TRAVAUX ET DOCUMENTS DE L'O.R.S.T.O.M.

LES EAUX DU PACIFIQUE OCCIDENTAL

A 170°E ENTRE 20°S ET 4°N

COUPES ET CARTES DRESSÉES PAR LES OCÉANOGRAPHES DU CENTRE O.R.S.T.O.M. DE NOUMÉA



présentées par H. ROTSCHI, Ph. HISARD et F. JARRIGE



ÉDITIONS DE L'OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

RENSEIGNEMENTS, CONDITIONS DE VENTE

Pour tout renseignement, abonnement aux revues périodiques, achat d'ouvrages et de cartes, ou demande de catalogue, s'adresser à :

SERVICE CENTRAL DE DOCUMENTATION DE L'ORSTOM 70-74, route d'Aulnay, 93-BONDY (France)

 Tout paiement sera effectué par virement postal ou chèque bancaire barré, au nom du Régisseur des Recettes et Dépenses des SSC de l'ORSTOM, 70-74, route d'Aulnay, 93-BONDY; compte courant postal nº 9.152-54 PARIS.
 Achat au comptant possible à la bibliothèque de l'ORSTOM, 24, rue Bayard, PARIS (8).

REVUES ET BULLETIN DE L'ORSTOM

CAHIERS ORSTOM
 a) Séries trimestrielles :

 Entomologie médicale

et parasitologie — Pédologie (1) — Hydrobiologie — Pédologie (1) — Hydrologie — Sciences humaines

Abonnement : France 95 F ; Etranger 115 F ; le numéro 25 F

- Oceanographie

b) Série semestrielle :

--- Géologie Abonnement : France 75 F ; Etranger 80 F ; le numéro 40 F — Bialogie (3 ou 4 numéros par an) — Géophysique Prix selon les numéros

c) Séries non encore périodiques :

II. BULLETIN ANALYTIQUE D'ENTOMOLOGIE MEDICALE ET VETERINAIRE

(Mensuel)

Abonnement : France 75 F ; Etranger 85 F ; le numéro 8 F

(1) Masson et Cie, 120, bd Saint-Germain, Paris-VI∘, dépositaires de cette série à compter du vol. VIII, 1970. Abonnement France : 96 F ; Etranger : 134 F.

TRAVAUX ET DOCUMENTS DE L'O.R.S.T.O.M.

N° 19

O. R. S. T. O. M. PARIS 1972

•••••••

......

[&]quot; La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, " d'une part, que les "copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du co-" piste et non destinées à une utilisation collective" et, d'autre part, que les analyses et les " courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, "toute représentation ou reproduc-" tion intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit " ou ayants cause, est illicite" (alinéa 1er de l'article 40).

[&]quot; Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc " une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code Pénal."

LES EAUX DU PACIFIQUE OCCIDENTAL

A 170°E ENTRE 20°S ET 4°N

COUPES ET CARTES DRESSÉES PAR LES OCÉANOGRAPHES DU CENTRE O.R.S.T.O.M. DE NOUMÉA

présentées par H. ROTSCHI, Ph. HISARD et F. JARRIGE

Résumé

De novembre 1965 à mai 1968, le N.O. CORIOLIS a effectué onze croisières le long du méridien 170°E, entre 20°S et 4°N. Les mesures directes de courant et l'étude des caractéristiques hydrologiques des masses d'eau rencontrées mettent en évidence une structure hydrologique fortement déterminée par la dynamique.

A l'équateur, l'upwelling est fréquent et le courant en surface porte généralement à l'ouest. En subsurface, entre 50 et 300 m, le courant de Cromwell a deux noyaux de vitesse ; l'eau de la veine supérieure a les mêmes caractéristiques hydrologiques que l'eau de surface ; la veine inférieure est composée d'eau subtropicale du Pacifique sud, d'eau du contre-courant équatorial nord et d'eau de la mer du Corail. Sous le courant de Cromwell, le courant équatorial intermédiaire transporte vers l'ouest une eau relativement pauvre en oxygène et riche en sels nutritifs ; il est encadré au nord et au sud par deux courants portant à l'est plus riches en oxygène, puis par deux courants transportant vers l'ouest les eaux des minima d'oxygène d'Amérique centrale et du Pérou.

En zone intertropicale, le flux général ouest est divisé en plusieurs branches par deux contre-courants, le contre-courant équatorial sud qui transporte une eau peu salée relativement pauvre en oxygène et riche en sels nutritifs et le contre-courant tropical sud entraînant également une eau peu salée mais au contraire riche en oxygène et pauvre en sels nutritifs.

La région entre 10°S et 15°S est une zone de contact entre l'eau antarctique intermédiaire riche en oxygène et pauvre en sels nutritifs et l'eau du minimum d'oxygène du Pérou qui a des caractéristiques chimiques inverses : les gradients méridiens de sels nutritifs y sont donc élevés.

Summary

From november 1965 to may 1968, the R.V. CORIOLIS made eleven cruises at 170° E, between 20° S and 4° N. Direct current measurements and the study of the hydrological properties of the water masses show that the hydrological structure is highly influenced by the currents.

At the equator, the upwelling is frequent and the surface current is generally westward. In subsurface, between 50 and 300 m, the Cromwell current has two velocity cores. The water in the upper core has the same hydrological characteristics as the surface water. The lower core is composed of south Pacific subtropical water, of north-equatorial countercurrent water and of Coral Sea water. Below the Cromwell current, the westward equatorial intermediate current carries along a water relatively poor in oxygen and rich in nutrients ; north and south of it there are two eastward currents richer in oxygen and then two westward currents formed with water from the oxygen minima off Central America and Peru.

In the intertropical zone, the general westward flow is divided in several branches by two countercurrents, the south equatorial countercurrent formed with low salinity water relatively poor in oxygen and rich in nutrients and the south tropical countercurrent which is also low salinity water but richer in oxygen and poorer in nutrients.

The region between 10° S and 15° S is a zone of mixing between the antarctic intermediate water rich in oxygen and poor in nutrients and the water of the oxygen minimum off Peru. There, the meridional gradients of the chemical properties are high.

INTRODUCTION

Dans les océans intertropicaux, la zone équatoriale est une région à forte productivité au milieu d'eaux généralement pauvres. Celle du Pacifique se distingue néanmoins de celle des autres océans, d'abord par sa dimension ; elle s'étend de 80°W à 130°E, c'est-à-dire sur une longueur de 9000 milles, soit près de 17000 km. Ensuite, les mécanismes d'enrichissement superficiel, upwelling équatorial, transport vers l'ouest d'eau entraînée en surface par l'upwelling du Pérou, mélange turbulent vertical dans la couche supérieure homogène semblent y être extrêmement actifs. Enfin, le courant de Cromwell qui fut la première circulation équatoriale subsuperficielle d'est à être étudiée en détail, si l'on met de côté les observations de BUCHANAN et les remarques de PULS (MONTGOMERY 1962, STROUP et MONTGOMERY 1963) y est bien développé.

Depuis la fin de la dernière guerre mondiale des efforts considérables ont été fournis pour son étude. En 1965, on ne comptait pas moins de 84 coupes transéquatoriales américaines, de multiples mesures japonaises des courants équatoriaux dans le Pacifique occidental et de nombreuses coupes transéquatoriales russes des croisières du Vityaz entre autres. Ces études ont grandement contribué à une connaissance détaillée de la circulation équatoriale à l'est de 140°W, ainsi que du contre-courant équatorial nord mais, à l'arrivée du N.O. Coriolis dans le Pacifique en 1965, la circulation à l'équateur, dans la zone occidentale, était moins bien connue et l'on s'interrogeait encore sur l'extension vers l'ouest de l'upwelling équatorial et du courant de Cromwell, deux caractéristiques essentielles de la circulation équatoriale du Pacifique central et oriental.

Pour ce qui est de l'upwelling équatorial proprement dit, c'est-à-dire la remontée, en direction de la surface appauvrie par la photosynthèse, d'eaux subsuperficielles plus riches, on considère qu'il est lié à une divergence des dérives superficielles induites par les vents dominants. Les eaux équatoriales du Pacifique central sont, toute l'année, plus riches que les eaux adjacentes et l'apport de sels nutritifs par transport vers l'ouest des eaux de l'upwelling du Pérou ne peut pas expliquer seul leur productivité relativement élevée ; il y a donc lieu de penser que l'upwelling équatorial y est très actif, d'autant plus que c'est dans cette zone que les alizés sont les plus intenses. Néanmoins, certains modèles de circulation méridienne à l'équateur rattachent le courant de Cromwell à une divergence équatoriale et, par conséquent, à un upwelling sans pour autant séparer la cause de l'effet ; il se pourrait donc que l'upwelling équatorial soit aussi bien l'indice d'une divergence des courants de surface induits par les vents que du courant de Cromwell. Dans le Pacifique équatorial occidental, la force d'entraînement des alizés paraît trop faible pour provoquer un upwelling permanent important ; cependant le refroidissement équatorial dû à l'upwelling a été occasionnellement rencontré.

Au démarrage des croisières du N.O. Coriolis, l'on connaissait donc très mal l'extension vers l'ouest, qui peut varier en fonction des saisons, de l'upwelling équatorial ainsi que son importance quantitative dans l'enrichissement des eaux superficielles par rapport au transport vers l'ouest d'eaux riches d'origine orientale. Sa liaison possible avec le courant de Cromwell faisait en outre planer un doute sur l'extension vers l'ouest de ce dernier, la disparition de l'un ayant pour corollaire la disparition de l'autre, les causes des fluctuations du courant de Cromwell restant floues. Par ailleurs, MONTGOMERY (1962) a noté que, dans le Pacifique occidental, les noyaux de vitesse du courant de Cromwell et du contre-courant équatorial nord sont généralement reliés par une zone continue de flux E. D'autres flux E ont été mis en évidence dans l'hémisphère sud (REID 1959), tant en surface qu'en subsurface le long de l'isopycne 26, 81 g/l (isanostère 125 cl/t), et l'hypothèse d'une continuité entre eux et le courant de Cromwell n'est pas à priori exclue. Enfin, BURKOV (1968) a suggéré que le courant de Cromwell et le contre-courant équatorial nord convergent à travers tout le Pacifique. La circulation d'ouest en est, tant superficielle que subsuperficielle, apparaissait donc comme une juxtaposition de flux qui, séparés les uns des autres dans le Pacifique central et oriental, pourraient fort bien avoir un tronc commun dans le Pacifique occidental où les courants portant à l'est prennent naissance.

C'est à ces problèmes que furent consacrées pendant trois ans les croisières du N.O. Coriolis. Les recherches, limitées aux 1500 m supérieurs, ont porté sur le système des eaux tropicales et équatoriales, le long du méridien 170°E, entre 20°S et 4°N, et ont concerné surtout les propriétés hydrologiques des masses d'eau, leurs mouvements, leur productivité primaire, la répartition des biomasses de zooplancton et de micronecton et les variations dans le temps de l'ensemble de ces propriétés.

L'étude qui suit présente la distribution observée à 170° E, des principaux paramètres dynamiques et hydrologiques ; pour ce qui est de la biologie, seule est incluse celle du micronecton et du macroplancton pendant les croisières "Bora". L'on s'est contenté de commentaires généraux sur les principales caractéristiques des répartitions, à l'exclusion de toute discussion détaillée et de toute interprétation des variations dans le temps qui sont l'objet de nombreuses publications analysées *in fine*.

Les données brutes des diverses campagnes ont été diffusées dans les publications scientifiques locales du Centre ORSTOM de Nouméa, section Océanographie, et déposées aux Centres mondiaux A et B.

CROISIÈRES

De novembre 1965 à mai 1968, onze croisières, consacrées en tout ou en partie à l'océanographie du méridien 170° E, furent exécutées en deux séries : les croisières trimestrielles "Bora" qui ont défini le cadre océanographique général et indiqué des fluctuations dans le temps dépassant largement l'amplitude attendue ; les croisières mensuelles "Cyclone" qui se sont attachées aux fluctuations à moyen terme et, dans une moindre mesure, à plus court terme, du système des courants équatoriaux. Les dates de ces croisières et de leur station équatoriale à 170° E sont précisées tableau 1.

Tableau 1

Liste et dates des croisières et des stations équatoriales à 170°E du N.O. CORIOLIS

Croisières	Dates	Stations équatoriales			
BORA 1	26.11.1965 - 22.12.1965 3 3 1966 - 5 4 1966	7.12.1965			
BORA 3	9. 6.1966 - 15. 7.1966	22. 6.1966			
BORA 4	19. 9.1966 - 17.10.1966	2.10 et 10.10.1966			
CYCLONE 1	14.11.1966 - 7.12.1966	22.11.1966 - 30.11.1966			
CYCLONE 2	14. 3.1967 - 5. 4.1967	22. 3.1967			
CYCLONE 3	18. 4.1967 - 10. 5.1967	26. 4.1967			
CYCLONE 4	29. 5.1967 - 20. 6.1967	6. 6.1967			
CYCLONE 5	4. 7.1967 - 26. 7.1967	12. 7.1967			
CYCLONE 6	17. 8.1967 - 9. 9.1967	25. 8.1967			
CYCLONE 7	9. 4.1968 - 10. 5.1968	18.4, 24.4 et 8. 5.1968			
		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·			

Au total, 102 stations ont été occupées entre 20°S et 5°S et 228 entre 5°S et 4°N.

Méthodologie

Les stations hydrologiques furent effectuées en une seule palanquée de 20 à 24 bouteilles à renversement Nansen plastifiées intérieurement (T.S.K.) au début, puis Niskin entièrement en P.V.C. (General Oceanics) lors des dernières opérations. Les profondeurs de prélèvement étaient choisies en fonction d'un profil bathythermique relevé avant chaque station, et de façon à obtenir la meilleure description possible de la couche de transition en zone tropicale et de la couche occupée par le courant de Cromwell en zone équatoriale. A certaines stations l'espacement de quelques bouteilles fut de 10 m. La plupart des stations furent effectuées avec un câble hydrologique voisin de la verticale ; elles sont distantes de 60 à 80 milles entre 20° S et 4° S et de 30 milles au nord de 4° S.

Les thermomètres à renversement étaient presque tous japonais (Yoshino). Les thermomètres protégés furent montés par couples sur les bouteilles utilisées entre la surface et 200 m; aux profondeurs supérieures à 200 m, l'équipage fut alternativement de deux protégés et d'un non protégé puis d'un protégé et de deux non protégés. Au niveau de probabilité 95 %, la précision des déterminations est de $\pm 0,02^{\circ}$ C pour la température et de ± 5 m pour la profondeur quand elle est de l'ordre de 1000 m. Un thermographe précis à $\pm 0,2^{\circ}$ C (Pyrométrie industrielle) a enregistré la température superficielle. Un profil bathymétrique au bathythermographe 0-300 m (Thermarine recorder) était relevé avant chaque station ainsi que tous les trente milles en zone intertropicale et tous les dix milles en zone équatoriale.

La salinité a été mesurée au salinomètre à induction (Auto-Lab Mark III) dont la précision est de $\pm 0,003 \%$ (BROWN et HAMON 1961).

Dans l'étude de l'océan Pacifique, les océanographes américains et japonais utilisent presque exclusivement, au lieu de sigma-t, l'anomalie thermostérique Δ_{st} (MONTGOMERY et WOOSTER 1954) définie par

$$\Delta_{\rm st} = 0,02736 - \frac{10^{-3} \sigma_{\rm t}}{1 + 10^{-3} \sigma_{\rm t}}$$
 (LA FOND 1951).

Les résultats des croisières du N.O.Coriolis sont exprimés de la même manière, et la correspondance entre Δ_{st} et σ_t est donnée dans le tableau 2.

 $\label{eq:correspondence} Tableau\ 2\\ Correspondence\ entre\ l'anomalie\ thermosthérique\ \Delta_{s\,t}\ et\ sigma-t$

Δst	ď +
100	27,070
200	26,017
300	24,965
400	23,915
500	22,868
600	21,823

L'oxygène fut mesuré par la méthode de Winkler modifiée par GREEN (1965) et CARRIT et CARPENTER (1966). Le dosage est effectué avec un titrateur automatique (Beckman modèle K) couplé à une burette électrique (Metrohm) et modifié pour obtenir un automatisme intégral du dosage (RUAL et VOITURIEZ 1969). La précision de la détermination est \pm 0,05 ml/l, au niveau de probabilité 95 %.

Le phosphate, évalué par la méthode de MURPHY et RILEY (1962) est connu avec une précision de \pm 0,02 mat-g/m3.

Le nitrate fut mesuré par la méthode de MORRIS et RILEY (1963) modifiée par WOOD, ARMSTRONG et RICHARDS (1967), la précision de la mesure variant, selon la concentration, de $\pm 0,1$ mat-g/m³ à $\pm 0,7$ mat-g/m³. Le nitrite fut dosé par la méthode de BENDSCHNEIDER et ROBINSON (1952), avec une précision de $\pm 0,02$ mat-g/m³. Toutes les mesures colorimétriques furent faites en cuves de 10 ou 1 cm, selon l'intensité de la couleur, avec un spectrophotocolorimètre (Beckman DU).

Il n'y eut des mesures directes de courants que pendant les croisières "Cyclone", avec, selon les croisières, un, deux ou trois courantographes (Hydro-Products) à rotor de Savonius, montés sur le câble hydrologique maintenu, le cap et la vitesse du bateau étant constants, aussi voisin que possible de la verticale pendant toute la durée des mesures. Les courants sont exprimés relativement à la profondeur de référence 500 m. La précision des mesures est de ± 5 cm/s sur l'intensité de la composante E-W et de $\pm 5^{\circ}$ sur la direction.

La teneur en chlorophylle à a été déterminée par la méthode de Richards et Thompson (1952) légèrement modifiée pour l'adapter à des eaux tropicales oligotrophes : filtration de grands volumes d'eau (10 à 20 l) et emploi, pour les mesures colorimétriques, de cuves spéciales à long trajet optique (10 cm), mais de faible capacité (5 ml). La concentration a été calculée par les formules de PARSONS et STRICKLAND (1963) avec, pour une gamme de teneurs de 0,05-0,20 mg/m3, une précision de \pm 7%.

Le taux de photosynthèse a été mesuré, pendant les croisières "Bora" seulement par la méthode de STEEMAN-NIELSEN (1952) avec incubation *in situ* des échantillons entre 0700 et 1200 TL. Dans la gamme 0,05 - 0,90 mg/m³/h, l'erreur relative est \pm 40%.

La distribution du micronecton et du macroplancton ne fut étudiée systématiquement qu'au cours des croisières "Bora" avec un chalut pélagique Isaacs-Kidd de dix pieds, de maille de 4 mm ; son cul était un filet conique ordinaire de 50 cm de diamètre et de maille 000 (vide de maille compris entre 0, 9 et 1,0 mm). Un débitmètre (T.S.K.) et un bathykimographe (Marine Advisers) complétaient le gréément du chalut. Tous les prélèvements eurent lieu de nuit, entre 2000 et 2300 TL, lors de traits obliques symétriques dont les profondeurs varièrent suivant les croisières. Les biomasses ont été estimées par pesée du matériel humide. La fraction "petit plancton" a été isolée du reste de la récolte par filtration dans l'eau, sur un tamis à orifices circulaires de 3,4 mm de diamètre.

COUPES HYDROLOGIQUES ET DISTRIBUTIONS MÉRIDIENNES

Les coupes présentent la distribution verticale, jusqu'à 500 m de profondeur, des courants mesurés entre 4°S et 4°N, des courants géostrophiques entre 20°S et 5°S, et, entre 20°S et 4°N, de la température, de la salinité, de l'anomalie thermostérique, de l'oxygène dissous, du nitrate et du phosphore réactif, avec les numéros d'identification précisés dans le tableau 3.

En outre, différentes distributions méridiennes de propriétés biologiques sont présentées ; ce sont la chlorophylle <u>a</u> dans les couches 0-50 m, 0-100 m et 0-200 m (Figure 9) ; le taux de photosynthèse dans les couches 0-50 m et 0-100 m (Figure 10) ; différentes biomasses (Figure 11) : la biomasse totale et celle du petit plancton ; les copépodes bathypélagiques et les ptéropodes thécosomes ; les chaetognates et les organismes gélatineux ; les mysidacés et les amphipodes ; les pénéides et les euphausiacés ; les carides et les sergestides ; les céphalopodes ; les poissons et les larves de poissons.

Tableau 3

	Liste	des	illustrations
--	-------	-----	---------------

	courants mesurés cm/s	courants géostro- phiques cm/s	T°C	S ‰	∆ st cl∕t	O2 ml/l	NO3 mat-g/m3	PO4-P mat-g/m3	
N° d'identification de la figure	1	2	3	4	5	6	7	8	
Identification de la coupe									
B 1		a	a	a	a	a	a		
В 2		b	b	b	b	b	b		
В 3		с	с	с	с	с	с		
В4		đ	d	d	đ	d	đ		
B 4 (retour)			е	е	е				
C 2	f	f	f	f	f	f		f	
C 3	g	g	g	g	g	g	g	g	
C 4	h	h	h	h	h	h	h	h	
C 5	i	i	i	i	i	i	i	i	
C 6	j	j	j	j	j	j	t	j	
C 7 ₁	k	k	k	k	k	k	k	k	
C 72	1		1	1	1	1	1	1	
C 73	m		m	m	m	m	m	m	
C 7 (20°S-5°S)	n								

Figure 9 : Distribution de la chlorophylle a

Figure 10 : Distribution de la production primaire

Figure 11 : Distribution de différentes biomasses de micronecton et de macroplancton

Sans entrer dans une discussion détaillée des propriétés étudiées, il a paru intéressant origner les traits essentiels des répartitions verticales et leur relation avec la circulation toute.

Pour ce qui est des courants mesurés (Figure 1, f-m), on distingue particulièrement trois flux en zone équatoriale : le courant équatorial de surface coulant à l'ouest, le courant de Cromwell qui est le nœud d'un ensemble de courants portant à l'est et, sous ce dernier, un courant intermédiaire portant à l'ouest. Le courant équatorial de surface est habituellement divisé en deux branches : l'une centrée vers 2° 30 S a une épaisseur de l'ordre de 200 m et une intensité voisine de 50 cm/s ; l'épaisseur de l'autre qui est centrée vers 2° 30 N est moindre, varie plus et son intensité est plus faible. Entre ces deux branches du flux ouest, il y a un courant portant à l'est, à peu près centré sur l'équateur et dont la limite supérieure est à une profondeur de l'ordre de 50 m. C'est le noyau supérieur du courant de Cromwell qui, à 170° E. est composé de deux cellules, l'une centrée vers 100 m de profondeur, l'autre vers 200 m : ces deux cellules de flux E sont séparées par une couche où le flux a une forte composante méridienne. La vitesse moyenne, dans la cellule supérieure, est de l'ordre de 30-40 cm/s ; dans la cellule inférieure elle est de 50 cm/s.

Il existe une exception à ce schéma de circulation zonale dans les 200 premiers mètres : en avril 1967 (Figure 1 g) à l'équateur, en surface, le courant portait à l'est ; la cellule supérieure du courant de Cromwell était alors remplacée par un courant ouest relié aux deux branches du courant équatorial ; aux profondeurs supérieures à 200 m, la circulation était inchangée. Cette situation consécutive à un fort coup de vent d'ouest ayant sévi à l'ouest de la zone étudiée quelques jours avant la croisière souligne la dépendance de la circulation, dans les couches supérieures, du régime des vents dominants et l'indépendance, vis-à-vis de ces derniers, des flux plus profonds.

Au nord et au sud, le courant de Cromwell est relié à deux autres courants portant aussi à l'est. Au nord, c'est la bordure sud du contre-courant équatorial nord qui s'enfonce en biais vers l'équateur, en formant une branche profonde atteignant au moins une profondeur de 500 m ; elle est reliée au courant de Cromwell par un "pont" situé vers 2° 30 N et 200 m de profondeur où l'intensité du courant varie beaucoup ; l'épaisseur de ce pont est très fluctuante et la composante méridienne du flux a tendance à diverger. La continuité de flux entre le contrecourant équatorial nord et le courant de Cromwell signalée par MONTGOMERY (1962) dans le Pacifique occidental est donc confirmée de même qu'il apparaît que ces deux courants ont une origine commune probablement au nord de la Nouvelle-Guinée. Par contre, ils semblent devoir se séparer à l'est de 170°E. Au sud, il y a un courant centré vers 2°S, avec un noyau à 200-300 m et une intensité de l'ordre de 30 cm/s ; ce courant stable s'enfonce profondément jusqu'à 1500 m au moins et pourraît être le courant décrit par REID (1965) entre 3°S et 7°S sur l'isanostère 125 cl/t. Les deux extensions profondes du courant de Cromwell encadrent un courant ouest, que l'on propose d'appeler le "courant équatorial intermédiaire", dont la limite supérieure est à une profondeur de l'ordre de 300 m et où la vitesse est 10-20 cm/s.

Les courants géostrophiques entre 20°S et 5°S (Figure 2, a-k) indiquent, dans un flux général ouest, la permanence de deux contre-courants portant vers l'est : le contre-courant équatorial sud et le contre-courant tropical sud. Le premier a son noyau de vitesse près de 10°S et une vitesse maximale de l'ordre de 20 cm/s ; sa largeur varie du simple au triple : il paraît atteindre une profondeur élevée, mais les vitesses plus grandes que 10 cm/s sont en général limitées aux 300 m supérieurs. Le second, le contre-courant tropical sud est plus lent, moins profond, et son extension méridienne est plus faible ; il coule au sud de 15°S et sa limite méridionale est difficile à préciser parce que les observations ont été limitées à 20°S.

Dans la distribution de la température (Figure 3, a-m), trois traits importants sont à retenir. L'éclatement équatorial de la thermocline qui est visible entre 3°S et 3°N, dans une couche d'eau s'étendant au moins entre 100 et 400 m de profondeur, affecte une grande gamme d'isothermes, de 10 à 25°C; il est par conséquent beaucoup plus marqué que celui décrit par KNAUSS (1960) à 140°W; indication de la présence du courant de Cromwell, il suggère que ce

dernier est plus épais et plus large à 170° E qu'à 140° W, ce qui est bien le cas. Deux exceptions à ce type de distribution : décembre 1965 (Figure 3,a) et avril 1967 (Figure 3,f) ; elles rappellent l'influence du vent sur les propriétés équatoriales et sont caractéristiques d'une convergence équatoriale du courant de surface induit par un vent exceptionnel d'ouest, ce qui entraîne une augmentation considérable de l'épaisseur à l'équateur, de la couche isotherme de surface. Par vent dominant d'est au contraire, la dérive superficielle porte à l'ouest et diverge à l'équateur.

L'upwelling équatorial qui apparaît clairement par une remontée très rapide, en direction de la surface, des isothermes de la partie supérieure de la thermocline et par un refroidissement de l'eau de surface à l'équateur relativement aux eaux adjacentes, n'est absent que dans les deux cas de convergence précédemment évoqués : alors, il y a au contraire échauffement des eaux voisines de l'équateur.

La troisième caractéristique de la distribution verticale de la température est l'inversion, vers 10°S et entre 15 et 20 °S, de la pente des isothermes supérieures de la thermocline. Dans l'hémisphère nord, de tels changements de pente sont associés, soit au contre-courant équatorial nord (KENDALL 1966), soit au contre-courant tropical nord (ROBINSON 1969), c'està-dire à un courant géostrophique portant à l'est ; dans l'hémisphère sud à 170°E, elles coincident respectivement avec le contre-courant équatorial sud et le contre-courant tropical sud qui sont aussi des courants géostrophiques. En outre, à l'équateur, les isothermes les plus profondes remontent en direction de la surface ; en terme de géostrophie, cela correspond à un courant ouest inclus dans une circulation vers l'est, ce que les mesures de courant ont effectivement mis en évidence. Enfin, il faut noter la faible intensité de la thermocline, même en zone équatoriale, comparée à celle dans le Pacifique central (KNAUSS 1960) et dans le Pacifique nord (PANFILOVA 1968).

La répartition verticale de la salinité (Figure 4, a-m) a trois caractéristiques importantes. Vers 10°S et 200 m de profondeur, il y a un noyau de salinité supérieure à 36 ‰ qui est de l'eau subtropicale du Pacifique sud, formée en surface, au sud-est de la Polynésie française. Comme l'indique la position de l'isohaline 35,50 ‰, son extension en direction de l'équateur varie beaucoup ; cette eau participe à la formation du courant de Cromwell et, au voisinage de l'équateur, son noyau est proche, généralement un peu au-dessus du maximum de vitesse. Dans le Pacifique central, on trouve toujours, au sud de l'équateur mais au niveau du noyau de vitesse du courant de Cromwell, un noyau de salinité isolé, trace de l'eau subtropicale du Pacifique sud intégrée au courant dans le Pacifique occidental (MONTGOMERY et STROUP 1962, KNAUSS 1966, WYRTKI 1967). On observe, sur certaines coupes à 170° E, un noyau similaire, mais plus méridional, qui suggère que la longitude 170° E est voisine de la limite orientale d'intégration de l'eau subtropicale du Pacifique sud au courant de Cromwell ; en outre c'est un indice supplémentaire de la plus grande largeur du courant de Cromwell dans le Pacifique occidental.

Une autre caractéristique de la distribution verticale de la salinité est la présence, à l'équateur et entre 100 et 250 m de profondeur, d'une superposition de maxima et de minima due à l'interpénétration de l'eau peu salée du Pacifique nord et de celle plus salée du Pacifique sud, participant toutes deux à la formation du courant de Cromwell. Comme le montre la position, à une profondeur supérieure à 100 m, de l'isohaline 35,00 ‰, elles se rencontrent à l'équateur ou à son voisinage immédiat.

Enfin, il faut noter la permanence significative d'une eau superficielle peu salée (S < 35 %) dont le noyau est proche de 10°S. Il n'y a pas, dans le Pacifique sud-occidental, d'autres sources d'eau dessalée que la région équatoriale à fortes précipitations au voisinage de la Nouvelle-Guinée. Cette dessalure est donc une indication certaine de la permanence, à 170°E, d'un contre-courant portant à l'est, qui est le contre-courant équatorial sud. En décembre 1965 (Figure 4, a) et en avril 1967 (Figure 4, g) l'eau de surface à l'équateur était dessalée parce qu'à ces deux périodes le courant équatorial ouest fut remplacé par un contre-courant portant à l'est et entraînant les eaux peu salées du nord de la Nouvelle-Guinée.

La répartition verticale de l'anomalie thermostérique (Figure 5, a-m) reflète fidèlement celle de la température ; on retrouve en effet, les principaux traits de la distribution des isothermes. L'éclatement entre 3°S et 3°N des isanostères de la pycnocline suggère aussi un courant de Cromwell plus large et plus épais qu'à 140°W. L'upwelling équatorial amène en surface une eau plus lourde que les eaux adjacentes, sauf en décembre 1965 (Figure 5, a) et en avril 1967 (Figure 5, g) où, à cause de l'inversion, due au vent, du courant, il y a convergence ; l'eau équatoriale est alors plus chaude, moins salée et plus légère qu'au nord et au sud. La pycnocline est moins intense que dans le Pacifique central et le Pacifique nord. Enfin, la pente montante vers le sud des isanostères supérieures de la pycnocline est liée au contrecourant équatorial sud vers 10°S et au contre-courant tropical sud vers 20°S.

De plus, dans l'hypothèse où le courant de Cromwell est géostrophique, on montre facilement (MONTGOMERY et STROUP 1962) que sa composante E augmente vers le haut lorsque le volume spécifique augmente en direction de l'équateur ; son noyau est donc situé à la profondeur où les isanostères à l'équateur sont horizontales : vers 200 m à 170° E, l'anomalie thermostérique étant proche de 200 cl/t. Cette anomalie thermostérique est voisine de celle observée dans le Pacifique central, mais le noyau à 170° E est plus profond (MONTGOMERY et STROUP, op.cit.). En outre, le courant équatorial intermédiaire, encadré par les deux branches profondes du courant de Cromwell, apparaît clairement dans la remontée, en direction de l'équateur, des isanostères profondes.

La répartition verticale de l'oxygène (Figure 6, a-m) a aussi des caractéristiques frappantes. Tout d'abord, le noyau homogène équatorial, spécifique du courant de Cromwell (KNAUSS 1960) est, comme permettent de le prévoir les mesures directes du courant, plus épais et plus étendu en latitude à 170°E qu'à 140°W. En outre, la concentration de l'oxygène au noyau est supérieure à ce qu'elle est à 140°W ; il y a donc, dans le courant de Cromwell, consommation d'oxygène, soit par reminéralisation de la matière organique, soit par diffusion dans les eaux moins oxygénées qui encadrent ce noyau.

A l'équateur et à une profondeur supérieure à 300 m, il y a un noyau peu oxygéné associé au courant équatorial intermédiaire entraînant vers l'ouest l'eau du minimum d'oxygène formé le long du Pérou (REID 1965). Ce courant est encadré, en direction des pôles, successivement par : une bande oxygénée prolongement en profondeur, de part et d'autre de l'équateur, du courant de Cromwell et transportant vers l'est une eau originaire, soit de la mer de Corail (TSUCHIYA 1968), soit du Pacifique nord ; puis, par une eau désoxygénée : au nord c'est l'extension de l'eau du minimum d'oxygène formé dans l'hémisphère nord le long de l'Amérique centrale, au sud c'est l'extension de la langue méridionale du noyau du minimum formé au large du Pérou (REID, op. cit.).

Enfin, apparaît au sud des coupes une eau oxygénée à plus de 4 ml/l qui résulte de la diffusion en direction de l'équateur, de l'eau antarctique intermédiaire formée en surface vers 60° S où elle acquiert une concentration supérieure à 6 ml/l. La zone de contact de cette eau antarctique riche et de l'eau intertropicale pauvre du Pérou est située entre 10° S et 20° S et son extension méridienne varie beaucoup. La latitude de l'isoplèthe d'oxygène 3 ml/l associée à un fort gradient méridien d'oxygène et que l'on peut considérer comme la limite d'extension méridionale de l'eau du minimum du Pérou étant relativement stable, c'est l'extension vers le nord de l'eau antarctique intermédiaire qui varie le plus. Le dernier trait important de la distribution verticale de l'oxygène est l'influence apparente de la circulation zonale superficielle à l'équateur. Elle apparaît moins clairement qu'avec la température, mais elle est néanmoins évidente dans les deux cas de convergence (Figure 6, a et g) et dans quelques cas d'upwelling (Figure 6, b, d et j).

La distribution des sels nutritifs, nitrate (Figure 7, a-m) et phosphate (Figure 8, f-m) reflète assez fidèlement les principales caractéristiques hydrologiques et dynamiques esquissées ci-dessus. L'enrichissement de la couche équatoriale superficielle est un mécanisme permanent, sauf en période de convergence à l'équateur du courant E induit par un vent d'ouest (Figure 7, a et g, Figure 8, g). En subsurface, en apparente concordance avec le courant de Cromwell tel qu'il est défini par l'éclatement de la thermocline, de la pycnocline et par le noyau homogène en oxygène, il y a une couche dans laquelle le gradient vertical du nitrate et du phosphate, s'il est plus faible que de part et d'autre, n'est cependant pas négligeable, ce qui met sérieusement en question l'hypothèse de KNAUSS (1960) sur la formation du noyau homogène en oxygène par mélange vertical intense dans le courant de Cromwell. Toujours à l'équateur, mais à une profondeur supérieure à 300 m, il y a un noyau riche en sels nutritifs associé au courant équatorial intermédiaire pauvre en oxygène ; il est encadré par deux langues plus pauvres correspondant à de l'eau entraînée vers l'est, limitées elles-mêmes, en direction des pôles, par des eaux plus riches qui sont celles des minima nord et sud d'oxygène.

Aux profondeurs intermédiaires de la zone intertropicale de l'hémisphère sud, apparaît nettement un noyau dans lequel le nitrate et le phosphate atteignent une concentration élevée et qui est directement liée à la faible teneur en oxygène de l'eau du minimum. En outre, la forte pente descendante, en direction du sud, des isoplèthes du nitrate et du phosphate indique que l'eau originaire de l'antarctique est beaucoup plus pauvre en sels nutritifs ; la limite entre eau riche du minimum d'oxygène et eau antarctique pauvre est clairement marquée, entre 10°S et 15°S, par un fort gradient méridien des sels nutritifs.

La rapidité d'évolution des biomasses phytoplanctoniques rend illusoire une représentation de leur distribution analogue aux coupes hydrologiques. Les observations ont donc été groupées de manière à donner la concentration moyenne de la chlorophylle <u>a</u> respectivement dans les couches 0-50 m, 0-100 m et 0-200 m (Figure 9) et la production primaire moyenne en $gC/m^2/jour$ pendant une durée de dix heures, respectivement dans les couches 0-50 m et 0-100 m (Figure 10). Pour ce qui est de la chlorophylle <u>a</u>, mesurée globalement, sans distinction entre chlorophylle active et ses produits de dégradation, seule la zone équatoriale de la couche 0-200 m est significativement plus riche ; en revanche, dans la couche 0-100 m en plus du maximum équatorial, il y a un maximum secondaire entre 12°S et 16°S ; dans la couche 0-50 m, un deuxième maximum secondaire apparaît entre 5°S et 6°S. Cette distribution illustre donc bien la circulation zonale géostrophique qui implique une divergence à la limite nord du contre-courant équatorial sud et du contre-courant tropical sud et une convergence à leur limite sud. La distribution de la production primaire indique une seule zone de forte productivité à l'équateur.

Le même problème de représentation s'est posé avec les différentes biomasses de micronecton et de macroplancton ; les fluctuations d'une croisière à l'autre sont très impor tantes et de plus les modifications de la technique d'échantillonnage intervenues en cours de programme compliquent la comparaison des données. Les résultats des traits de toutes les croisières "Bora" ont donc été cumulés au niveau des groupes de tri (Figure 11) : petit plancton, copépodes bathypélagiques, ptéropodes thécosomes, chaetognates, organismes gélatineux, mysidacés, amphipodes, péneides, euphausiacés, carides, sergestides, céphalopodes, poissons, larves de poissons ; en outre, on a figuré aussi par une courbe cumulative la biomasse totale. Chacune de ces courbes représente donc une distribution fictive avant l'allure d'une distribution moyenne. La biomasse totale (A) fait apparaître un maximum équatorial et un maximum intertropical ; ce dernier correspond, avec un léger décalage méridien au maximum tropical de chlorophylle a dans la couche 0-100 m. Pour ce qui est des groupes de tri, l'on peut distinguer entre ceux qui présentent des extréma semblables à ceux de la biomasse totale, mysidacés (G), céphalopodes (M), poissons (N), larves de poissons (D); ceux qui n'ont qu'un maximum équatorial plus ou moins décalé, copépodes bathypélagiques (C), ptéropodes thécosomes (D), euphausiacés (F), carides (K), sergestides (L); ceux qui sont uniformément distribués, organismes gélatineux (F), pénéides (I) et enfin ceux qui n'ont qu'un maximum intertropical très marqué vers 5°S, chaetognates (E) et amphipodes (G). Ces distributions confirment les grands traits de la circulation zonale et les convergences et divergences qu'elle implique. Les écarts de position des pics peuvent être dus à la distribution en essaims de certains groupes qui ont par conséquent été mal échantillonnés, mais aussi à la durée des cycles des divers constituants du micronecton, aux transports latéraux, et aux migrations verticales dont l'amplitude varie selon les espèces.

ETUDES DU CENTRE O.R.S.T.O.M. DE NOUMÉA

De nombreux travaux ont été consacrés par le Centre ORSTOM de Nouméa, à l'océanographie du 170°E. S'appuyant sur les connaissances existantes, esquissées dans l'introduction, ils ont conduit à la découverte de nombreuses particularités de la circulation et de l'hydrologie, tant à l'équateur qu'en zone intertropicale, que l'ensemble des coupes présentées met bien en évidence.

Après que NOEL et MERLE (1969), étudiant les courants équatoriaux à 170°E et leurs variations pendant une période de six jours, eurent découvert l'existence, dans le courant de Cromwell, de deux noyaux de vitesse situés respectivement à 100 et 200 m de profondeur, séparés par un flux ayant une forte composante nord-sud et montré l'influence d'une onde de marée semi-diurne de direction nord-sud, les travaux se sont tout particulièrement attachés à la zone équatoriale. Une étude détaillée de la structure des courants équatoriaux, de laquelle les figures 1 sont extraites (MAGNIER et al., sous presse) présente une discussion extensive de la technique de mesure, de sa précision et des résultats ; courants totaux, direction, composante est-ouest, composante nord-sud, courants profonds et variations à court terme. Les caractéristiques dynamiques permanentes des différents flux équatoriaux esquissées dans le chapitre précédent sont définies, ainsi que leur composition hydrologique et ses variations dans le temps. Le flux observé du courant de Cromwell qui peut passer du simple au double en quelques semaines, varie de 43 10⁰m³/s à 12 10⁰m³/s ; le courant équatorial varie de façon similaire, entre 14 10⁶m³/s et 35 10⁶m³/s mais de telle sorte que la différence algébrique des deux flux est quasi constante : le renforcement de l'un correspond à l'affaiblissement de l'autre. En outre, le courant de Cromwell ne paraît pas avoir la même composition hydrologique à 170°E qu'à 140°W où il est plus lourd et néanmoins plus proche de la surface. RUAL (1969) s'est attaché à la description des courants équatoriaux profonds situés entre 1 000 et 1 500 m de profondeur : il a montré qu'il existe un courant ouest à cheval sur l'équateur, extension profonde du courant équatorial intermédiaire ; il y a aussi, vers 2°S, une extension profonde d'un courant subsuperficiel est qui prolonge lui-même le courant de Cromwell vers le sud, HISARD et RUAL (1970) ont décrit les caractéristiques hydrologiques des courants rencontrés sous le courant de Cromwell : le courant équatorial intermédiaire dont ils ont montré la permanence et l'extension à travers tout le Pacifique transporte vers l'ouest une eau pauvre en oxygène originaire de la zone du minimum subsuperficiel au large de l'Amérique du sud ; ce courant est encadré par deux extensions profondes du courant de Cromwell entraînant au contraire une eau oxygénée venant du Pacifique occidental. Les autres propriétés sont distribuées de telle sorte qu'à un minimum d'oxygène correspond un maximum de sels nutritifs et inversement ; la répartition de la température et de la densité indique en outre que ces courants intermédiaires sont géostrophiques. COLIN et ROTSCHI (1970), étudiant la répartition verticale moyenne de la densité en zone équatoriale, ont montré qu'à une profondeur supérieure à 200 m, les courants étaient géostrophiques. HISARD, MERLE et VOITURIEZ (1970) se sont attachés à la liaison possible entre la circulation atmosphérique et la circulation océanique. Le courant dans le noyau supérieur du courant de Cromwell situé à une profondeur voisine de 100 m, à la base de la couche isotherme, au-dessus de la thermocline, n'est pas géostrophique et n'existe que lorsque le courant équatorial de surface porte à l'ouest ; il s'inverse quand, sous l'effet d'un vent d'ouest,

^{*} Toutes les références bibliographiques de ce chapitre sont répertoriées dans la "Bibliographie du Centre ORSTOM".

le courant de surface se transforme en courant portant à l'est. Au contraire, le courant dans le noyau inférieur situé dans la thermocline, n'est pas affecté. Seul donc, le noyau supérieur serait impliqué dans la circulation méridienne et verticale que prédisent certains modèles élaborés pour expliquer le courant de Cromwell. La circulation verticale à l'équateur a été analysée par ROTSCHI (1968) dans ses effets sur la distribution verticale de la température et des sels nutritifs, l'eau équatoriale de surface étant toujours plus froide et plus riche, sauf par vent d'ouest, ou lorsque le courant de surface porte à l'est. ROTSCHI et JARRIGE (1968) ont étudié le mécanisme de renforcement de l'upwelling équatorial sous l'effet d'une composante est du vent de surface passant de 3 à 10 m/s ; le régime météorologique permet de penser que l'upwelling est assez fréquent à 170°E, ce que confirment les distributions verticales. ROTSCHI, HISARD et RUAL (1968) ont décrit la divergence équatoriale liée à l'upwelling et associée, dans les cas de circulation intense, à deux convergences situées de part et d'autre de l'équateur et identifiables par un front thermique ; il y a donc, en zone équatoriale du Pacifique ouest, des indices très sérieux d'une circulation méridienne conforme à celle sous-entendue par certains modèles de circulation élaborés depuis la découverte du courant de Cromwell et qui, outre l'upwelling, impliquent une plongée des eaux de part et d'autre de l'équateur, leur divergence en surface et leur convergence à la base de la couche isopycne et isotherme. Une telle circulation a été aussi mise en évidence par HISARD, MERLE et VOITURIEZ (Op. cit.) dans leur discussion de la cellule supérieure du courant de Cromwell qui n'existe qu'en présence d'un courant superficiel ouest entraîné par un vent d'est assez fort pour induire un upwelling ; dans cette optique le courant de Cromwell bicellulaire à 170° E pourrait dépendre de deux mécanismes différents, l'entraînement par les vents de la cellule supérieure et la circulation thermohaline pour la cellule inférieure. La distribution, en zone équatoriale, du nitrite est un bon traceur de la circulation méridienne et verticale, et confirme le schéma de la circulation discuté précédemment (OUDOT, HISARD et VOITURIEZ, 1969).

ROTSCHI et LEMASSON (1968) et ROTSCHI (1970) ont esquissé les grands traits de la structure hydrologique équatoriale et montré la grande importance des variations qui s'y produisent. PICKÁRD et ROTSCHI (1968) ont étudié la signification des inversions thermiques que l'on rencontre souvent dans le noyau du courant de Cromwell ou à son voisinage immédiat et qui sont dues généralement à l'intrusion isentropique d'eau peu salée du Pacifique nord dans celle plus salée et plus chaude du Pacifique subtropical sud ; ils ont montré en outre que dans l'eau entraînée par le courant de Cromwell ni l'oxygène, ni les sels nutritifs ne sont distribués uniformément mais qu'il y a au contraire une stratification chimique marquée enlevant toute crédibilité à l'hypothèse d'un mélange vertical intense dans le courant de Cromwell. HISARD, MAGNIER et WAUTHY (1969) étudiant les variations dans le temps du flux du courant de Cromwell ont observé que le flux minimal transportait une eau relativement peu salée et faiblement oxygénée, et que son accélération entraînait une augmentation simultanée de la salinité moyenne et de la concentration de l'oxygène ; le courant de Cromwell est faible en hiver boréal et fort en été et ses variations suivent celles du contre-courant équatorial nord ; en été ce dernier est constitué de la conjonction des eaux du courant équatorial nord et de celles du courant équatorial qui transporte une eau salée et oxygénée ; en hiver il n'est composé que d'eau du courant équatorial nord et il est, par conséquent, plus faible, moins salé et moins oxygéné ; la liaison entre le courant de Cromwell et le contre-courant équatorial nord apparaît donc clairement, ainsi que la part de l'eau du Pacifique nord dans la constitution de la partie supérieure du courant de Cromwell. PICKARD, ROTSCHI et RUAL (1969) ont étudié les variations à court terme des distributions à l'équateur qui ne sont pas uniquement dues aux ondes internes ; le courant de Cromwell, dans sa partie la plus rapide, entraîne des noyaux de salinité extrême, composés soit d'eau d'intermédiaire du Pacifique nord, soit d'eau subtropicale du Pacifique sud et ayant une longueur de quelques kilomètres à quelques dizaines de kilomètres ; les ondes internes à courte période n'ont une amplitude notable que dans les trois cents premiers mètres avec un déphasage entre celles qui intéressent les cents mètres supérieurs et les ondes plus profondes. Ils ont confirmé l'existence d'une stratification très nette dans le courant de Cromwell, chaque couche avant des propriétés et par conséquent une origine différente. MERLE et NOEL (1969) ont trouvé une évolution à longue période, dans les deux cents mètres supérieurs, due à l'apparition et à la persistance, durant plusieurs jours, d'eau plus salée ou moins salée et qui traduit les fluctuations, au nord de la Nouvelle Guinée, de la position relative de l'eau intermédiaire du Pacifique nord et de l'eau subtropicale du Pacifique sud : entre 200 et 1 000 m de profondeur, il y a des variations à courte période mais de très faible amplitude dues aux ondes internes. Pour ROTSCHI et WAUTHY (1969) l'homogénéité de la distribution de l'oxygène dans le courant de Cromwell n'est qu'apparente ; en effet la teneur moyenne en oxygène décroît d'ouest en est, et la concentration du phosphate, du nitrate et du gaz carbonique total croît vers le bas. De olus, à la base de cette couche, il y a un maximum d'oxygène qui ne peut être dû qu'à un transport advectif d'une eau riche en oxygène originaire de la mer de Corail. L'homogénéité du courant de Cromwell n'est pas due à un mélange vertical turbulent mais à la superposition de masses d'origines différentes avant une même teneur initiale en oxygène; sa partie supérieure est formée d'eau subtropicale du Pacifique sud traversant l'équateur au nord de la Nouvelle-Guinée et d'eau du contre-courant équatorial nord. L'inclusion de l'eau de la mer de Corail dans la circulation équatoriale a été discutée par ROUGERIE (1969) étudiant un petit noyau à forte teneur en oxygène, isolé dans la partie inférieure du courant de Cromwell, au sud de l'équateur. D'avril à octobre, l'eau de la mer de Corail est transportée vers le nord-ouest le long de la côte nord de la Nouvelle-Guinée et elle est incluse dans le courant de Cromwell à l'ouest de 140°E. Lorsque s'établit la mousson d'hiver, de décembre à mars, il y a un renversement de la circulation le long de la Nouvelle-Guinée ; le courant porte alors au sud-est, l'eau de la mer de Corail suit donc un itinéraire plus court et est incluse au courant de Cromwell à l'est de 145° E.

Pour ce qui est de la circulation intertropicale, JARRIGE (1968) a démontré la permanence du contre-courant équatorial sud transportant une eau faiblement salée ; c'est un courant de surface dont l'extension méridienne varie beaucoup autour d'une moyenne de 650 km et qui est d'autant plus grande que sa limite septentrionale est plus proche de l'équateur ; la salinité au noyau est d'autant plus basse que le courant est plus rapide et sa limite méridionale est associée à un minimum de la composante ouest du vent. La vitesse au noyau varie entre 10 et 30 cm/s et le flux entre 2 et $20 \text{ 10}^6 \text{m}^3$ /s. La distribution du nitrite dans le système des courants zonaux du Pacifique occidental (HISARD et PITON, 1969) est liée à la circulation verticale et, en particulier, à la divergence équatoriale et à la convergence vers 5°S entre le courant équatorial et le contre-courant équatorial sud ; en effet, ces deux régions sont des zones d'accumulation subsuperficielle du nitrite : à l'équateur, il y a une productivité élevée et oxydation incomplète de la matière organique dont la sédimentation est ralentie au sommet de la thermocline ; à 5°S la convergence entraîne en subsurface des eaux très appauvries en sels nutritifs. L'on trouve en outre, à 170°E, vers 20°S, un deuxième contre-courant, le contre-courant tropical sud (MERLE, ROTSCHI et VOITURIEZ, 1969). Il est moins fort que le contre-courant équatorial sud mais aussi moins étendu, moins épais et son flux est plus petit ; cependant, il est associé à des caractéristiques précises, minimum de salinité, maximum d'oxygène, minimum de sels nutritifs ; à sa bordure nord il y a fertilisation de la couche superficielle par remontée des eaux et augmentation de la productivité et de la biomasse de zooplancton. DONGUY et ROTSCHI (1970) ont discuté l'extension vers l'est de la circulation zonale trouvée à 170°E. Enfin, DONGUY, OUDOT et ROUGERIE (1970) ont rattaché cette circulation à celle en mer de Corail et montré qu'en été austral le flux portant à l'est est prédominant tandis qu'en hiver austral c'est le flux portant à l'ouest ; dans le premier cas les deux contre-courants pourraient être formés dans la même région voisine de la Nouvelle-Guinée : dans le second, l'un est issu de la région de la Nouvelle-Bretagne et le second du sud de la Nouvelle-Guinée.

La production primaire et la distribution méridienne de la chlorophylle <u>a</u> ont été précisées par LE BOURHIS et WAUTHY (1969) ; ils ont mis en évidence, en utilisant les moyennes, une zone productive équatoriale correspondant à l'upwelling et deux zones productives intertropicales associées au contre-courant équatorial sud et au contre-courant tropical sud. Les euphausiacés ont fait l'objet de deux études de ROGER (1968, a et b). Les copépodes ont été étudiés par GUEREDRAT (1969, a et b). Les phyllosomes ont été décrits par MICHEL (1969, a et b). Les contenus stomacaux d'*Alepisaurus* ont été déterminés par FOURMANOIR (1969). Enfin, la distribution générale des biomasses a été abordée par GRANDPERRIN (1969), MICHEL et GRANDPERRIN (1969) et par LEGAND *et al.* (1970).

BIBLIOGRAPHIE

- BENDSCHNEIDER, K., ROBINSON, R.J. 1952 A new spectrophotometric method for the determination of nitrite in sea water. J. Mar. Res., vol.11, n°1, pp. 87-96.
- BROWN, N.L., HAMON, B.V. 1961 An inductive salinometer. Deep-Sea Res., vol. 8, pp. 65-75.
- BURKOV, V.A. 1968 Circulation des eaux. *in*: l'Océan Pacifique, vol.2, *Hydrologie de l'Océan Pacifique*. Editions scientifiques Moscou, 524 p. (en russe).
- CARRITT, D.E., CARPENTER, J.N. 1966 Comparisons and evaluation of current modifications of the Winkler method for determining dissolved oxygen in sea water; a NASCO report. J. Mar. Res., vol.24, n°3, pp. 286-318.
- GREEN, E.J. 1965 A redetermination of the solubility of oxygen in sea water and some thermodynamic implications of the solubility relations. Ph., D. Thesis, M.I.T., Cambridge, Mass. pp. 27-56.
- KENDALL, T.R. 1966 Transports in the Pacific Equatorial Countercurrent, M.S. Thesis, University of Hawaii, Honolulu, 40 pp.
- KNAUSS, J.A. 1960 Measurements of the Cromwell current. Deep-Sea Res., vol. 6, n° 1, pp. 265-286.
- KNAUSS, J.A. 1966 Further measurements and observations on the Cromwell current. J. Mar. Res., vol.24, n°2, pp.205-240.
- LAFOND, E.C. 1951 Processing Oceanographic data. H.O. Pub. n° 614, U.S. Navy Hydrographic Office, Washington D.C., 111 p.
- MONTGOMERY, R.B. 1962 Equatorial undercurrent observations in Review. J. oceanogr. Soc. Japan, 20th Anniv. vol., pp. 487-498
- MONTGOMERY, R.B., WOOSTER, W.S. 1954 Thermosteric anomaly and the analysis of serial oceanographic data. *Deep-Sea Res.*, vol.2, pp. 63-70.
- MONTGOMERY, R.B., STROUP, E.D. 1962 Equatorial waters and currents at 150° West in July-August 1952. Johns Hopkins oceanog. Stud. n°1, The Johns Hopkins Press, Baltimore, 68 p.
- MORRIS, A.W., RILEY, J.P. 1963 The determination of nitrate in sea water. Anal. Chim. Acta, vol.29, pp. 272-279.
- MURPHY, J., RILEY, J.P. 1962 A modified simple solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal. Chim. Acta, vol. 27, pp.31-36.
- PANFILOVA, S.G. 1968 Température des eaux *in* : l'Océan Pacifique, vol.2, *Hydrologie de l'Océan Pacifique*. Editions scientifiques Moscou, 524 p. (en russe).
- PARSONS, T.R., STRICKLAND, J.D.H. 1963 Discussion of spectrophotometric determination of marine plant pigments, with revised equations for ascertaining chlorophylls and carotenoids. J. Mar. Res., vol.21, n°3, pp. 155-163.

- REID, J. L. 1959 Evidence of a south equatorial countercurrent in the Pacific Ocean. *Nature*. vol.184, pp.209-210.
- REID, J. L. 1965 Intermediate waters of the Pacific Ocean. Johrs Hopkins Oceanogr. Stud. n°2. The Johns Hopkins Press, Baltimore, 85 p.
- RICHARDS, F.A., THOMPSON, T.G. 1952 The estimation and characterization of plankton populations by pigment analysis. II. A spectrophotometric method for the estimation of plankton pigments. J. Mar. Res., vol. 11, n°2, pp. 156-172.
- ROBINSON, M.K. 1969 Theoretical predictions of subtropical countercurrent confirmed by bathythermograph data. Bull. Japan. Soc. Fish. Oceanogr., Special number, Prof. Uda's Commemorative Papers, 343 p.
- RUAL, P., VOITURIEZ, B. 1969 Modification et automatisation de la méthode de Winkler pour le dosage en mer de l'oxygène dissous. *Init. doc. techn.*, ORSTOM, 10, 27 p.
- STEEMAN NIELSEN, E. 1952 The use of radioactive carbon for measuring organic production in the sea. J. Cons. Int. Exp. Mer, vol.18, pp.117-140.
- STROUP, E.D., MONTGOMERY, R.B. 1963 Comments on the history of the equatorial undercurrent. J. Geophys. Res., vol. 68, n°1, pp. 77-78.
- TSUCHITA, M. 1968 Upper waters of the intertropical Pacific Ocean. Johns Hopkins oceanogr. Stud. n°3, The Johns Hopkins Press, Baltimore, 50 p.
- WOOD, E.D., ARMSTRONG, F.A.J., RICHARD, F.A. 1967 Determination of nitrate in sea-water by cadmium-copper reduction to nitrite. J. Mar. Biol. Ass. U.K., vol. 47, pp. 23-31.
- WYRTKI, K. 1967 Oceanographic observations during the Line Islands expedition, February-March 1967. HIG 67-17. Hawaii Institute of Geophysics, University of Hawaii, 35 p.

Bibliographie du Centre O.R.S.T.O.M. de Nouméa

- COLIN, C., ROTSCHI, H. 1970 Aspects géostrophiques de la circulation est-ouest dans l'Océan Pacifique équatorial occidental. C.R. Acad. Sci., Paris, t. 272, pp. 929-932.
- DONGUY, J.R., ROTSCHI, H. 1970 Sur un courant est dans le Pacifique central tropical sud. *C.R. Acad. Sci.*, Paris, t.271, pp. 869-872.
- DONGUY, J.R., OUDOT, C., ROUGERIE, F. 1970 Circulation superficielle et subsuperficielle en mer du Corail et à 170°E. Cah.ORSTOM, sér. Océanogr., vol.VIII, n°1, pp. 3-20.
- FOURMANOIR, P. 1969 Contenus stomacaux d'Alepisaurus (Poissons) dans le sud-ouest Pacifique. Cah.ORSTOM, sér. Océanogr., vol.VII, n°4, pp. 51-60.
- GRANDPERRIN, R. 1969 Couches diffusantes dans le Pacifique équatorial et sud-tropical. Cah.ORSTOM, sér. Océanogr., vol.VI, n°1, pp.99-112.
- GUEREDRAT, J.A. 1969-a Variations morphologiques de Megacalanus princeps Wolfenden 1904 (Copepoda, Calanoida). Crustaceana, vol.17, pp.64-69.
- GUEREDRAT, J.A. 1969-b Distribution de quatre espèces de Copépodes bathypélagiques dans l'ouest du Pacifique équatorial et tropical sud. Deep-Sea Res., vol.16, pp.361-375.
- HISARD, Ph., PITON, B. 1969 La distribution du nitrite dans le système des courants équatoriaux de l'océan Pacifique à 170° E. J. Cons. Int. Exp. Mer, vol. 32, pp. 303-317.
- HISARD, Ph., MAGNIER, Y., WAUTHY, B. 1969 Comparison of the hydrographic structure of equatorial waters north of New-Guinea and at 170° E. J. Mar. Res., vol. 27, n° 2, pp. 191-205.
- HISARD, Ph., RUAL, P. 1970 Courant équatorial intermédiaire de l'océan Pacifique et contre-courants adjacents. *Cah.ORSTOM, sér. Océanogr.*, vol.VIII, n°1, pp.21-45.
- HISARD, Ph., MERLE, J., VOITURIEZ, B. 1970 The equatorial undercurrent at 170°E in March and April 1967. J. Mar. Res., vol.28, n°3, pp. 281-303.
- JARRIGE, F. 1968 On the eastward flow of water in the western Pacific south of the Equator. J. Mar. Res., vol.26, n°3, pp.286-289.
- LE BOURHIS, 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.ORSTOM, sér.Océanogr.*. vol.VII, n°4, pp. 83-93.
- LEGAND, M., BOURRET, Ph., GRANDPERRIN, R., RIVATON, J. 1970 A preliminary study of some micronektonic fishes in the equatorial and tropical western Pacific. in "Scientific exploration of the south Pacific" Standard book n° 309-01755-6, Nat.Acad. Sc., Washington D.C., pp. 221-239.
- MAGNIER, Y., ROTSCHI, H., RUAL, P., COLIN, Ch. sous presse Circulation équatoriale dans le Pacifique occidental (170° E). *Prog. in Oceanography* vol.6, B.Warren ed., Pergamon Press.
- MERLE, J., ROTSCHI, H., VOITURIEZ, B. 1969 Zonal circulation in the tropical western south Pacific. in "Perspectives in Fisheries Oceanography" Jap. Soc. Fish. Oceanogr. . pp. 91-98.

- MERLE, J., NOEL, J. 1969 Sur l'évolution de la relation température-salinité en un point fixe, à l'équateur, dans le Pacifique occidental, pendant une période de six jours. *Cah. ORSTOM, sér. Océanogr.*, vol. VII, n°2, pp. 95-100.
- MICHEL, A. 1969-a Les larves phyllosomes du genre Palinurus, Palinuridae (Crustacés, Décapodes) du Pacifique tropical et équatorial. Cah. ORSTOM, sér. Océanogr., vol.VII, n° 4, pp. 3-19.
- MICHEL, A. 1969-b Les larves phyllosomes du genre *Palinurellus* Von Martena (Crustacés, Décapodes *Palinuridae*). *Bull. Mus. Hist. nat.*, Paris, vol.41, n°5, pp.1228-1237.
- MICHEL, A., GRANDPERRIN, R. 1969 Aperçu sur la distribution du micronecton dans le Pacifique ouest équatorial (170°E). Cah. ORSTOM, sér. Océanogr., vol. VII, n°2, pp. 45-52.
- NOEL, J., MERLE, J. 1969 Analyse des courants superficiels et subsuperficiels équatoriaux durant une période de six jours à 170°E. Cah.Océanogr., vol.21, n°7, pp.663-671.
- OUDOT, C., HISARD, Ph., VOITURIEZ, B. 1969 Nitrite et circulation méridienne à l'équateur dans l'Océan Pacifique occidental. Cah.ORSTOM, sér. Océanogr., vol.VII, n°4, pp. 67-82.
- PICKARD, G.L., ROTSCHI, H. 1968 Structure hydrologique associée au courant de Cromwell, dans le Pacifique occidental. C. R. Acad. Sci., Paris, t. 276, pp.1557-1560.
- PICKARD, G.L., ROTSCHI, H., RUAL, P. 1969 Variations hydrologiques et dynamiques à court terme à l'équateur, par 170° E. Cah.ORSTOM, sér.Océanogr., vol. VII, n°1, pp. 83-98.
- ROGER, C. 1968-a Note sur la récolte des euphausiacés pélagiques. *Cah.ORSTOM, sér. Océanogr.*, vol.VI, n°1, pp.3-11.
- ROGER, C. 1968-b Première série d'observations sur les euphausiacés du Pacifique ouest équatorial et tropical sud. *Cah.ORSTOM, sér. Océanogr.*, vol.VI, n°2, pp. 83-96.
- ROTSCHI, H. 1968 Remontée d'eau froide et convergence à l'équateur, dans le Pacifique occidental. C.R. Acad. Sci., Paris, t.267, pp.1459-1462.
- ROTSCHI, H. 1970 Variations of equatorial currents, in "Scientific Exploration of the South Pacific", Standard Book 309-01755-6, Nat. Acad. Sc., Washington D.C., pp. 75-83.
- ROTSCHI, H., LEMASSON, L. 1968 Variations observed during two years in the western equatorial Pacific. Advances in fish. Oceanogr., Jap. Soc. Fish. Oceanogr., vol.2, pp. 13-15.
- ROTSCHI, H., JARRIGE, F. 1968 Sur le renforcement d'un upwelling équatorial. Cah. ORSTOM, sér. Océanogr., vol. VI, n° 3-4, pp. 87-90.
- ROTSCHI, H., WAUTHY, B. 1969 Remarques sur le courant de Cromwell. *Cah.ORSTOM.* sér. Océanogr., vol.VII, n°2, pp.27-43.
- ROTSCHI, H., HISARD, Ph., RUAL, P. 1968 Observation de deux fronts thermiques dans le Pacifique équatorial occidental. C.R. Acad. Sci., Paris, t.266, pp.1465-1468.
- ROUGERIE, F. 1969 Sur un noyau à forte teneur en oxygène dans la partie inférieure du courant de Cromwell. *Cah.ORSTOM, sér. Océanogr.*, vol.VII, n°3, pp.21-28.
- RUAL, P. 1969 Courants équatoriaux profonds. Deep-Sea Res., vol. 16, pp. 387-390.

Figures

.

.

ł

, · · ·

.

(voir Tableau 3 : Liste des illustrations. p.12)

.



Figure 1

f

g

27 [·]

Figure 1

(suite)

h

i

j

k

31 '

. ..

i

.

n

Figure 2

s

100 -

200-

300 -

400 -m

100

200-

300

400-m

courant W 2000 >10cm/s

b

-500 m

С

500 m

a

300 -

400 m

CYCLONE 4 30 mai- 8 juin 67

Courants Géostrophiques relatifs à 1000 db courant E

-300

400

500 m g

-300

-400

500 m f

Figure 2 (fin)

100 -

200-

300 -

400-m

j

•

k

Figure 3

Figure 3 (suite)

f

Figure 3 (suite)

h

Figure 3

(suite)

Figure 4

Figure 4

(suite)

N

100

- 200

- 300

- 400

- 500 m

.

st

Figure 4 (suite)

59

f

g

Figure 5

a

b

f

20°

s

100

200 -

300 -

400

m

Figure 6

Figure 6 (suite)

j

Figure 6 (fin)

> **m** 89

Figure 7

Figure 7

(suite)

Figure 7 (fin)

> **т** 99

Figure 3

h

1

.

j

m

. . .

Figure 9

:

Les Editions de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer tendent à constituer une documentation scientifique de base sur les zones intertropicales et méditerranéennes et les problèmes que pose le développement des pays qui s'y trouvent.

CAHIERS ORSTOM.

Séries périodiques :

- --- entomologie médicale et parasitologie : articles relatifs à l'épidémiologie des grandes endémies tropicales transmises par des invertébrés, à la biologie de leurs vecteurs et des parasites, et aux méthodes de lutte.
- -- géologie : études sur les trois thèmes suivants : altération des roches, géologie marine des marges continentales, tectonique de la région andine.
- --- hydrobiologie : études biologiques des eaux à l'intérieur des terres, principalement dans les zones intertropicales.
- océanographie : études d'océanographie physique et biologique dans la zone intertropicale, dont une importante partie résulte des campagnes des navires océanographiques de l'ORSTOM ou utilisés par lui.
- pédologie : articles relatifs aux problèmes soulevés par l'étude des sols des régions intertropicales et méditerranéennes (morphologie, caractérisation physico-chimique et minéralogique, classification, relations entre sols et géomorphologie, problèmes liés aux sels, à l'eau, à l'érosion, à la fertilité des sols) ; résumés des thèses et notes techniques.
- -- sciences humaines : études géographiques, sociologiques, économiques, démographiques et ethnologiques concernant les milieux et les problèmes humains principalement dans les zones intertropicales.

Séries non périodiques :

- biologie : études consacrées à diverses branches de la biologie végétale et animale.
- --- géophysique : données et études concernant la gravimétrie, le magnétisme et la sismologie.

MEMOIRES ORSTOM : consacrés aux études approfondies (synthèses régionales, thèses...) dans les diverses disciplines scientifiques (60 titres parus).

ANNALES HYDROLOGIQUES : depuis 1959, deux séries sont consacrées : l'une, aux Etats africains d'expression française et à Madagascar, l'autre aux Territoires et Départements français d'Outre-Mer.

FAUNE TROPICALE : collection d'ouvrages principalement de systématique, couvrant ou pouvant couvrir tous les domaines géographiques où l'ORSTOM exerce ses activités (18 titres parus).

INITIATIONS/DOCUMENTATIONS TECHNIQUES : mises au point et synthèses au niveau, soit de l'enseignement supérieur, soit d'une vulgarisation scientifiquement sûre (18 titres parus).

TRAVAUX ET DOCUMENTS DE L'ORSTOM : cette collection, diverse dans ses aspects et ses possibilités de diffusion, a été conçue pour s'adapter à des textes scientifiques ou techniques très variés quant à leur origine, leur nature, leur portée dans le temps ou l'espace, ou par leur degré de spécialisation (16 titres parus).

L'HOMME D'OUTRE-MER : cette collection, publiée chez Berger-Levrault, est exclusivement consacrée aux sciences de l'homme, et maintenant réservée à des auteurs n'appartenant pas aux structures de l'ORSTOM (9 ouvrages parus).

De nombreuses CARTES THEMATIQUES, accompagnées de NOTICES, sont éditées chaque année, intéressant des domaines scientifiques ou des régions géographiques très variées.

BULLETIN ANALYTIQUE D'ENTOMOLOGIE MEDICALE ET VETERINAIRE (périodicité mensuelle - ancienne dénomination jusqu'en 1970 : Bulletin signalétique d'entomologie médicale et vétérinaire) (XIXe année).

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

Direction générale : 24, rue Bayard, PARIS 8*

Services Scientifiques Centraux : Service Central de Documentation : 70-74, route d'Aulnay - 93 - BONDY

> IMP. S. S. C. Bondy O. R. S. T. O. M. Éditeur Dépôt légal : 1*trim, 1973