larves, encore pélagiques, peuvent être groupées très grossièrement en larves à longs bras et larves à bras courts. Il ne sera pas question ici d'entrer dans des considérations taxonomiques et morphologiques sur ces animaux, un programme spécial d'étude sur ce sujet devant être entrepris sous peu. Mais doit être soulignée l'importance considérable de ces formes dans l'alimentation des Thons de longue-ligne, surtout auprès des côtes où le groupe

de larves à bras courts, de loin le plus abondant, doit correspondre à des espèces côtières à cycle pélagique court, tandis que le groupe à bras longs semblerait avoir une dispersion au large presque aussi importante que près de la terre et pourrait avoir un cycle pélagique beaucoup plus long.

Ces larves groupées en essaims compacts, assez peu manœuvrants forment avec les *Symplectoteuthis* la base de l'alimentation teuthologique des Thons à nageoires jaunes du Golfe de Papuasie.

BIBLIOGRAPHIE

- DRAGOVICH (A.) & POTTHOFF (T.), 1972. — Comparative study of food of skipjack and yellowfin Tunas off the coast of west Africa. *Fish. Bull.* 70-4 : 1087.
- IVERSEN (R. T. B.), 1962. — Food of Albacore Tuna *Thunnus germo* (Lacépède) in the Central and northeastern Pacific. *Fish. Bull.* 214-62.
- KING (J. E.) & IKEHARA (I. I.), 1956. — Comparative study of food of bigeye and yellowfin tuna in the Central Pacific. *U. S. Fish and Wildlife Service. Fish. Bull.* 108-57 : 61-85.
- LEO PINKAS, MALCOLM (S.), OLIPHANT & IVERSON (I. L. K.), 1971. — Food of Albacore, Blue fin Tuna and Bonito in California waters. *Fish. Bull.* 152 : 1-82.
- RANCUREL (P.), 1970. — Les contenus stomacaux d'*Alepi saurus ferox*. *Cah. Ocean. O.R.S.T.O.M.*, 8, 4 : 3-87.
- RIVATON (J.), 1972. — Technique de pêche d'un thonier-palangrier japonais (Rapport de croisière à bord du Kaiyo Maru du 10.10.71 au 15.11.71). *Ronéo. Document O.R.S.T.O.M.-Nouméa*.
- VIVIEN (M. L.), 1973. — Contribution à la connaissance de l'éthologie alimentaire de l'ichtyofaune du platier interne des récifs coralliens de Tuléar (Madagascar). *Tethys suppl.* 5 : 221-308.
- YOUNG (R. E.), 1972. — The systematics and areal distribution of pelagic Cephalopods from the Seas off Southern California. *Smith. Contrib. Zool.* 97 : 1-159.

Anomalous navifacial salinities in the tropical Pacific Ocean

by J. R. Donguy¹, C. Henin¹

ABSTRACT

All available navifacial data from 1956 to 1974 have been compiled to produce two charts per year of surface salinity between 150°E and 130°W and between 10°N and 25°S. On each chart, the following main features are observed: south of 10°S and east of 160°W the tropical salinity maximum extending westward south of the equator; and a salinity minimum from 5°S to 20°S and west of 170°W. The oscillations of the position and intensity of these features are not all seasonal. This situation was inverted in 1957-1958 and in 1972-1973, when a salinity minimum on both sides of the equator reached south to 10°S and east to 150°W and was associated with westerly winds, which brought rainfall and induced eastward current; a salinity maximum extended westward to 180° between 10°S and 20°S and was associated with trade winds, drought, and westward current. The presence of low-salinity water in the central south Pacific displaced the tropical salinity maximum eastward. This contrasted situation induced a doming at 10°S. At the 1965-1966 transition, the beginning of the same anomalous process was observed, but the trade winds blowing at the equator early in 1966 reversed the hydrographic situation to normal again.

1. Introduction

For the southwest tropical Pacific Ocean, between Australia and 130°W, all navifacial data available for the years 1956-1974 have been compiled. These data have been kindly supplied by the U.S. National Oceanographic Data Center, the World Data Center, and the Japan Oceanographic Data Center. The navifacial observations from the C.S.I.R.O. (Cronulla, Australia), the Centre O.R.S.T.O.M. de Nouméa, the National French Navy, and the National Marine Fisheries Service (Honolulu) have been added. Hence, it has been possible to draw up for each year, from 1956 to 1973, two half-yearly charts of surface salinity (January-June and July-December) and four quarterly charts since 1973.

2. Variations of navifacial salinity

All the pooled data have been used to establish the chart of mean surface salinity (Fig. 1). On this chart, as also on those drawn for each year, the main

1. Centre O.R.S.T.O.M., B.P. A 5, Nouméa, New Caledonia.

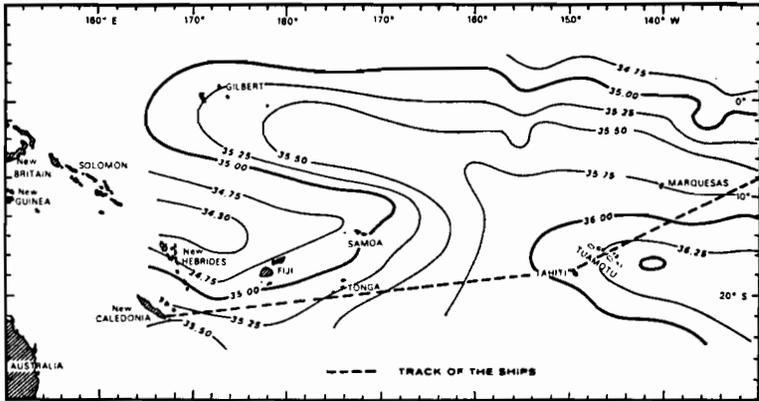


Figure 1. Mean surface salinity, per mil, 1956-1974. The dashed line shows the track of ships between Nouméa and Panama.

features appear as follows: south of 10°S and east of 160°W the tropical salinity maximum extending westward south of the equator; and, from 5°S to 20°S, west of 170°W, a minimum of salinity. These mean characteristics are close to those

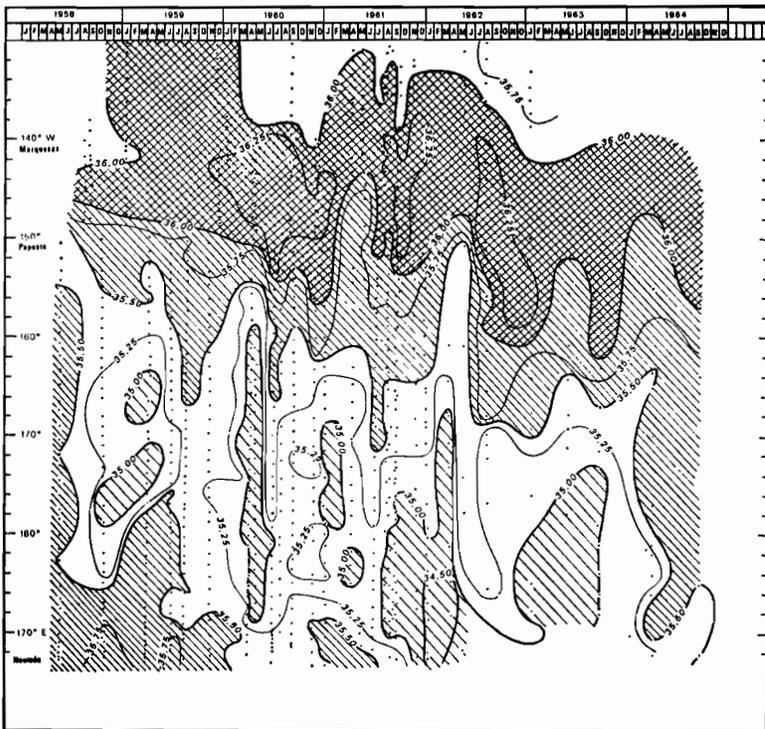


Figure 2. Salinity, per mil, along the track between Nouméa and Panama as far east as 130°W, 1958-1964.

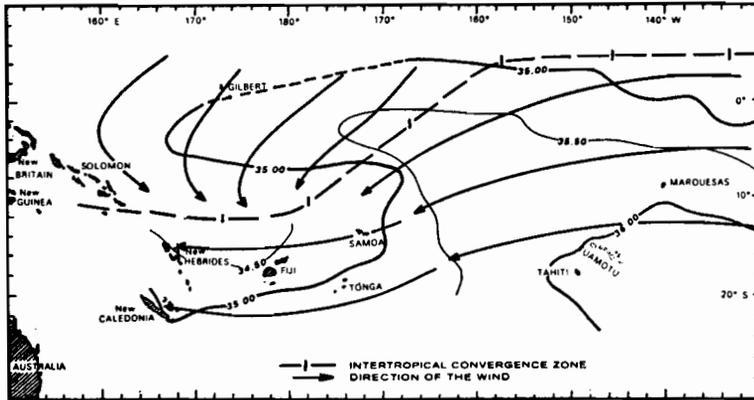


Figure 3. Mean surface salinity, per mil, January-March 1956-1974. The direction of the wind is marked by arrows, and the intertropical convergence zone of the winds is marked by the dashed line.

revealed by Reid (1969). However, as Hires and Montgomery (1972) have pointed out, there is a strong variability in the navifacial characteristics in the tropical south Pacific.

Indeed, navifacial observations made regularly from 1958 to 1964 along the track from New Caledonia via Tahiti to Panama (Fig. 1) as set out in a distance-time diagram (Fig. 2), show both seasonal variations and long-time variations: early in the year a salinity minimum appears regularly between 170°E and 160°W, and the tropical salinity maximum seems to be strengthened from August to December between 150°W and 140°W. However, a progressive westward spreading of this maximum is also pointed out, the isohaline 35.5 moving from 150°W in late 1958 to 170°E in late 1964. The oscillations of the position and the intensity of the extreme features do not seem only seasonal. Finally, in some years, completely anomalous hydrographic conditions may occur, as in 1958 and 1973.

3. Anomalies of navifacial salinities in 1958 and 1973

The mean surface salinity from January to March (Fig. 3), derived from all navifacial observations 1956-1974, is close to the annual mean (Fig. 1); in Fig. 3, the wind field prevailing normally at this time (Atkinson and Sadler, 1970) is also represented. The intertropical convergence zone of the winds lies at 12°S west of 180° and at 5°N east of 160°W. Accordingly, south of the convergence zone, the winds are northeast or east; north of the convergence zone, the winds are northeast on the equator and are deflected to northwest south of 5°S. The northeast winds sustain the equatorial upwelling and the northwest winds, which bring rainfall, explain the salinity minimum at about 12°S.

The hydrographic situation described by Fig. 3 has undergone the same disturb-

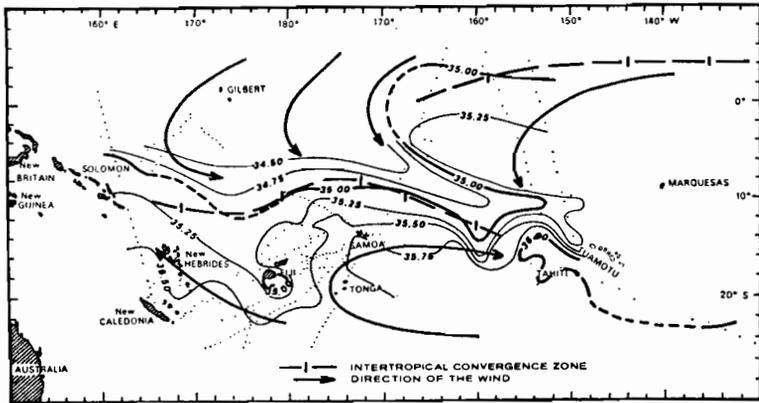
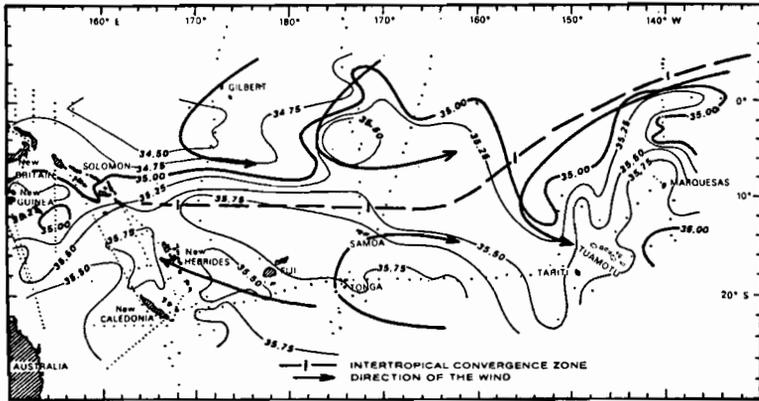


Figure 4. Surface salinity, per mil, January-June 1958. The direction of the wind is marked by arrows, and the intertropical convergence zone of the winds is marked by the dashed line.

Figure 5. Surface salinity, per mil, January-March 1973. The direction of the wind is marked by arrows, and the intertropical convergence zone of the winds is marked by the dashed line.

ance during at least three months in 1958 (January-March) (Fig. 4) and in 1973 (Fig. 5). Instead of the equatorial salinity maximum, an equatorial minimum is seen to extend eastward as far as 10°S 150°W . Between 10°S and 20°S and from 160°W to 180° , a maximum took the place of the salinity minimum. So, in the western tropical Pacific, the positions of surface salinity maximum and minimum were inverted. This exceptional situation coincided with exceptional meteorological conditions.

The meteorological conditions in early 1958 (Fig. 4) and early 1973 (Fig. 5) according to "I.G.Y. World Weather Map" (Hamburg, Germany) and "Tropical Strip Surface Charts" (Asheville, U.S.A.), were similar and remained almost sta-

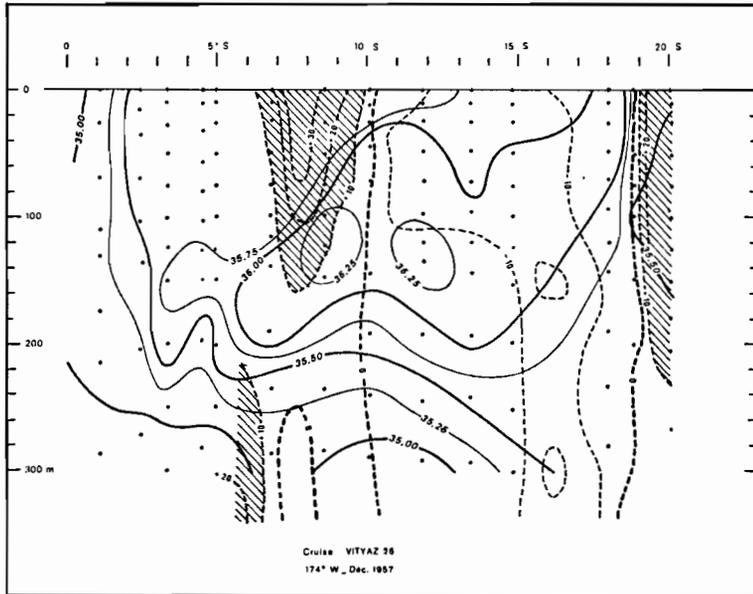


Figure 7. Meridional distributions of salinity, per mil, and eastward component of geostrophic velocity, relative to the 1000 db surface, cm/s, at 174°W during the cruise *Vityaz 26*, December 1957.

of 10°S. West of 160°W, north of the convergence zone the wind blew from the west and a tongue of low-salinity water ($S < 35.0\text{‰}$) reached eastward to 150°W. South of the convergence zone the wind blew from the east and a tongue of high-salinity water ($S > 35.5\text{‰}$) reached westward to 180°. The east component of geostrophic velocity has been superposed on the salinity distribution at 174°W (Fig. 7) by making use of the cruise *Vityaz 26* in December 1957 (N.O.D.C. n° 900862). North of 10°S there is an eastward surface current of 30 cm/s; south of 10°S, a westward current up to 15 cm/s. On the boundary, a doming of isohalines occurs. It is also possible to compare the salinity distribution at 174°W (Fig. 7) in December 1957 already considered with the distribution at 176°W (Fig. 8) in November 1961, as a result of the cruise *Vityaz 34* (N.O.D.C. n° 900065). In 1961, with normal meteorological conditions, the geostrophic currents were very weak and the salinity-maximum cell lay between 100 and 200 m deep. In 1957 the geostrophic currents exceeded 10 cm/s and the salinity-maximum cell almost reached the surface. The doming generated by the contact between the westward current and the eastward countercurrent thus caused the rising of the salinity-maximum cell into the upper waters. The same feature occurred at 170°E in July 1973 (Fig. 9) during cruise *Minepo 1* (N.O.D.C. n° 350078), where a doming occurred at 10°S on the vertical salinity distribution. But in July 1974, during cruise

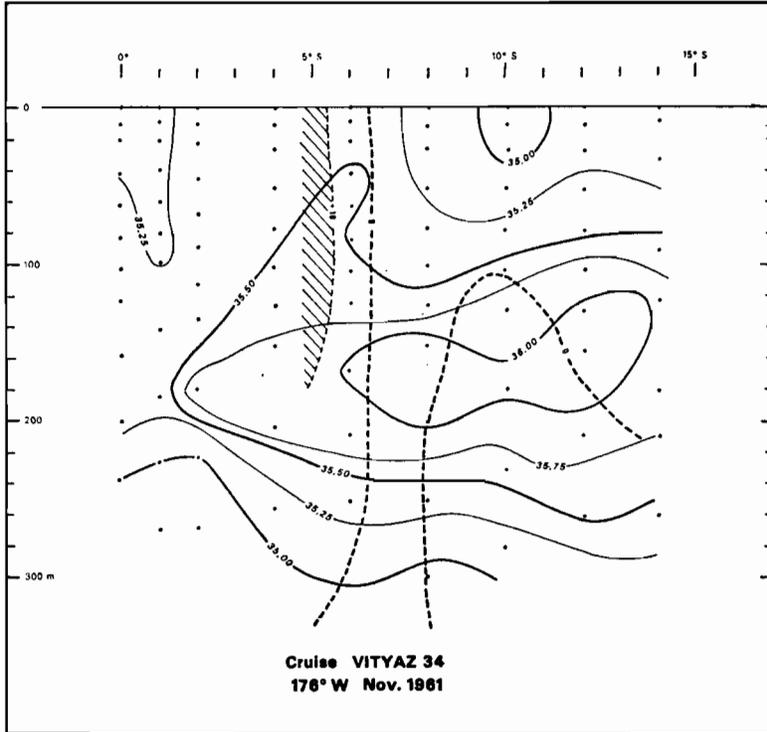


Figure 8. Meridional distributions of salinity, per mil, and eastward component of geostrophic velocity, relative to the 1000 db surface, cm/s, at 176°W during the cruise *Vityaz 34*, November 1961.

Minepo 2 (N.O.D.C. n° 350086), the meteorological conditions were normal again and no doming was observed.

4. Evolution of the navifacial salinity in 1965-1966

The hydrographic conditions in 1965-1966 also show, though less distinctly, an anomaly which may also be connected with unusual meteorological conditions. The chart of surface salinity in the southwest tropical Pacific (Fig. 10) for the second half of 1965 shows north of 10°S and west of 170°W a low-salinity zone ($S < 35.0\text{‰}$) instead of the equatorial salinity maximum. At the same time, south of 10°S, as in 1958 and 1973, a tongue of high-salinity water ($S > 35.5\text{‰}$) reached westward to 170°W. The hydrographic conditions of late 1965 were abnormal but less extreme than in 1958 and 1973. It seems that this sort of hydrographic situation is also generated by the meteorological conditions. According to the daily isobaric charts published by the Meteorological Service of New Zealand (Wellington, New Zealand), the meteorological situation during November 1965 and part

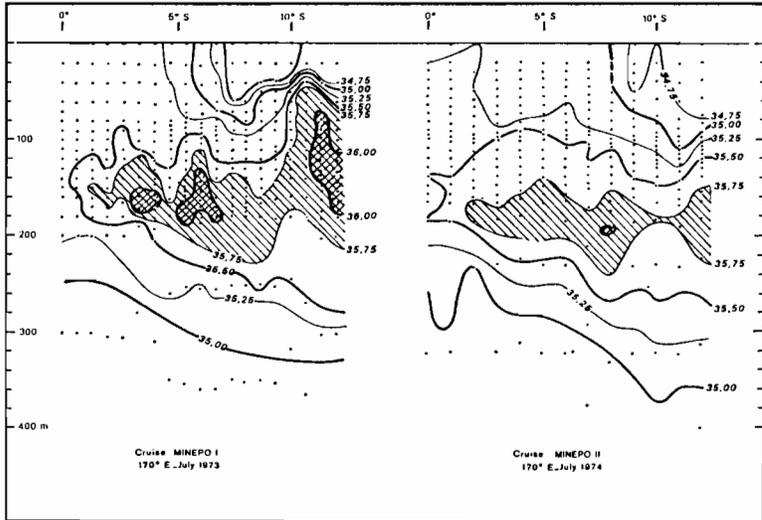


Figure 9. Meridional distributions of salinity, per mil, at 170°E during the cruise *Minepo 1* in July 1973 and during the cruise *Minepo 2* in July 1974.

of December remained almost stationary. The intertropical convergence zone of the winds lay at about 5°S , from 170°E to 150°W . Between this zone and the equator the wind blew from the west, resulting in the heavy rainfall on the equator (Bjerknes, 1969) and consequently the low salinities observed. South of the convergence zone the wind blew from the east, sustaining the westward movement of high-salinity water.

This abnormal hydrographic situation seems to have been briefer than in 1958 and 1973, and the navifacial data of early 1966 (Fig. 11) show normal equatorial upwelling. From 5°S to 10°S a tongue of low-salinity water reaches eastward to 165°W ; south of 10°S a tongue of high-salinity water reaches westward to 170°W . In January-February 1966 the intertropical convergence zone lay at 10°S from 160°E to 150°W , and this situation brought about, on the equator, the presence of northeast winds strong enough to induce upwelling and, at about 10°S , west winds bringing rainfall. South of the convergence zone, east winds prevailed. The distribution of geostrophic currents at 170°E in March 1966 during the cruise *Bora 2* (Rotschi *et al.*, 1972) was consistent with this situation and a doming occurred at 10°S .

5. Conclusion

In 1957-58 and 1972-1973, abnormal meteorological and hydrographical features were observed: the direction of the wind was inverted as well as the respec-

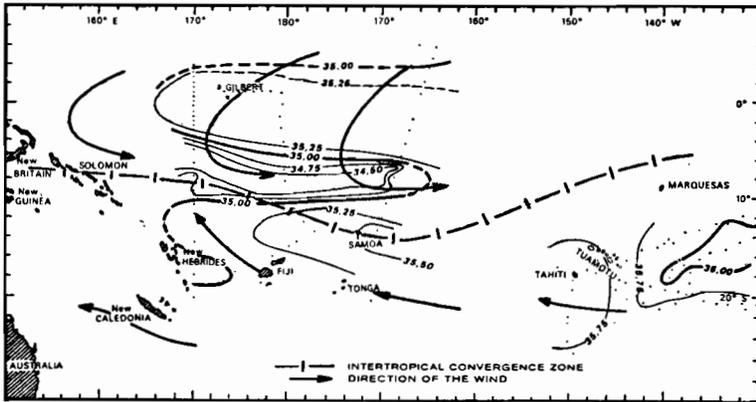
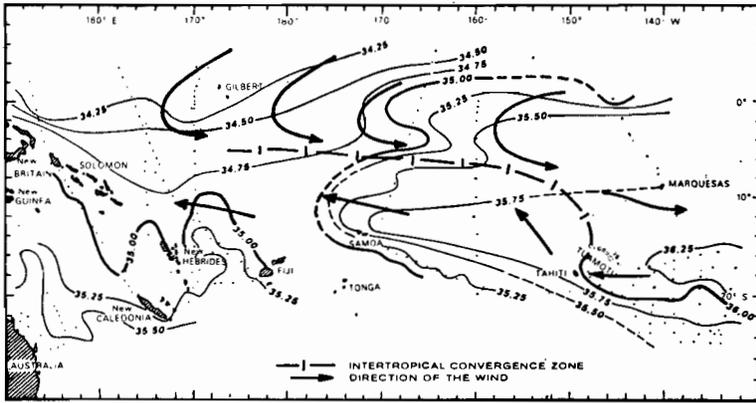


Figure 10. Surface salinity, per mil, July-December 1965. The direction of the wind is marked by arrows, and the intertropical convergence zone of the winds is marked by the dashed line.

Figure 11. Surface salinity, per mil, January-June 1966. The direction of the wind is marked by arrows, and the intertropical convergence zone of the winds is marked by the dashed line.

tive positions of salinity maxima and minima, the tropical salinity maxima moved eastward, and at 10°S a contrasted geostrophic situation induced a doming. In 1965, on the other hand, west wind, instead of the equatorial trade wind, did not prevail long enough and the abnormal conditions discontinued early in 1966.

During these same years, other drastic changes occurred in several areas of the Pacific, such as the appearance of the El Niño Countercurrent along the South American coast. The study of the hydroclimates of the tropical South Pacific may constitute a link in the chain permitting the explanation and then the forecasting of such phenomena.

REFERENCES

- Atkinson, F. D., and J. C. Sadler. 1970. Mean-cloudiness and gradient-level wind charts over the tropics—Air Weather Service, United States Air Force. 15 pp + 38 charts.
- Austin, T. S. 1960. Summary 1955-57 ocean temperatures, central equatorial Pacific. Rep. Calif. Ocean. Fish. Invest., 7, 52-55.
- Bjerknes, J. 1966. A possible response of the atmospheric Hadley circulation to equatorial anomalies of ocean temperature. *Tellus* 28, 820-829.
- 1969. Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific. *Mon. Wea. Rev.*, 97, 163-172.
- Hires, R. I., and R. B. Montgomery. 1972. Navifacial temperature and salinity along the track from Samoa to Hawaii, 1957-1965. *J. Mar. Res.*, 30, 177-200.
- Reid, J. L. 1969. Sea-surface temperature, salinity, and density of the Pacific Ocean in summer and in winter. *Deep-Sea Res.*, suppl., Fuglister volume, 16, 215-224.
- Rotschi, H., P. Hisard, and F. Jarrige. 1972. Les eaux du Pacifique occidental à 170°E entre 20°S et 4°N. *Travaux et Documents de l'O.R.S.T.O.M.* n° 19. 113 pp.

Received: 19 February, 1976; revised: 26 May, 1976.

•
•
•
•

•
•
•
•

•
•
•
•

NOTES ORNITHOLOGIQUES

LISTE PRÉLIMINAIRE DES OISEAUX DE MER DES ILES ET ILOTS VOISINS DE LA NOUVELLE CALÉDONIE

Paul RANCUREL

Océanographe de l'O.R.S.T.O.M., B.P. A5, Nouméa-Cedex, Nouvelle Calédonie

RÉSUMÉ

Première liste commentée de 26 espèces d'Oiseaux de mer fréquentant les îles inhabitées voisines de la Nouvelle Calédonie, situées entre les 160 et 170° degrés de longitude Est entre les 20 et 23° degrés de latitude Sud. Les époques de ponte et de présence sont données en fonction des dates de visite.

ABSTRACT

First annotated list of 26 sea-bird species living on uninhabited islands nearest of New Caledonia, between 160 and 170th degree East and 20 and 23 degree South. Nidification and occupation periods are given according to visits.

Bien que la liste des Oiseaux de mer de la Nouvelle Calédonie ait été établie depuis déjà longtemps, elle a été le fait, surtout, de naturalistes de passage, qui n'ont pu que récolter des observations rapides et sporadiques. On retrouve mentionnées sur ces listes la plupart des espèces qui fréquentent les îles de l'Océan Pacifique tropical et nous n'espérons pas faire figure de novateur en proposant cette liste des Oiseaux de mer, préliminaire à des travaux plus axés sur leur biologie et leur écologie.

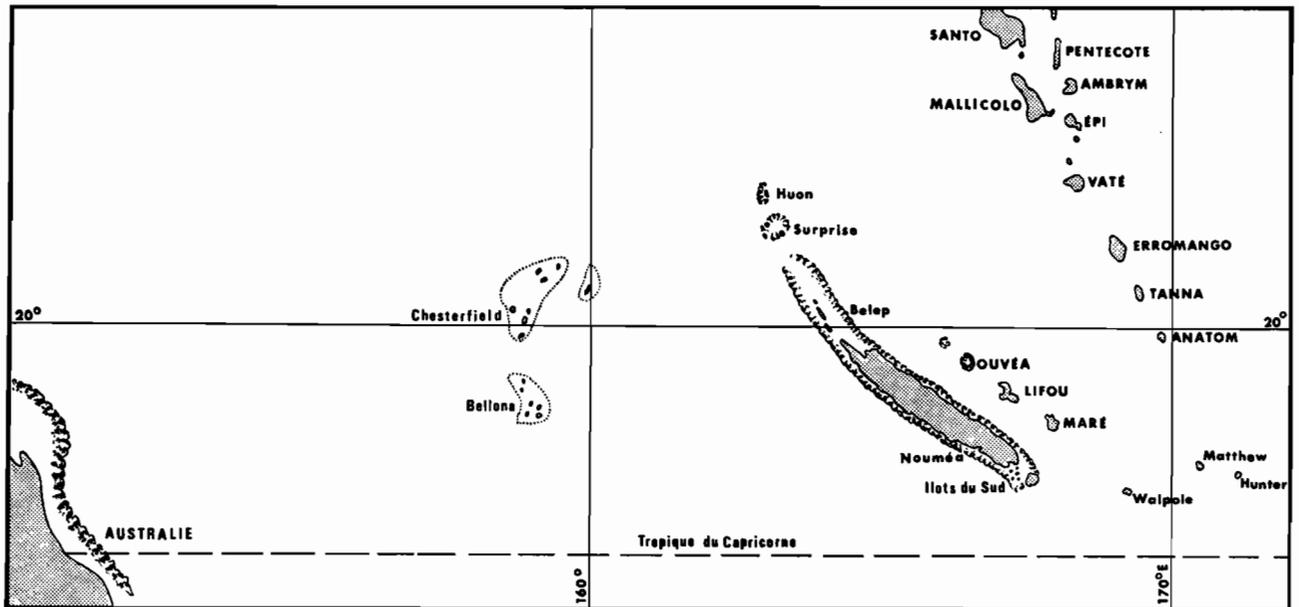
Les circonstances de séjour et de travail que nous avons rencontrées sur la Grande Ile nous ont permis de visiter des îles et des îlots inhabités, qui peuvent être considérés comme de véritables sanctuaires de l'avifaune marine. Outre divers moyens de navigation occasionnels, nous avons eu la chance de pouvoir profiter des voyages de routine des patrouilleurs de la Marine Nationale dans ces îles et avoir ainsi la possibilité d'y aborder aux

différentes saisons de l'année pour y effectuer des observations qui, bien que discontinues, ont l'avantage de pouvoir se recouper et se compléter au fur et à mesure de ces visites.

LIEUX D'OBSERVATIONS

Les îles qu'il nous a été possible de visiter sont les suivantes :

Archipel des Chesterfield (158°20 E - 19°50 S),
Iles Surprise, Huon, récif d'Entrecasteaux (163°05 E - 18°29 S),
Walpole (168°57 E - 22°37' S),
Matthew (171°19 E - 22°20 S),
Hunter (172° 05 E - 22°24 S),
Voisinage immédiat des côtes de la Nouvelle Calédonie,
Îlots du sud du lagon néo-calédonien.



Position de la Nouvelle Calédonie par rapport aux îles mentionnées.

OISEAUX DE MER RENCONTRÉS SUR LES ILES ET ILOTS :

PROCELLARIIFORMES

Famille Procellariidae

Daption capensis (L. 1758)

Aperçu une fois volant autour du navire au large de la passe de Saint-Vincent, à quelque 20 milles au large de la Nouvelle Calédonie (28.XII.1973) et 2 à 3 spécimens entre Mallicolo et Ambrym (Nouvelles Hébrides 17.I.1974).

Pterodroma leucoptera (Gould 1844)

Assez nombreux sur la côte est de la Nouvelle Calédonie dans sa partie sud (XI, XII, I) ; fréquent sur la côte ouest au large de la passe de Saint-Vincent (III, IV, autour de l'île Matthew) (XII) et très au large des Bellona (IV). Souvent mêlé à *Puffinus pacificus* sur les bancs de poissons. Nous n'avons pas trouvé d'individu en cours de nidification sur les îlots du lagon calédonien.

Pterodroma rostrata (Peale 1848)

Autre espèce signalée comme nichant en Nouvelle Calédonie « en particulier dans les terriers sur les îlots coralliens du Lagon » (Delacour 1966). Nous ne l'avons jamais rencontré sur les îlots ; le seul spécimen recueilli l'a été à Nouméa (15.I.75) en grand état d'épuisement, puis relâché après repos et nourriture.

Au large et le long des récifs, de petits groupes de Petrels pouvant appartenir à cette espèce ont été aperçus mais toujours de trop loin pour acquérir une certitude complète sur leur identification (en particulier le 30.XI sur la côte est ; le 16.IV devant la passe de Saint-Vincent ; le 28.XI à Ouvéa).

Puffinus pacificus (Gmelin 1789)

Espèce très commune autour de la Nouvelle Calédonie et des îles avoisinantes. On le rencontre au large et le long des côtes pêchant sur les bancs de Bonites de concert avec les Sternes et les Fous. Adultes et juvéniles n'ont été rencontrés à terre qu'aux îles Surprise (XII) et Chesterfield (IV), sur les îlots du lagon calédonien (Kouaré XII, Rédika I). Lors de ces périodes il se retrouve en bandes abondantes dans le sud de la Nouvelle Calédonie pêchant durant la journée et regagnant les îlots le soir. Aux autres époques il ne se trouve qu'en mer, en vols plus ou moins importants selon la richesse en bancs de petits poissons, ou posés en groupes sur la mer. Seule la phase sombre a été reconnue.

PELECANIFORMES

Famille Fregatidae

Les deux espèces de Frégates, *F. minor* et *F. ariel* sont présentes toutes les deux en vol, toute l'année, dans la région. Présentes aussi sur presque toutes

les îles visitées, sauf Matthew qui offre des conditions de nidification trop difficiles, ainsi que sur les îlots du lagon calédonien. Sur Chesterfield, seuls certains îlots abritent des colonies perchées ou à terre.

Fregata minor (Gmelin 1789)

Est présente et niche sur Chesterfield, Surprise, Walpole et peut-être Hunter. Des œufs ont été notés dans ces localités en avril, juin, septembre; des jeunes encore au nid étaient présents en juin, septembre, octobre, décembre et janvier. Il semblerait que la reproduction se poursuive toute l'année avec peut être un arrêt en fin d'été.

Fregata ariel (Gray 1845)

Même distribution que la présente espèce. Des œufs ont été notés en janvier, avril et septembre; des juvéniles en septembre.

Famille Phaetontidae

Phaeion rubricauda Boddaert 1783

Présent en vol autour de Hunter, Matthew (XII), Chesterfield (VI) et de l'îlot N'Da du lagon calédonien (VI).

En nidification sur Walpole (XII) dans les cavités de la falaise où ont été vus un jeune avec un adulte et, dans une autre anfractuosité, un couple avec un œuf. Par contre, bien qu'il ait été signalé lors de précédentes visites sur Surprise, nous n'avons pu le relever lors de nos passages.

Phaelon lepturus Daudin 1802

Rencontré en vol, loin des terres, à 100 milles nautiques des récifs Bellona (IV) et au large du récif barrière de la Nouvelle Calédonie, au niveau du phare Amédée (VI), sa présence le long de la côte calédonienne n'est pas très fréquente et nous n'avons pu l'observer qu'une seule fois. Il est par contre abondant sur Walpole, où il paraît nicher. La position des anfractuosités dans lesquelles il remisait, ne permettait pas de vérifier la présence d'œufs ou de jeunes, bien que les allées et venues des adultes laissaient présumer de leur présence (XII, I).

Famille Phalacrocoracidae

Phalacrocorax melanoleucus (Vieillot 1817)

Espèce bien connue en Nouvelle Calédonie, où elle fréquente les bords du barrage de Yaté et les embouchures des rivières. Nous l'avons rencontrée au Nord de la côte est, à Arama et à Balade (XI), au voisinage de l'embouchure de la Diahot.

Famille Sulidae

Sula leucogaster (Boddaert 1783)

Le Fou à manteau brun est présent sur toutes les îles extérieures au lagon, bien qu'il se rencontre auprès du récif du nord de la Nouvelle Calédonie, pêchant sur des bancs de petits poissons, en compagnie de *Sterna fuscata* et de *Puffinus pacificus*. Il a été noté sur Hunter en vol, sur Matthew où des individus couvaient sur les pentes du cratère (XII); très abondant sur le plateau de Walpole où il nidifie pratiquement sur le rocher corallien (XII); à Surprise, il se rencontre dans les *Boerhavia* et les *Triumfetta* où un semblant de nid contient les deux œufs en couvaion. Sur Chesterfield, il abonde surtout sur les chaussées rocheuses et le haut de l'estran des îlots. Pontes et poussins ont été relevés toute l'année. Cet Oiseau s'est révélé moins docile à la régurgitation que les deux autres espèces lorsqu'il est dérangé de son perchoir la nuit.

Sula sula (L. 1766)

Le Fou à pieds rouges a été rencontré sur presque toutes les îles isolées hors du lagon portant une végétation arbustive sur laquelle il confectionne son nid: Hunter (XII) en vol et à terre, Walpole où il est abondant sur les arbustes du talus et dans les arbres du plateau, Surprise, Huon et Leleizour dans les Faux Tabacs et les *Pisonia*, Chesterfield sur tous les îlots portant des Faux Tabacs.

Sur l'île Surprise où la végétation est plus abondante, une population de près de 2 000 oiseaux, en cours de nidification et avec juvéniles, a été estimée au mois de janvier. Sur Chesterfield, les colonies sont plus compactes et abondantes, principalement la nuit, lorsque les adultes ont regagné leur perchoir sur les Faux Tabacs. Les deux phases, blanche et brune, se rencontrent en proportion sensiblement identique. Des œufs et des jeunes ont été rencontrés en tous temps en abondance, excepté en avril et en décembre où très peu d'œufs et de poussins ont été vus.

Des récoltes de contenus stomacaux par régurgitations provoquées sur les Oiseaux remisés pour la nuit, nous ont donné presque uniquement de nombreux Calmars (*Symplectoteulhis ovalaniensis*) de 4 à 8 centimètres de longueur palléale. Ce Céphalopode pélagique a été pêché à l'extérieur du récif à la tombée du jour lorsqu'il regagne la surface lors de sa migration nycthémerale. Le retour des Oiseaux à terre après le coucher du soleil concorde donc bien avec le mouvement de leurs proies. Nous avons également rencontré de nombreux juvéniles de cette espèce volant en pleine mer au milieu de la nuit.

Sula dactylatra Lesson 1831

Cette grande et belle espèce de Fou se rencontre, comme celle à manteau brun, le long des récifs de la Nouvelle Calédonie où elle pêche sur les bancs de Bonites. Elle a été notée en vol autour de Hunter, à terre sur Chesterfield et Surprise. Elle n'a été aperçue ni sur Matthew ni sur Walpole.

Sur les îles basses, elle fréquente le bas des plages, où elle stationne par couples à la limite des vagues. Les deux œufs sont pondus un peu au-dessus de l'eau dans une simple dépression de sable. La présence d'œufs et de poussins a été notée en septembre et en janvier sur Chesterfield et Surprise. En avril, seuls étaient présents sur les plages des jeunes de l'année, de la taille des parents, volant par leurs propres moyens mais encore nourris par les adultes. Ces derniers rentraient du large entre 16 et 17 heures 30, avant le coucher du soleil et les jeunes attiraient leur attention par des cancanements et des postures caractéristiques. En juin, seuls des couples étaient présents. Il semblerait donc que, sur Chesterfield, une seule couvaison annuelle ait eu lieu en 1973 et 1974.

Les régurgitations fournirent de grands Poissons volants et très peu ou pas de Calmars.

CHARADRIIFORMES

Famille Stercorariidae*Stercorarius* sp.

Aperçu toujours de trop loin, ou dans de mauvaises conditions, la détermination spécifique de ce Labbe ne peut être précisée. Sans être abondant, il se rencontre assez souvent dès qu'un rassemblement d'Oiseaux se fait sur un lieu de pêche.

Sa présence a été notée entre Mallicolo et Ambrym (Nouvelles Hébrides I), au large d'Ouvéa poursuivant *Sterna fuscata* et dans le sud de la côte Est calédonienne (XI) ; également au sud de Lifou (XII).

Famille Laridae*Larus novae-hollandiae* Stephens 1836

Ce petit Goéland n'a été rencontré que sur les îlots du sud de la Nouvelle Calédonie, où il est présent sur toutes les plages et sur les hautes branches des arbres, ainsi que tout au long de la côte néo-calédonienne. Il y forme de petites bandes d'une dizaine d'individus (VI, VII, XII). Nous ne l'avons jamais rencontré ni sur les autres îles visitées (Walpole, Matthew, Hunter) ni sur les îlots des Chesterfield.

Sterna dougalli Montagu 1813

Uniquement rencontrée sur les îlots du sud calédonien de juin à décembre. En juin-juillet, on notait la présence de poussins non ailés et de juvéniles commençant à voler, que les adultes nourrissaient sur la plage de *Pranesus pinguis*, abondant autour des îlots.

Sterna bergii Lichtenstein 1823

La présence de cette grosse Sterne a été relevée à l'île Surprise, sur les Chesterfield et sur les îlots du sud calédonien. Toujours par petits groupes de deux à cinq, souvent mêlée aux *Sterna fuscata* et *Anous stolidus* lorsqu'ils se trouvent en bordure de plage. Une ponte a été observée sur l'îlot Loop (Chesterfield IV) et des juvéniles en cours de mue ont été trouvés sur les plages des îlots du sud du lagon (VII, XII). Sur Chesterfield, un individu portait au bec un embryon bien formé du poussin (probablement *Anous stolidus*).

Sterna nereis (Gould 1842)

Cette petite Sterne, rencontrée aussi bien sur les îlots du sud qu'aux îles Chesterfield, montre un faciès de *nereis* par sa coloration de la tête, aux lores noirs et blancs, et d'*albifrons* par la pointe, bien marquée de noir, de son bec jaune. Présente sur les îlots du Sud en juin et juillet sur les Chesterfield en avril et septembre, époque à laquelle elle a été trouvée en compagnie de jeunes presque ailés sur un îlot complètement dénudé. Quelques adultes ont été remarqués portant un petit poisson au bec. Ses petits groupes, bruyants en vol, accompagnent souvent ceux de *S. sumatrana*.

Sterna sumatrana Raffles 1822

Très commune, cette gracieuse Sterne blanche au vol battu, ondulant, a été rencontrée principalement dans les îlots du Sud et aux Chesterfield. Elle a été notée aussi en bandes nombreuses sur des bancs de petits poissons dans la passe ouest d'Ouvéa et au sud de la baie de Chépénéhé à Lifou.

Sur les îlots du Sud, un site de reproduction a été vu (VII) sur une caye près de l'îlot Koko, avec des œufs et des poussins parfaitement homochromes au sable madréporique. Au mois de juin, deux couples en vol portant un Poisson dans le bec pouvaient donner à penser à des préludes de reproduction. Présente en vol sur les Chesterfield (VI, IX).

Sterna fuscata L. 1766

Présente en mer et le long du récif au-dessus des bancs de poissons tout au long de l'année, elle a été

rencontrée en vol dans toutes les régions prospectées, même sur les côtes des Nouvelles Hébrides. Deux aires importantes de ponte ont été relevées :

Sur Matthew (décembre 1973) où une très importante colonie couvrait l'isthme entre les deux îles mêlée à des reproducteurs d'*Anous stolidus*. Des milliers de nids couvraient le sol de sable noir, entre lesquels couraient des poussins de toutes tailles. Sur les pentes du cratère, quelques adultes et quelques poussins étaient morts, les ailes couvertes de graines crochues de *Sanrus echinatus*. Probablement limitée par la couverture de cette Phanérogame, la colonie s'étendait principalement dans la partie plane de l'isthme et présentait tous les stades de développement, depuis l'œuf nouvellement pondu jusqu'au gros poussin noir tacheté de blanc. Sur Chesterfield, une période de ponte importante se place au printemps (octobre 1973, septembre 1974). A cette époque, la plupart des îlots sont littéralement recouverts d'adultes et de poussins. Certains îlots sont délaissés, d'autres complètement envahis. La densité est telle qu'il est difficile, par endroits, de circuler sans surveiller ses pas afin de ne pas écraser œufs et jeunes poussins. Durant les autres mois du début de l'année, seuls se voient des juvéniles provenant de pontes plus tardives, encore nourris par les adultes (avril, juin). D'autres pontes ont été observées sur les îlots sud du lagon calédonien (Kouaré) en décembre 1974. Les reproducteurs nichaient sur le sable, sous les *Pisonia*, dont ils eurent à supporter les graines collantes qui furent fatales à de nombreux Noddies.

Durant les mois précédant le grand rassemblement reproducteur, le nombre d'adultes à terre dans la journée est peu important et se limite presque aux adultes venant nourrir les juvéniles attardés. Le gros de la population apparaît le soir de 16 heures au coucher du soleil et orbite jusqu'à de grandes hauteurs au-dessus de l'île. Les lumières du navire au mouillage jouant un rôle attractif sur les petits poissons et les jeunes *Sepioteuthis* du lagon, attiraient aussi un bon nombre d'Oiseaux dont certains se posant à bord, régurgitèrent petits poissons et jeunes calmars.

Sterna anaethelus (L. 1758)

Rencontrée uniquement en vol dans la baie de Prony (Sud du lagon calédonien) où elle est abondante ainsi qu'à ses alentours immédiats (VI, XII).

Anous stolidus (L. 1758)

Présent sur Hunter et Walpole (décembre, janvier), qui doivent être des lieux de nidification, ainsi que sur Matthew où une concentration importante avec œufs et poussins a été rencontrée en décembre, mêlés aux nids et aux jeunes de *Sterna fuscata*.

Sur les îlots du sud du lagon calédonien, la présence de cette espèce est permanente (œufs en décembre, poussins en décembre, janvier) ; bien que, lors des visites de juillet, les îlots aient été retrouvés désertés pendant la journée, les Oiseaux revenaient le soir passer la nuit à terre sur les branches basses et repartaient le matin au lever du soleil vers le lagon et les passes où ils pouvaient être vus pêchant sur des bancs de petits poissons ou posés en groupes sur l'eau (passe Boulari, 5 juin). Il y a donc un arrêt de la reproduction et désertion des îlots au début de l'hiver austral.

Sur Chesterfield, le maximum de fréquentation et de ponte a été relevé en avril et septembre ; les œufs sont posés à terre dans la végétation ou sur les rochers parmi quelques coquillages brisés et débris de corail ; peu d'Oiseaux et pas d'œufs dans l'intervalle (octobre, juin).

Sur Surprise, un rassemblement d'adultes et de juvéniles sans œufs a été noté en janvier ; des œufs étaient présents en décembre.

Anous tenuirostris (Temminck 1823)

A la différence de l'espèce précédente, qui niche à terre ou à ras de terre, le petit Noddy noir construit son nid sur une élévation naturelle : branches de Faux Tabacs, de *Pisonia*, d'*Abutilon*, ou artificielle : ferrailage auprès de la station météorologique sur Chesterfield.

Sur les îlots du Sud, comme pour *A. stolidus* un arrêt de la reproduction se place en juin-juillet, époque à laquelle les nids sont désertés et sèchent sur les branches. Reprise de la ponte en été. Sur Kouaré, en décembre 1974, une abondante fructification des *Pisonia* amena la mort d'un grand nombre de Noddies noirs par engluage des reproductrices et des alaires par les graines collantes de ces arbres.

Sur Chesterfield, la présence d'œufs a été notée en janvier, avril, juin et septembre au fur et à mesure de nos passages. La coupure automnale semble moins marquée que sur les îlots du lagon.

Gygis alba (Spaarman 1786)

Rencontrée seulement en vol aux Chesterfield (IV) et à Walpole (XII, I), autour des îles où elle pêchait sur du petit poisson. A Walpole, les vols se faisaient par couples en longues glissades parallèles, auxquelles se joignait parfois, un troisième oiseau.

Procelsterna cerulea (Bennett 1840)

Relevée à trois reprises sur Walpole, Matthew et Hunter (XII, I). Par couples au pied de la falaise

sud-ouest, où nous avons pu débarquer sur Hunter, dans une cheminée latérale du cratère de la nouvelle île Matthew et dans les cavités de la falaise ouest de Walpole.

Enfin nous devons signaler, bien que ne rentrant pas dans le groupe de ce qu'il est traditionnellement convenu d'appeler « oiseaux de mer » deux espèces dont l'une est constante sur les îlots du lagon sud calédonien (*Pandion haliaetus*) et dont le régime est lié à l'environnement marin, tandis que la présence et les activités de l'autre (*Rallus philippensis*) sur tous les îles et îlots visités en font un élément important dans l'écologie des lieux de reproduction des véritables « Oiseaux de mer ».

FALCONIFORMES

Famille Pandionidae

Pandion haliaetus (L. 1758)

Présent sur tous les îlots du sud du lagon calédonien, où l'on trouve de un à trois couples selon la superficie de l'îlot. Les nids, importants, sont rénovés lors de la ponte et réutilisés ; des morceaux de corail et divers débris trouvés sur les plages (dont des sandales en plastique) sont ajoutés aux morceaux de branches constituant le nid. Ces oiseaux semblent sédentaires et ont été aperçus lors de toutes les visites (juin, juillet, décembre). Une ponte semble se placer au mois de juin, durant lequel les couples consolidaient leurs nids ; 3 œufs ont été vus le 8 juin.

GRUIFORMES

Famille Rallidae

Rallus philippensis L. 1766

Présent sur tous les îlots du sud calédonien et de l'archipel des Chesterfield où il a été aperçu circulant entre les oiseaux en cours de couvaison et sur le bord de mer, où il paraît chasser les crabes. Un individu a été vu avalant un embryon de Noddy. Beaucoup d'œufs trouvés piqués et cassés pourraient être attribués à ce comportement.

Si cette simple énumération n'apporte aucun fait nouveau quant à la systématique des Oiseaux de mer du Sud-Ouest Pacifique, elle peut contribuer à combler une lacune sur leur répartition et apporter une modeste part à la connaissance de leurs périodes de reproduction. La répartition de ces espèces dans cette région du Pacifique ne comportait que quelques notations concernant la Nouvelle Calédonie, les îles Lord Howe, Norfolk et parfois les Nouvelles Hébrides, en dehors de l'Australie et de la Nouvelle Zélande bien lointaines et particulières.

Il nous plaît de considérer cette liste comme les prémisses à des travaux futurs, plus orientés sur la biologie et l'écologie de ces espèces.

Il nous est particulièrement agréable de remercier ici les autorités militaires en Nouvelle Calédonie, le Général Fournier ainsi que les COMAR successifs de la Marine de Nouméa, qui ont autorisé nos embarquements sur les unités de la Marine Nationale, sans oublier les officiers et équipages de ces navires pour leur sympathique collaboration.

BIBLIOGRAPHIE

ALEXANDER (W. B.), 1963. — Birds of the Ocean — Putnam — London 3^e éd.

ASHMOLE (N. P.), 1963. — The biology of the Wideawake or Sooty Tern *Sterna fuscata* on Ascension Island. I bis, 103 b : 297-364.

DELACOUR (J.), 1966. — Guide des Oiseaux de la Nouvelle Calédonie. Delachaux-Niestlé. Neuchâtel.

DOUMENGE (F.), 1966. — L'Homme dans le Pacifique Sud. Pub. Soc. Océanistes, n° 19.

DUMONT D'URVILLE (J.), 1830. — Voyage de l'Astrolabe. Histoire du Voyage, tome I p. XXI-XXII, Paris.

KING (W. B.), 1967. — Sea Birds of the Tropical Pacific Ocean. Smith. Inst.

LA BILLARDIÈRE, 1800. — Relation du voyage à la recherche de La Pérouse — Paris.

PRIAM (R.), 1964. — Contribution à la connaissance du volcan de l'îlot Matthew (Sud des Nouvelles Hébrides). Bull. Volcanologique 27 : 331-339, pls.

ROSSEL DE, 1808. — Voyage de l'Entrecasteaux, Paris.

SERVENTY (D. L.), SERVENTY (V.) et WARHAM (J.), 1971. — The handbook of Australian Sea Birds. Reed ed. Sydney.

SLATER (P.), 1970. — A field guide to Australian Birds Edinburgh.

Pelagic food webs in the tropical Pacific

Claude Roger¹ and René Grandperrin

Centre O.R.S.T.O.M. de Nouméa, BP. A5, Nouméa New Caledonia

Abstract

Analysis of stomach contents, feeding rhythms, vertical distributions, and day-night migrations of the successive links of a pelagic food chain leads to a functional model of the prevailing trophic relationships and to identification of basic mechanisms determining the food web structure. This model demonstrates the existence of processes which support the downward energy transfer and reduce the upward one.

A comparative analysis of the food of longline tuna and the food of the fish they prey upon, and also of their bathymetric distribution and that of the fauna upon which they feed, led to a proposal in earlier publications (Legand et al. 1972; Roger 1973, 1974a) of a pattern of trophic relationships in the tropical Pacific. More abundant material has now been analyzed which improves the reliability and precision of the structures described: we have 365 analyses of stomach contents of albacore [*Thunnus (Germo) alalunga*] and yellowfin tuna [*Thunnus (Neothunnus) albacares*] as against the previous figure of 156. Roger (1975) has also completed a study of the feeding patterns of certain prey (euphausiids) consumed by the fish that the tuna eat.

It is now possible to give a scheme which covers the whole chain: phytoplankton, small zooplankton → euphausiids → micronektonic fishes → longline tunas. This chain is important among the food webs upon which the longline tunas rely as micronektonic fishes account for 60% of their diet by volume, the remaining 40% being mainly cephalopods (Legand et al. 1972). It can be assumed that longline tunas themselves make up a notable part of the large nekton of these regions, despite the lack of information on the relative biomass of the different species of pelagic predators (tunas, marlins, sharks, etc.).

We acknowledge the criticisms of B. Wauthy and G. Loubens. We are grateful

to R. H. Baird for reviewing the manuscript.

Material and methods

The stomach contents of 365 albacore and yellowfin tunas caught by longlining have been analyzed and 1,399 micronektonic fishes therein identified (Legand et al. 1972). The stomachs of 667 of the latter contained identifiable remains, among which 332 euphausiids have been identified at the specific level.

On the basis of detailed knowledge of the vertical distribution of euphausiids in these regions (Roger 1974b), we have selected 99 samples taken with the 3-m Isaacs-Kidd midwater trawl in order to determine the specific composition of the population in the "epipelagic" layer (0–450 m) and the deep layer (450–900 m) by day and by night. We have also made use of recent results on the feeding rhythms of tropical euphausiids (Roger 1975).

The samples originate from three regions of the south tropical Pacific Ocean: Marquesas Islands (10°S, 142°W), New Caledonia (20–22°S, 166–168°E), and Bay of Papua (8°S, 145°E).

Results

Data concerning the position of micronektonic fishes and euphausiids in the food webs which lead to longline tunas are given in Table 1. In general, it appears that euphausiids account for about 12% in volume of the food of the micronektonic fishes which comprise in their turn 60% of

¹Present address: 185 Av. de Fabron, 06200 Nice, France.

Table 1. Participation of micronektonic fishes and euphausiids in the trophic webs which lead to longline tunas.

No. of tuna stomach contents analyzed			365
No. of recognizable micronektonic fishes found in the above stomachs*			1,399
Of these 1,399 fishes, No. with identifiable remains in stomach			667=48%
Of these 667 fishes, No. that had eaten euphausiids			179=27%
Mean percentage of the whole diet, in volume, accounted for by euphausiids, in the 179 fishes that had eaten this item			46%
Product of the above two=quantitative importance, in volume, accounted for by euphausiids in the diet of micronektonic fishes which are preyed upon by longline tunas†			12%
Euphausiids found in the 179 stomachs of micronektonic fishes preyed upon by longline tunas	<i>Stylocheiron</i>	Occurrence†	98=55%
		Number§	214=64%
	<i>Euphausia</i>	Occurrence†	20=11%
		Number§	34=10%
	<i>Thysanopoda</i>	Occurrence†	26=15%
		Number§	54=16%
	<i>Nematoscelis</i>	Occurrence†	15=8%
		Number§	30=10%

*The species list of these fishes is given in Legand et al. (1972).

†In addition, most of these fishes eat other crustaceans (mainly copepods and amphipods), except a few species that are ichthyophagous (Legand et al. 1972).

‡No. and percentage of stomachs containing this genus with respect to the number of stomachs containing euphausiids.

§No. of euphausiids belonging to this genus found in the 179 stomachs, with respect to the total number of euphausiids found in these stomachs.

||Not included here: 431 *Euphausia fallax* eaten by three Paralepididae found in the same tuna stomach.

the diet of tunas. In other words, euphausiids are indirectly responsible for 7% of the food of longline tunas, despite the fact that there exists almost no direct predator-prey relationship because of the absence of sufficiently large euphausiids during daytime in the stratum (0-450 m) at which the tunas feed (Roger 1973).

Among the euphausiids ingested by those fishes preyed upon by tunas, *Stylocheiron* species account for 64% of the total num-

ber, *Euphausia* and *Thysanopoda* species together to only 26%. This specific composition is markedly different from that of the whole euphausiid population which inhabits the region and comes to the 0-450-m layer at night (Table 2), but very similar to that of the population remaining in the 0-450-m layer by day (Table 3).

The ratios between the percentages of the nonmigrating *Stylocheiron* which stay at depths above 450 m during the day and the migrating *Euphausia* and *Thysanopoda* which inhabit this layer at night but dwell

Table 2. Euphausiids: percentages (by numbers) of the different genera in the population inhabiting the whole water column, from 43 hauls using a 3-m Isaacs-Kidd midwater trawl by night between 0 and 450 m (almost all the population is concentrated in this layer at night: Roger 1974b).

	10°S, 142°W	20°S, 168°E	22°S, 166°E	Mean
<i>Stylocheiron</i>	37.0	35.5	37.2	36.6
<i>Euphausia</i> and <i>Thysanopoda</i>	55.3	47.6	54.9	52.6
<i>Nematoscelis</i>	6.7	16.4	7.7	10.3
<i>Nematobrachion</i>	1.0	0.4	E	0.5

Table 3. Euphausiids: percentages (by numbers) of the different genera in the population which stays between 0 and 450 m during daytime, from 56 hauls using a 3-m Isaacs-Kidd midwater trawl.

	10°S, 142°W	20°S, 168°E	22°S, 166°E	Mean
<i>Stylocheiron</i>	74.5	68.4	63.8	68.9
<i>Euphausia</i> and <i>Thysanopoda</i>	21.0	27.9	35.1	28.0
<i>Nematoscelis</i>	3.3	3.8	0.9	2.7
<i>Nematobrachion</i>	1.3	0	0.2	0.5

Table 4. Ratios observed between nonmigrating *Stylocheiron* and migrating *Euphausia* and *Thysanopoda*.

Population	S:E+T
Inhabiting whole water column	37:53=0.7
Staying during day between 0 and 450 m	69:28=2.5
Found in stomachs of micronektonic fishes preyed upon by tunas	64:26=2.5

deeper during the daytime are shown in Table 4.

Discussion and conclusions

The foregoing results, together with those previously reported (Roger 1975), lead to the following description of the different links of the food chain.

Longline albacore and yellowfin tunas—Micronektonic fishes ingested by these longline tunas are almost solely epipelagic fishes (Parin 1968; Legand et al. 1972). These tunas very rarely feed on vertically migrating micronektonic fishes which are the main constituents of the deep scattering layers, and which also inhabit the tuna biotope (0–450 m) by night in considerable numbers. Also, as far as albacore and yellowfin tunas are concerned (this is not true for bigeye tuna), longlining is unsuccessful during the night (Legand et al. 1972), so that in the south tropical Pacific these tunas are probably day-feeders.

Epipelagic (0–450 m) micronektonic fishes preyed upon by longline tunas—Euphausiids found in the stomachs of these epipelagic fishes are mainly nonmigrating *Stylocheiron* which stay in this layer during daytime. In contrast, migrating *Euphausia* and *Thysanopoda*, still more abundant than *Stylocheiron* species in these regions but rising to the 0–450-m layer only at night, are more rarely found in the stomachs of these fishes. Therefore, the epipelagic micronektonic fishes preyed upon by longline tunas are also day-feeders; thus they are able to feed only on euphausiids, amphipods, or copepods which stay above 450 m during daytime.

Stylocheiron euphausiids—They are typically day-feeders (Roger 1975), in contrast with *Euphausia* and *Thysanopoda* species which feed either continuously or mainly by night. Unfortunately, we do not know whether the other prey of epipelagic micronektonic fishes (i.e. epipelagic copepods and amphipods) are also day-feeders.

Therefore, it appears that, over the whole length of the food chain considered here, the constituent links exhibit two main similarities: they inhabit the 0–450-m water layer during daytime, and they are day-feeders. This implies the following consequences.

First, each link of the food chain—phytoplankton, small zooplankton → euphausiids → micronektonic fishes → albacore and yellowfin longline tunas has a food source restricted only to the biomass which stays between 0 and 450 m during daytime. In particular, longline tunas (as well as other large pelagic predators which would feed upon the same epipelagic ichthyofauna) have no possibility of benefiting, *through this chain*, from the considerable biomass of migrating species, which are responsible for the deep scattering layers and which are abundantly caught by plankton nets and midwater trawls at night in the epipelagic zone. However, other routes of energy transfer may allow some use of this food source by longline tunas, for example that involving the cephalopods, which comprise nearly 40% of the tunas diet and probably feed to some extent on the migrating fauna. In addition, the boundary between “epipelagic” fauna and the migrating and the deep faunas during the day is, of course, not absolutely strict: the lower part of the former is more or less mixed with the higher parts of the latter, in particular between 400 and 500 m. Mixing also occurs at the time of the diurnal vertical migration (cf. Fig. 1).

Second, the migrating fauna feeds on the epipelagic fauna during the night. As the epipelagic fauna is not feeding at this time, it cannot retrieve the energy given to the migrating fauna. This process is the equivalent of an “energy valve” which promotes

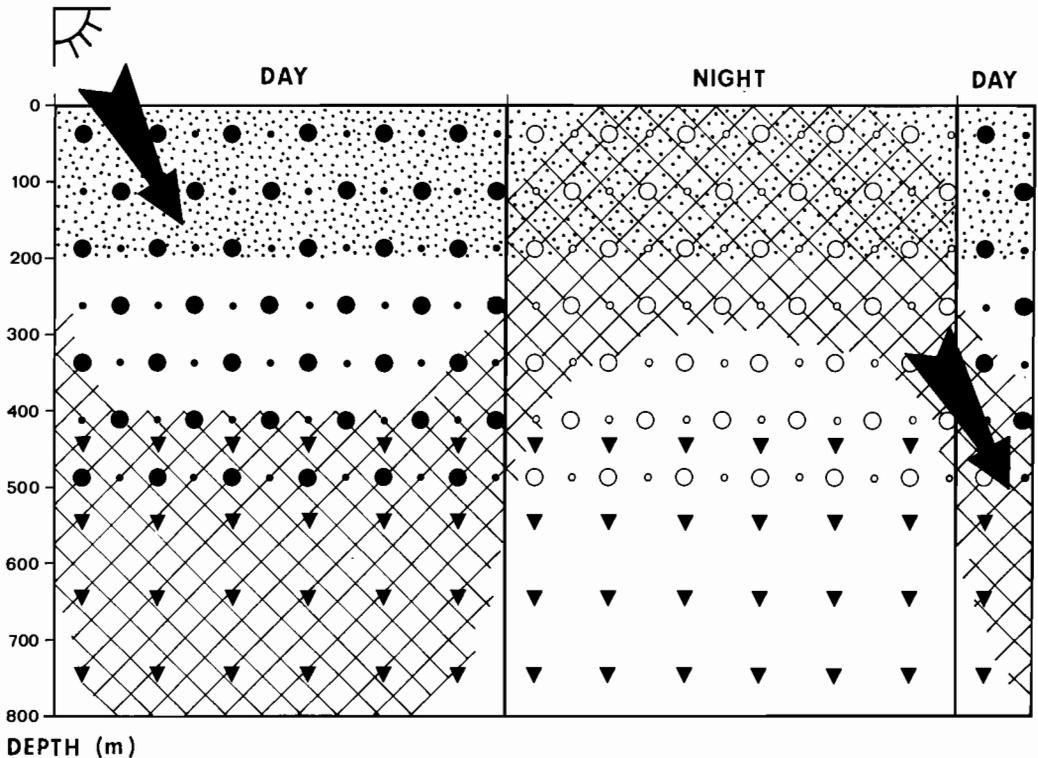


Fig. 1. Diagram tentatively showing the main space-time components of trophic relationships in the pelagic tropical Pacific and resulting preferential way of energy transfer. Stippling—phytoplankton. Arrow—main path of energy transfer. “Epipelagic” (0–450 m) day-feeder fauna (dots—feeding; circles—nonfeeding): small dots and circles—nonmigrating day-feeder zooplankton (e.g. *Stylocheiron* euphausiids); large dots and circles—longline tunas and micronektonic fishes upon which they feed (e.g. *Gempylidae*, *Bramidae*, *Paralepididae*, etc.). Cross-hatching—vertically migrating zooplankton (e.g. *Euphausia* and *Thysanopoda* euphausiids) and micronektonic fishes (e.g. *Myctophidae*, etc.), feeding either continuous or mainly nocturnal. Triangles—nonmigrating deep fauna.

the downward energy transfer and reduces the upward one. If this process does exist in the other food chains of the pelagic tropical Pacific, in particular if the other prey of epipelagic micronektonic fishes (such as epipelagic copepods and amphipods) are also day-feeders, then one can suggest that this mechanism is fundamental as it explains how the deeper layers of the ocean are able to support a fairly large biomass.

The vertical distributions and feeding rhythms of the pelagic food links reported here are tentatively schematized in Fig. 1, together with the main path of energy transfer which they imply.

References

- LEGAND, M., AND OTHERS. 1972. Relations trophiques et distributions verticales en milieu pélagique dans l'océan Pacifique intertropical. Cah. ORSTOM Ser. Oceanogr. **10**(4): 303–393.
- PARIN, N. V. 1968. Ichthyofauna of the epipelagic zone [transl.] Israel Program Sci. Transl. IPST 5528. 206 p.
- ROGER, C. 1973. Recherches sur la situation trophique d'un groupe d'organismes pélagiques (Euphausiacea). 5: Relations avec les thons. Mar. Biol. **19**: 61–65.
- . 1974a. Les euphausiacés du Pacifique équatorial et sud-tropical: Zoogéographie, écologie, biologie et situation trophique. Mem. ORSTOM 71. 265 p. (ISBN 2.7099.0335.0)

———. 1974b. Répartitions bathymétriques et migrations verticales des euphausiacés (crustacés) dans les zones de pêche au thon du Pacifique sud tropical. Cah. ORSTOM Ser. Oceanogr. **12**(4): 221–239.

———. 1975. Rythmes nutritionnels et organ-

isation trophique d'une population de crustacés pélagiques (Euphausiacea). Mar. Biol. **32**: 365–378.

Submitted: 27 August 1975

Accepted: 7 April 1976

NOTES AND NEWS

FECUNDITY OF TROPICAL EUPHAUSIIDS FROM THE CENTRAL AND WESTERN PACIFIC OCEAN

BY

CLAUDE ROGER

"Le Bel Air Hill", 185 Avenue de Fabron, 06200 Nice, France

In previous papers (Roger, 1973, 1974), some observations have been presented on the fecundity of tropical species of euphausiids frequently caught in the Central and Western Equatorial and South Tropical Pacific Ocean. Further studies gave additional results, so that data are now available for nearly all most abundant species from these regions. As a matter of fact, referring to the zoogeographical study carried out by Roger (1974), it appears that the fecundity of most of the species not considered here can be approximately deduced from that of closely related ones, i.e.: *Euphausia brevis* Hansen and *E. mutica* Hansen from *E. diomedea* Ortmann; *Euphausia paragibba* Hansen from *E. gibba* G. O. Sars; *Thysanopoda obtusifrons* G. O. Sars and *T. subaequalis* Boden from *T. aequalis* Hansen; *Stylocheiron maximum* Hansen from *S. abbreviatum* G. O. Sars; *Nematoscelis gracilis* Hansen and *N. microps* G. O. Sars from *N. atlantica* Hansen; *Nematobranchion sexspinosum* Hansen from *N. flexipes* (Ortmann).

The only important species for which the evaluation of the fecundity remains missing are *Euphausia tenera* Hansen and *E. fallax* Hansen.

The number of ripe eggs in the full grown ovary (stage IV as described in Roger, 1973) has been considered a sufficiently good measure of the fecundity. Mauchline (1968) has shown that this procedure leads to an overestimate of the fecundity, as it seems likely that not all ripe eggs are finally laid; he suggested to use preferably the difference between the volumes of the ripe and spent ovary divided by the mean volume of one ripe egg, to obtain a better estimate of the number of eggs actually laid. Besides the possible inaccuracies of this method, it implies that the spent ovary is a recognizable structure; this condition is not clearly fulfilled in tropical regions, where reproductive processes are nearly permanent, and I failed to identify with certainty the stage "spent ovary", which, as suggested in Roger (1974), would closely resemble the stage II (immature) ovary.

On the other hand, I do not agree with Mauchline (1968) that the extended breeding season of many tropical species of euphausiids involves... "more or less continuous release of eggs from the individual ovary". Breeding is continuous for the whole population, but, according to the observations reported in Roger (1974),

it seems likely that an individual female produces all her ripe eggs at once or at least within a few days; the stage IV ovary contains very large and very small eggs, but no eggs of intermediate size, suggesting that the maturation process is not continuous. Therefore, counting of ripe eggs provides probably an acceptable estimate of fecundity, although, despite strong presumptions, it is not certain that each female breeds only once during her life span.

Results are given in table I. Comparison with the fecundity of temperate or cold water species can be made by reference to the review of Mauchline & Fisher (1969).

TABLE I

Fecundity of 21 species of euphausiids from the tropical Pacific Ocean: number of ripe eggs in the full grown (stage IV) ovary. At least 10 specimens have been examined for each species, except for *S. elongatum* (6), *S. longicorne* (4), *S. microphthalmalma* (4) and *N. atlantica* (4)

Species	Number of ripe eggs in the full grown (stage IV) ovary	
	Mean value ("fecundity")	Extremes
(a) <i>Thysanopoda cristata</i> G. O. Sars	40	20—76
(a) — <i>tricuspidata</i> H. Milne Edwards	40	20—82
(a) — <i>orientalis</i> Hansen	54	38—74
(a) — <i>monacantha</i> Ortmann	54	32—72
(a) — <i>pectinata</i> Ortmann	54	30—82
(a) — <i>aequalis</i> Hansen	24	16—31
<i>Stylocheiron carinatum</i> G. O. Sars	10	5—14
— <i>abbreviatum</i> G. O. Sars	29	13—52
— <i>elongatum</i> G. O. Sars	3.5	2—5
— <i>longicorne</i> G. O. Sars	11	6—16
— <i>affine</i> Hansen	9	4—12
— <i>submii</i> G. O. Sars	12	8—15
— <i>microphthalmalma</i> Hansen	11	10—13
(a) (b) <i>Euphausia diomedea</i> Ortmann	80	—
(b) — <i>fallax</i> Hansen	80	—
(b) — <i>gibba</i> G. O. Sars	60	—
(a) <i>Nematoscelis tenella</i> G. O. Sars	65	50—80
— <i>atlantica</i> Hansen	102	62—143
(a) <i>Nematobranchion flexipes</i> (Ortmann) Calman	19	12—39
(a) — <i>boopis</i> Calman	9	4—12
(a) <i>Bentheuphausia amblyops</i> G. O. Sars	3.5	1—7

(a) After Roger, 1973.

(b) No typical stage IV ovaries have been observed for these species. The numbers of ripe eggs have been estimated from stage III ovaries.

REFERENCES

- MAUCHLINE, J., 1968. Development of the eggs in the ovaries of Euphausiids, and estimation of fecundity. *Crustaceana*, **14**: 155-163.
- MAUCHLINE, J. & L. R. FISHER, 1969. The biology of euphausiids. *Advances mar. Biol.*, **7**: 1-454.

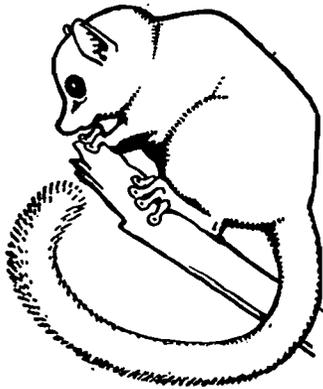
- ROGER, C., 1973. Biological investigations on some important species of Euphausiacea (Crustacea) from the Equatorial and South Tropical Pacific. In: R. FRASER (ed.), *Oceanography of the South Pacific 1972*: 449-456. (New Zealand National Commission for UNESCO, Wellington).
- , 1974. Les Euphausiacés du Pacifique équatorial et sud-tropical: zoogéographie, écologie, biologie et situation trophique. *Mém. ORSTOM*, **71**: 1-265.

Reçu le 9 janvier 1974.

EXTRAIT DE

MAMMALIA

Revue trimestrielle
publiée avec le concours
du
Centre National de la Recherche Scientifique



55, rue de Buffon
PARIS-V^e

ÉCHOUAGES D'OTARIES A FOURRURE DANS LE SUD DE LA NOUVELLE-CALÉDONIE

par

P. RANCUREL

De jeunes Otaries à fourrure (*Arctocephalus* sp.) ont été recueillies dans le sud de la Nouvelle-Calédonie et sur l'île des Pins aux mois de juillet 1972 et septembre 1973. Les animaux sont signalés pour la première fois dans cette région et il est supposé que les conditions météorologiques et hydrologiques en mer de Tasman, durant l'hiver austral, ont entraîné vers le nord des jeunes de populations probablement sud-australienne.

Le 8 août 1972, la gendarmerie de Yaté, dans le sud de la Nouvelle-Calédonie, m'informait qu'un « phoque » vivant s'était échoué sur la plage de la tribu de Touaourou. N'ayant aucune possibilité de conserver en vie un tel animal, je retransmis la nouvelle au Dr Catala, fondateur de l'Aquarium de Nouméa, qui put faire intervenir un hélicoptère privé. Nous reçûmes ainsi une petite Otarie à fourrure de 80 cm de longueur, paraissant dans un état d'épuisement avancé. L'animal était très calme, docile, non agressif, se laissant transporter dans les bras. Le corps était très amaigri et couvert de cicatrices probablement dues à une érosion sur le corail. Il aurait été recueilli par des indigènes de Touaourou et attaché pendant quelques jours dans la tribu, son arrivée sur le récif se situant donc au cours des derniers jours du mois de juillet. L'animal, soigné et élevé à l'Aquarium de Nouméa, y vécut jusqu'au mois d'avril 1973, où il mourut brusquement (1).

Le 10 août 1972, nous étions avisés que le corps d'une autre Otarie avait été rejeté par la mer sur la plage de Gadgi, dans le nord de l'île des Pins. La carcasse, enterrée, ne put être récupérée qu'au cours du mois de janvier 1973. Il s'agissait encore d'un très jeune animal, d'une longueur inférieure à 50 cm et présentant les caractéristiques de fourrure et de dentition de l'animal précédent.

La relation de ces échouages par la presse et la radiodiffusion locales nous apportèrent divers témoignages de personnes affirmant

(1) L'animal, mort le 5 avril 1973, a été expédié congelé au Muséum d'Amsterdam.

avoir vu de semblables animaux en divers points du lagon autour de Nouméa, durant les mois de l'hiver dernier ².

Le 28 septembre 1973, la gendarmerie de l'île des Pins faisait savoir qu'un nouvel animal avait été tué par un pêcheur en baie de Gu, dans le sud de l'île. Le cadavre était très abîmé mais parfaitement reconnaissable. Il s'agissait bien d'une nouvelle Otarie à fourrure de 1 m de longueur, dont les os du crâne, non encore soudés, attestaient la jeunesse.

Il semble donc que les arrivées d'Otaries soient des phénomènes réguliers et non des accidents fortuits. Nous avons envisagé, lors du premier échouage, la possibilité d'une introduction accidentelle, par un navire fréquentant les eaux de Nouvelle-Zélande, d'un animal conservé à bord comme mascotte et échappé dans nos eaux ; mais le renouvellement des échouages permet d'écarter cette hypothèse.

L'étude des restes osseux des animaux de l'île des Pins montrèrent qu'ils appartiennent au genre *Arctocephalus* E. Geoffroy St. Hilaire et P. Cuvier, 1726 (voir Schaeffer, 1958, pour une clef de détermination). L'animal conservé quelque temps vivant à l'Aquarium de Nouméa montrait un pelage à deux couches distinctes (bourre sous-jacente et poils superficiels), et un museau pointu caractéristiques du genre susmentionné. Les crânes de l'île des Pins appartenaient à de très jeunes animaux immatures, d'une longueur inférieure à 100 cm, et étaient loin d'être complets.

D'après la dernière étude sur ce sujet (King, 1969) deux espèces d'*Arctocephalus* vivent au sud de la Nouvelle-Calédonie : *Arctocephalus forsteri* (Lesson, 1828) et *A. doriferus* Wood-Jones, 1925 (voir carte, en partie d'après King, 1964). Sur les différences entre les deux espèces, King écrit : "It has not been possible to find any osteological characters of the skull which might infallibly distinguish *A. forsteri* from *A. doriferus* at any stage of maturity and in the skull of either sex. A few characters occur very often, even if not variably, and when these are considered, together with the skull size and the characteristics of maturity, in virtually all instances it is possible to distinguish skulls of *A. forsteri* from those of *A. doriferus*, except of course the very immature ones." L'auteur illustre son article avec un certain nombre de diagrammes montrant les différences de taille entre les espèces, et quelques schémas figurant les différences entre l'extrémité postérieure du palais et l'extrémité postérieure de la mandibule dans les deux espèces.

(2) Des collègues, au cours d'une mission sur l'île Océan (environ 0° 50' S, 169° 30' 30" E) m'ont signalé avoir entendu parler, par les indigènes, de l'échouage d'un « phoque ». Si la chose est exacte, il s'agirait vraisemblablement d'un animal en provenance des régions hawaïennes plutôt qu'australes.

Nos crânes étant ceux de très jeunes spécimens immatures, l'identification est très difficile sinon impossible. Ceci est démontré par le fait que la forme de la partie postérieure du palais est celle de *forsteri* tandis que le contour de la partie postérieure de la mandibule est celui de *doriferus*.

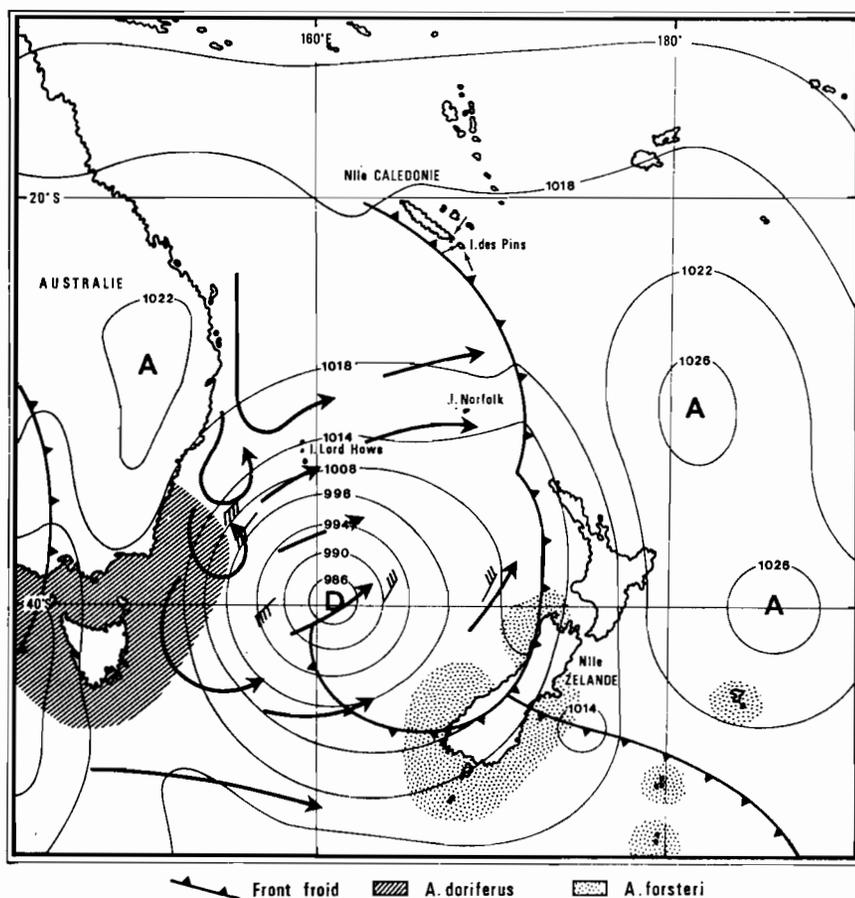


Fig. 1. — Aires de répartition d'*Arctocephalus doriferus* et *A. forsteri* recouvertes par la dépression du 9 juillet 1972 qui induisit des vents de sud-ouest de 50 nœuds. Les petites flèches au sud de la Nouvelle-Calédonie indiquent les lieux d'échouage des Otaries, d'après King 1964 et Stanton 1973.

Quoique rien de plus précis ne puisse être dit sur l'identité spécifique de ces Pinnipèdes, je pense qu'il est important de signaler leur présence dans le sud de la Nouvelle-Calédonie : d'abord, à cause de la distance

entre les limites septentrionales de l'aire de distribution des deux espèces mentionnées et Nouméa, séparées d'environ 2 400 km, distance énorme compte tenu de l'absence d'îles autres que Norfolk, Lord Howe et ses récifs voisins ; ensuite, à cause de la régularité apparente dans le temps de ces échouages, qui se sont tous trois produits en plein hiver austral deux années consécutives.

De toutes façons, ces échouages ou passages d'Oraries doivent être très furtifs et ne concerner qu'un petit nombre d'individus, ces animaux étant, sur nos côtes, à peu près inconnus des pêcheurs indigènes. Il en est de même sur les îles Lord Howe et Norfolk (où une enquête a été menée, grâce à l'obligeance de M. Casson, consul d'Australie à Nouméa) où leur présence semble n'avoir jamais été constatée. Il ne peut donc s'agir que d'animaux isolés ou de toutes petites bandes vraisemblablement entraînées loin de leurs aires normales de distribution par les mauvaises conditions météorologiques et hydrologiques de l'hiver austral.

Si l'on considère ces conditions durant les mois qui ont précédé les échouages, on peut tenter d'émettre une hypothèse quant à la zone d'origine de ces animaux en fonction des courants marins et aériens en mer de Tasman à cette époque.

Les courants marins de la mer de Tasman et du sud de la mer du Corail ont été peu étudiés et ne sont pas connus avec certitude.

D'après les récents travaux de Wyrski (1960), Rotschi et Lemasson (1967), Hamon (1970) et Stanton (1973) le courant est-australien semble composé de tourbillons anticycloniques de grand diamètre qui descendent le long de la côte australienne jusqu'au voisinage de la Tasmanie. Ces tourbillons induisent en fait un courant vers le sud le long de la côte australienne et un contre-courant vers le nord qui peut s'étendre jusqu'à 300 milles nautiques au large de l'Australie. La vitesse des courants primaires des tourbillons peut être élevée et atteindre jusqu'à quatre nœuds (Stanton, 1973). Cet état concerne donc une bande océanique s'étendant vers l'est jusqu'au niveau de l'île Lord Howe et de ses récifs. La situation dans la partie orientale de la mer de Tasman est moins connue mais il semble qu'un courant relativement faible, de direction S.-E. soit créé par les dérives du courant est-australien et du courant de Tasman. Ce léger flux conduirait jusqu'au niveau de l'île Norfolk. Au-delà de cette île les auteurs ne semblent pas être complètement d'accord. Il existerait un courant vers l'est issu de la mer du Corail au niveau du 34^e degré de latitude et ce courant se heurterait très au sud de la Nouvelle-Calédonie avec, d'une part, les dérives des alizés de S.-E. et avec une branche du contre courant tropical sud de direction N.E.-S.W. Il semblerait aussi que l'orientation et la stabilité de ces courants soient les plus favorables en hiver pour un transport du sud vers les basses latitudes.

La vérification des conditions météorologiques ayant régné sur ces régions en juillet 1972 et août 1973, fait ressortir une forte proportion de vents de S.W.

Du début du mois jusqu'au 11 juillet 1972, nous trouvons une succession de dépressions entre le sud de l'Australie et la Nouvelle-Zélande, induisant un vent de S.W. Ce vent de 20 à 30 nœuds, passe le 10 juillet à 50 nœuds, levant une houle de 6 à 8 mètres de creux et provoquant une véritable tempête. Du 14 au 17, le vent de S.W. reprend avec des forces constantes de 20 à 30 nœuds. Après le 17, l'alizé de S.E. au nord du 30° degré de latitude sud se rétablit progressivement.

Au cours du mois d'août 1973, précédant le second échouage, une série de dépressions occupa également la mer de Tasman. Dès le 5 août, une forte dépression induisant des vents de S.W. de 25 à 35 nœuds se trouvait jusqu'au 8 août, entre l'Australie et la Nouvelle-Zélande ; le 12, une nouvelle dépression se creusait dans le sud, donnant à nouveau de forts vents de S.W. ; nouvelle dépression le 17, puis le 19, à nouveau le 21, toujours avec des vents de S.W. de 25 à 35 nœuds, formant une houle de 6 m de creux. Une dernière dépression succéda, le 28, à un important ancyclone le 22 août.

Il y a donc un parallélisme frappant entre ces deux relevés et la série de dépressions dont l'emplacement sur la mer de Tasman et le sud de la mer du Corail provoquait un fort vent soufflant du S.W., dans une direction similaire à celle des courants marins dans cette région.

La direction des courants de surface tant de circulation générale qu'induits par les vents, régnant à cette époque de l'année, permet d'avancer l'hypothèse d'une origine australienne plutôt que néo-zélandaise. En effet, entre les aires de peuplement d'*Arctocephalus forsteri* et la Nouvelle-Calédonie, s'étendent pendant toute la période considérée, des conditions très défavorables à une dérive vers le nord, les vents induits par les dépressions cycloniques étant orientées du nord ou du nord-est.

La route exacte suivie par les animaux, qu'il faut considérer comme des égarés, n'est bien sûr pas connue et la question de la nourriture durant la quinzaine de jours nécessaires à l'accomplissement de ce voyage reste entière, bien que quelques hauts-fonds jalonnent le parcours tant sur la voie de Lord Howe que par celle de Norfolk.

Il est souhaitable que de nouvelles arrivées d'animaux plus âgés viennent apporter quelques lumières à ce problème.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier particulièrement pour leur aide M. Casson, consul d'Australie à Nouméa, M. le Dr. van Bree, du Museum d'Amsterdam, M. le colonel Chevrier, commandant les brigades de Gendarmerie dans le Pacifique occidental, ainsi que les services de la Météorologie de Nouméa, sans qui cette note n'aurait pu être rédigée.

SUMMARY

Some juvenile Fur Seals (*Arctocephalus* sp.) have been collected in the south of New Caledonia and on Ile des Pins, during July 1972 and September 1973. They represent the first record of Fur Seals in this area and it is intended that meteorological and hydrological conditions in the Tasman Sea during austral winter have wraggled to the north young Fur Seals from probably south-australian populations.

BIBLIOGRAPHIE

- CRAWLEY, M. C., 1972. — Distribution and abundance of New Zealand Fur Seals on the Snares Islands, New Zealand. *N.Z.J. Mar. Freshw. Res.*, 6 (1-2) : 115.
- CRAWLEY, M. C. et D. L. BROWN, 1971. — Measurements of tagged pups and a population estimate of New Zealand Fur Seals on Taumaka, open Bay Islands, *N.Z.J. Mar. Freshw. Res.*, 5 (3-4) : 389.
- HAMON, B. V., 1970. — Western boundary currents in the South Pacific : 50-59, in : *Scient. Explor. South Pacific W.S. Woostered - Washington*.
- KING, J. E., 1964. — *Seals of the world*. Brit. Mus. (N.H.), London, 154 p.
- KING, J. E., 1969. — The identity of the Fur Seals of Australia. *Aust. J. Zool.*, 17 : 841-853.
- RIDGWAY, S. H., 1972. — *Mammals of the Sea* (Charles C. THOMAS ed.) : 150-156.
- ROTSCHI, H., 1963. — Sur les flux d'eau en mer de Corail entre la Nouvelle-Calédonie et Norfolk. *C.R. Acad. Sci., Paris*, 256 : 2461-2464.
- ROTSCHI, H. et L. LEMASSON, 1967. — Oceanography of the Coral and Tasman Seas. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 5 : 49-97.
- SCHEFFER, V. B., 1958. — *Seals, sea lions and walruses*. Stanford Univ. Press/Oxford Univ. Press, 179 p.
- SIVERTSEN, R., 1954. — A survey of the eared seals (family Otariidae) with remarks on the Antarctic Seals collected by M/K "Norvegica" in 1928-1929. *Det. Norske Videnskaps-Akademi i Oslo, Sci. Results Norweg. Antarct. Exped. 1928-1929, et seq. Lors Christensen*, n° 36.
- SORENSEN, J. R., 1969. — New Zealand Seals with special reference to the Fur Seal. *Fish. Tech. Rep. n° 39, N.Z. Mar. Dept. Wellington* : 1-30.
- STANTON, B. R., 1973. — Circulation along the eastern boundary of the Tasman Sea. *Oceano. South Pacific, 1972, N.Z. Nat. Comm. UNESCO*, Wellington : 14-147.
- WYRTKI, K., 1960. — The surface circulation in the Coral and Tasman Seas. *Tech. Pap. Div. Fish. Oceanogr. CSIRO Aust.*, n° 8, 44 p.
- Documentation archives météorologiques Aviation Civile Nouméa.

Perpectives thonières dans le Pacifique Sud

par

J.-C. LE GUEN, J.-R. DONGUY et C. HENIN

Océanographes de l'ORSTOM, Nouméa, Nouvelle-Calédonie.

•
•
•
•

•
•
•
•

•
•
•
•

Traditionnellement, le Pacifique Sud était exploité par les palangriers asiatiques, particulièrement par les Japonais. Ces palangriers étaient essentiellement des navires de 200 à 500 t. En 1963, le rendement de ces navires s'élevait à 1,8 t de thons par jour de mer. En 1973, ce rendement tombait à 0,8 t, soit un taux de déclin supérieur à 50 % en dix ans. En 1963, la durée moyenne d'une campagne était de 106 jours ; en 1973, il fallait 259 jours pour faire le plein.

Les Japonais attribuent le déclin des prises à une augmentation considérable de l'effort de pêche. En 1963, la Corée n'avait que 11 palangriers. Opérant à partir des Samoa américaines, ils capturèrent cette année-là 3 102 t de thons en 50 sorties. En 1963, Taïwan, avec 54 palangriers, pêchait 9 607 t de thons. En 1973, la Corée disposait de 568 palangriers et Taïwan approchait les 700 navires.

On peut grossièrement estimer que la flottille de palangriers a plus que doublé dans le Pacifique Sud de 1963 à 1973.

Avec le déclin des captures, la flottille palangrière japonaise s'est retirée de la compétition et, aujourd'hui, Coréens et Taïwanais utilisent pratiquement seuls la pêche à la palangre dans le Pacifique Sud pour la capture des thons à nageoires jaunes (*Thunnus albacares*) et des germons. On peut considérer que la pêche palangrière est dans une phase de déclin, au moins en ce qui concerne les thons.

Au congrès scientifique mondial sur la biologie des thons et espèces associées réuni à La Jolla (Californie) en juillet 1962, Chapman (1963) disait : « Aux Etats-Unis, le marché de la conserve de thons a doublé tous les dix ans pendant les cinquante dernières années et il se développe aujourd'hui encore au même rythme ». La production mondiale de thons atteignait en gros 400 000 t en 1950 et approchait 800 000 t en 1960. Chapman estimait qu'en 1970 le marché mondial serait preneur de 1 500 000 t de thons. Si l'on en croit les statistiques de la F.A.O. (F.A.O., 1972), la production de thons et poissons associés a atteint 1 427 000 t en 1970 ». (Uchida, 1975). Les marchés mondiaux principaux ont augmenté selon le schéma de Chapman jusqu'en 1974 (figure 1). Bien qu'il y ait eu récession importante dans le marché mondial en 1974-1975, il est également admis que ce phénomène sera de courte durée. « La récession est liée à une certaine psychose créée chez les consommateurs par le problème des taux de mercure et, aux Etats-Unis, à une réaction émotionnelle devant le massacre des dauphins lors de la capture des thons par les senneurs. L'inflation mondiale a évidemment joué un rôle très important dans la récession ». (Kearney, 1976).

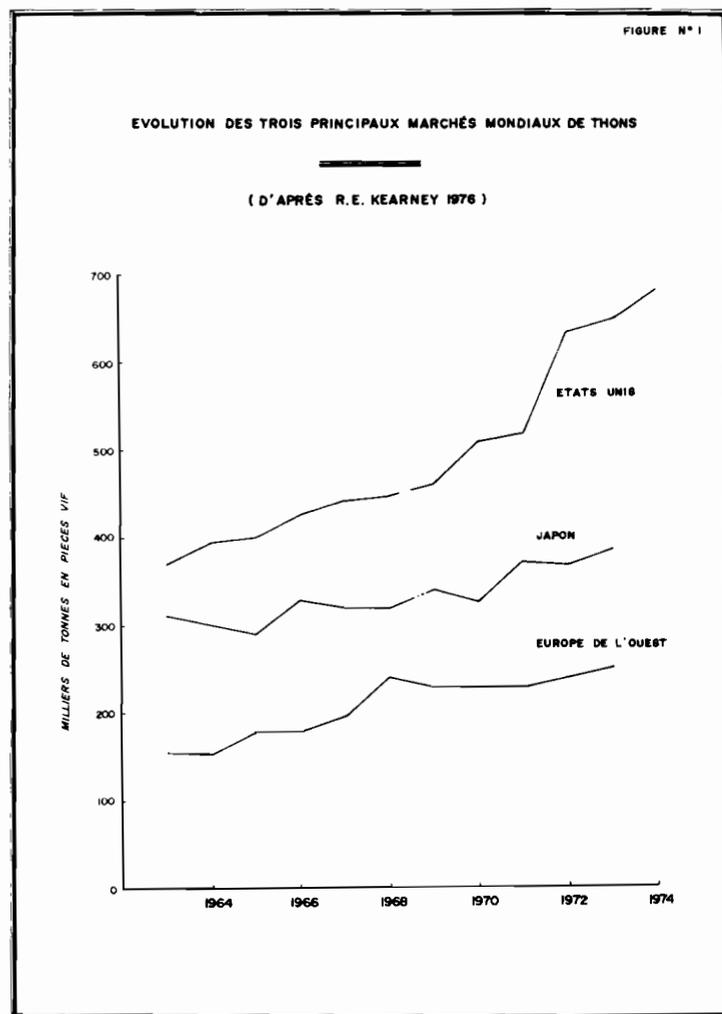
Depuis 1970, à la suite de l'importance prise aux Etats-Unis par le problème du taux de mercure dans les thons, les Japonais se sont particulièrement intéressés à la pêche de la bonite à ventre rayé (*skipjack*) dans le Pacifique Sud. La « bonite » du Pacifique est devenue une denrée très appréciée des conserveries à cause de son faible taux de mercure et la demande de ce poisson a très nettement augmenté.

Même en l'absence du problème du mercure, il aurait fallu de toute façon développer un jour cette pêche. Il est généralement admis, en effet, que la production mondiale de thons, « skipjack » non compris, était à son plafond dans les années 1970-1974 et que certains stocks étaient déjà largement surexploités. Tous les scientifiques sont d'accord sur le fait que le « skipjack » est le seul thon encore sous-exploité sur une base mondiale et qu'il est le seul susceptible de répondre pendant

quelques années encore à une demande croissante du marché. (Kearney, 1976). Encore faut-il penser dès aujourd'hui à en réglementer l'exploitation sur des bases rationnelles, si l'on veut une production durable.

En 1970, le développement de la zone de pêche japonaise vers le Sud était largement conditionné par les possibilités de ravitaillement en appâts. L'extension des eaux territoriales de nombreux pays risquait d'interdire aux Japonais l'accès des zones de pêche à l'appât et même à la « bonite ». D'autre part, le Japon essayait de remédier à la pénurie de main-d'œuvre en recrutant des équipages à l'étranger. Tout ceci explique les investissements japonais outre-mer.

Trois sociétés locales mixtes ont été constituées en Papouasie-Nouvelle-Guinée. Les Japonais se sont aussi implantés en Indonésie et aux îles Salomon. Des contacts ont été pris en Nouvelle-Calédonie. Par ailleurs, la F.A.O. effectue des travaux aux Samoa et à Fidji. Une société américaine s'implante en Nouvelle-Zélande avec des senneurs transocéaniques après avoir pris quelques contacts à Tahiti et en Nouvelle-Calédonie. La France s'est très



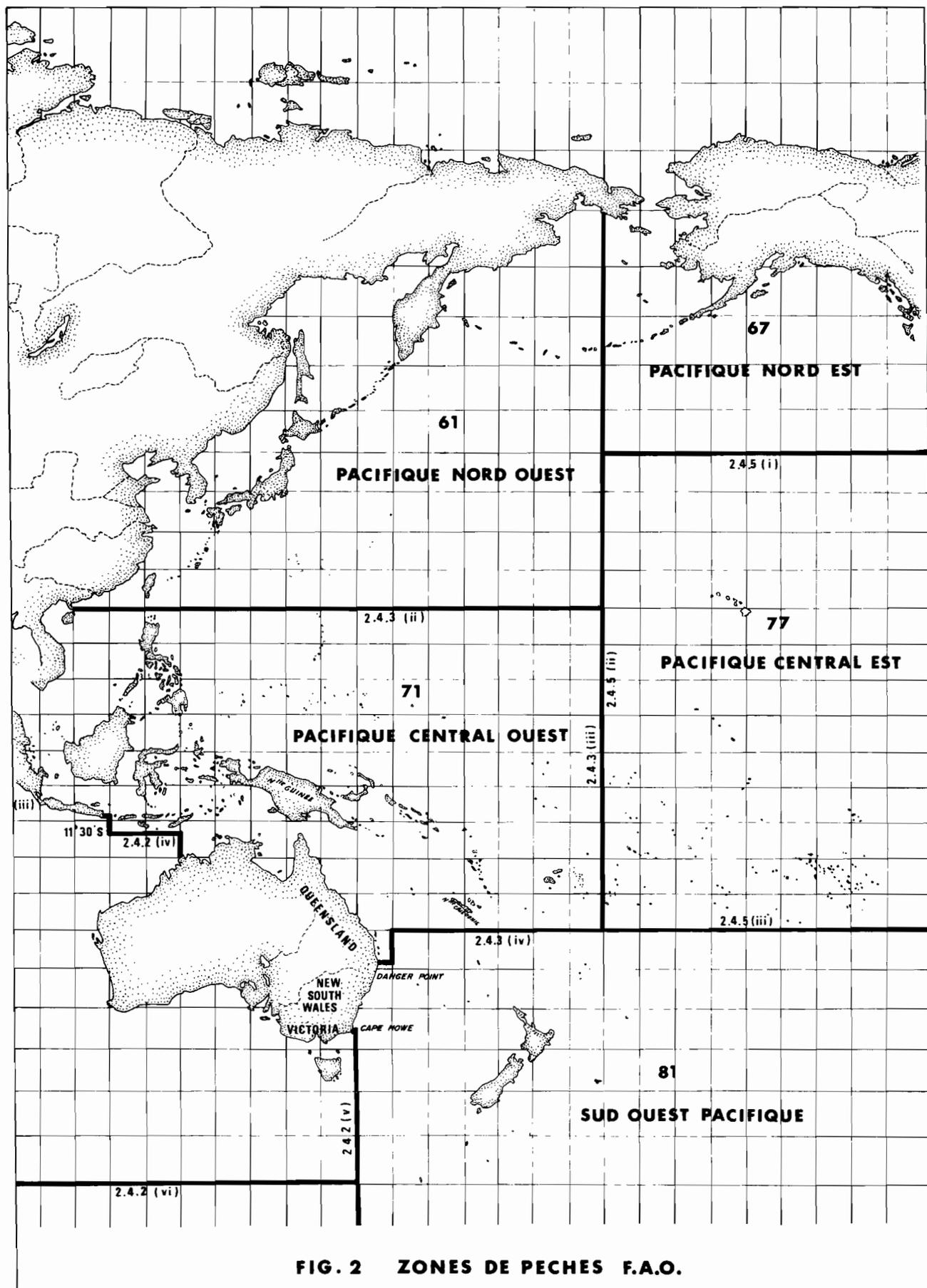


FIG. 2 ZONES DE PECHEES F.A.O.

peu intéressée jusqu'à ce jour à la « bonite » dans le Pacifique. Toutefois, le CNEEXO a entrepris une étude à l'aide d'un petit canneur, le « Taïnuï », basé à Tahiti.

Les tableaux suivants, communiqués par R.E. Kearney, de la Commission du Pacifique Sud, donnent une idée de l'importance du développement de la pêche dans le Pacifique Sud-Ouest de 1970 à 1974 pour les zones F.A.O. 61, 71 et 81 (figure 2).

Tableau 1. — Prises totales des thons dans les zones statistiques de la F.A.O. 61, 71 et 81 (en tonnes)

Zones F.A.O.	1970	1971	1972	1973	1974
61	334 600	296 400	353 100	426 900	326 705
71	154 300	197 100	199 100	273 900	345 357
81	59 200	70 400	82 100	81 700	141 453
Total (61-71-81).	548 100	563 900	634 300	782 500	813 515
Total mondial ..	1 499 600	1 620 300	1 753 600	1 851 100	1 875 334

Tableau 2. — Prises de skipjack dans les zones F.A.O. 61, 71 et 81 (en tonnes)

Zones F.A.O.	1970	1971	1972	1973	1974
61	166 200	119 800	157 100	202 600	128 829
71	57 900	102 400	100 300	174 600	215 903
81	—	200	500	1 700	51 957
Total (61-71-81).	224 100	222 400	257 900	378 900	396 689
Total mondial ..	371 200	408 200	403 900	519 000	587 651

Pêche des canneurs japonais

De 1974 à la mi 76, on peut se faire une idée du développement de la pêche de skipjack par les canneurs japonais grâce aux « Atlas » sur cette pêche publiés annuellement au Japon. Nous allons ici présenter un résumé de l'activité japonaise à partir des atlas de 1975 et 1976 (Tanaka, 1975, 1976).

Pêche du skipjack dans les eaux intertropicales Sud

Juillet 1974

- 3° à 6° N - 143° à 158° E.
- 1° N - 168° à 173° E.
- Prises journalières variant de 3 à 20 t/jour (moyenne : 7 t/j).

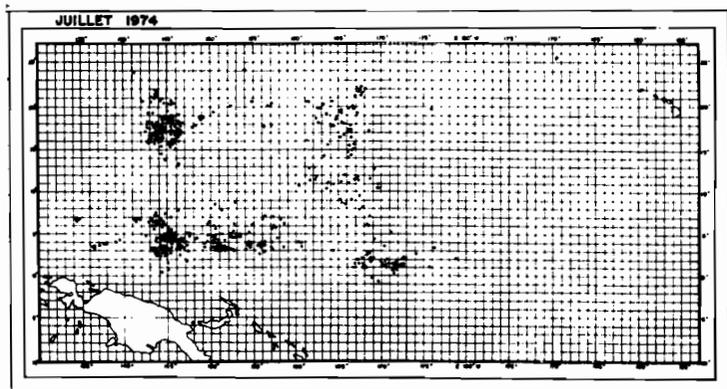
Août 1974

2° à 6° N - 145° à 155° E.

Certains navires ont réussi des captures de 30 t/j. Poids moyen du skipjack : 3 à 4 kg. Environ 60 canneurs ont pêché dans cette zone.

Septembre 1974

130 à 140 canneurs opèrent dans la zone équatoriale par 145° de longitude Est, avec une moyenne de 4 t/j. Le poids moyen des poissons est de 3 à 4 kg pour 80 % de la pêche et de 1,5 à 2 kg pour 20 %. Les eaux très chaudes (29,5° - 30,7°C) ont posé des problèmes pour la survie de l'appât.



Octobre 1974

La zone de pêche s'étend, en gros, des îles Caroline au Nord des îles Salomon. De très nombreuses mattes de skipjack étaient signalées par l'ensemble de la flottille. Mais les eaux plus chaudes que de coutume (29,5° à 31°C) ont posé des problèmes de survie de l'appât. Il y avait environ 120 canneurs dans cette région. Les rendements moyens par navire et par jour de mer ont varié de 3 à 6 t. Une quinzaine de canneurs pêchant dans le secteur Gilbert-Marshall ont obtenu des rendements moyens de 7 à 10 t/j.

Quelques navires qui ont dépassé vers l'Est la ligne de changement de date ont obtenu des rendements de 18 à 32 t/j.

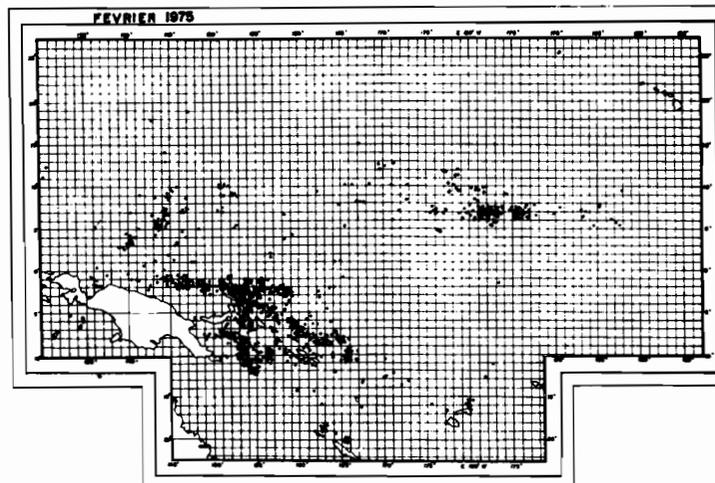
Novembre 1974

Dans le secteur 2° S à 5° N, 141° à 146° E, de bonnes captures ont été faites, avec des prises par jour allant jusqu'à 30 t. Il y avait environ 35 à 40 navires dans cette zone.

Près des îles Gilbert et par 4° N et 168-169° E, d'excellentes pêches ont également été faites par une cinquantaine de navires.

Quelques navires sont allés jusqu'à 163° Ouest par 5 à 6° de latitude Nord. Des rendements de 50 t/j ont été signalés dans ces parages.

Fin novembre, par 3° N et 161° E, le « Inasa Maru n° 3 » et trois autres navires pêchaient à la lumière en pleine mer leur appât sur des bancs importants de *Tetragonurus atlanticus*. C'est la première fois que des quantités importantes d'appâts étaient capturées en haute mer.



Décembre 1974

L'activité des canneurs s'est répartie dans cinq zones de pêche distinctes.

1) 9° à 17° N - 130° à 135° E.

Trente navires ont obtenu un rendement moyen de 8 t/j dans cette zone sur du skipjack de 5 à 6 kg.

2) 2° S à 5° N - 139° à 145° E.

Les rendements moyens obtenus dans cette zone ont été de 4 à 5 t/j sur du poisson de 3 à 5 kg.

3) 3° à 6° N - 164° à 170° E.

Une quarantaine de navires ont pêché avec un rendement moyen de 4 à 5 t/j.

4) 5° à 8° N - 172° à 176° E.

Malgré des rendements atteignant 20 t/j, les rendements ont été faibles à cause de vents de force 3 à 4. Six navires réussirent cependant à faire leur plein rapidement.

5) 7° à 9° S - 150° à 155° E.

Cinq à six navires ont travaillé dans ce secteur avec des rendements plus faibles que les années précédentes (4 à 5 t/j).

Janvier 1975

1) 7° à 9° S - 150° à 155° E.

Pendant la première quinzaine, les rendements étaient de 3 à 5 t/j. Pendant la deuxième quinzaine, ils atteignaient 10 à 20 t/j. Une quarantaine de navires ont prospecté cette zone. Les poids des skipjacks étaient les suivants : plus de 4,5 kg : 5,5 % ; de 2,5 à 4,5 kg : 55,5 % ; de 1,5 à 2,5 kg : 39 %.

2) Latitude 2° S - 152° à 160° E.

Une quarantaine de navires ont pêché dans cette zone avec des rendements de 6 t/j en moyenne sur du skipjack de 3 à 3,5 kg.

3) 8° S - 161° à 163° E.

Une quinzaine de navires ont sillonné cette région avec des rendements moyens de 7-8 t/j sur du poisson de 3 à 3,5 kg.

4) 6° N - 175° à 177° Ouest.

Des rendements de 40 t/j ont été obtenus et trois navires ont fait leur plein. Une quinzaine de navires ont pêché dans ce secteur. Les catégories de poids se répartissent de la façon suivante : plus de 6 kg : 17 % ; 4,5 à 6 kg : 62 % ; 2,5 à 4,5 kg : 20 % ; 1,5 à 2,5 kg : 2 %.

Février 1975

Une vingtaine de navires ont pêché de 180° à 173° Ouest par 6° à 8° de latitude Nord. Des rendements journaliers de 30 à 40 t ont été fréquents. Le rendement moyen a varié de 6 à 10 t/j.

Mars 1975

— Trente à quarante navires ont pêché dans les parages des îles Salomon avec un rendement moyen de 4 à 5 t/j.

— De 175° à 178° E, par 7° Nord, un navire a pêché 72 t en une journée. De très nombreuses unités ont eu des résultats de 15 à 20 t/j.

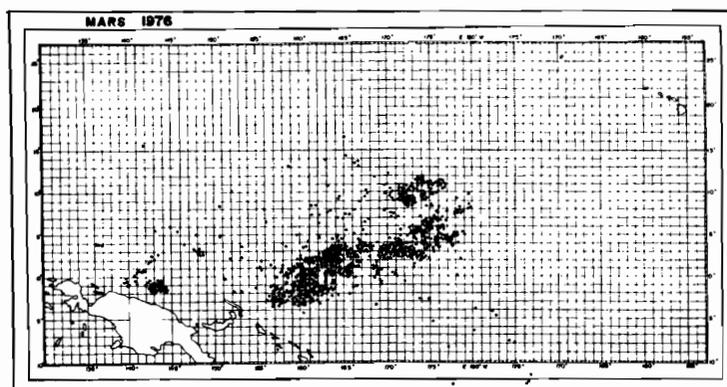
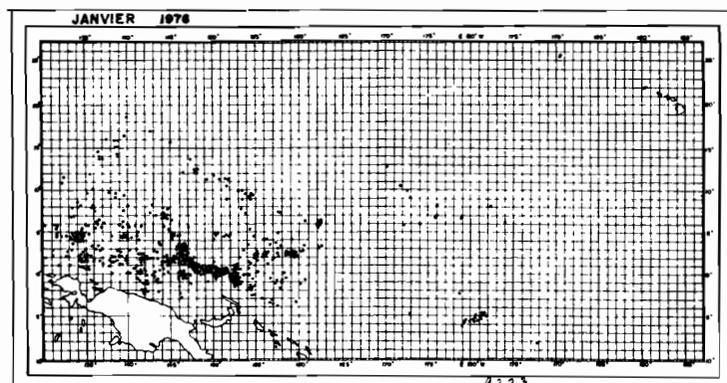
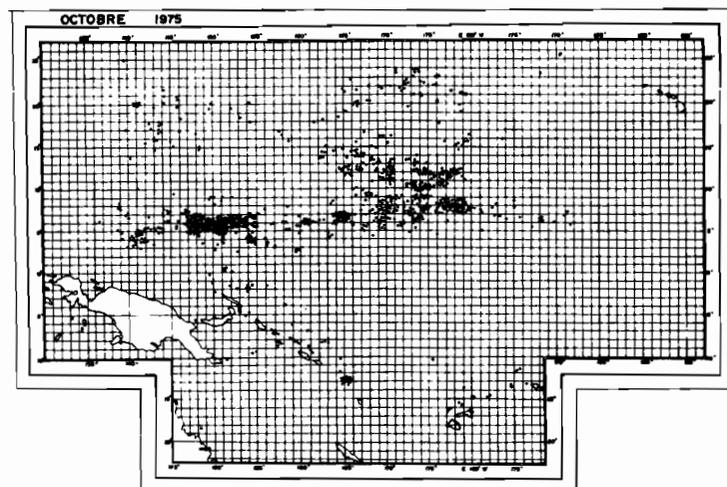
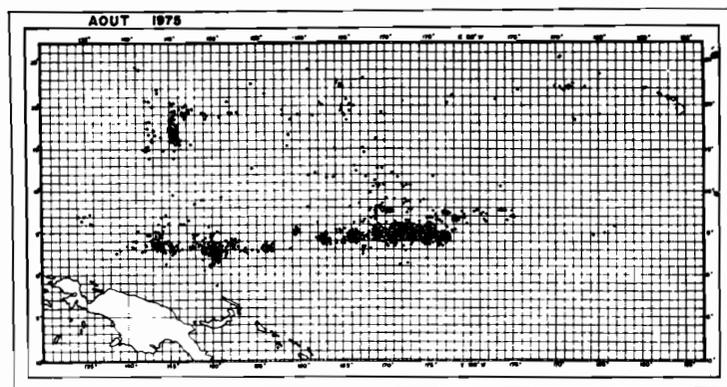
— Près des îles Marshall, la moyenne des prises d'une cinquantaine de navires a été de 8 t/j.

Avril 1975

Dans le secteur des îles Marshall, les prises moyennes ont été de 7 à 8 t/j. La plupart des navires quittaient la zone sud pour rejoindre les lieux de pêche au germon.

Mai 1975

Quatre ou cinq navires restés dans la zone sud, près des îles Salomon, ont obtenu des rendements de 3 à 4 t/j.



Positions de pêche de la flottille japonaise



Le port de Yaizu

Le tableau suivant, donnant le nombre de canneurs et le tonnage de skipjack débarqué chaque mois au port de Yaizu, au Japon, permet de se faire une idée de la pêche dans le Pacifique Sud en 1975 et 1976.

Débarquements de skipjack au port de Yaizu

1975	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Nbre de navires	15	47	69	83	87	78	100
Débarquements. (en tonnes)	1 185	3 799	7 906	7 817	5 523	6 592	8 315

1976	Janv.	Févr.	Mars	Avril
Nbre de navires	20	42	88	83
Débarquements. (en tonnes)	2 176	4 496	11 696	11 931

La pêche du skipjack à la senne dans le Pacifique Sud

Il a été trop généralement admis dans les milieux de pêche du Pacifique Sud que la pêche à la senne était très difficile, voire impossible. Cette opinion semble basée sur des essais effectués par des senneurs aujourd'hui largement dépassés. La chute des sennes employées alors était probablement beaucoup trop faible pour la profondeur de la thermocline.

Aujourd'hui, la pêche à la senne dans les eaux tropicales s'est considérablement améliorée et il y a déjà plusieurs senneurs qui opèrent en milieu tropical dans le Sud-Ouest Pacifique.

Les captures par coup de senne ont considérablement augmenté. Jusqu'en 1974, les senneurs japonais prenaient en moyenne 10 t par coup de senne. En 1975, les moyennes montaient à 16-20 t.

Le « Fukuichi Maru », senneur de 500 t de capacité pêchant pour le compte du JAMARC (Japan Marine Fishery Resource Research Center), a obtenu dans la zone de pêche des îles Caroline (10° N à 1° S - 135° à 158° E), les résultats figurant dans les tableaux suivants :

Tableau 3. — Résultats des recherches de bancs de skipjack et des pêches réussies sur ces bancs en 1975.
(Données JAMARC, d'après Otsu, 1975)

Type de bancs	Total de bancs repérés A	Skipjack					D/B %
		Pré-sent B	B/A %	Absent C	C/A %	Nbre de coups réussis D	
Solitaires	0	0	0	0	0	0	0
Avec oiseaux ..	197	102	52	95	48	10	10
Avec épaves flottantes	177	80	45	97	55	45	56
Avec requins et baleines	5	1	20	4	80	0	0
Total	386	183	47	206	53	55	30

Tableau 4. — Nombre de jours de prospection et tonnages réalisés dans le Sud (« Fukuichi-Maru », 1975)

	Campagne I	Campagne II	Campagne III	Total
Nbre de jours au total	38	35	65	138
Nbre de jours sur lieux de pêche.	23	24	50	97
Nbre de jours avec pêche effective ..	13	15	23	51
Nbre de coups de senne	13	17	25	55
Prise totale en tonnes	254,2	287,5	417,5	959,2*
Prise par coup de senne (t)	19,6	16,9	16,7	17,4

(*) 658 t de skipjack et 293 t de yellowfin.

Une dizaine de senneurs japonais opèrent aujourd'hui régulièrement dans le Pacifique Sud. A titre d'exemple, en novembre 1975, deux senneurs ont capturé 406,3 t de skipjack, 114,8 t de gros yellowfins, 64,9 t de petits yellowfins et patudos.

En janvier 1976, par 0° - 1° N et 141° - 147° E, de bons coups de sennes sont signalés sur des épaves flottantes. Des rendements de 15 à 20 t/j par les senneurs se font également le long du courant équatorial en décembre 1975 et janvier 1976. En février 1976, par 1° S - 2° N et 140° - 144° E, des senneurs ont fait de bonnes pêches sur des épaves flottantes. A l'Ouest de 145° Est, sept ou huit grands senneurs ont obtenu d'excellents résultats sur des skipjacks de 1,5 à 3 kg. En février 1976, quatre senneurs ont capturé dans le secteur sud 751 t de skipjack, 281 t de yellowfin et 48 t de petit patudo. En mars, deux senneurs ont capturé dans la zone équatoriale 455 t de skipjack, 140 t de petit yellowfin et 31 t de petit patudo. En avril 1976, six senneurs ont capturé 937 t de skipjack, 199 t de yellowfin et 61 t de petit patudo.

Perspectives de développement de la pêche de thons dans le Sud Pacifique

L'extension vers le Sud et l'Est de la pêche japonaise de skipjack se limite en gros à 10° Sud et à 175° Ouest. L'analyse des statistiques de pêche met en évidence l'importance des perturbations hydrologiques liées aux îles et d'autre part de l'ensemble des systèmes de courants et contre-courants équatoriaux et tropicaux.

Une zone très active de pêche est centrée sur la convergence située entre le courant équatorial et le contre-courant équatorial nord (Magnier et al. 1973).

En août, cette convergence se situe généralement de 3 à 5° Nord. Il y a concordance entre la zone de pêche des Japonais en août 1975 (voir cartes en annexe) et la situation de la convergence en août 1973 lors de la croisière « Minepo » effectuée par les chercheurs de l'ORSTOM sur le « Coriolis », navire océanographique du CNEOX (figure 3).

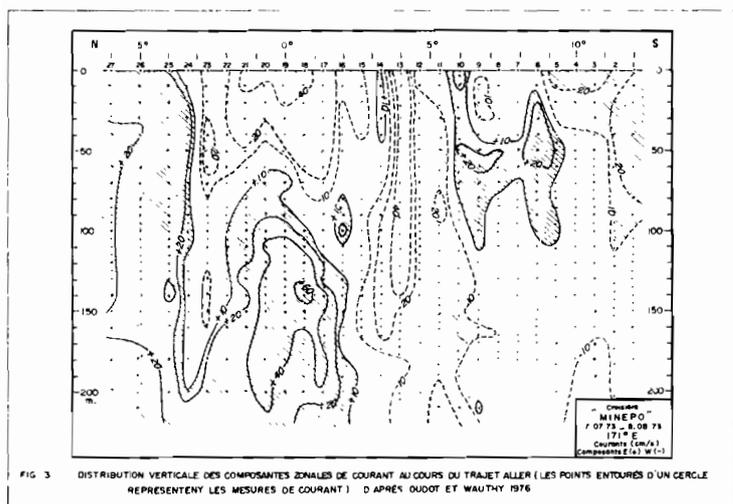


FIG. 3. DISTRIBUTION VERTICALE DES COMPOSANTES ZONALES DE COURANT AU COURS DU TRAJET ALLER (LES POINTS ENTOURÉS D'UN CERCLE REPRESENTENT LES MESURES DE COURANT) D'APRÈS OUDOT ET WAUTHY 1976.

A. Sillage des îles

Le développement de la pêche de skipjack dans le Pacifique Sud pourrait se faire dans les « sillages » des îles selon l'expression de plus en plus à la mode pour traduire les perturbations océanographiques associées à celles-ci.

Les premiers résultats obtenus par les Japonais à Tahiti et en Nouvelle-Calédonie sont à cet égard encourageants. A Tahiti, du 15 février à la fin mars 1975, des pêches allant jusqu'à 35 t/j ont été réalisées. Le skipjack était généralement de petite taille (1,5 à 3 kg). Les mattes étaient fortement concentrées à l'intérieur de grands bancs. A la même époque, par 10° Sud et 148-149° Ouest, des prises de 10 à 15 t/j ont été faites sur du skipjack de 10 à 15 kg en moyenne. Cette zone semble particulièrement intéressante pour l'avenir (Tanaka, 1975).

En Nouvelle-Calédonie, entre les îles Bélep et les Chesterfield, trois thoniers ont pêché en février et mars 1975 avec d'excellents rendements de 10 à 30 t/j malgré une mer assez mauvaise. De très nombreuses mattes de yellowfin ont été signalées dans ces parages avec un pourcentage de gros poissons (70 % > 6 kg).

Fin mars 1975, à proximité des îles Wallis et Futuna, un canneur a obtenu des rendements de 10 t/j.

B. Systèmes des courants et contre-courants

Les travaux du centre ORSTOM de Nouméa [Donguy (J.R.), Rotschi (H.), 1970 - Donguy (J.R.), Henin (C.), Rougerie (F.), 1976 - Jarrige (F.), 1968 - Merle (J.), Rotschi (H.), Voituriez (B.), 1969] ont permis de mettre en évidence dans le Pacifique tro-

pical sud-ouest une circulation superficielle plus complexe que celle qui est habituellement envisagée.

A la place de la cellule anticyclonique unique couvrant tout le Pacifique Sud, on distingue de l'Australie à 130° W deux cellules indépendantes. A l'ouest de 160° W, deux contre-courants apparaissent : le contre-courant équatorial sud et le contre-courant tropical sud. A l'est de 160° W, on n'en distingue plus qu'un seul indépendant des deux premiers. Les caractéristiques de ces contre-courants ont été déterminées, mais leurs variations saisonnières et leur influence sur la productivité de la région, particulièrement pour la pêche, restent à étudier.

Nous avons pu examiner la convergence tropicale sud grâce aux travaux de Donguy et Henin sur les hydroclimats à partir des données recueillies sur les navires de commerce.

Depuis novembre 1971, un navire de la Compagnie Sofrana Unilines nous apporte régulièrement chaque mois des observations de température et salinité superficielles effectuées tous les 40 milles entre la Nouvelle-Calédonie et la Nouvelle-Zélande ; ces observations sont complétées occasionnellement par celles de navires de guerre ou de navires océanographiques. A chaque traversée, on remarque un front thermique très net vers 170° E entre 25° S et 30° S. Son intensité peut atteindre 1 degré par 10 milles et son amplitude totale peut atteindre 3 degrés. Ce front peut généralement être qualifié de thermohalin car il coïncide avec un changement brutal de salinité de 0,2 à 0,5 ‰. Il semble donc que ce front sépare deux masses d'eaux différentes, l'une chaude et dessalée au nord, l'autre tempérée et salée au sud. Des données néo-zélandaises entre Fidji et la Nouvelle-Zélande mettent en évidence ce front jusqu'à 178° E (figure 4). Ce front a été particulièrement bien mis en évidence par la croisière Northern Hydro (août 1975) du R/V « Tangaroa », navire du New-Zealand Oceanographic Institute (B.R. Stanton, com. pers.). Entre 23 et 35° Sud les températures et salinités relevées lors d'un trajet aller/retour Nouvelle-Zélande-Fidji sont portées sur la figure 5. A 26° Sud, un front thermohalin très marqué est mis en évidence. Il pourrait y avoir des concentrations importantes de thonidés associées à ce front thermique. La structure thermoclinale, côté nord du front, dans les eaux à 24-25° C, montre une couche chaude homogène de 50 m environ qui permettrait de bonnes captures à la senne. Sur la figure 6 nous avons reporté quelques bathythermogrammes enregistrés en mars 1976 par le « Defence Scientific Establishment » de Nouvelle-Zélande (Crook F.G., comm. pers.).

Dans le Sud de la Polynésie, on retrouve la prolongation de la convergence tropicale sud. Des fronts thermiques y ont été mis en évidence par la mission hydrographique de la Marine nationale, lors des missions du « Lotus » de septembre 1957 à septembre 1958. Des fronts thermiques particulièrement intéressants semblent exister dans la région des îles Australes (figure 7).

Recherches à entreprendre

L'ensemble des données et des indices nous semble largement suffisant pour penser à une prospection thonière à partir des territoires français du Pacifique Sud. Toutefois, il ne faudrait pas que la prospection se fasse sans la moindre connaissance des conditions hydrologiques favorables.

Avant d'installer une flottille de pêche dans les secteurs encore inexplorés du Pacifique Sud, il est nécessaire de connaître l'importance des zones frontales associées aux convergences, leur extension dans le temps et dans l'espace. Il est aussi nécessaire de contrôler que des thons sont associés à ces fronts thermiques. D'autre part, le « sillage » des îles, particulièrement en Polynésie, s'avère très intéressant à prospector.

Le biologiste des pêches dispose aujourd'hui avec la télé-détection de l'outil adapté à la recherche des zones hydrologiquement favorables aux concentrations de thons. Grâce à une coopération entre le CNEOX, la Faculté des sciences de Lille,

l'ORSTOM et la Société Interthon, les équipes françaises ont obtenu sur la côte d'Afrique des résultats particulièrement intéressants. Ils ont montré la rapidité avec laquelle un système frontal est étudié à partir d'un avion et la supériorité incontestable de la télédétection aérienne sur les campagnes par navire océanographique pour l'étude des thons associés à des fronts thermiques [Deschamps (P.-Y.), Lecomte (P.), Vanmoutte (J.-C.), 1973 - Le Guen (J.-C.), Deschamps (P.-Y.), Guillerm (J.-M.), Métyer (M.), 1972 - Noël (J.), Stretta (J.-M.), 1975] - Stretta (J.-M.), Noël (J.), 1974 - Stretta (J.-M.), Noël (J.), Vercesi (L.), 1975]. Des modèles prévisionnels de concentrations de thons dans certaines structures thermiques ont pu être élaborés.

« Un des processus qui mène à de forts rassemblements de thons pourrait être le suivant :

— existence de masses d'eau contrastées en évolution saisonnière avec présence de mécanismes d'enrichissement (eaux chaudes pauvres et eaux froides riches) : le thon est présent et dispersé ;

— mouvements importants des eaux riches créant des structures thermiques frontales, sièges d'actions mécaniques (convergences, divergences) favorisant le développement du zooplancton et du micronecton : apparition de concentrations importantes de thons ;

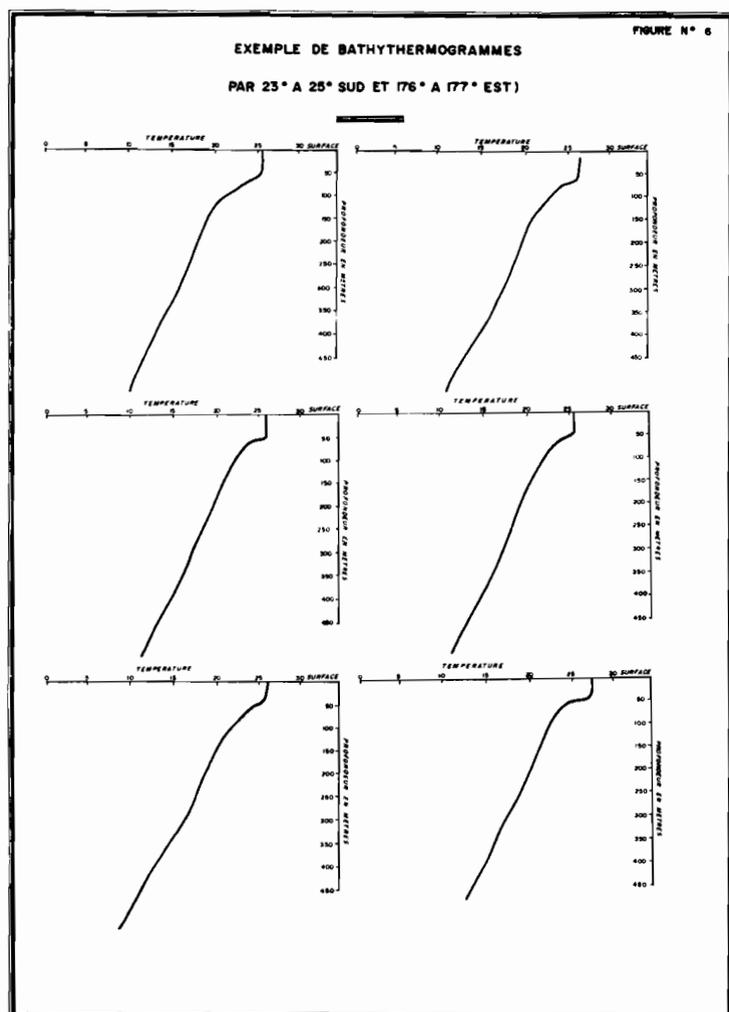
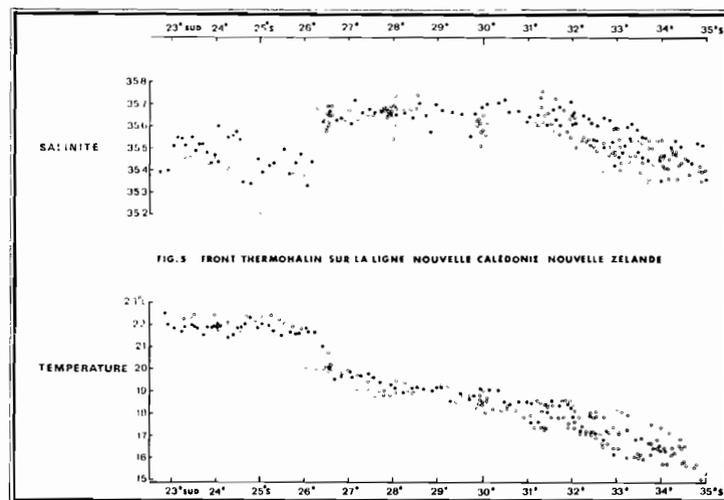
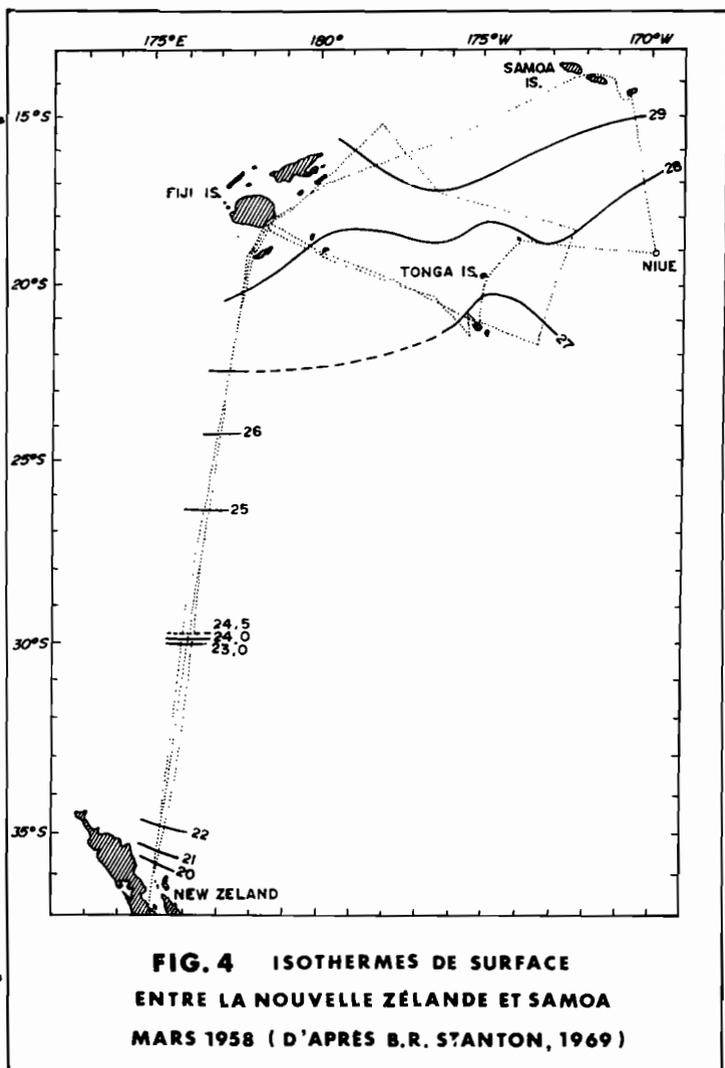
— stabilisation des structures thermiques frontales riches en micronecton sur lesquelles le thon se maintient en surface en bancs facilitant la pêche à la senne tournante ou à la canne ;

— résorption des structures thermiques frontales et évolution vers une situation d'avant-saison où le thon est dispersé.

Les secteurs du golfe de Guinée où le thon apparaît en fortes concentrations semblent presque toujours être ceux où les eaux chaudes ont résisté à l'avancée générale des eaux froides.

Le fait que, dans une tendance générale à une certaine évolution thermique, des secteurs ne participent pas à cette évolution et, par conséquent, créent des structures de plus en plus contrastées, pourrait être un moyen de recenser les zones qui, à brève échéance, seront favorables à la concentration des thons. » (Stretta et al. 1975.)

L'expérience acquise sur la côte d'Afrique, particulièrement par l'équipe de l'ORSTOM, permet aujourd'hui d'envisager dans le Pacifique Sud une prospection scientifique préalable à l'installation de pêcheries à partir des bases de Polynésie, Nouvelle-Calédonie, Wallis et Futuna. Un avion à long rayon d'action équipé des moyens de télédétection nécessaires devrait permettre l'établissement d'un plan de travail rationnel pour une pêcherie



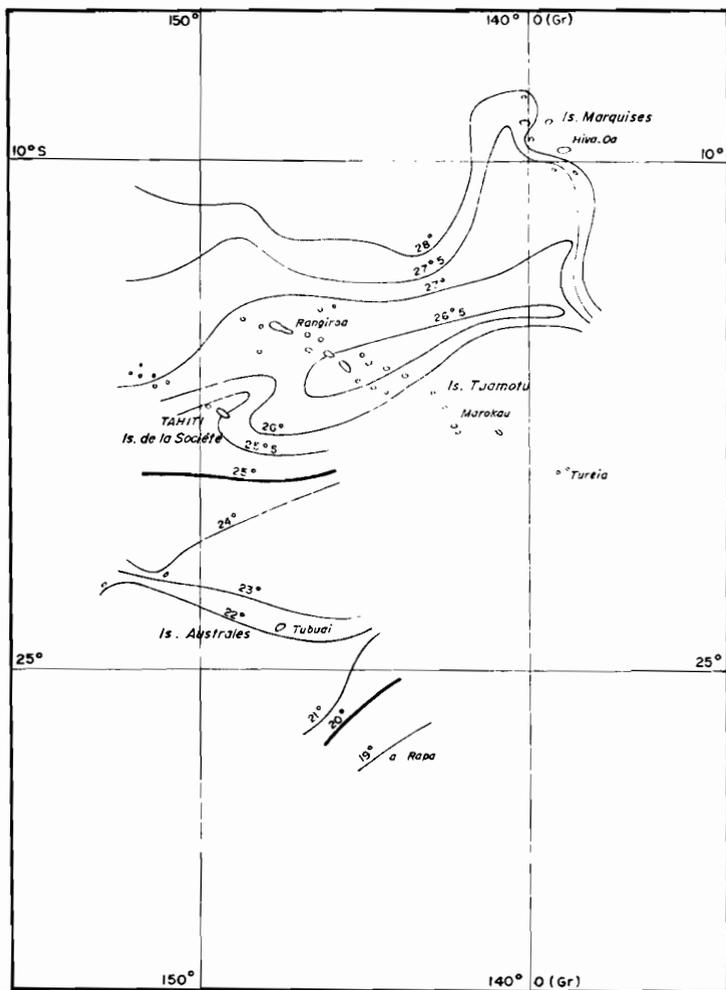


FIG. 7 EXEMPLE D'ISOTHERMES EN POLYNÉSIE (D'ANGLEJAN 1960)

industrielle dans un laps de temps de deux ans environ. Les satellites peuvent aussi contribuer à cette étude, en situant immédiatement les différentes masses d'eaux et les grands systèmes de courants. Ils permettraient un gain considérable de temps en

évitant des vols dans des zones a priori peu favorables aux concentrations de thons. Malheureusement, ils ne peuvent pas encore servir à la recherche des potentialités thonnières d'une zone océanique. En effet, malgré les progrès réalisés, particulièrement avec le radiomètre hyperfréquence multispectral à balayage (S.M.M.R.), il est impossible de mesurer par satellite la température de surface de la mer avec la précision voulue. L'erreur d'estimation est de l'ordre de 1,5 à 2 degrés centigrades par temps clair ou légèrement couvert et est bien supérieure par temps couvert (fréquent en zone intertropicale). Il n'est donc pas possible de détecter dans des conditions satisfaisantes des fronts thermiques caractérisés par des variations de température de l'ordre de 2 à 3 degrés avec des gradients ne dépassant pas un degré par 10 milles.

Dans le Pacifique Sud, avec les moyens classiques à bord d'un navire océanographique, une prospection thonnière nécessiterait dix ans d'études. Elle permettrait certes d'obtenir des résultats scientifiques très valables mais moins intéressants pour un armement thonier.

Seul l'avion permet d'obtenir les températures avec une précision de l'ordre du dixième de degré centigrade, ce qui rend les radiomètres pleinement opérationnels pour la recherche envisagée.

Equipé de l'ensemble des moyens de télédétection facilement embarquables, l'avion est le vecteur le mieux adapté aujourd'hui à la prospection des zones marines favorables aux concentrations de thons.

L'avion a aussi l'avantage de permettre une prospection rapide « à vue » sans aucun moyen de télédétection. Un essai a été effectué par l'ORSTOM, entre Wallis et Futuna en août 1976, sur un bimoteur Brittain-Norman. La visibilité était bonne à condition de descendre à basse altitude (300 à 500 pieds). Des concentrations de petits thons ont pu être observées associées à de très nombreux oiseaux. Des lignes de courant marquant peut-être le « sillage » des îles étaient également visibles.

Nous terminerons en notant que la télédétection par avion permet d'effectuer des recherches diverses allant du plus fondamental au plus appliqué dans le domaine marin, et ouvre aux océanographes biologistes et physiciens des horizons de recherche particulièrement intéressants pour l'approche synoptique des phénomènes océaniques. Les satellites peuvent également apporter au biologiste des pêches un appui réel mais aujourd'hui très insuffisant.

BIBLIOGRAPHIE

- D'ANGLEJAN CHATILLON (Cap. Corv.), non daté. — Rapport de la Mission hydrographique en Polynésie française de 1956 à 1960. Marine nationale, 63 p., 45 planches.
- CHAPMAN (W.M.), 1963. — World-wide tuna research planning. F.A.O. Fish. Rep. 6, vol. 3 : pp. 1097-1107.
- Commission du Pacifique Sud, 1974. — Le développement des pêcheries de bonite japonaises à l'étranger. Lettre d'information de la C.P.S. sur les pêches : n° 12, sept. 1974, pp. 22-30.
- DESCHAMPS (P.-Y.), LECOMTE (P.), VANMOUTTE (J.-C.), 1973. — Améliorations apportées aux techniques de mesure de la température de surface de la mer par radiométrie infra-rouge et applications aux levés aériens de température. Inter Ocean 1973, Düsseldorf 13-18 nov. 1973 : 871-884.
- DONGUY (J.-R.), HENIN (C.), ROUGERIE (F.), 1976. — Les contre-courants dans le Pacifique tropical sud-ouest. Cah. ORSTOM, sér., Océanogr., vol. 14, n° 1 1976, pp. 15-26.
- DONGUY (J.-R.), ROTTSCHI (H.), 1970. — Sur un courant Est dans le Pacifique central tropical sud. C.R. Acad. Sc. Paris. vol. 271 : 869-872.
- F.A.O., 1972. — Yearbook of Fishery Statistics. Catch and Landings 1971. F.A.O. Yearbook Fish. Statist., vol. 34.
- LE GUEN (J.-C.), DESCHAMPS (P.-Y.), GUILLERM (J.-M.) et METAYER (M.), 1972. — Compte rendu de l'opération radiomètre à infra-rouge sur l'avion Interthon. Doc. Centre ORSTOM Pointe-Noire, n° 541, S.R. 7 p., 22 cartes.
- 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.
- KEARNEY (R.E.), 1976. — The Expansion of Fisheries in Papua New Guinea - Prospects and Problems. Document C.P.S. 240/76 présenté au Waigani Seminar 3-7 mai 1976 - Papouasie Nouvelle-Guinée, 20 p.
- MAGNIER (Y.), ROTTSCHI (H.), RUAL (P.) et COLIN (C.), 1973. — Equatorial Circulation in the Western Pacific. Progress in Oceanography, vol. 6, Pergamon Press, pp. 29-46.
- MERLE (J.), ROTTSCHI (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.
- NOEL (J.), STRETTA (J.-M.), 1975. — Télédétection aérienne et stratégie de pêche. La Pêche maritime, n° 1167.
- OTSU (T.), 1975. — Japan Trip Report - Marine Fisheries Review. 37, 11, pp. 1-13, nov. 1975 (M.F.R. Paper n° 1165).
- OUDOT (C.), WAUTHY (B.), 1976. — Upwelling et dôme dans le Pacifique tropical occidental : distributions physico-chimiques et biomasse végétale. Cah. ORSTOM, sér., Océanogr., vol. 14, n° 1, 1976.

- SIANTON (B.R.), 1969. — Hydrological observations across the tropical convergence North of New Zealand, N.Z. Journal of Marine and Freshwater Research, vol. 3, n° 1, mars 1969, pp. 124-146.
- STRETTA (J.-M.), NOEL (J.), 1974. — Relations between tuna and thermic fronts (Mesured by ART) in the Gulf of Guinea. Communication presented at the first International Congress of Ecology (La Haye, sept. 1974).
- STRETTA (J.-M.), NOEL (J.), VERCESI (L.), 1975. — Caractérisation des situations hydro-biologiques et potentialités de pêche thonière au Cap Lopez en juin-juillet 1972 et 1974. Documents scientifiques, C.R.O., Abidjan, vol. 6, n° 2, pp. 59-74.
- TANAKA (T.), 1975. — Atlas of Skipjack tuna fishing grounds in southern waters - 1974 fishing season (July 1974 - May 1975). Doc. Tohoku Regional Fisheries Research Laboratory. Yaizu Branch Office. Traduction n° 14 du Southwest Fisheries Center NOAA, Honolulu, HI 96812, par Tanio Otsu, avril 1976.
- TANAKA (T.), 1976. — Atlas of Skipjack tuna fishing grounds in southern waters, 1975 fishing season (June 1975 - May 1976).

Doc. Tohoku Regional Fisheries Research Laboratory. Yaizu Branch Office. Traduction n° 15 du Southwest Fisheries Center NOAA, Honolulu, HI 96812, par Tanio Otsu, juillet 1976.

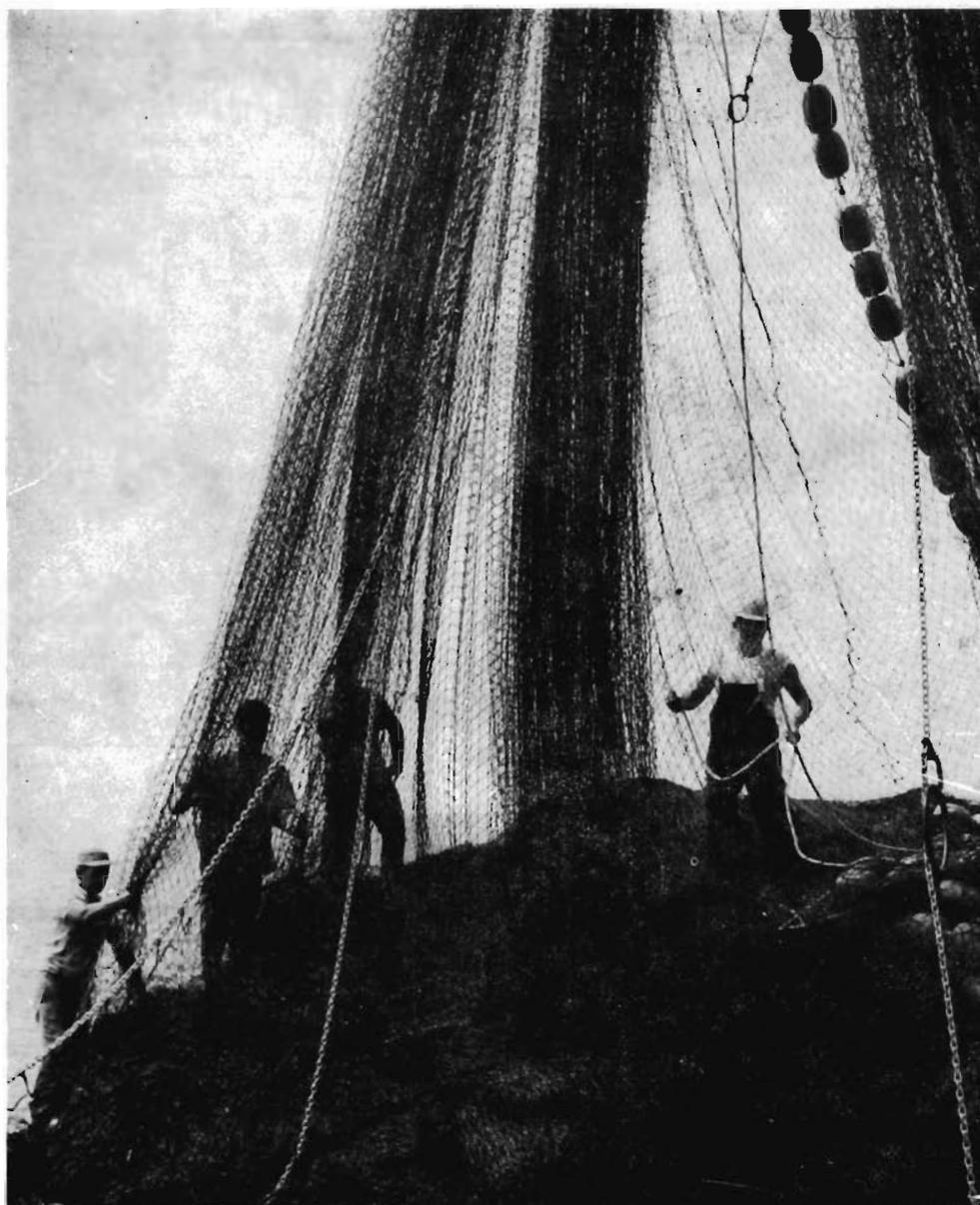
- UCHIDA (R.N.), 1975. — Studies on Skipjack in the Pacific : recent development in fisheries for skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) in the Central and Western Pacific and in the Indian Ocean. F.A.O. Fish. Tech. Pap. 144, pp. 1-57.

Annexe

Positions de pêche de la flottille japonaise extraites de « Atlas of Skipjack tuna fishing grounds in southern waters » :

- 1974 fishing season (July 1974 - May 1975),
 - 1975 fishing season (June 1975 - May 1976),
- par : Tamotsu Tanaka.

Tohoku Regional Fisheries Research Laboratory. Yaizu Branch Office.



RELATIONS ENTRE LES PRÉCIPITATIONS ET LA SALINITÉ DE SURFACE DANS L'OCÉAN PACIFIQUE TROPICAL SUD-OUEST BASÉES SUR UN ÉCHANTILLONNAGE DE SURFACE DE 1956 A 1973

par

J. R. DONGUY et C. HÉNIN

Centre ORSTOM de Nouméa (Nouvelle-Calédonie)

INTRODUCTION

Une étude récente (Donguy et Hénin, en cours) a montré que la salinité de surface dans le Pacifique tropical Sud-Ouest était liée pour une grande part aux conditions météorologiques. Ses variations ne sont pas toutes saisonnières et, certaines années, ses caractéristiques ont été totalement bouleversées comme en 1957-58 et 1972-73; des précipitations très excédentaires sont apparues sur l'équateur et ont contribué à la formation d'eau dessalée. Le rôle de telles précipitations sur la formation d'eau de faible salinité était à préciser.

LES PRÉCIPITATIONS DANS LE PACIFIQUE TROPICAL SUD-OUEST

Selon Taylor (1973), la distribution moyenne des précipitations annuelles (fig. 1) dans le Pacifique tropical Sud-Ouest présente les caractéristiques suivantes : un minimum s'étend de 145° W à 130° W et de 5° N à 5° S avec des valeurs aussi basses que 0,5 mètre, un maximum supérieur à 5 mètres est centré vers 10° S et 165° E et se prolonge vers le Sud-Est avec des valeurs supérieures à 2 mètres jusqu'à 30° S et 140° W. Cependant les périodes de fortes précipitations ne sont pas simultanées et dans la zone étudiée on peut définir plusieurs régimes (fig. 2).

C'est ainsi qu'on observe un maximum de précipitations en février-mars dans une zone qui s'étend des îles Salomon aux îles Tonga et qui inclut la Nouvelle-Calédonie; sur une bande qui va de Nauru sur l'équateur à la Polynésie vers 20° S, le maximum de précipitation est observé vers le mois de janvier; dans ces deux zones qui incluent la majeure partie de l'espace étudié, la saison des pluies commence en octobre et se termine en avril. Pour chacune des stations qui y sont comprises, avec les données de Taylor (op. cit) et de « Monthly Climatic Data », il est possible d'établir une pluviométrie moyenne pour la saison sèche et une pour la saison des pluies.

Les résultats pluviométriques enregistrés pour une station météorologique sont différents suivant son altitude, son emplacement, la structure (île haute ou île basse) et l'étendue du socle sur lequel elle est placée. Cependant, si l'on considère pour une période donnée (saison des pluies ou saison sèche) les précipitations observées et pour la même période les précipitations moyennes calculées avec les données de nombreuses années, le rapport

$$Rp = \frac{\text{Précipit. obs.}}{\text{Précipit. moy.}}$$

peut être considéré comme indépendant des caractéristiques propres de la station, pour la période considérée, il donne des indications sur l'excédent où le déficit des précipitations. Il aurait été intéressant de faire intervenir également l'évaporation mais si sa moyenne annuelle en un point de l'océan a pu être évaluée, l'évaporation pour une période considérée échappe toujours à l'investigation.

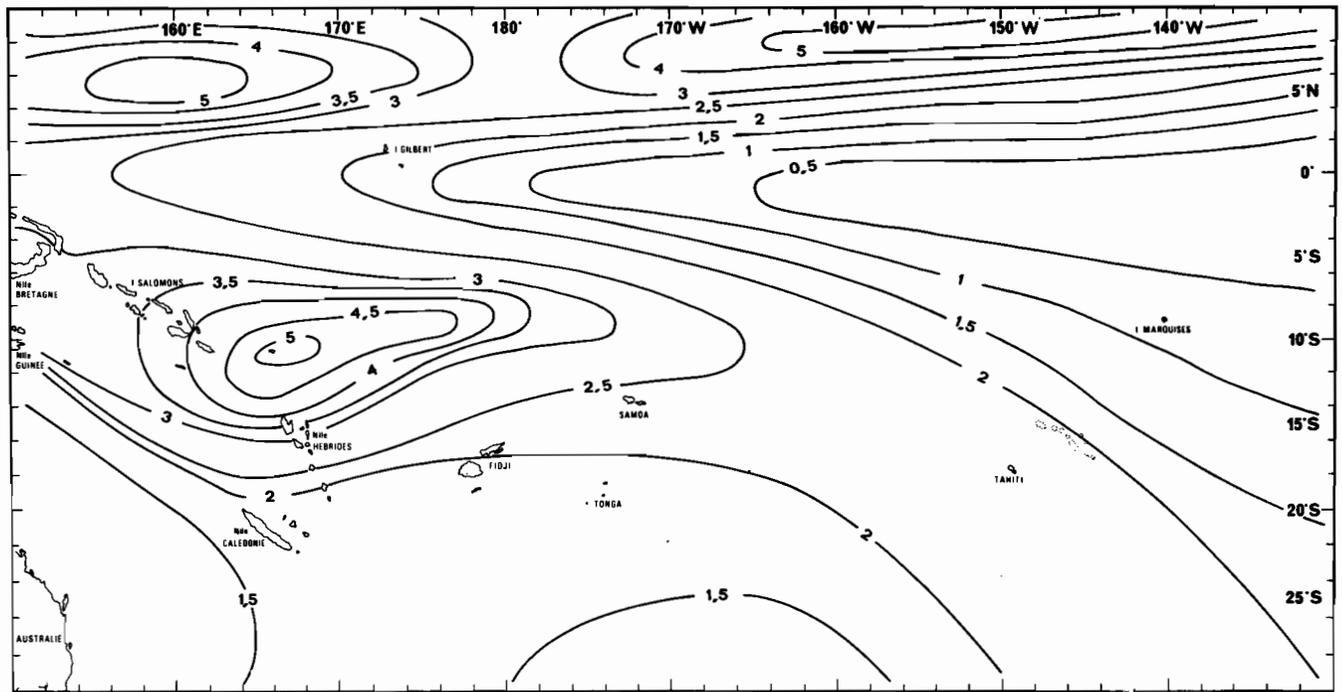


FIG. 1. — Précipitations annuelles en mètres.

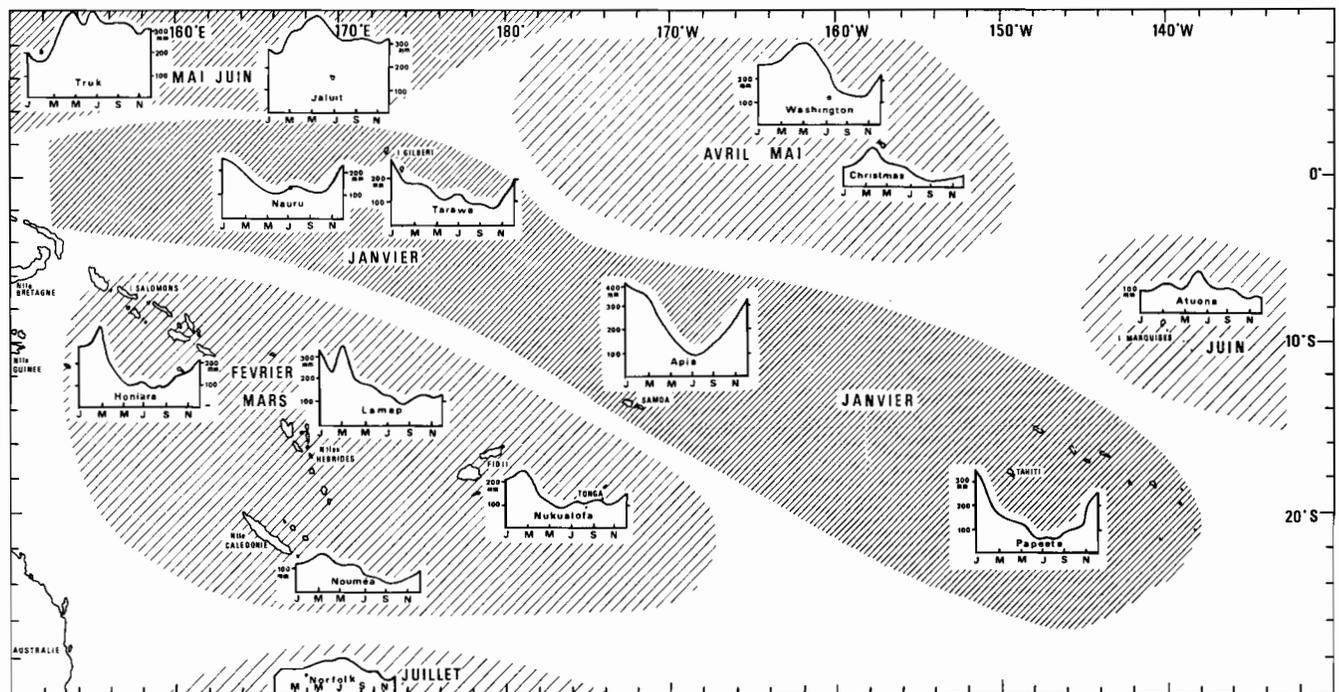


FIG. 2. — Régime et maxima des précipitations en millimètres.

LA SALINITÉ DE SURFACE DANS LE PACIFIQUE TROPICAL SUD-OUEST

Dans la zone du Pacifique Tropical Sud-Ouest située entre l'Australie et 130° W, les données de surface existantes depuis 1956 jusqu'à 1974 ont

été rassemblées. Ces données ont été aimablement communiquées par le National Oceanographic Data Center (Washington, U.S.A.), le World Data Center, le Japan Oceanographic Data Center, ont été également incluses les observations faites par le CSIRO (Cronulla, Australie), le Centre ORSTOM de Nouméa, la Marine Nationale Française, et le National Fisheries Service (Honolulu).

Il a été ainsi possible de dresser pour chaque année en incluant toutes les observations effectuées pendant ce laps de temps, deux cartes semestrielles de la distribution de la salinité superficielle, l'une de janvier à juin, l'autre de juillet à décembre. Le découpage de l'année en deux périodes a été adopté à la suite des remarques de Hires et Montgomery (1972) : un minimum de salinité homogène apparaît localement trois mois après la période de précipitations maximale. Comme dans la région

considérée la saison des pluies débute aux environs d'octobre pour se terminer en Mars, il est logique de supposer que la période de faible salinité dure de janvier à juin et celle de forte salinité de juillet à décembre. Les cartes saisonnières de distribution de la salinité superficielle ont d'ailleurs justifié ce découpage.

L'ensemble des données de surface ont été reportées pour établir la carte générale de la distribution de la salinité superficielle moyenne pluri-

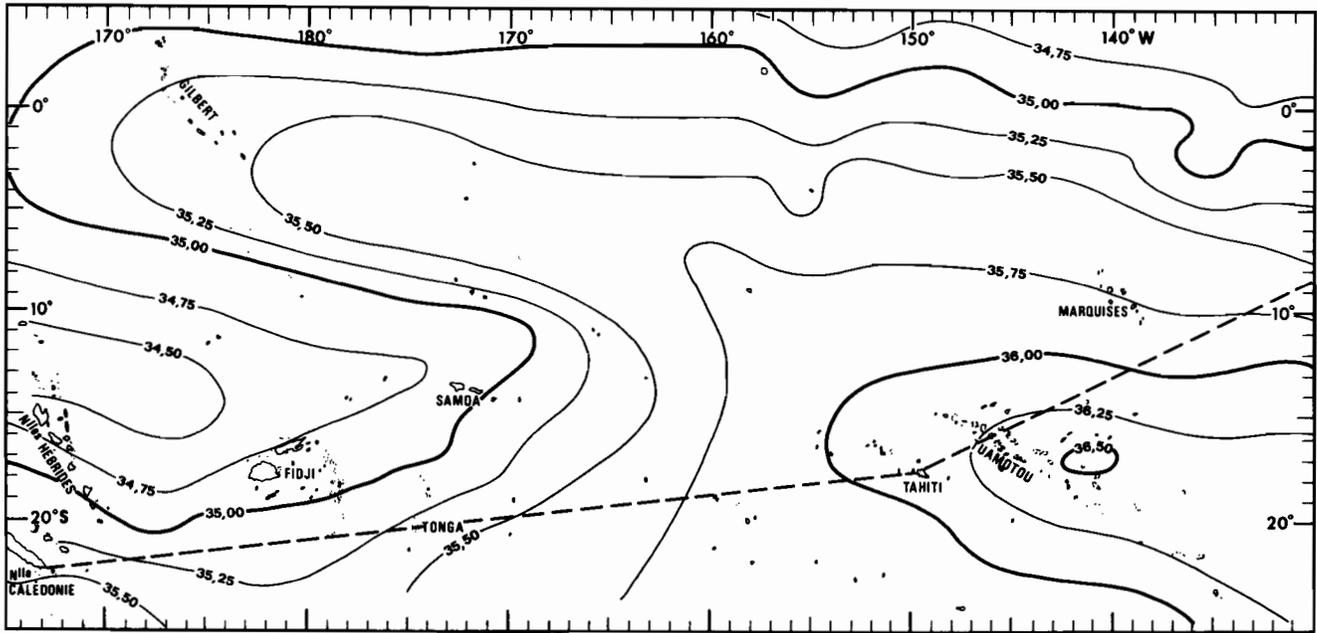


FIG. 3. — Salinité moyenne superficielle du Pacifique Sud.
---- Trajet des navires.

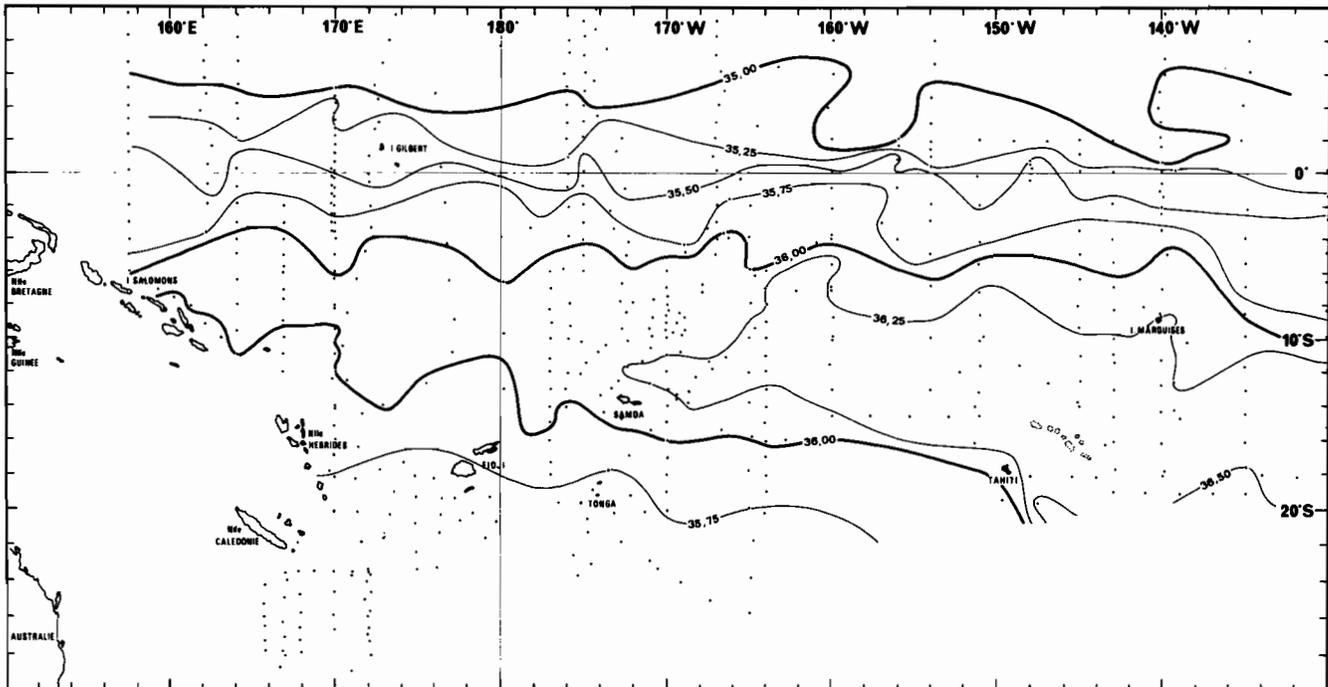
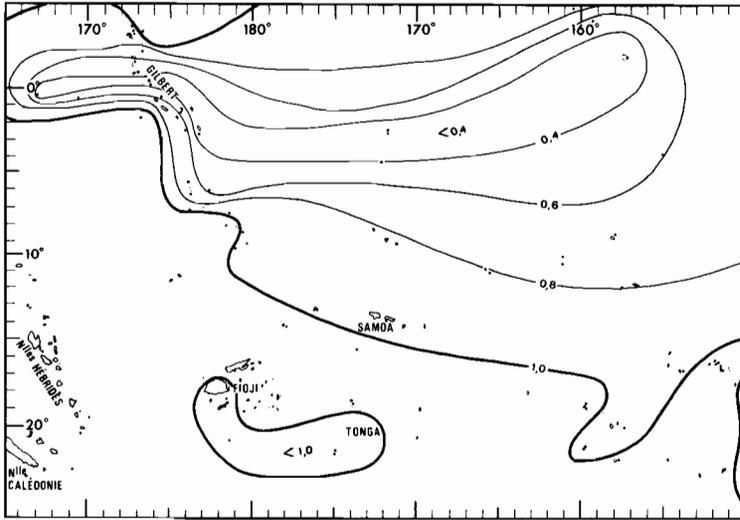


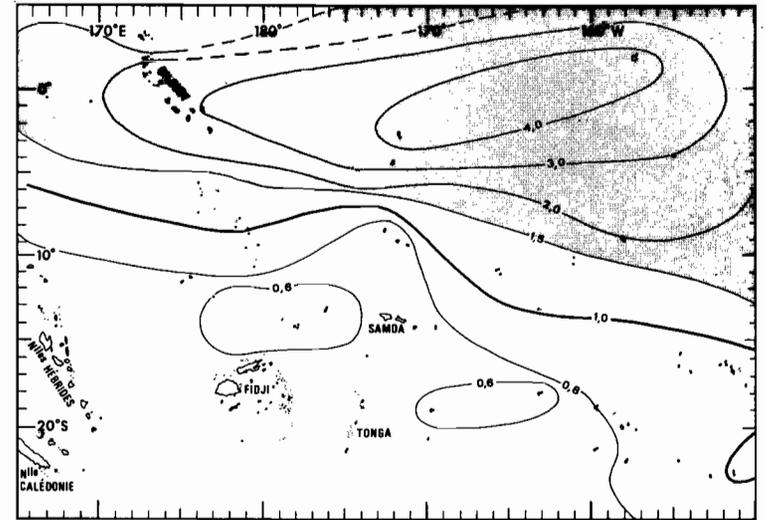
FIG. 4. — Maximum sub-superficielle de salinité.



$R_p = \frac{\text{Précipitation obs.}}{\text{Précipitation moy.}}$

Octobre 1966 - Mars 1967

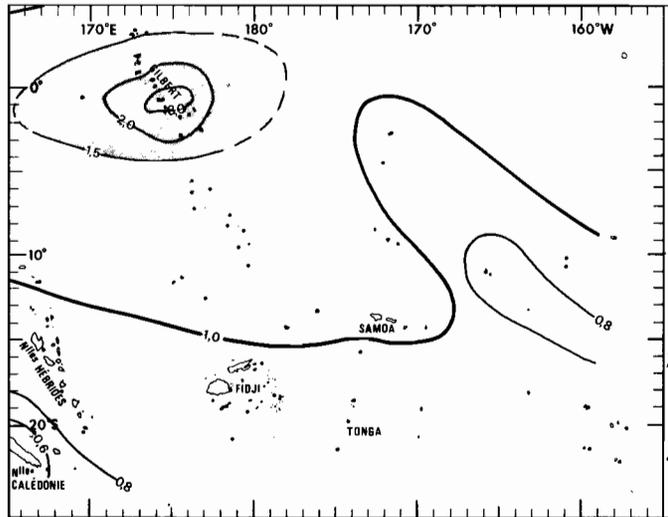
FIG. 5



$R_p = \frac{\text{Précipitation obs.}}{\text{Précipitation moy.}}$

Octobre 1957 - Mars 1958

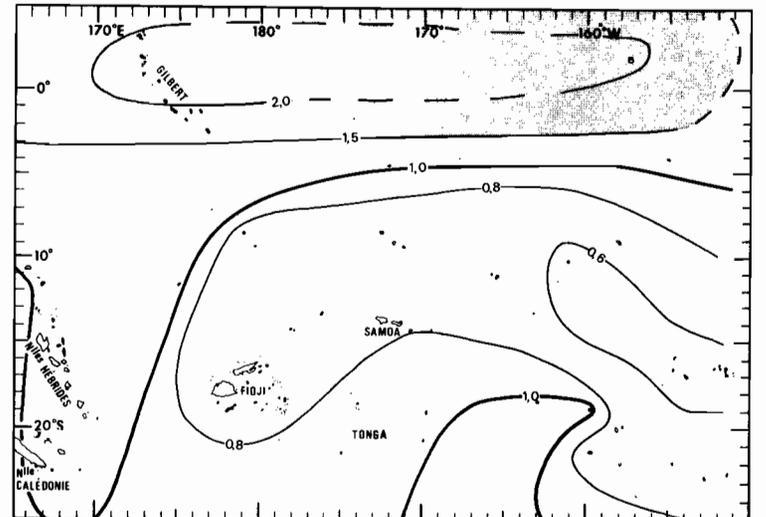
FIG. 6



$R_p = \frac{\text{Précipitation obs.}}{\text{Précipitation moy.}}$

Avril - septembre 1965

FIG. 7



$R_p = \frac{\text{Précipitation obs.}}{\text{Précipitation moy.}}$

Avril - septembre 1972

FIG. 8

annuelle (fig. 3). Sur cette carte on distingue les grands traits suivants : au Sud de 10° S et à l'Est de 160° W, le maximum subtropical de salinité, au Sud de l'équateur entre 160° E et 160° W un maximum secondaire et de 3° S à 20° S à l'Ouest de 170° W un minimum de salinité. Ces caractéristiques moyennes sont voisines de celles mises en évidence par Reid (1969). Il est possible d'évaluer la quantité d'eau douce intérieure dans la dessalure superficielle. Si on admet que la salinité croît linéairement entre la surface et la profondeur d où elle est maximum, la hauteur d'eau douce h capable de provoquer la dessalure superficielle peut être exprimée par la formule :

$$h = \frac{1}{2} d \frac{(S_1 - S_2)}{S_1}$$

S_1 est une salinité constante située à la profondeur d qui, dans le Pacifique tropical Sud-Ouest peut être choisie comme le maximum subsuperficiel de salinité dont la valeur et l'immersion semblent, en première approximation, peu variables (fig. 4).

S_2 peut être soit la salinité superficielle observée S_{obs} , soit la salinité superficielle moyenne S_{moy} , dans le premier cas, on a

$$h_{obs} = \frac{1}{2} d \frac{S_{max} - S_{obs}}{S_{max}} \text{ et dans le deuxième}$$

$$h_{moy} = \frac{1}{2} d \frac{S_{max} - S_{moy}}{S_{max}}$$

Dans l'hypothèse d'une formation locale des eaux dessalées, le rapport

$$R_s = \frac{h_{obs}}{h_{moy}} = \frac{S_{max} - S_{obs}}{S_{max} - S_{moy}} \text{ peut être comparé au}$$

$$\text{rapport } R_p = \frac{\text{Précipitation obs}}{\text{Précipitation moy}}$$

Lorsque $S_{obs} > S_{moy}$, $R_s < 1$ ce qui correspond à un déficit d'eau douce et théoriquement à $R_p < 1$.

Inversement, lorsque $S_{obs} < S_{moy}$, $R_s > 1$ ce qui correspond à un excédent d'eau douce et théoriquement à $R_p > 1$. Il importe donc de déterminer dans quelles conditions il y a accord entre le rapport R_p et R_s , étant entendu que la validité de R_s est limitée à l'Ouest de 160° W, puisque à l'Est de cette longitude le maximum de salinité devient superficiel et par suite R_s indéterminé.

Suivant les calculs de Hires et Montgomery (op. cit.) la carte de la distribution de R_p entre octobre et avril est généralement comparable à celle de la distribution du rapport R_s entre janvier et juin; néanmoins, il n'est pas possible par manque de données de dresser une carte par saison de la distribution de R_s . Les distributions de R_p sont souvent très contrastées et on y remarque deux types principaux : l'un caractérisé par un fort déficit équatorial (fig. 5), l'autre par un fort excédent (fig. 6).

RELATIONS ENTRE LES PRÉCIPITATIONS ET LA SALINITÉ DE SURFACE

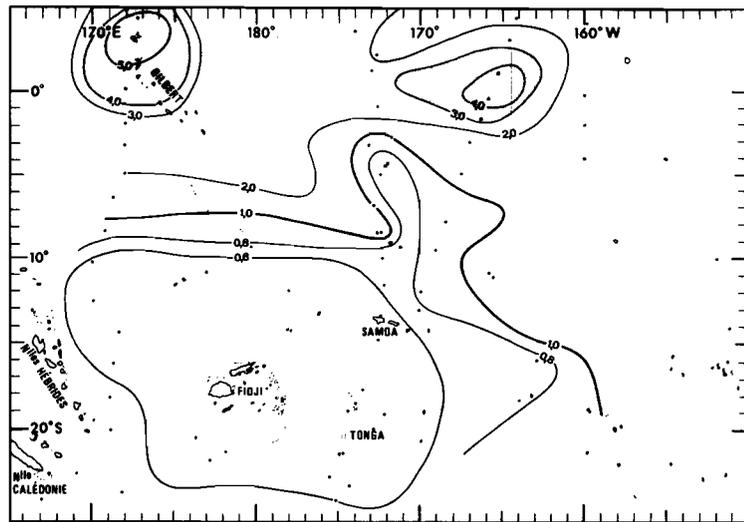
La décennie 1960-70 a été marquée par de longues périodes déficitaires en précipitations sur l'équateur mais les valeurs de R_s correspondant à ces périodes sont trop rares pour être significatives, les cartes de distribution de la salinité de surface ne présentaient alors aucune caractéristiques inhabituelles.

Les périodes d'excédent équatorial sont plus courtes que celles de déficit : octobre 1957 - mars 1958, octobre 1963 - mars 1964, avril 1965 - mars 1966 et avril 1972 - mars 1973.

C'est d'octobre 1957 à mars 1958 (fig. 6), d'avril à septembre 1965 (fig. 7) et d'avril à septembre 1972 (fig. 8) que les excédents équatoriaux de précipitations sont les plus sensibles. Dans ce cas au Nord de 10° S, R_p est supérieur à 1 et peut atteindre la valeur 4 sur l'équateur. Au Sud de 10° S, il est inférieur à 1 avec un minimum de 0,6 entre 15° S et 20° S. A ce type de distribution du rapport R_p , correspond une distribution similaire du rapport R_s issu des salinités superficielles.

La similitude des distributions de R_s et de R_p est frappante en 1957-1958 (fig. 6 et fig. 9), en 1965 (fig. 7 et fig. 10) et en 1972 (fig. 8 et fig. 11). Il semble que, dans ces trois cas, la quantité d'eau douce apportée par les précipitations se retrouve dans les eaux superficielles au même endroit trois mois plus tard. Il est intéressant de connaître les conditions météorologiques qui ont suscité un tel phénomène.

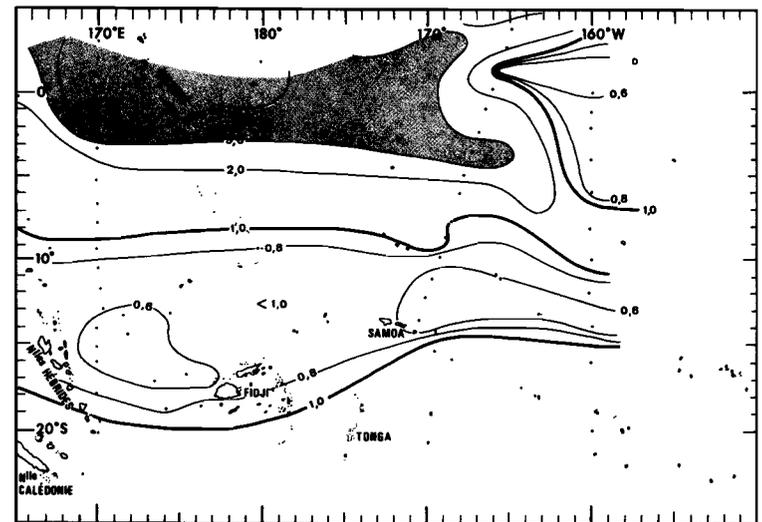
Les situations hydrologiques et météorologiques de janvier à juillet 1958, de juillet à décembre 1965 et de juillet à décembre 1972 étaient similaires et proches de celles représentées (fig. 12). A la place du maximum de salinité équatorial, un minimum s'étendait au Sud de l'équateur atteignant 10° S et 150° W, il était associé à des vents modérés de NW qui amènent la pluie. Au Sud de 10° S, un maximum associé à des alizés de SE assez forts remplaçait le minimum de salinité. On peut donc penser, en première approximation, que les vents de NW peuvent provoquer la formation *in-situ* des eaux dessalées superficielles à partir des précipitations. En effet, dans la région équatoriale les vents de composante Est induisent un upwelling qui repousse les eaux de surface vers le Nord et le Sud; d'éventuelles précipitations ne peuvent donc pas contribuer à la formation *in-situ* d'eau dessalée. En revanche, les vents de composante Ouest n'induisent pas d'upwelling et, de plus, amènent généralement des précipitations, conditions favorables à la formation *in-situ* d'eau dessalée.



$$R_s = \frac{S \% \text{ max.} - S \% \text{ obs.}}{S \% \text{ max.} - S \% \text{ moy.}}$$

Janvier - Juin 1958

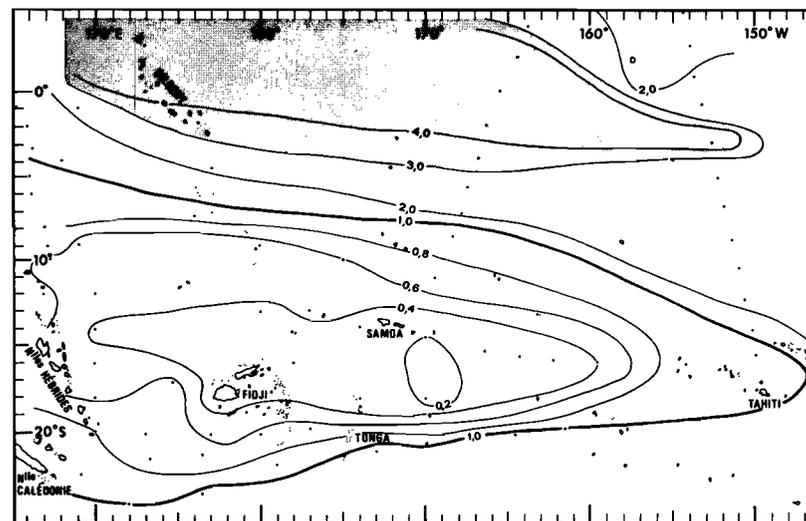
FIG. 9



$$R_s = \frac{S \% \text{ max.} - S \% \text{ obs.}}{S \% \text{ max.} - S \% \text{ moy.}}$$

Juillet - Décembre 1965

FIG. 10



$$R_s = \frac{S \% \text{ max.} - S \% \text{ obs.}}{S \% \text{ max.} - S \% \text{ moy.}}$$

Juillet - Décembre 1972

FIG. 11

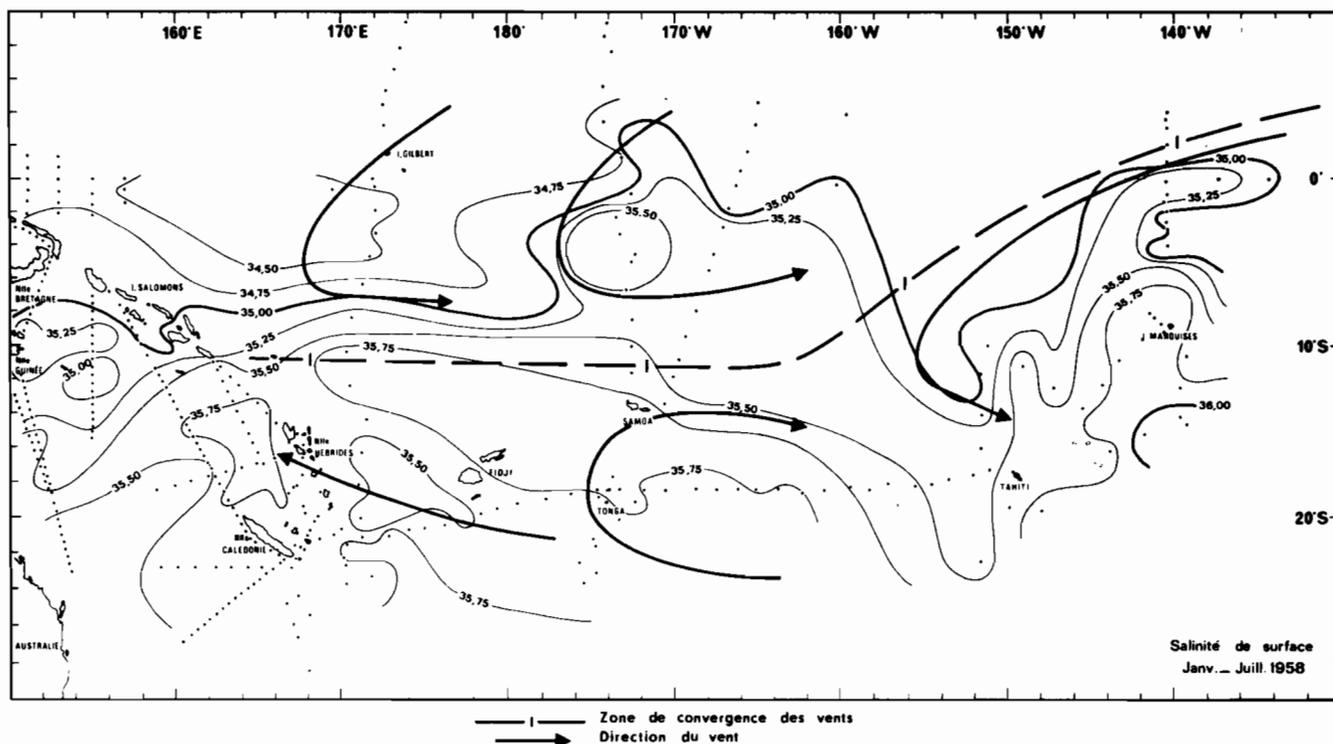


FIG. 12

CONCLUSION

Par comparaison des précipitations à la salinité de surface sur l'équateur, on constate que la formation *in-situ* des eaux dessalées n'a lieu qu'en l'absence de vent de composante Est. Le vent d'Est induit en effet un upwelling équatorial qui rejette de part et d'autre les eaux dessalées issues des précipitations. Des informations précises sur les vents du Pacifique équatorial et tropical Sud-Ouest sont donc nécessaires pour expliquer le mécanisme de formation des eaux superficielles qui doit résulter à la fois des précipitations et des phénomènes d'upwelling à l'équateur et de doming en zone tropicale.

BIBLIOGRAPHIE

- DONGUY J.R., C. HÉNIN (en cours). — Possible meteorological explanation of anomalous navifacial salinities in the South West Tropical Pacific.
- HIRES R.J., R.B. MONTGOMERY (1972). — Navifacial temperature and salinity along the track from Samoa to Hawaii 1957-1965. *J. Mar. Res.*, vol. 30, n° 2 : 177-200.
- 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.
- TAYLOR R.C. (1973). — An Atlas of Pacific islands rainfall. Data Report n° 25 HIG. 73-9 Hawaii. Institute of Geophysics. University of Hawaii at Manoa. Honolulu.

UTILISATION DES NAVIRES MARCHANDS POUR LA RECOLTE DES
DONNEES SCIENTIFIQUES DANS LA ZONE INTERTROPICALE

J.R. DONGUY

Centre ORSTOM de Nouméa
B.P. A5 - Nouméa - Cédex Nouvelle Calédonie

ABSTRACT

The systematic use of ships of opportunity would yield a large quantity of surface data. It is considered possible to organize from two main harbours in France the collection, storage and exploitation of such data for several related purposes : meteorology, oceanography, ocean-atmosphere interaction, geophysics and economics. The cost of the operation would be very low for a strong scientific yield.

INTRODUCTION

Tous les océanographes déplorent que les moyens flottants traditionnels mis à leur disposition ne permettent pas d'assurer une couverture permanente de l'océan. Or des milliers de navires marchands parcourent sans cesse les mers ; l'utilisation de ces navires fournirait à la recherche une source de données exceptionnelle. Des campagnes d'échantillonnage systématique ont déjà eu lieu à la suite d'initiatives personnelles et durant une période limitée :

BERRIT (ORSTOM) Côte d'Afrique , 1957-1958

MONTGOMERY (USA) Pacifique Central , 1957-1965

LEMASSON (ORSTOM) Pacifique Sud-Ouest, 1958-1964

ROCHFORD (Australie) Mer du Corail, 1967-1974

DONGUY (ORSTOM) Océan Indien, 1966-1967

DONGUY et HENIN (ORSTOM) Pacifique Tropical, 1969-1976

Cette dernière campagne, menée à partir du Centre ORSTOM de Nouméa, exploite plusieurs lignes méridiennes transpacifiques coupant l'équateur de 140° E à 90° W. Les premiers résultats sont très encourageants : la surveillance continue du Pacifique Tropical, en température et salinité superficielles, nous a conduits à des considérations nouvelles en climatologie marine notamment à l'occasion de la période anormale 1972-1973 (sécheresse du Sahel et de la zone de mousson asiatique). Elle ouvre de nouvelles perspectives pour l'analyse des statistiques de pêche. Elle aide entre autres à la compréhension du phénomène catastrophique El Nino. Elle tend aussi à montrer que l'importance de la formation in situ des masses d'eau superficielles a été souvent sous-estimée. Les données recueillies peuvent en plus servir à l'estimation du contenu thermodynamique de la zone tropicale et de ses variations dont l'importance climatique est maintenant reconnue. L'idée nous est venue d'étendre ce type de mesures à l'Atlantique et à l'Océan Indien à partir de ports tels que Le Havre et Marseille.

OBTENTION DES DONNEES

Dans un premier temps, les mesures et échantillonnages demandés aux navires seront limités à la température et à la salinité superficielles par prélèvement, accompagnées d'un relevé météorologique succinct. La plupart des navires utilisables sont déjà sélectionnés par la Météorologie Maritime et donc astreints à un relevé météorologique toutes les 4 ou 6 heures accompagné d'une lecture de la température superficielle. Leur travail consisterait donc à ajouter un prélèvement d'eau de surface à chaque observation météorologique. Ce prélèvement, conservé dans un flacon étanche, servirait à la détermination de la salinité (à terre). A la suite de l'expérience acquise à Nouméa, on peut conclure que les Etats Majors des navires français sont très favorables à l'exécution de telles mesures, ce qui a été corroboré par des contacts avec les armements. Après examen avec ceux-ci des lignes exploitables, on peut estimer à 3000-3500 le total mensuel d'échantillons à analyser, les deux tiers d'entre eux arrivant au Havre.

Le matériel nécessaire à une telle campagne d'échantillonnage est simple. A bord, il consiste en flacons d'échantillonnage hermétiquement bouchés et éventuellement en thermomètres-seaux lorsque le prélèvement

n'est pas possible directement à la machine. A terre, un salinomètre est nécessaire pour analyser les échantillons ainsi que des ampoules d'eau de mer normale qui servent de référence. Il y a évidemment des problèmes : certains navires déchargent indifféremment au Havre ou à Marseille. Beaucoup de navires étant automatisés, il n'est plus concevable de faire régulièrement des prélèvements à la machine ; il faut le faire par dessus bord. Le thermomètre de bord doit être contrôlé régulièrement. Enfin, sur les plus gros navires, la mesure de température de l'eau de refroidissement, qui fait partie de la routine du bord, doit être contrôlée : à quelle immersion se fait-elle ?

Un technicien doit être mis en place au Havre et un autre à Marseille . Il aura deux rôles :

- un rôle technique : recueillir les données, analyser les salinités, préparer le flaconnage, mettre au net les résultats,
- un rôle humain actif : susciter les observations et motiver les observateurs.

Une certaine infrastructure est nécessaire dans le port de relâche : un local pour entreposer les caisses d'échantillons, nettoyer les bouteilles, mesurer la salinité et mettre au net les résultats. Au Havre, il semble possible de travailler en liaison avec la Météorologie Maritime. A Marseille, c'est sur la Faculté des Sciences qu'il est possible de s'appuyer.

Le technicien procèdera à un envoi périodique des bordereaux de perforation à l'Antenne ORSTOM du Centre Océanologique de Bretagne à Brest. Ces données seront ensuite mises sur fichier à l'aide d'un programme qui fonctionne déjà à Nouméa. Il sera alors possible d'interpréter les données.

INTERPRETATION DES DONNEES

L'intérêt de l'Océanographie, après les grandes actions descriptives des décennies passées, se porte actuellement de plus en plus sur l'examen des variabilités aux diverses échelles du temps. La collecte d'informations denses sur des lignes régulières prend de ce fait une nouvelle signification comme l'attestent des travaux récents (HIRES et MONTGOMERY, 1972). Nous envisageons d'utiliser nos futures données dans plusieurs perspectives : météorologique, océanographique, hydroclimatique, géophysique et économique.

1) Perspectives météorologiques.

On peut envisager l'étude de la variation des champs de vent dans la zone intertropicale. Par exemple, la date de l'établissement de la mousson en Océan Indien est un facteur très important pour l'économie de la région et la pêche aux thons en dépend étroitement. Notre opération pourrait être ainsi profitable au projet MONEX. La température de la surface de la mer joue un rôle fondamental sur la formation et la trajectoire des cyclones ; la connaissance de ce paramètre, fourni par un grand nombre de navires, ferait avancer celle de ce phénomène et permettrait de prévoir sa trajectoire.

2) Perspectives océanographiques.

Les mesures de température et de salinité permettent de caractériser les masses d'eau superficielle. Grâce à la continuité des observations, on décèle les modifications saisonnières de ces masses d'eau et éventuellement leur succession. La salinité et la température de surface peuvent être aussi considérées comme des traceurs permettant de différencier courant et contre-courants. Dans certains cas, les conditions de surface peuvent être le reflet des conditions subsuperficielles. L'échantillonnage commencé en 1969 par le Centre ORSTOM de Nouméa tend à montrer que l'importance de la formation in situ des eaux superficielles a été sous estimée au profit du phénomène d'advection.

3) Interaction Océan-Atmosphère (hydroclimatologie).

La seule observation des conditions superficielles ne peut constituer qu'une première approche ; leur interprétation ne peut se faire qu'à l'aide des données météorologiques concomitantes. L'ensemble de l'étude constitue l'hydroclimatologie. Depuis 1969, les caractéristiques superficielles de nombreuses zones du Pacifique tropical ont pu être définies et leurs variations ont été directement rattachées aux conditions météorologiques. La surveillance continue de la surface océanique peut être comparée à la surveillance continue de la basse atmosphère. C'est ainsi qu'en 1972-1973, l'échantillonnage serré collationné par le Centre ORSTOM de Nouméa a permis de saisir des conditions totalement anormales : upwelling et zones de faibles salinités avaient interverti leur place ; les cartes météorologiques ont donné une explication satisfaisante à ce phénomène. Enfin, l'évaluation des précipitations à partir de la dessalure de surface constitue une méthode capable de contrôler l'évaluation des précipitations à partir des photos de couverture nuageuse prises par satellite.

4) Perspectives géophysiques.

La dynamique générale des masses d'air et les transports d'énergie dans l'atmosphère font une large part au bilan thermodynamique de la zone intertropicale où de faibles variations de la température de la surface marine sont hautement significatives.

5) Perspectives économiques .

L'économie de la pêche est en relation avec les conditions météorologiques et marines permettant les captures, telles que les conditions hydrologiques des couches superficielles, les zones frontales, l'intensité et la variation des remontées d'eau. C'est ainsi qu'une longue période d'observations dans le Pacifique oriental permettra peut être d'expliquer et de prévoir le phénomène catastrophique El Nino. Notre protocole d'observation prévoit le recensement des indices de présence des grands pélagiques (bancs d'oiseaux, marsouins, bancs de thons). De plus la connaissance spatio-temporelle des températures et salinités de surface à l'échelle intertropicale permettra de prévoir le recrutement un ou deux ans en avance, ce qui constituera un progrès énorme dans l'établissement des modèles de gestion des stocks exploitables.

6) Retombées technologiques.

On peut citer l'étalonnage des données fournies par satellite principalement en ce qui concerne la température de surface, la fixation du contexte océanographique et météorologique des campagnes de recherche. Enfin une telle quantité de données doit intéresser les statisticiens qui décèleront sans doute des corrélations difficilement détectables.

CONCLUSIONS.

Les mesures décrites ci-dessus ne constituent qu'une première étape. La rusticité initiale de l'étude devrait peu à peu faire place à une approche technique plus élaborée. On peut envisager des essais d'automatisations à l'aide de thermo-salinographes puis l'installation de ces enregistreurs sur tous les navires du réseau. On peut étendre le nombre de paramètres mesurés à certaines données biologiques telles que la chlorophylle et éventuellement envisager un contrôle de la pollution des océans.

L'utilisation des navires non spécialisés comme source de données suscite actuellement ici ou là des projets variés. Le projet présenté ci-dessus s'en différencie d'une part par sa simplicité et son coût modeste, d'autre part par la variété de ses perspectives d'utilisation

BIBLIOGRAPHIE.

- BERRIT G.R. (1961) - Contribution à la connaissance des variations saisonnières dans le Golfe de Guinée. Observations de surface le long des lignes de navigation.
Cah. Océanogr., 13 (10), pp. 715-727.
- DONGUY J.R. (1974) - Une année d'observations de surface dans la zone de mousson de la partie occidentale de l'Océan Indien.
Cah. ORSTOM, Sér. Océanogr., 12 (2) pp. 117-128.
- DONGUY J.R. et HENIN C. (1974) - Salinités de surface caractéristiques du courant équatorial et du contre-courant équatorial nord à 150°-160° E.
La Mer (Bulletin de la Société franco-japonaise d'Océanographie), 12, (2), pp. 72-78.
- HIRES R.J. et MONTGOMERY R.B. (1972) - Navifacial temperature and salinity along the track from Samoa to Hawaii 1957-1965.
J. Mar. Res., 30 (2), pp. 177-200.
- LEMASSON L. (1966) - Nature des eaux superficielles entre la Nouvelle-Calédonie et l'Australie.
Cah. ORSTOM Sér. Océanogr., 4 n° 3, pp.55-76.
- ROCHFORD D.J. (1973) - Patterns of change in surface salinity and temperature of the Tasman and Coral Seas 1966-1971.
Océanog. of the S. Pac. 1972, pp. 105-112.

Manuscrit reçu le 19 - 2 - 1976

Accepté le 6 - 4 - 1976

DONGUY J.R. - 1975 - Utilisation des données des navires non spécialisés en océanographie - MET-MAR N° 89 : 23-28.

Les mesures océanographiques que pourraient effectuer les navires non-spécialisés sont énumérées, tant en biologie qu'en physique. De nombreux exemples d'exploitation de ces mesures sont cités dans l'Atlantique, l'Océan Indien et le Pacifique. Il est souligné que de telles mesures sont complémentaires des croisières océanographiques classiques.

*
* *

DONGUY J.R. - 1977 - L'utilisation des navires marchands pour la récoltes des données scientifiques débutera en janvier 1977 au Havre - Bulletin de la Compagnie Nationale de Navigation et de la Compagnie de Transports Maritimes Pétroliers n° 14, janvier 1977.

L'échantillonnage de surface par navires marchands permet d'examiner la variabilité des différents paramètres à diverses échelles de temps. Les masses d'eau superficielles peuvent ainsi être caractérisées; en hydroclimatologie, par comparaison de la surface de l'océan avec la basse atmosphère, des phénomènes inhabituels ont été mis en évidence; l'observation continue des conditions de surface donne des indications sur les possibilités de pêche. Les navires pétroliers passant au sud de l'Afrique peuvent jouer un grand rôle dans cette recherche.

*
* *

DONGUY J.R. - 1977 - Marines et mesures océanographiques
La Revue Maritime n° 322 - Fév. 1977 : 132-140.

Les observations et prélèvements effectués par les navires marchands apportent de façon permanente quantité de données océanographiques importantes traitées ensuite en laboratoire. D'intéressantes constatations ont été faites sur les variations de température et de salinité des eaux de surface, leur liaison avec les conditions climatiques et les courants dont la portée pratique notamment pour les pêches est évidente. Il est souhaitable que, notamment pour l'étude de l'hydro-climat du Pacifique, les navires de guerre et de commerce participent de plus en plus et systématiquement à la collecte des informations océanographiques.

*
* *

DONGUY J.R. - La collaboration des navires de la compagnie avec l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM) conduit à une meilleure connaissance du Pacifique et de l'Océan Indien (Courrier de la Compagnie Générale Maritime n° 7 automne 1976.

La collaboration entre l'ORSTOM et la Compagnie des Messageries Maritimes a débuté en 1959 dans le Pacifique entre Nouméa et Sydney puis entre Nouméa, Papeete et Panama. En 1966-67 une campagne d'échantillonnage a eu lieu dans l'Océan Indien à partir du Centre ORSTOM de Nosy-Bé. Actuellement les navires qui relient Panama à Nouméa collaborent avec le Centre ORSTOM de Nouméa. Les observations obtenues permettent de surveiller le phénomène catastrophique connu sous le nom de "El Nino" qui intervient certaines années le long des côtes sud-américaines.

*
* * *

Requins de Nouvelle Calédonie - P. Fourmanoir

Nature Calédonienne n° 11/12 - 1975 - pp. 23-29, 5 figs, 5 photographies
n° 13 - 1976 - pp. 5-9, 2 figs, 10 photographies

Description à l'usage du public des requins des genres Carcharhinus,
Prionace, Galeocerdo, Triaenodon, Negaprion, Galeorhinus, pouvant
être rencontrés dans le lagon calédonien et le long du grand récif
extérieur. Des indications sur les tailles, la sexualité et les
limites d'habitat sont données. Les 15 espèces de requins présentées
sont illustrées de dessins au trait, augmentées de quelques photo-
graphies de détails.

*
* *

Reprinted from
PROCEEDINGS OF THE
REGIONAL WORKSHOP ON CIRCULATION STUDIES
IN THE SOUTH WEST PACIFIC

WELLINGTON
11-15 NOVEMBER, 1974

EDITOR : B.R. STANTON

Miscellaneous Publication 65
New Zealand Oceanographic Institute
DSIR

Wellington

1975

SURFACE WATERS IN THE NORTHERN CORAL SEA

J.R. Donguy, C. Henin and F. Rougerie
 Centre ORSTOM de Noumea, New Caledonia

ABSTRACT

Since August 1969, four Japanese merchant ships have made regular observations of surface temperature and salinity between New Caledonia and Japan. Observations are made every 60 nautical miles along a line through the Coral Sea crossing the Equator at 150°E. The mean surface salinity diagram shows that water of salinity less than 34.5‰ occurs between 5°S and 12°S during the period February to June. Since the maximum rainfall in the Philippines occurs in January, the resulting diluted water would need to travel at 2.5 knots to arrive at 160°E in February. Observed velocities are 1.2 knots and for this reason the transport of this water by advection from the western part of the Pacific Ocean does not seem possible. The surface salinity chart for January - February 1971 (Fig. 1) shows the minimum salinity water isolated from its once supposed western source by more saline water north of New Guinea. The low salinity feature is associated with a west wind component and this wind brings rain. These features suggest local formation of this low salinity water.

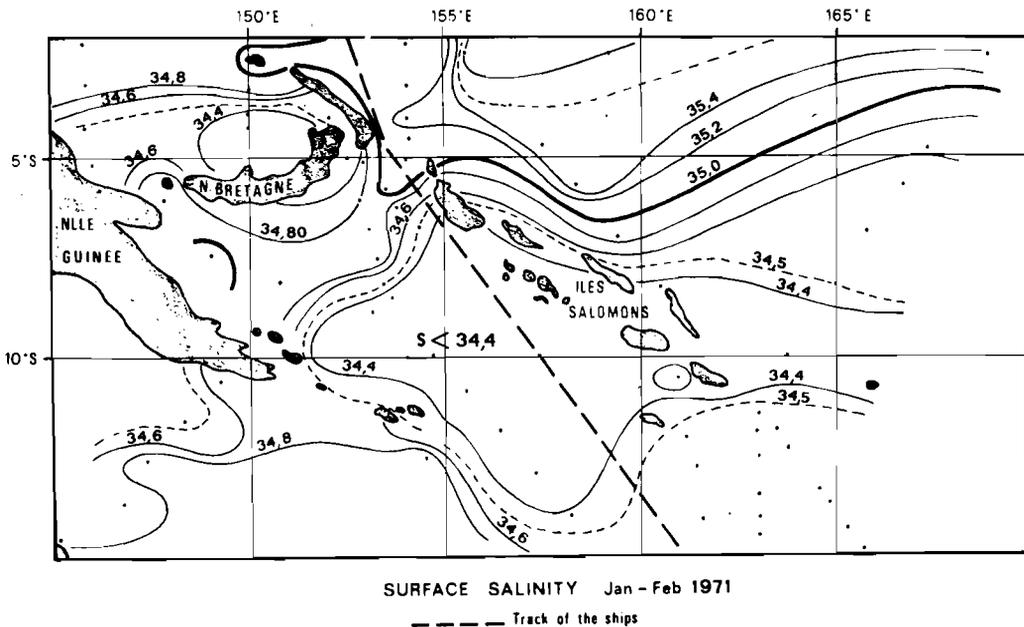


Fig. 1. Surface salinity in the northern Coral Sea, January-February 1971.

SURFACE WATER EXCHANGES BETWEEN THE CORAL SEA
AND THE PACIFIC OCEAN

J.R. Donguy, C. Henin and F. Rougerie
Centre ORSTOM de Noumea, New Caledonia

ABSTRACT

In the Coral Sea, the mean dynamic topography of the sea surface relative to 1000 decibars shows practically zonal circulation. Through 163°E, there is one westward current (the South Equatorial Current between 12°S and 14°30'S) and two eastward currents (the South Equatorial Countercurrent north of 12°S and the South Tropical Countercurrent between 14°30'S and 18°S). Through 158°E, there are two westward currents (the South Equatorial Current between 10°S and 15°S, and a westward current south of 17°S) and only one eastward current (the South Tropical Countercurrent between 15°S and 17°S). The position of the South Tropical Countercurrent suggests that its origin is in the western Coral Sea rather than north of New Guinea (Fig. 1). The data for the abnormal years 1958 and 1972 show only westward flow in the Coral Sea. The velocities of the South Equatorial Current and the South Equatorial Countercurrent are almost 20 cm sec⁻¹ while that of the South Tropical Countercurrent is only 15 cm sec⁻¹.

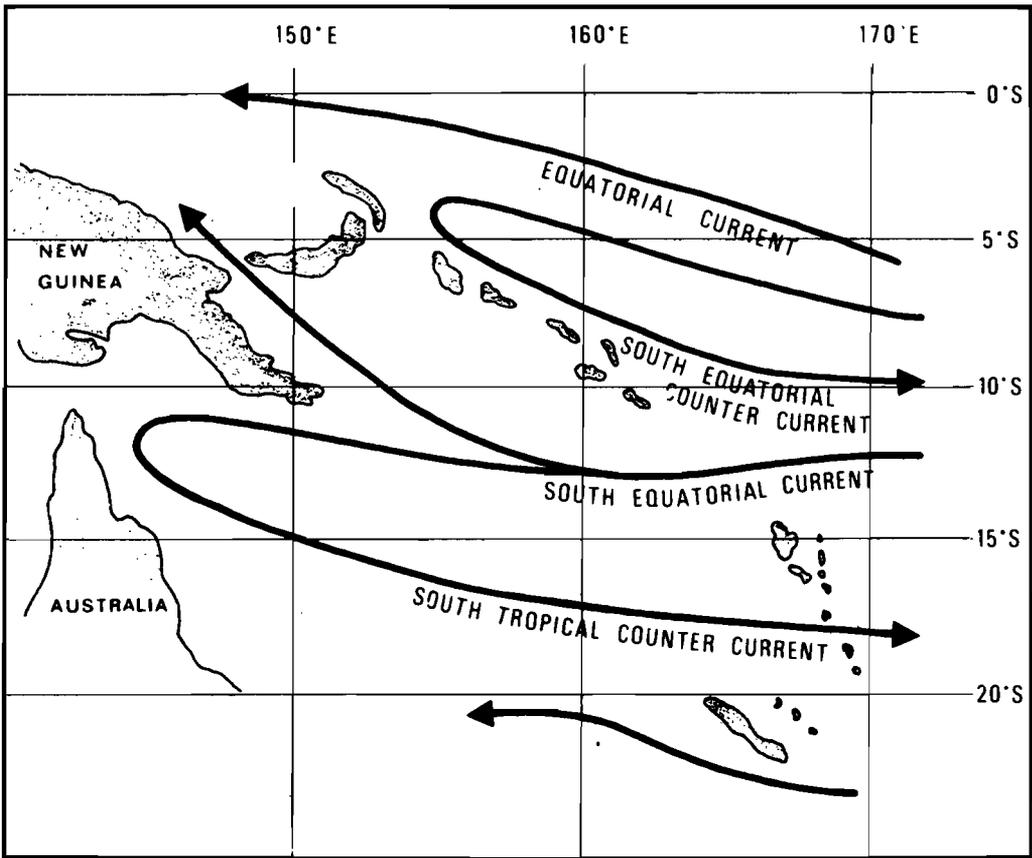


Fig. 1. Schematic diagram of the currents in the Coral Sea.

DYNAMIC INTERPRETATION OF SURFACE SALINITIES

BETWEEN NEW CALEDONIA AND NEW ZEALAND

J.R. Donguy, C. Henin and F. Rougerie
Centre ORSTOM de Noumea, New Caledonia

ABSTRACT

Between New Caledonia and New Zealand the main hydrological problem is the existence of the Tropical Convergence separating a westward flow from an eastward flow in the south of the region. Several ships, regularly linking these islands since November 1971, have made surface observations of temperature and salinity (Fig. 1). In the austral summer, high salinity water is associated with easterly winds. The origin of this water can only be in the South Central Pacific and hence it is carried by a westward current. In the austral winter, after a two-month delay low salinity water is associated with westerly winds south of the region and this suggests this water is pushed eastwards. The Tropical Convergence would be found between the westward flow and the eastward flow, and would move with the seasonal changes.

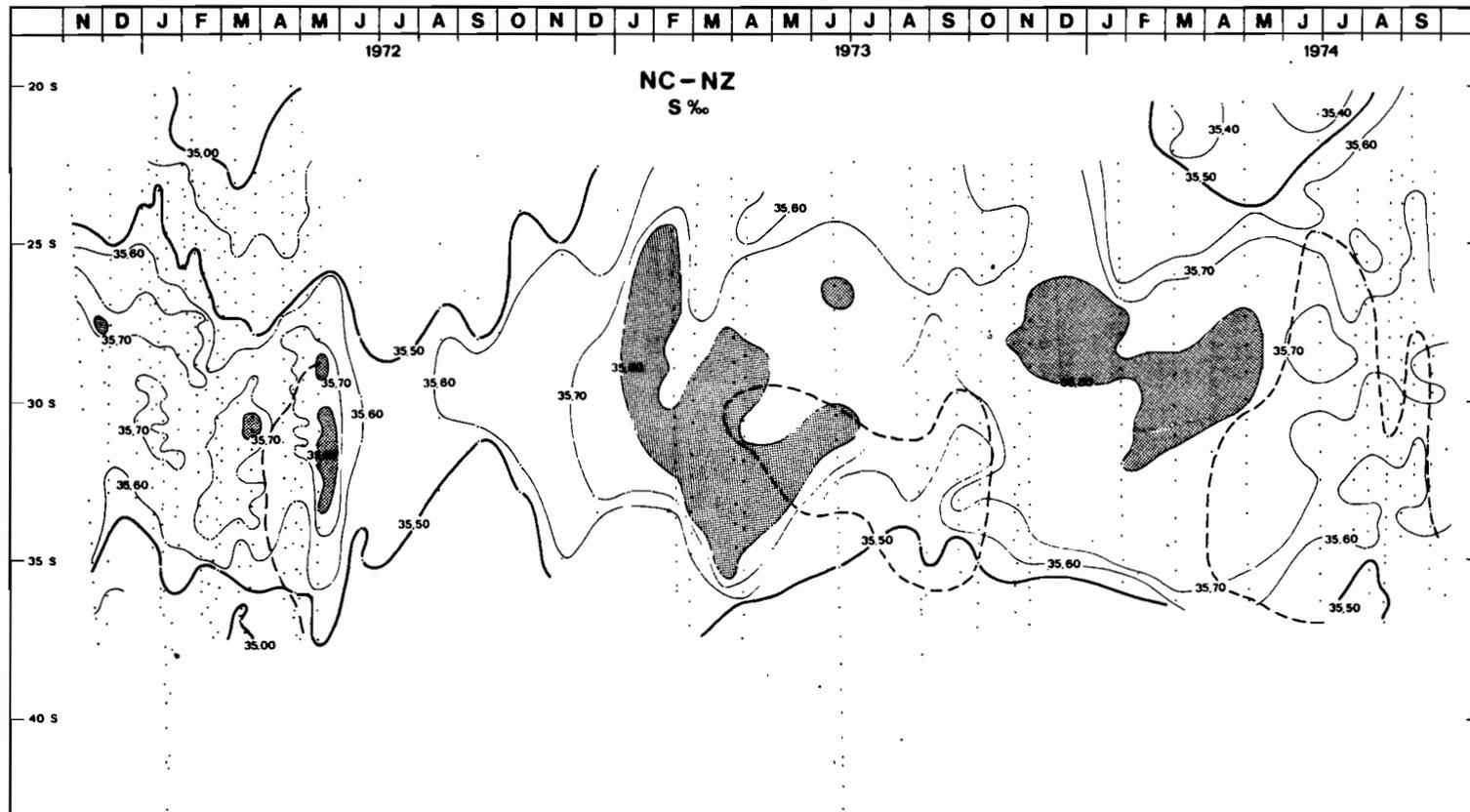


Fig. 1. Surface salinity along the line between New Caledonia and New Zealand for the period November 1971 to September 1974. Stippled areas have salinities greater than 35.8‰.