

## COURANT ÉQUATORIAL INTERMÉDIAIRE DE L'OCÉAN PACIFIQUE ET CONTRE-COURANTS ADJACENTS

par Ph. HISARD et P. RUAL\*

### RÉSUMÉ

*En 1967, le N.O. « CORIOLIS » a effectué une étude hydrologique détaillée de la zone équatoriale entre les latitudes 4° N et 4° S, le long du méridien 170° E. Cinq campagnes ont été effectuées comportant à chaque station des observations directes de courant. Cet article discute les structures hydrologiques et dynamiques observées entre 250 m et 500 m de profondeur. L'analyse hydrologique a été faite sur les surfaces isanostères 200-180-160-140 et 120 cl/t.*

*Il existe sous le Courant de Cromwell en-dessous de la profondeur de l'isanostère 160 cl/t, un courant portant à l'ouest, centré sur l'équateur et limité vers 1°30' N et 1°30' S par deux courants étroits portant à l'est. Il entraîne des eaux intermédiaires de très faible teneur en oxygène formées en profondeur le long des côtes du Pérou et d'Amérique Centrale, ce qui nous conduit à proposer pour ce flux le nom de « Courant Équatorial Intermédiaire ». Les deux flux adjacents portant à l'est transportent au contraire des eaux très oxygénées et pauvres en phosphate qui proviennent vraisemblablement de la Mer du Corail, et qui ont les mêmes caractéristiques que les eaux de la partie inférieure du Courant de Cromwell.*

*Les isanostères 140 cl/t et 120 cl/t, de même que les isothermes voisines de 10 °C, ont, le long d'un méridien, une forme remarquable en « W », symétrique par rapport à l'équateur, directement liée à l'existence des courants décrits ci-dessus. Le champ de courant est étroitement associé au champ de l'anomalie thermostatique ce qui semblerait indiquer que ces courants sont géostrophiques.*

*Le Courant Équatorial Intermédiaire est séparé des flux portant à l'est qui l'entourent par une couche de transition. « L'Eau Équatoriale à 13 °C », est la partie supérieure de cette couche entre le Courant Équatorial Intermédiaire et le Courant de Cromwell. Au sein de cette structure isotherme et de faible stabilité verticale, existe un important gradient vertical d'oxygène et de sels nutritifs.*

*Le long de l'équateur, une structure similaire a été identifiée entre 162° E et 118° W au cours de la croisière 34 du « VITYAZ » et de la croisière « SWAN SONG » de l'« ARGO » qui se sont déroulées en automne 1961. Le Courant Équatorial Intermédiaire constitue un phénomène d'une ampleur voisine de celle du Courant de Cromwell, son extension probable en profondeur jusque vers 1.000 m au moins lui assure un débit comparable bien que sa vitesse maximale reste voisine de 20 à 40 cm/s.*

*L'importance de cette circulation sur le mécanisme d'enrichissement des eaux du Courant de Cromwell est abordée au travers des données de la campagne « ALIZÉ » du N.O. « CORIOLIS ».*

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

*L'existence du Courant Équatorial Intermédiaire dans l'Océan Atlantique sous le Courant de Lomonossov et dans l'Océan Indien semble prouvée par de nombreuses observations. Ce serait donc un phénomène d'un caractère général lié à la dynamique équatoriale.*

#### SUMMARY

*This paper describes the currents which flow under the Pacific Equatorial Undercurrent. It also describes their hydrological permanent features along the 170° E meridian between 4° N and 4° S, through the data of 5 cruises made in 1967 by the R. V. « CORIOLIS » of the Centre O.R.S.T.O.M. of NOUMEA (New Caledonia) during which direct current measurements were carried out.*

*Three currents are studied here :*

*—The Intermediate Equatorial Current; a westward current flowing exactly at the Equator below the 160 cl/t isanosteric surface.*

*—Two deep extents of the Equatorial Undercurrent, symmetrical about the equator at 2°30' latitude and which surround the westward equatorial flow.*

*They are also characterized through the distribution of their hydrological and dynamic properties along the 160 cl/t, 140 cl/t and 120 cl/t isanosteric surfaces. The 200 cl/t and 180 cl/t surfaces are used as a reference as they lie in the already known Equatorial Undercurrent.*

*Some new typical equatorial features are described :*

*—In the Equatorial Intermediate Current, the waters have a lower oxygen content and a higher phosphate content than the eastward flowing waters which surround them; on the 120 cl/t isanosteric surface there are two high oxygen bells associated with these two eastward flows: the depth of the 120 cl/t isanosteric surface shows two striking troughs at 1°30', the westward equatorial flow is related to an equatorial ridge. The thickness of the 160 cl/t, 140 cl/t and 120 cl/t isanosteric surfaces is characterized by a bifurcate structure. Such a structure was described on the 160 cl/t isanosteric surface by TSUCHIYA (1968) but only east of 155° W.*

*The evidence of a westward flow under the Cromwell Current, along the equator, seems to be in good agreement with most of the direct current measurements carried out in the Pacific Ocean. A more detailed investigation, including physical and chemical properties, has been performed with the data of the 34th cruise of « VITYAZ » and the « SWAN SONG » cruise of the R.V. « ARGO » made in autumn 1961. This Equatorial Intermediate Current is an important link for the nutrient salts circulation as this flow is observed at the very level of the minimum oxygen layer in which a strong mineralization has occurred.*

*The existence of a strong vertical gradient in the nutrient salts distribution between the Cromwell Current and the Intermediate Equatorial Current below it, and the existence of a layer of very low stability (the Equatorial 13 °C water) at the same level can be accounted for to suggest exchanges between these flows and to explain nutrient enrichment eastward (downstream) in the Cromwell Current.*

*The Equatorial Intermediate Current has been also identified in the Atlantic Ocean below the Lomonossov Current and also some indices evidence it in the Indian Ocean. So, it would be a general phenomenon related to the peculiar dynamic condition of the equator.*

## INTRODUCTION

Le N.O. « CORIOLIS » du Centre O.R.S.T.O.M. de NOUMÉA a effectué entre 1966 et 1968, onze croisières dans la zone équatoriale le long du méridien 170° E; sept d'entre elles ont comporté des mesures directes de courants. Cet ensemble de données a permis de définir avec précision les structures hydrologiques et dynamiques de la zone équatoriale à cette longitude intermédiaire entre le Pacifique Central et le Pacifique Occidental. Faisant suite à une description générale des courants observés à 170° E (MAGNIER *et al.*, 1970) et à une étude du Courant de Cromwell et de ses liaisons avec le Courant Équatorial (HISARD *et al.*, 1970), cette étude se propose de décrire les structures physico-chimiques associées aux courants situés sous le courant de Cromwell dans cette région, de suivre leur extension à travers l'Océan Pacifique et éventuellement d'essayer de découvrir des indices de la présence de courants analogues dans les autres océans.

Les résultats des campagnes du N.O. « CORIOLIS » ont été publiés dans les « Rapports Scientifiques du Centre O.R.S.T.O.M. de NOUMÉA — Section Océanographie », déposés d'autre part aux centres de données mondiaux A et B ainsi qu'au N.O.D.C. Dans ces rapports figure une étude des méthodes d'analyse utilisées.

Entre 4° S et 4° N, les stations hydrologiques ont été effectuées tous les 30 milles avec un espacement moyen des bouteilles de prélèvement de 20 m, entre 0 et 500 m de profondeur. Chaque station était suivie d'observations directes de courant effectuées avec un ou plusieurs courantographes à enregistrement « in situ », Hydro-Products (modèle 501B modifié). Les courants mesurés sont rapportés à une couche de référence située à 500 m de profondeur. Une étude détaillée de ces mesures a été faite par MAGNIER *et al.* (1970). Seuls ont été utilisés les résultats des cinq croisières qui ont eu lieu en 1967 et dont les stations équatoriales furent occupées respectivement le 22 mars, le 26 avril, le 6 juin, le 12 juillet et le 25 août.

### 1. STRUCTURES SOUS-JACENTES AU COURANT DE CROMWELL A 170° E

La distribution verticale moyenne des composantes zonales des courants des cinq coupes 4° S-4° N effectuées entre mars et août 1967 met en évidence (fig. 1 a), sous le Courant de Cromwell, un courant portant à l'ouest, encadré par deux courants portant à l'est, assez étroits, reliés au Contre-Courant Équatorial Nord et au Courant de Cromwell. Des mesures profondes faites au cours de plusieurs de ces croisières indiquent que ces courants atteignent une profondeur supérieure à 1.000 m (RUAL, 1969), c'est pourquoi le nom de Courant Équatorial Profond avait précédemment été proposé pour le courant portant à l'ouest. Cependant comme l'extension en profondeur de ce courant ne dépasse sans doute pas 1.500 m, pour des fonds de l'ordre de 4.000 m et comme de plus il transporte des eaux dites « Intermédiaires », le nom de Courant Équatorial Intermédiaire sera utilisé par la suite pour désigner le flux vers l'ouest, axé sur l'équateur, sous-jacent au Courant de Cromwell. Trois coupes supplémentaires faites en avril-mai 1968 confirment les mesures faites en 1967.

Les surfaces isanostères sont mieux adaptées à l'étude de la circulation que les surfaces isobathes car l'écoulement des eaux y est isentropique (MONTGOMERY et WOOSTER, 1954). Cinq surfaces isanostères ont été choisies : 200, 180, 160, 140 et 120 cl/t dont trois (200, 160 et 120-125 cl/t) ont déjà été utilisées par REID (1965) et TSUCHIYA (1968) dans leurs études de la circulation transpacifique. La position de ces dernières dans le système des courants leur donne un caractère privilégié (fig. 1 a) : à 170° E, la surface isanostère 200 cl/t se trouve juste en-dessous

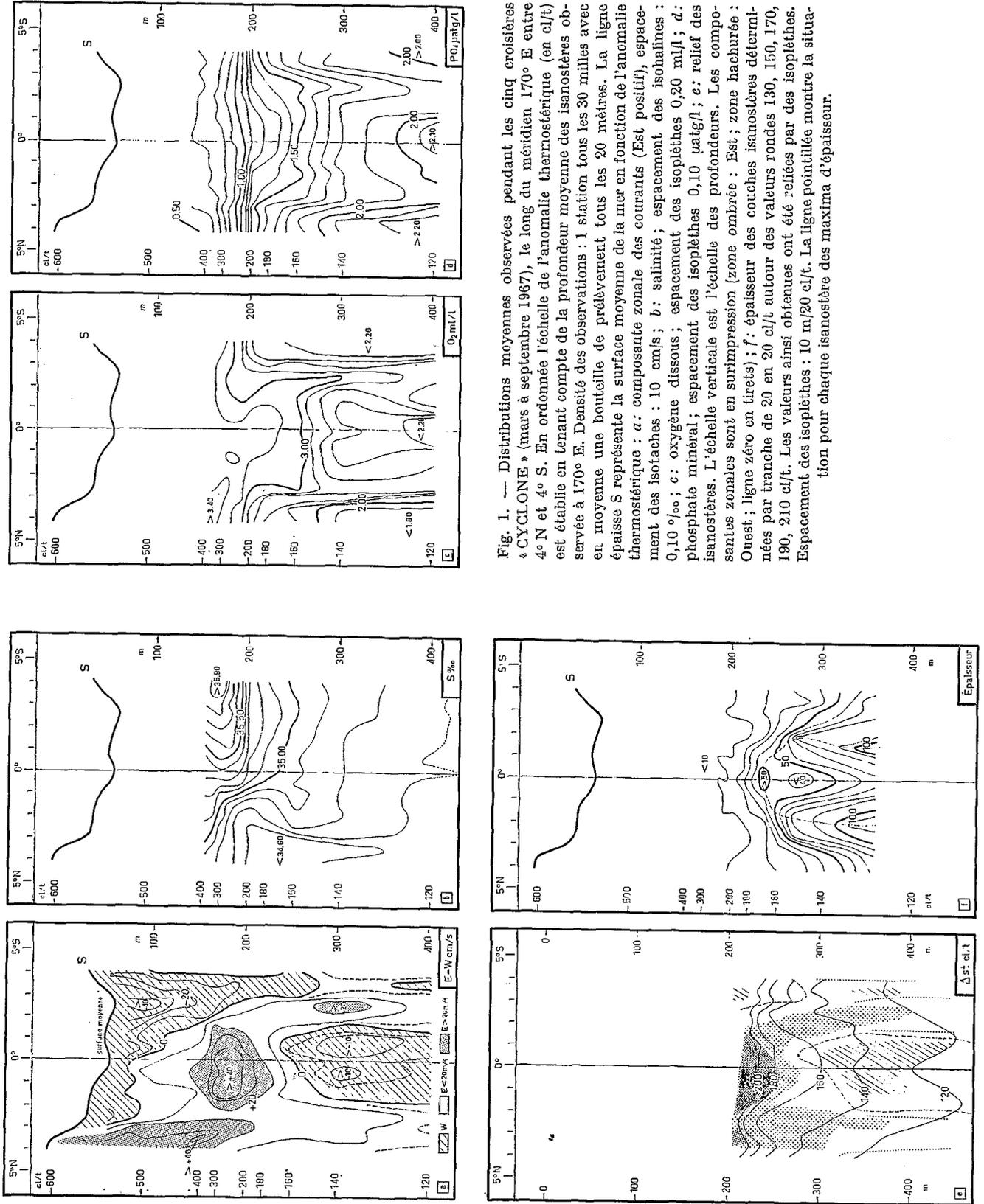


Fig. 1. — Distributions moyennes observées pendant les cinq croisières « CYCLONE » (mars à septembre 1967), le long du méridien 170° E entre 4° N et 4° S. En ordonnée l'échelle de l'anomalie thermostérique (en cl/t) est établie en tenant compte de la profondeur moyenne des isanostères observée à 170° E. Densité des observations : 1 station tous les 30 milles avec en moyenne une bouteille de prélèvement tous les 20 mètres. La ligne épaisse S représente la surface moyenne de la mer en fonction de l'anomalie thermostérique : a : composante zonale des courants (Est positif), espacement des isotaches : 10 cm/s ; b : salinité ; espacement des isohalines : 0,10 ‰<sub>00</sub> ; c : oxygène dissous ; espacement des isoplièthes 0,20 mg/l ; d : phosphate minéral ; espacement des isoplièthes 0,10 µg/l ; e : relief des isanostères. L'échelle verticale est l'échelle des profondeurs. Les composantes zonales sont en surimpression (zone ombrée : Est, zone hachurée : Ouest ; ligne zéro en tirets) ; f : épaisseur des couches isanostères déterminées par tranche de 20 en 20 cl/t autour des valeurs rondes 130, 150, 170, 190, 210 cl/t. Les valeurs ainsi obtenues ont été relifées par des isoplièthes. Espacement des isoplièthes : 10 m/20 cl/t. La ligne pointillée montre la situation pour chaque isanostère des maxima d'épaisseur.

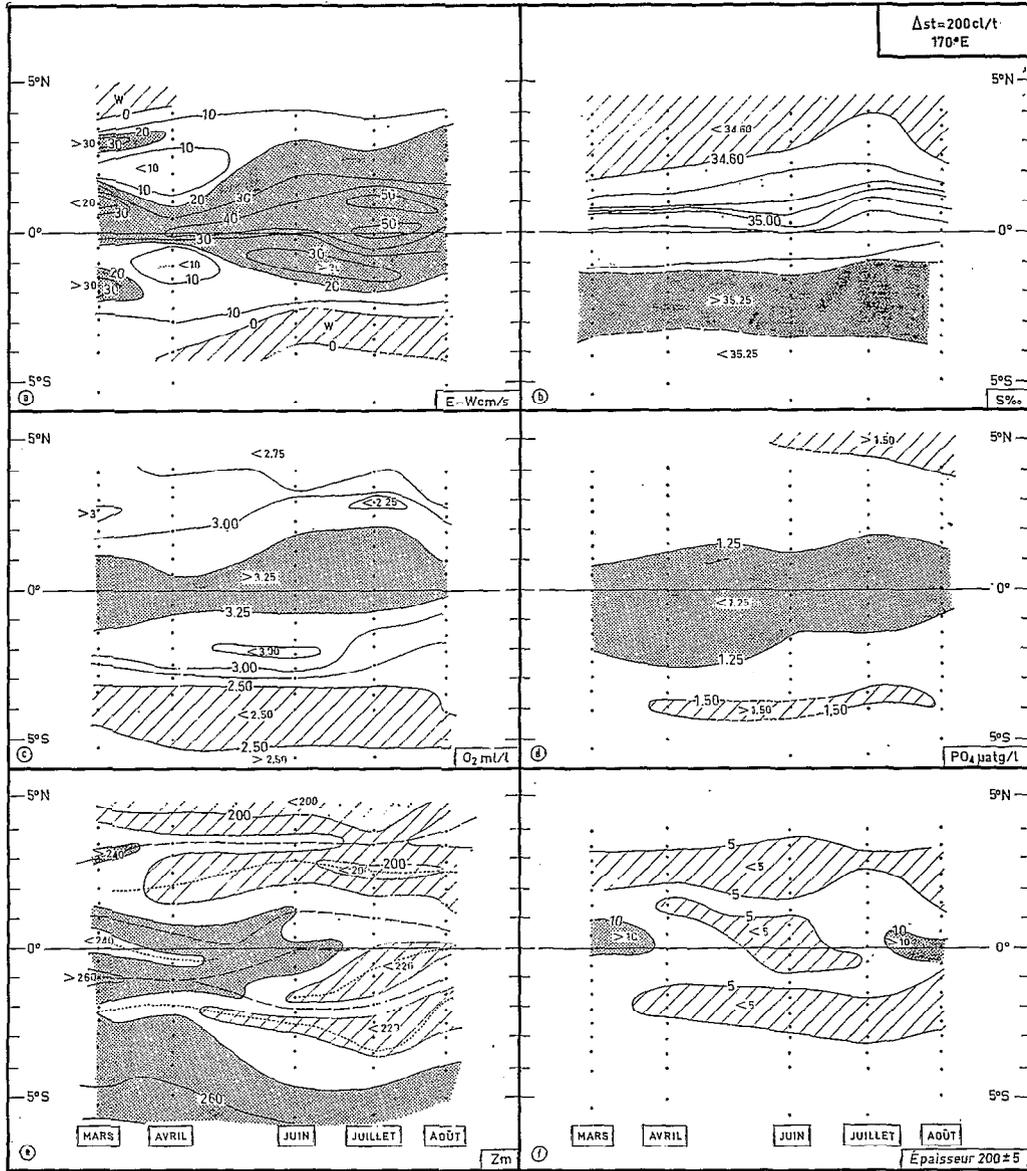


Fig. 2. — Distributions horizontales des paramètres hydrologiques observés de mars à septembre 1967 le long du méridien 170° E sur la surface d'anomalie thermostérique 200 cl/t : a : composantes zonales des courants (mesure directe), zone hachurée : composante ouest, zone ombrée : composante est supérieure à 20 cm/s, espacement des isotaches : 10 cm/s ; b : salinité, espacement des isohalines : 0,10 ‰, zone hachurée : teneur minimale inférieure à 34,6 ‰, zone ombrée : teneur maximale supérieure à 35,25 ‰ ; c : oxygène dissous ; espacement des isoplèthes 0,25 ml/l, zone hachurée : teneur minimale inférieure à 2,50 ml/l, zone ombrée : teneur maximale supérieure à 3,25 ml/l ; d : phosphate minéral : espacement des isoplèthes : 0,25 µatg/l, zone hachurée : teneur maximale supérieure à 1,50 µatg/l, zone ombrée : teneur minimale inférieure à 1,25 µatg/l ; e : relief des isanostères ; espacement des isoplèthes : 20 m, zone hachurée : inférieure à 220 m, zone ombrée : supérieure à 240 m ; f : épaisseur en mètre de la couche d'anomalie thermostérique 200 cl/t ± 5 cl/t, zone hachurée : inférieure à 5 m, zone ombrée : supérieure à 10 m.

du maximum de vitesse du Courant de Cromwell, alors que l'isanostère 125 cl/t est au sein du Courant Équatorial Intermédiaire, l'isanostère 160 cl/t faisant la transition entre ces deux courants.

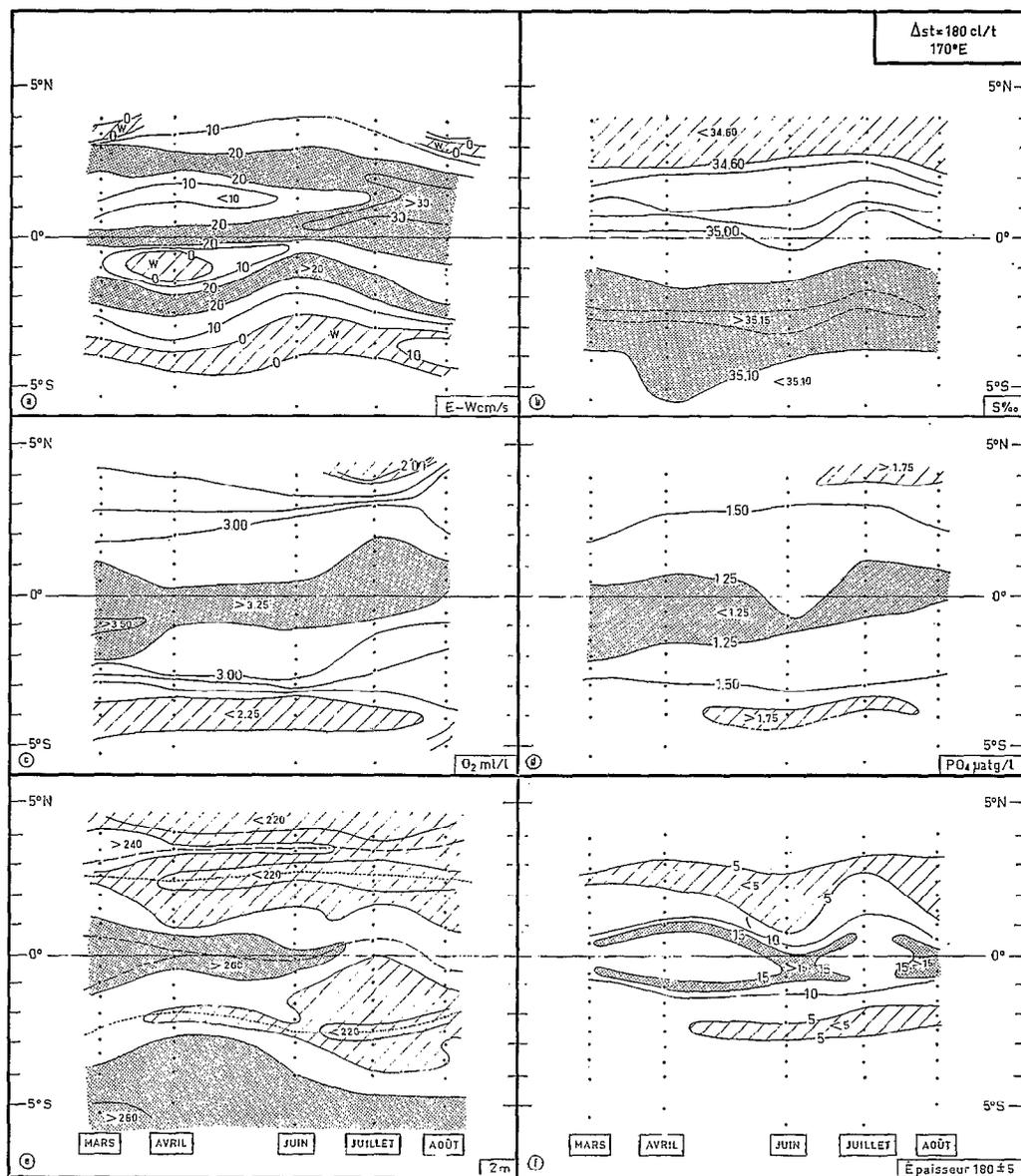


Fig. 3. — Distributions horizontales des paramètres hydrologiques observés de mars à septembre 1967 le long du méridien 170° E sur la surface d'anomalie thermostérique 180 cl/t : a : composantes zonales des courants (mesure directe), zone hachurée : composante ouest, zone ombrée : composante est supérieure à 20 cm/s, espacement des isotaches : 10 cm/s ; b : salinité ; espacement des isohalines : 0,10 ‰, zone hachurée : teneur minimale inférieure à 34,60 ‰, zone ombrée : teneur maximale supérieure à 35,10 ‰ ; c : oxygène dissous ; espacement des isoplèthes : 0,25 ml/l, zone hachurée : teneur minimale inférieure à 2,25 ml/l, zone ombrée : teneur maximale supérieure à 3,25 ml/l ; d : phosphate minéral ; espacement des isoplèthes : 0,25 µatg/l, zone hachurée : teneur maximale supérieure à 1,75 µatg/l, zone ombrée : teneur minimale inférieure à 1,25 µatg/l ; e : relief des isanostères ; espacement des isoplèthes : 20 m, zone hachurée : inférieure à 240 m, zone ombrée : supérieure à 260 m ; f : épaisseur en mètre de la couche isanostère d'anomalie thermostérique 180 cl/t ± 5 cl/t, zone hachurée : inférieure à 5 m, zone ombrée : supérieure à 15 m.

Le maximum de vitesse du Courant de Comwell est situé au voisinage de l'isanostère 250 cl/t mais sur les surfaces 200 cl/t et 180 cl/t, ses propriétés hydrologiques sont tout aussi nettes. Ses eaux sont caractérisées par un maximum de teneur en oxygène dissous et un minimum de

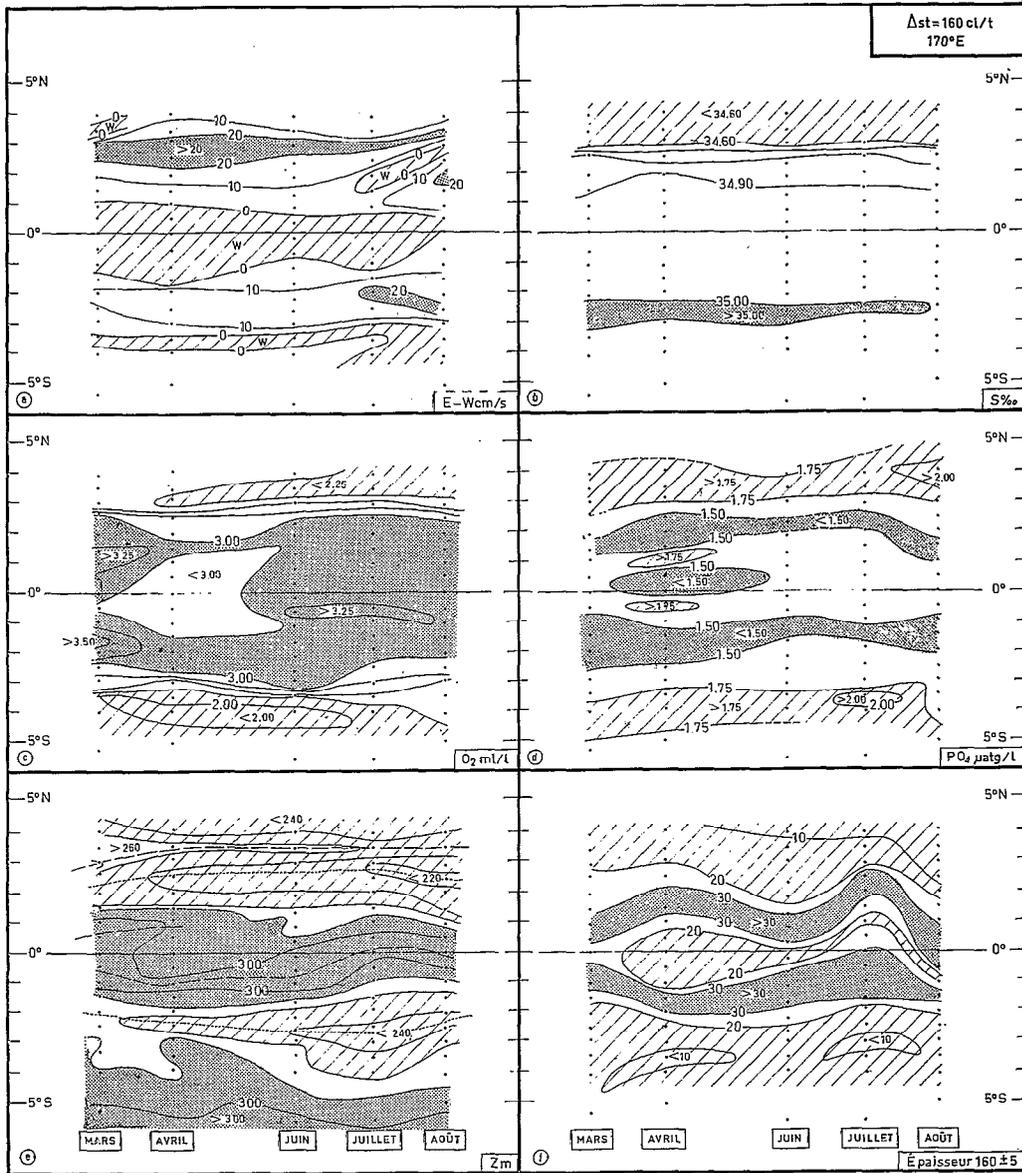


Fig. 4. — Distributions horizontales des paramètres hydrologiques observés de mars à septembre 1967 le long du méridien 170° E sur la surface d'anomalie thermostérique 160 cl/t : a : composantes zonales des courants (mesure directe), zone hachurée : composante ouest, zone ombrée : composante est supérieure à 20 cm/s, espacement des isotaches : 10 cm/s ; b : salinité ; espacement des isohalines 0,10 ‰, zone hachurée : teneur minimale inférieure à 34,60 ‰, zone ombrée : teneur maximale supérieure à 35,00 ‰ ; c : oxygène dissous ; espacement des isoplèthes : 0,25 ml/l, zone hachurée : teneur minimale inférieure à 2,25 ml/l, zone ombrée : teneur maximale supérieure à 3,00 ml/l ; d : phosphate minéral ; espacement des isoplèthes 0,25 µatg/l, zone hachurée : teneur maximale supérieure à 1,75 µatg/l, zone ombrée : teneur minimale inférieure à 1,50 µatg/l ; e : relief des isanostères ; espacement des isoplèthes : 20 m, zone hachurée : inférieure à 260 m, zone ombrée : supérieure à 280 m ; f : épaisseur en mètre de la couche isanostère d'anomalie thermostérique 160 cl/t ± 5 cl/t, zone hachurée : inférieure à 20 m, zone ombrée : supérieure à 30 m.

teneur en phosphate (fig. 2 c, d, et 3 c, d) ; elles forment une zone apparemment homogène qui est en réalité le siège d'un fort gradient méridien de salinité (fig. 2 b et 3 b), frontière entre l'Eau Subtropicale du Pacifique Sud et l'Eau Arctique Intermédiaire.

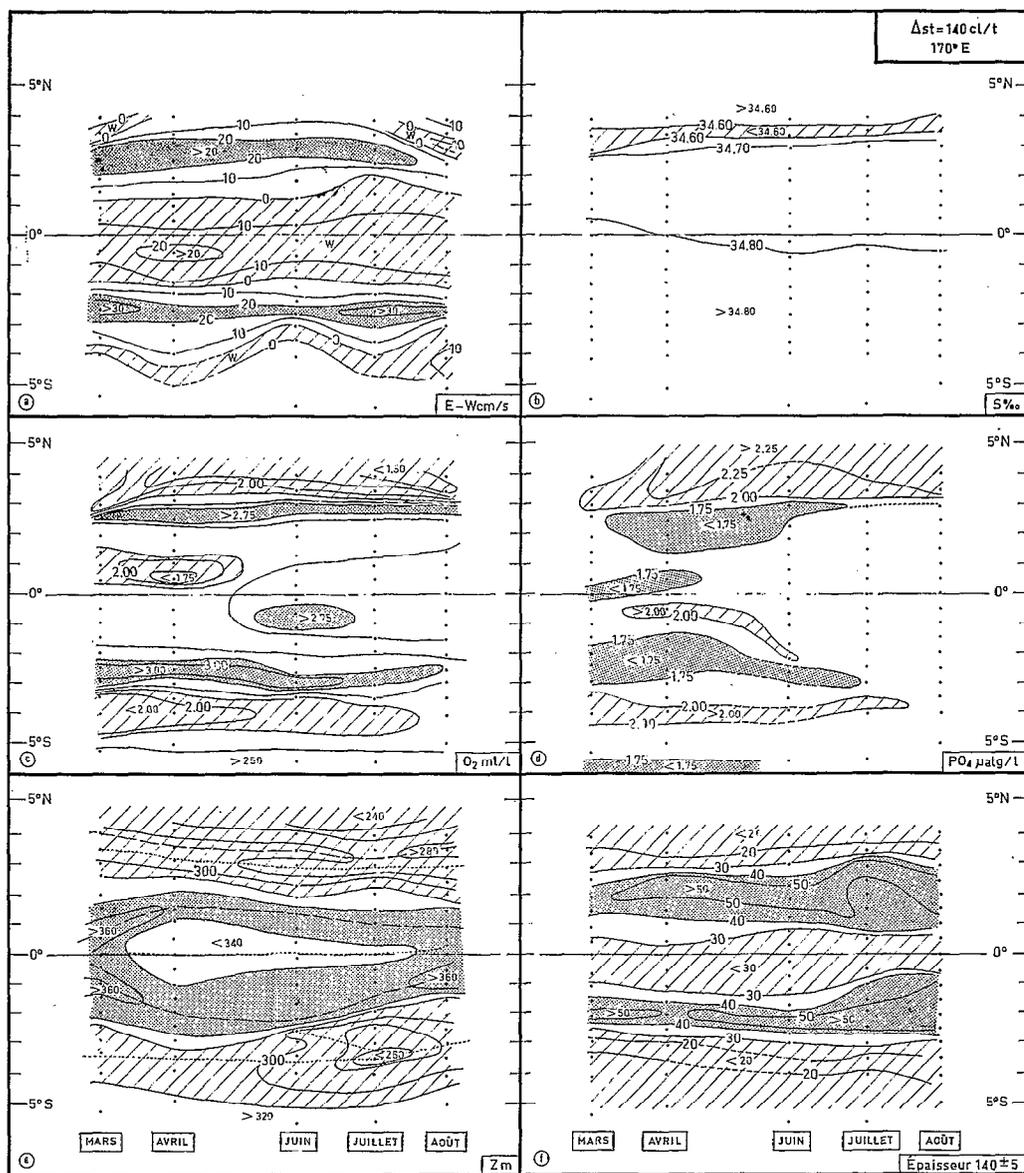


Fig. 5. — Distributions horizontales des paramètres hydrologiques observés de mars à septembre 1967 le long du méridien 170° E sur la surface d'anomalie thermostérique 140 cl/t : a : composantes zonales des courants (mesure directe), zone hachurée : composante ouest, zone ombrée : composante est supérieure à 20 cm/s, espacement des isotaches 10 cm/s ; b : salinité ; espacement des isohalines 0,10 ‰, zone hachurée : teneur minimale inférieure à 34,60 ‰ ; c : oxygène dissous ; espacement des isoplèthes 0,25 ml/l, zone hachurée : teneur minimale inférieure à 2,25 ml/l, zone ombrée : supérieure à 2,75 ml/l ; d : phosphate minéral ; espacement des isoplèthes 0,25 µatg/l, zone hachurée : teneur maximale supérieure à 2,00 µatg/l, zone ombrée : teneur minimale inférieure à 1,75 µatg/l ; e : relief des isanostères, espacement des isoplèthes : 20 m, zone hachurée : inférieure à 320 m, zone ombrée : supérieure à 340 m ; f : épaisseur en mètre de la couche isanostère d'anomalie thermostérique 140 cl/t ± 5 cl/t, zone hachurée : inférieure à 30 m, zone ombrée : supérieure à 40 m.

Ces trois caractéristiques : épaisseur des couches isanostères, oxygène et phosphate, permettent de limiter l'eau du Courant de Cromwell environ à 2° N et 2° S. Au-delà de cette zone apparaît la base du Contre-Courant Équatorial Nord et le début des courants portant à l'est bordant le Courant Équatorial Intermédiaire (fig. 2 a et 3 a).

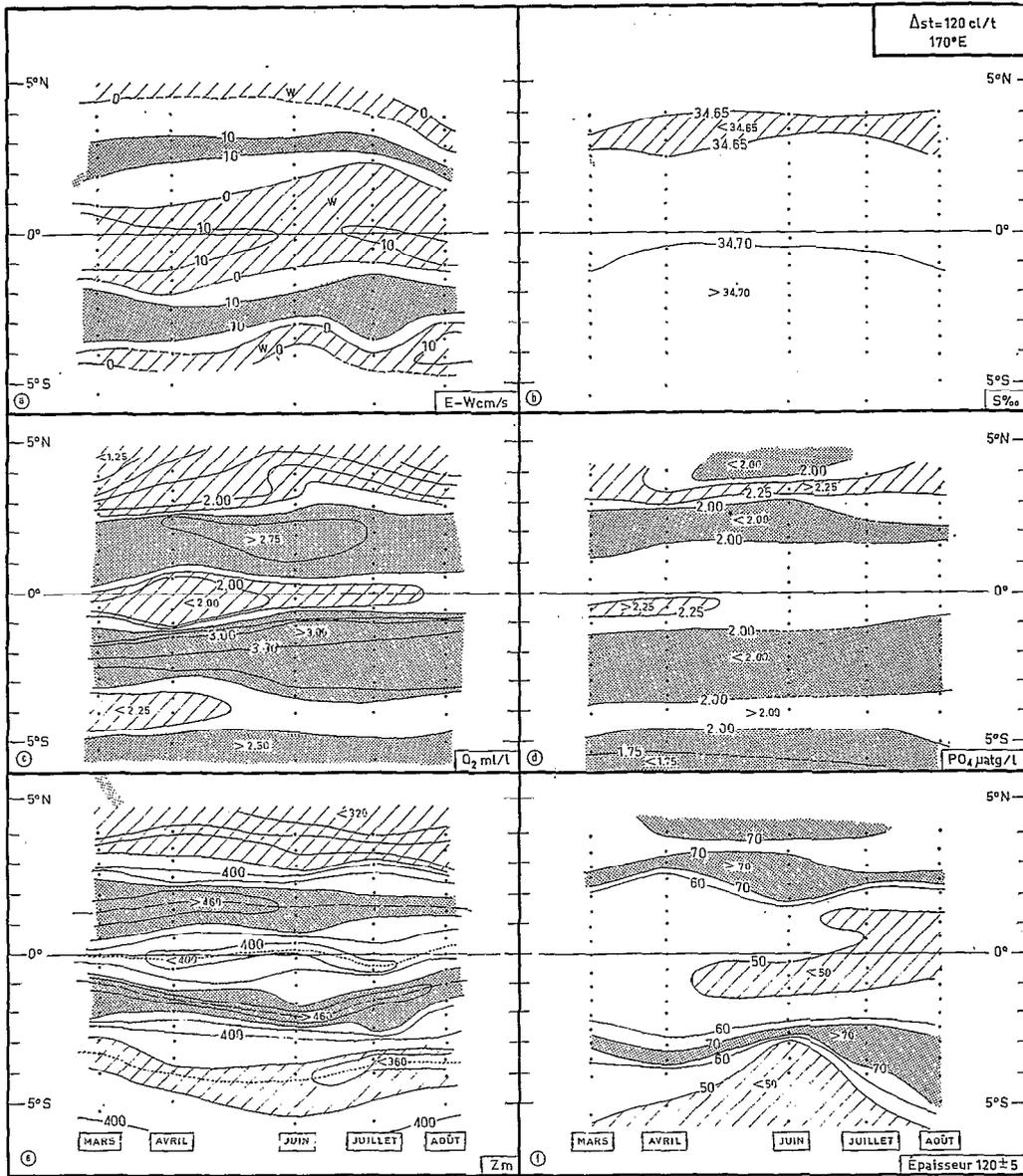


Fig. 6. — Distributions horizontales des paramètres hydrologiques observés de mars à septembre 1967 le long du méridien 170° E sur la surface d'anomalie thermostérique 120 cl/t : a : composantes zonales des courants (mesure directe), zone hachurée : composante ouest, zone ombrée : composante est supérieure à 10 cm/s, espacement des isotaches 10 cm/s ; b : salinité ; espacement des isohalines 0,10 ‰, zone hachurée : teneur minimale inférieure à 34,65 ‰ ; c : oxygène dissous ; espacement des isoplèthes 0,25 ml/l, zone hachurée : teneur minimale inférieure à 2,25 ml/l, zone ombrée : teneur maximale supérieure à 2,50 ml/l ; d : phosphate minéral ; espacement des isoplèthes 0,25 µatg/l, zone hachurée : teneur maximale supérieure à 2,25 µatg/l, zone ombrée : teneur minimale inférieure à 2,00 µatg/l ; e : relief des isanostères : espacement des isoplèthes, zone hachurée : inférieure à 380 m, zone ombrée : supérieure à 440 m ; f : épaisseur en mètre de la couche isanostère d'anomalie thermostérique 120 cl/t ± 5 cl/t, zone hachurée : inférieure à 50 m, zone ombrée : supérieure à 70 m.

### 1.1. Extensions profondes du Courant de Cromwell.

Vers 2°30' S et 3° N, deux courants portant à l'est, bien marqués dès la profondeur de l'isanostère 160 cl/t (fig. 1 a) atteignent une profondeur supérieure à 1.000 m (MAGNIER et al.,

1970); celui situé au sud du Courant Équatorial Intermédiaire est plus rapide et mieux individualisé que son équivalent de l'hémisphère nord, il a été mesuré jusqu'à 1.500 m de profondeur en août 1967 (RUAL, 1969). Ils sont reliés au Courant de Cromwell et pourraient avoir avec lui une origine commune étant donnée la similitude de leurs propriétés hydrologiques. Leurs eaux sont en effet plus riches en oxygène et plus pauvres en phosphate que les eaux adjacentes (fig. 5 c, d et 6 c, d). C'est de l'Eau Centrale du Pacifique Sud-Ouest (SVERDRUP *et al.*, 1942) qui, ayant traversé la Mer du Corail, est reprise par le système des Contre-Courants, au nord de la Nouvelle-Guinée (TSUCHIYA, 1968). Il semble, d'après la distribution de la salinité, que le courant situé vers 3° N soit formé d'un mélange avec des eaux dérivées du Courant de Mindanao (REID, 1965 fig. 19); sa teneur en oxygène est plus faible que celle du courant situé vers 2°30' S, et sa structure haline montre un gradient assez fort (fig. 4 b et 5 b). Ce courant semble donc être plus une extension profonde du Courant de Cromwell que du Contre-Courant Équatorial Nord. Avec son symétrie au sud de l'équateur et le Courant de Cromwell, il forme un ensemble de courants portant à l'est qui entourent le Courant Équatorial Intermédiaire.

Vers 3°-4° sud et nord on trouve une crête du relief des isanostères (fig. 3 e, 4 e, 5 e et 6 e), un minimum d'épaisseur des couches isanostères (fig. 4 f, 5 f et 6 f) et un fort gradient méridien d'oxygène et de phosphate (fig. 4 c et d, 5, c et d, 6, c et d) qui sembleraient marquer la limite des deux courants portant à l'est encadrant le Courant Équatorial Intermédiaire (fig. 1). Vers les pôles les minima d'oxygène dissous (fig. 4 c, 5 c, 6 c) et les mesures de courant (fig. 4 a, 5 a, 6 a) suggèrent l'apparition de deux courants portant à l'ouest. Celui qui apparaît à 4° N est sans doute le courant signalé sous le Contre-Courant Équatorial Nord par BURKOV et OVCHINNIKOV (1960, b), KOSHLVAKOV et NEYMAN (1965), TSUCHIYA (1961), YOSIDA *et al.* (1958).

## 1.2. Courant Équatorial Intermédiaire.

Limité vers le haut par une isanostère voisine de 160 cl/t (fig. 1 a), atteignant sans doute une profondeur supérieure à 1.000 m, le Courant Équatorial Intermédiaire a des caractéristiques physico-chimiques très différentes de celles des courants adjacents. Il est pauvre en oxygène dissous, riche en phosphate (fig. 6 c, d) et quasi isohalin (fig. 5 b et 6 b). Ce minimum d'oxygène est une extension vers l'ouest, le long de l'équateur, du minimum qui se forme le long des côtes d'Amérique Centrale et du Pérou (BENNETT, 1963 et REID, 1965).

Le Courant Équatorial Intermédiaire est encore caractérisé par une crête équatoriale du relief des isanostères (fig. 5 e et 6 e) et par un minimum d'épaisseur des couches isanostères (fig. 5 f et 6 f) indiquant un maximum de stabilité des eaux. Les deux creux du « W » équatorial (fig. 1 e) que dessinent les isanostères 120 cl/t et 140 cl/t correspondent à la limite du Courant Équatorial Intermédiaire. Cette limite est aussi associée à des changements prononcés de la pente des isoplèthes des différentes propriétés étudiées (fig. 1). De plus entre le Courant de Cromwell et le Courant Équatorial Intermédiaire, on observe un affaiblissement du gradient vertical de l'anomalie thermostérique (fig. 1 e) qui correspond à la structure identifiée par STROUP (1961) sous le nom « Eau Équatoriale à 13° C ». Il semble donc que cette formation, au moins à 170° E, caractérise plus la limite inférieure du Courant de Cromwell que ce courant lui-même.

## 2. EXTENSION TRANSPACIFIQUE DE LA CIRCULATION OBSERVÉE A 170° E

Plusieurs des caractéristiques observées à 170° E ont déjà été identifiées à l'est de 150° W par REID (1965) et TSUCHIYA (1968) qui ne les ont cependant pas associées à des mesures directes de courants. De nombreuses mesures de courant sont disponibles (tableau I) qui permettent d'évaluer l'extension à travers le Pacifique de la circulation équatoriale définie à 170° E. En particulier les observations des campagnes du « VITYAZ » (croisière 34), de l'« ARGO » (croisière SWAN SONG) et du « CORIOLIS » (croisières ALIZÉ) permettent de suivre le long de l'équateur; les structures physico-chimiques associées à cette circulation.

TABLEAU I

Mesures de courant utilisées pour la description de la circulation équatoriale aux niveaux des surfaces isanostériques 200 cl/t-160 cl/t et 125 cl/t.

AUTEURS	COORDONNÉES	DATE	RÉFÉ- RENCE	NAVIRE	CROISIÈRE
KORT <i>et al.</i> (1966).....	0° 132° E à 150° E	12/65-4/66	fond	« VITYAZ »	38
HISARD (données personnelles).....	0° 155° W à 135° W	2/69	1.000 m	« CORIOLIS »	CARIDE 3
KNAUSS (1960).....	0° 140° W à 92° W	5/58	1.000 m et fond	« HORIZON »	DOLPHIN
KORT <i>et al.</i> (1966).....	2° N-2° S 140° E	12/65-4/66	fond	« VITYAZ »	38
YOSIDA <i>et al.</i> (1958).....	5° N-1° S 140° E	8/56	800 m	« SATUMA »	EQUAPAC
BURKOV <i>et</i> OVCHINNIKOV (1960 b).....	5° N-1° S 143° E	4/58	1.000 m	« VITYAZ »	27
YOSIDA <i>et al.</i> (1958).....	5° N-2° S 147° E	1/58-2/58	800 m	« SATUMA »	I.G.Y.
	5° N-2° S 149° E	— —	—	et « TAKUYO »	
	5° N-2° S 151° E	— —	—		
TAKAHASHI <i>et al.</i> (1960)....	5° N-2° S 151° E	3/58-4/58	700 m	« KAGOSHIMA- MARU »	I.G.Y.
	5° N-2° S 153° E	— —	—		
YOSIDA <i>et al.</i> (1958).....	5° N-2° S 153° E	1/58-2/58	800 m	« SATUMA » et	I.G.Y.
	2° N-2° S 153° E	— —	—	« TAKUYO »	
	2° N-2° S 155° E	— —	—		
KOSHLIAKOV <i>et</i> NEYMAN (1965).....	5° N-1° N 162° E	11/61	1.500 m	« VITYAZ »	34
	1° S-3° S 162° E		—		
MAGNIER <i>et al.</i> (1970).....	4° N-4° S 170° E	3/67-9/67 et 4/68	500 m	« CORIOLIS »	CYCLONE
BURKOV <i>et</i> OVCHINNIKOV (1960 a).....	5° N-5° S 172° E	11/57-2/58	1.000 m	« VITYAZ »	26
KOSHLIAKOV <i>et</i> NEYMAN (1965).....	5° N-5° S 176° W	11/61	1.500 m	« VITYAZ »	34
BURKOV <i>et</i> OVCHINNIKOV (1960 a).....	2° S-5° S 174° W	11/57-2/58	1.000 m	« VITYAZ »	26
KOSHLIAKOV <i>et</i> NEYMAN (1965).....	5° N-5° S 154° W	10/61	1.500 m	« VITYAZ »	34
	5° N-5° S 140° W	10/61	—		
KNAUSS (1966).....	2° N-2° S 140° W	9/61	fond	« ARGO »	SWAN-SONG
	118° W	10/61	—		
	96° W	10/61	—		
	1° N-1° S 93° W	10/61	—		
	87° W	11/61	—		

## 2.1. Mesures directes de courants entre 5° S et 5° N.

Les données sont très différentes aussi bien par les méthodes et les instruments de mesures employés, que par leur dispersion dans le temps. Elles portent sur une dizaine d'années, avec une prédominance en automne et en hiver boréaux, alors que les phénomènes équatoriaux sont généralement très variables. A 170° E, des variations de flux du simple au double ont été observées dans le Courant de Cromwell en l'espace de quelques semaines (MAGNIER *et al.*, 1970) et KNAUSS (1966) a observé à 140° W, une semblable variation de flux du Courant de Cromwell entre 1958 et 1961. De plus l'année 1958 pendant laquelle eurent lieu près de la moitié des observations est une année exceptionnelle au point de vue météorologique (BJERKNES, 1966 a et b) car elle fut marquée par un régime d'alizés très faibles.

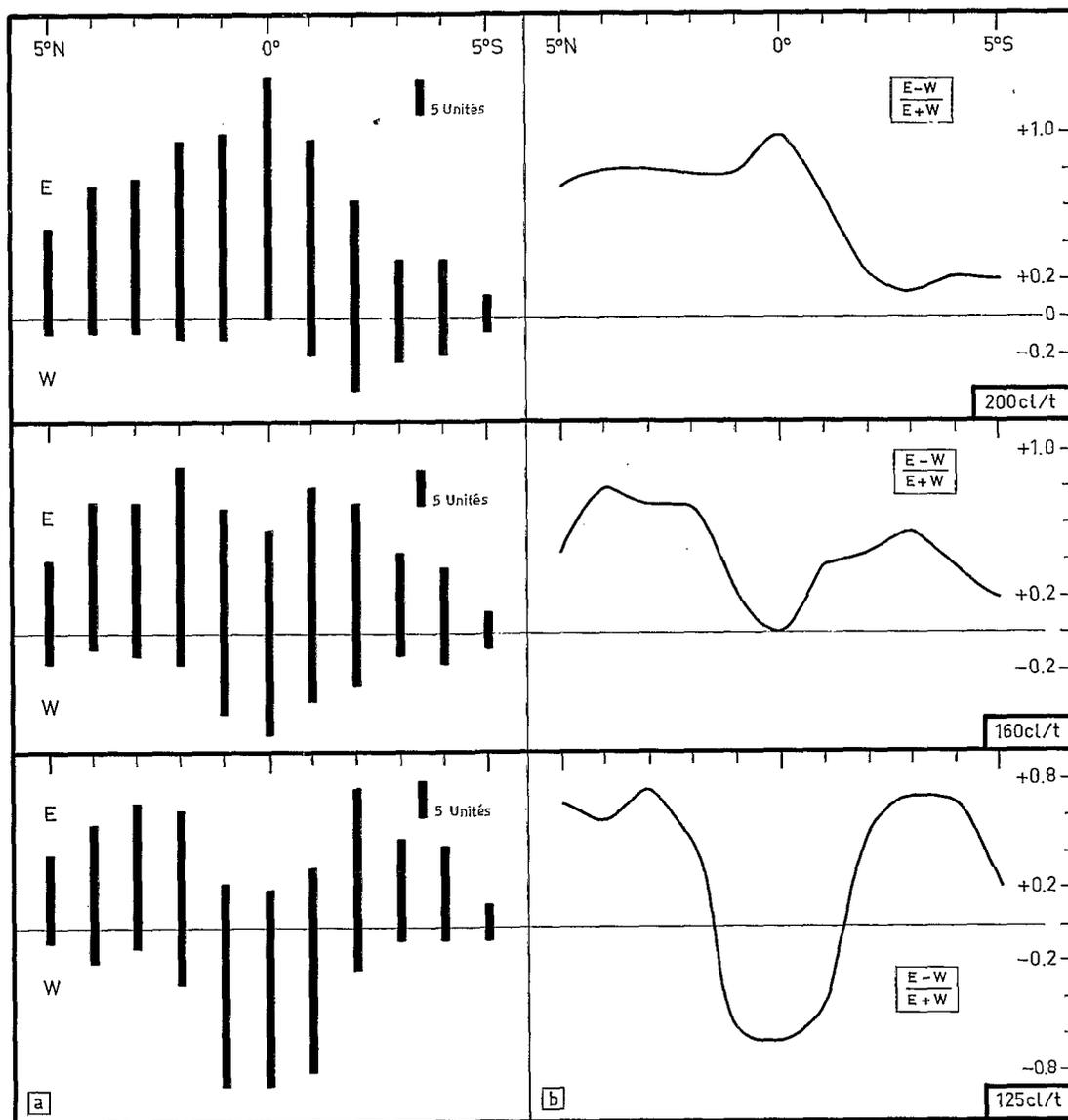


Fig. 7. — a) Nature des composantes zonales du courant entre 5° S et 5° N (estimée de 1° en 1° de latitude) dans la zone équatoriale entre les îles Galapagos et 140° E pour les trois niveaux correspondant à la profondeur des surfaces isanostères 200 cl/t, 160 cl/t et 125 cl/t. Données utilisées : observations directes de courant du tableau I, cartes de REID (1965) et de Tsuchiya (1968) indiquant la profondeur des trois surfaces isanostères. En ordonnée : nombre de fois où une même composante a été observée. b) Rapport de la différence entre le nombre de composantes est et ouest au nombre total de composantes.

Certains courants ont été mesurés avec un courantomètre soit depuis un bateau en dérive, soit depuis un bateau remontant le courant de surface; leur référence était soit une bouée ancrée soit une « drogue » à parachute profond ou encore la mesure la plus profonde du courantomètre. Des mesures ont été faites avec des « drogues » à parachute ou avec des flotteurs de Swallow ou bien en suspendant directement les courantomètres à des bouées ancrées. Les courants sont donc, soit des courants relatifs à des profondeurs de référence variables entre 500 m et 1.500 m, soit des courants absolus.

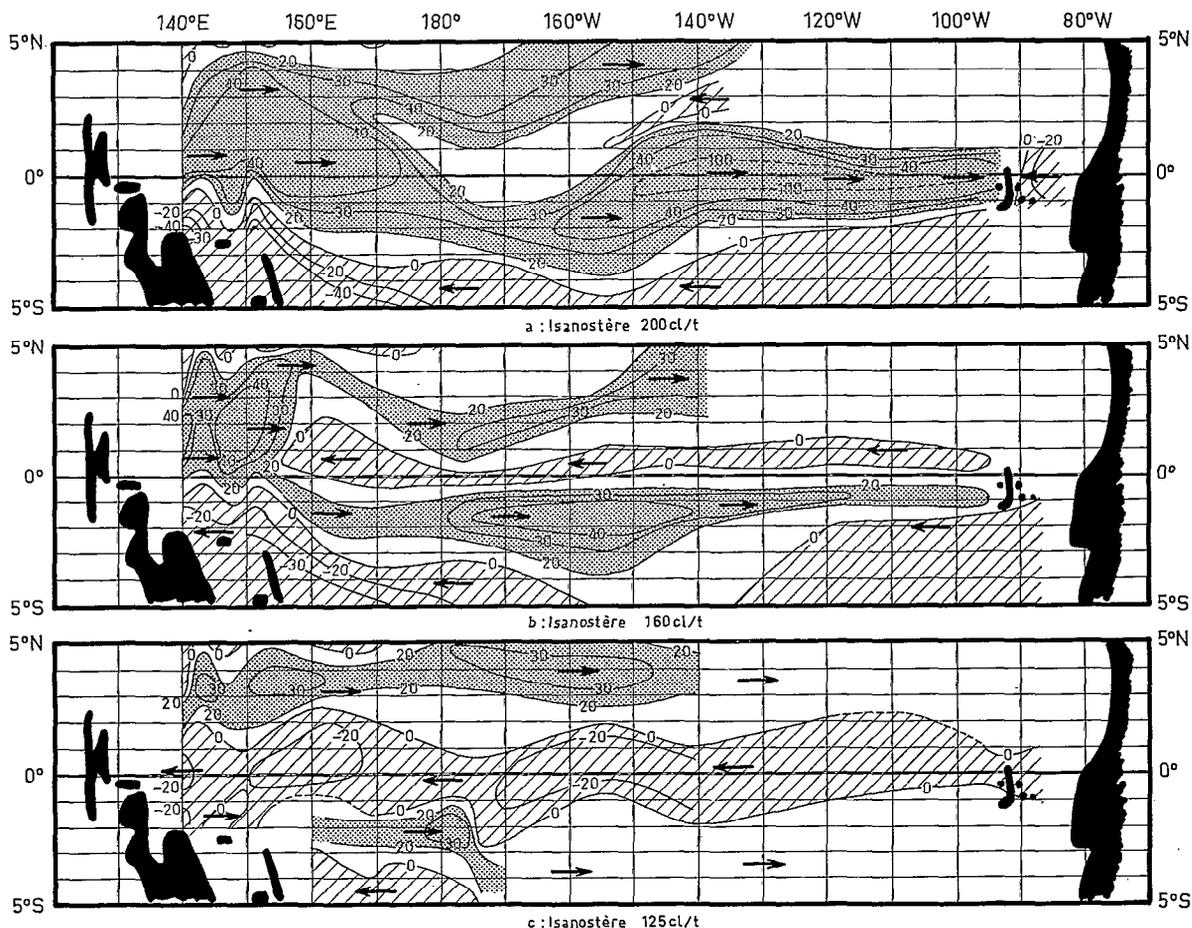


Fig. 8. — Composantes zonales en cm/s des courants observés dans la zone équatoriale (tableau I) à la profondeur des surfaces d'anomalie thermostérique 200 cl/t-160 cl/t et 125 cl/t (la profondeur des surfaces isanostères a été établie d'après les cartes de REID (1965) et TSUCHIYA (1968) ; zone ombrée : composante est supérieure à 20 cm/s, zone hachurée : composante ouest.

La densité des points de mesure, aussi bien géographiquement que verticalement fut extrêmement variable. Certaines coupes ont moins d'une demi-douzaine de points de mesures entre la surface et 500 m de profondeur, alors que d'autres ont une mesure tous les 20 m; il y a 1 ou 2 stations par degré de latitude et sur 26 coupes utilisées, 12 sont concentrées entre 140° E et 155° E. D'autre part, de 140° W aux Galapagos, les coupes ne décrivent que la zone 2° S-2° N. La disparité des méthodes, dans la mesure où les résultats concordent, renforce la valeur de ces derniers car toute erreur systématique, qui pourrait s'introduire au sein d'une méthode unique, est éliminée. Un premier traitement des données montre un ensemble assez cohérent, d'un bout à l'autre du Pacifique (fig. 7 a).

A une latitude donnée et sur les trois surfaces isanostères 200 cl/t, 160 cl/t et 125 cl/t, la prédominance d'une composante est ou ouest est toujours nette (fig. 7 b) ce qui atteste la constance en latitude, le long de la zone équatoriale, des courants mis en évidence à 170° E. Il y a pourtant deux exceptions : l'équateur sur la surface 160 cl/t et la zone entre 2° S et 5° S sur la surface 200cl/t. La première est due à ce que la surface 160 cl/t est une zone de transition entre le Courant de Cromwell et le Courant Équatorial Intermédiaire. La seconde indique que la limite sud du Courant de Cromwell fluctue en latitude. La structure définie à 170° E, se conserve donc à travers le Paci-

fique. Cette homogénéité des résultats confirme la réalité des courants observés bien que les intensités mesurées soient souvent de l'ordre de la précision des méthodes utilisées.

Pour illustrer ces résultats, des cartes de la composante zonale des courants ont été établies sur les mêmes isanostères (fig. 8 a, b et c). Le Courant de Cromwell est bien marqué sur l'isanostère 200 cl/t (fig. 8 a) jusqu'aux îles Galapagos et cette surface reste située à la base du noyau de vitesse en la suivant dans ses variations de profondeur (230 m à 160° E et 50 m à 110° W). Au nord de la Nouvelle-Guinée, on ne distingue pas le Courant de Cromwell du Contre-Courant Équatorial Nord. Ce n'est qu'à l'est de 170° E que ces deux courants s'individualisent. A 150° W apparaît entre eux la base du Courant Équatorial. Le méandre qui le déplace vers le sud aux environs du méridien 170° W, n'est sans doute pas permanent, il ne repose que sur une seule campagne (KOSHLIAKOV et NEYMAN, 1965).

Sur la surface 160 cl/t (fig. 8 b) à l'équateur, le Courant de Cromwell a disparu à l'est de 160° E. Dans le Pacifique central, au sud de l'équateur, on observe l'apparition du courant portant à l'est encadrant, au sud, le Courant Équatorial Intermédiaire. Ce dernier déjà apparent sur la surface 160 cl/t, au nord de l'équateur se développe sur la surface 125 cl/t (fig. 8 c) où il est présent d'un bout à l'autre du Pacifique. C'est un courant de faible intensité dont la limite supérieure est voisine de l'isanostère 160 cl/t et il est possible qu'il atteigne une assez grande profondeur de l'ordre de 1.000 m; il aurait donc un débit comparable à celui du Courant de Cromwell (ISTOSHIN et KUKLIN 1962). Large de 2° à 3°, il est entouré par deux courants portant à l'est.

Ces deux courants sont très apparents au moins à l'ouest de 140° W; à l'est les données manquent. Il semble qu'on ne puisse les confondre avec les Contre-Courants Équatoriaux Nord et Sud de surface, car, outre leur individualité physico-chimique bien marquée, ils sont beaucoup plus près de l'équateur. Il est possible que le courant portant à l'est, bordant au sud le Courant Équatorial Intermédiaire à l'est de 170° W soit celui décrit par REID (1959) d'après les calculs géostrophiques sur l'isanostère 125 cl/t; il apparaissait vers 2° S à 150° E, s'éloignait de l'équateur pour atteindre 5° S vers 170° W et 10° S au large des côtes du Pérou. La densité des points d'observation dans la zone du Pacifique intéressée par ce courant est très faible, aussi est-il possible que cette description ne soit pas totalement exacte. En effet, certains indices hydrologiques de la croisière 34 du « VITYAZ » et de la croisière « SWAN SONG » (1961) de l'« ARGO » confirmés par les résultats de la croisière « DIADÈME » du « CORIOLIS » (1967) laissent supposer qu'à 140° W, ce courant est toujours présent à la même latitude qu'à 170° E. Il se pourrait donc qu'il existe deux courants portant à l'est qui seraient reliés entre eux à l'ouest de 170° W.

Plusieurs autres mesures isolées confirment l'existence du Courant Équatorial Intermédiaire. Elles sont particulièrement intéressantes car ce sont souvent des mesures absolues de courant. De 87° W à 140° W, les mesures de KNAUSS (1960 et 1966) avec des flotteurs de Swallow indiquent toutes vers 400-500 m de profondeur un courant portant à l'ouest; ISTOSHIN et KUKLIN (1962) à 1° N et 154° W ont mesuré pendant 12 jours, à partir d'une bouée ancrée, un courant portant à l'ouest entre 250 m et 1.000 m de profondeur avec une vitesse maximum de 33 cm/s à 500 m de profondeur; ISTOSHIN et KALASHNIKOV (1965) indiquent à 180°, entre 300 et 600 m de profondeur, à l'équateur toujours, un courant portant à l'ouest, au cours d'une station de 6 jours sur une bouée ancrée; à 153° E, YOSIDA et al. (1958) ont mesuré à l'équateur une dérive de « drogue » à parachute, de 15 cm/s vers l'ouest à 550 m de profondeur; enfin MONTGOMERY (1962) rapporte que des mesures japonaises entre 134° E et 166° E faites entre 1926 et 1958, indiquent le plus souvent à 400 m de profondeur, un courant portant à l'ouest, alors qu'à 300 m le courant est faible et instable.

A 87° W, KNAUSS (1966) a mesuré, à 350 m de profondeur à l'équateur, un courant à l'ouest d'une intensité de 20 cm/s, KORT et al. (1966) vers 400 m de profondeur, toujours à l'équateur à 140° E, signalent un courant de 40 cm/s portant à l'ouest. Ce sont là, géographiquement, les mesures extrêmes. L'extension du Courant Équatorial Intermédiaire est donc en tout point comparable à celle du Courant de Cromwell et son épaisseur présumée en fait un flux d'une importance considérable.

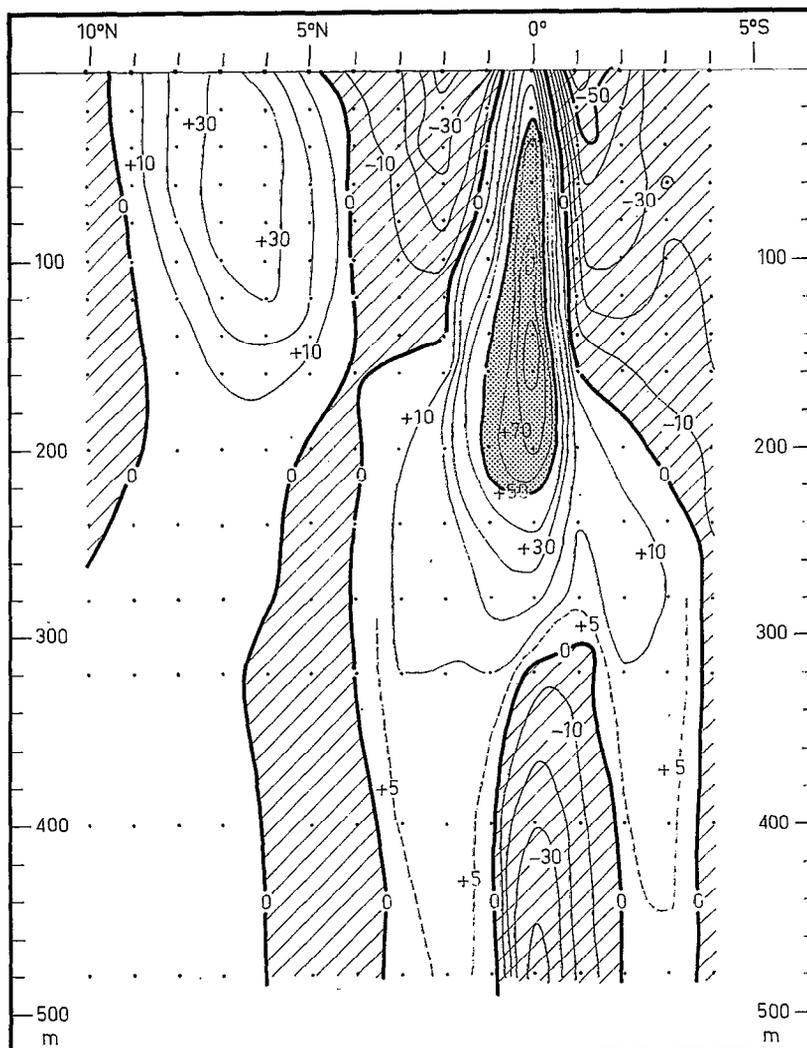


Fig. 9. — Distribution verticale des composantes zonales des courants équatoriaux (en cm/s) calculées à partir du champ de pression moyen par HIDAOKA (1962) d'après les croisières du « H. M. SMITH » entre 155° et 180° W ; espacement des isotaches : 10 cm/s, valeurs positives : composantes Est (zone ombrée supérieure à 50 cm/s), valeurs négatives (zone hachurée) : composantes Ouest.

A ces mesures, il faut ajouter quelques exemples de calculs faits à partir des champs de densité observés, et qui confirment les résultats obtenus. La carte du géopotentiel sur la surface 125 cl/t, établie par REID (1965), montre un courant portant à l'ouest tout le long de l'équateur. ICHIYE (1964) utilisant les données de la croisière « DOLPHIN » du « H. M. SMITH » à 140° W retrouve par le calcul un Courant de Cromwell semblable au courant observé par KNAUSS (1960) et trouve au-dessous un courant portant à l'ouest. A partir du champ de densité moyen fourni par les croisières du « H. M. SMITH » entre 155° W et 180°, HIDAOKA (1962), en tenant compte de certains termes non linéaires des équations hydrodynamiques, a retrouvé un schéma de courant très comparable au champ de courant mesuré à 170° E avec, en particulier, le flux portant à l'ouest du Courant Équatorial Intermédiaire limité vers 2° S et 1° N par deux extensions profondes du Courant de Cromwell (fig. 9).

L'existence du Courant Équatorial Intermédiaire confirme la réalité de la représentation des champs de courant de la figure 8 et donc l'existence des courants portant à l'est vers 2°30 de latitude, bien que ces derniers aient rarement été mesurés ailleurs qu'à 170° E. Les calculs dynamiques et les cartes d'oxygène dissous de la campagne « EASTROPIC » (BENNETT, 1963) semblent indiquer, sur les isanostères 180 cl/t et 140 cl/t, deux sources éventuelles du Courant Équatorial Intermédiaire, l'une dans le golfe de Panama, l'autre le long des côtes du Pérou.

Quant aux courants latéraux portant à l'est, leur origine semble être la Mer du Corail, soit directement pour celui qui se trouve vers 2°30 S, soit par l'intermédiaire d'un tourbillon au nord de la Nouvelle Guinée, pour celui qui se trouve au nord de l'équateur. A la faveur de ce tourbillon, il se pourrait que s'y mélange de l'eau moins salée venant de l'hémisphère nord.

En conclusion, le Courant Équatorial Intermédiaire est bien défini et permanent dans tout le Pacifique entre 90° W et 140° E; sa limite supérieure est proche de la profondeur de l'isanostère 160 cl/t et sa limite inférieure, moins bien précisée, pourrait être à une profondeur supérieure à 1.000 m. Les deux courants portant à l'est encadrant le Courant Équatorial Intermédiaire semblent aussi être transpacifiques, mais à l'est de 140° W les mesures directes manquent. Le courant portant à l'est centré sur 3°-4° N sur l'isanostère 125 cl/t a un tronç commun au Contre-Courant Équatorial Nord. Dans l'hémisphère sud, le courant portant à l'est, formé par des eaux sans doute de même origine que son symétrique de l'hémisphère nord ne paraît pas pouvoir être confondu avec le courant décrit par REID (1959) sur la surface 125 cl/t entre 2° S et 10° S et doit être distingué du Contre-Courant Équatorial Sud.

## 2.2. Structures physico-chimiques associées aux courants.

La densité des observations le long du méridien 170° E a permis d'associer aux courants certains traits de la distribution des propriétés physico-chimiques et en particulier de la teneur en oxygène dissous, du relief des isanostères et de l'épaisseur des couches isanostères. L'étude de la répartition de ces propriétés à travers l'océan Pacifique peut aider à suivre l'extension des courants là où les mesures directes sont insuffisantes.

L'étroitesse des courants observés, dans un plan méridien, et l'importance des gradients verticaux et horizontaux des propriétés étudiées font que ces structures ne peuvent être étudiées qu'au moyen de campagnes où la densité des stations a été suffisamment importante le long d'un méridien et ce, avec des niveaux de prélèvements assez resserrés entre la surface et 500 m de profondeur. Seule la campagne « SWAN SONG » de l'« ARGO » entre 140° W et les îles Galapagos répond à ces critères. Nous avons aussi utilisé les données de la croisière 34 du « VITYAZ » car elle s'est déroulée en même temps que la campagne « SWAN SONG » (automne 1961) et que de plus elle complète la couverture de la zone équatoriale entre 140° W et 162° E; ces deux campagnes ont comporté des mesures directes de courant (tableau I).

Ces données permettent de préciser pour l'automne 1961 la carte de la distribution de l'oxygène dissous sur l'isanostère 125 cl/t (REID, 1965) et de retrouver l'essentiel des caractéristiques mises en évidence à 170° E (fig. 10 a et 11). On reconnaît, d'une part un minimum d'oxygène équatorial caractéristique du Courant Équatorial Intermédiaire, d'autre part deux bandes de teneur plus élevée, vers 2° N et 2° S, associées aux deux flux portant à l'est qui l'encadrent.

Le Courant Équatorial Intermédiaire entraîne une eau à faible teneur en oxygène provenant de la zone à très forte reminéralisation qui se développe en profondeur au large des côtes d'Amérique. Il y a donc entre ce courant et l'eau très oxygénée du Courant de Cromwell un fort gradient vertical que l'on peut observer tout le long de l'équateur à la profondeur de la couche de transition (fig. 12).

On retrouve aussi la forme en « W » du relief des surfaces isanostères en automne 1961 entre les méridiens 162° E et 118° W (fig. 10 b). L'anomalie thermostérique étant fonction principalement de la température, cette forme découle d'une forme identique des isothermes aux mêmes

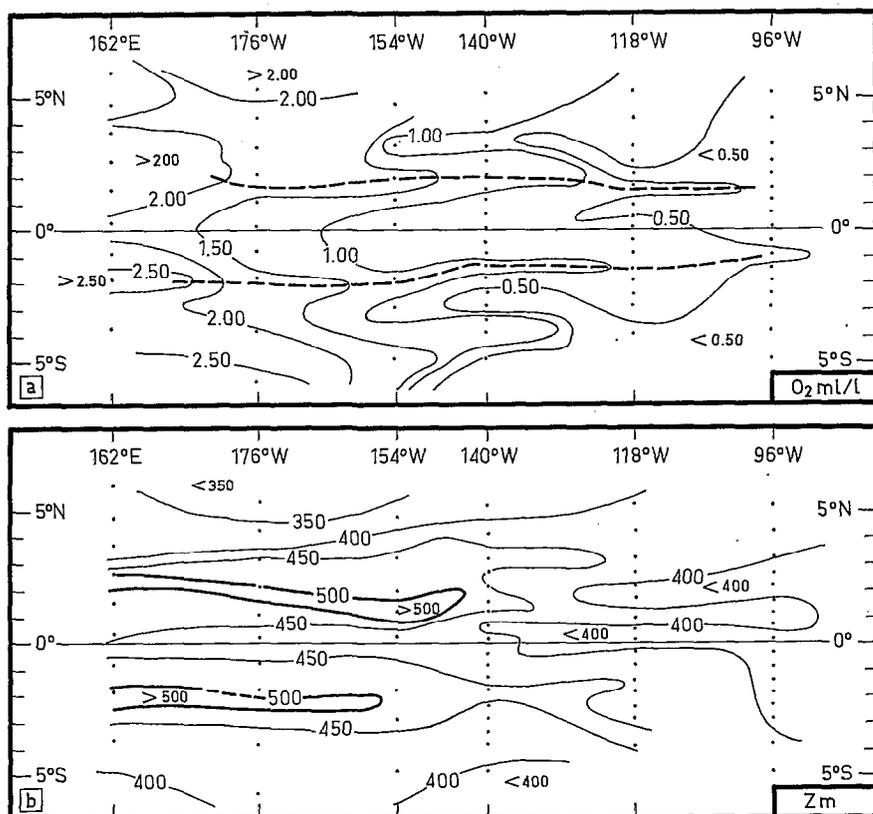


Fig. 10. — a) Distribution de la teneur en oxygène dissous (en ml/l) dans la zone équatoriale sur la surface d'anomalie thermostérique 120 cl/t d'après les données de la campagne 34 du « VITYAZ » et de la campagne « SWAN SONG » de l'« ARGO » (automne 1961) ; espacement des isoplèthes : 0,50 ml/l. Les deux lignes en pointillé soulignent l'existence de deux bandes de teneurs maximales en oxygène de part et d'autre de l'équateur. b) Relief de la surface isanostère 120 cl/t d'après les mêmes données. Espacement des isoplèthes : 50 m.

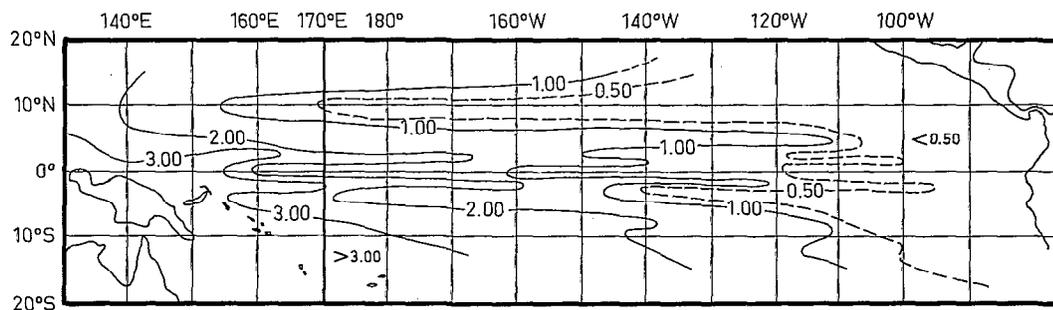


Fig. 11. — Distribution de la teneur en oxygène dissous (en ml/l) dans la zone équatoriale de l'océan Pacifique, sur la surface d'anomalie thermostérique 125 cl/t d'après la carte de REID (1965), complétée d'après les données des campagnes « CYCLONE » du « CORIOLIS », de la campagne 34 du « VITYAZ » et de la campagne « SWAN SONG » de l'« ARGO » (fig. 10 a). Espacement des isoplèthes : 1 ml/l. L'épaississement du méridien 170° E souligne la localisation des campagnes « CYCLONE » du « CORIOLIS ».

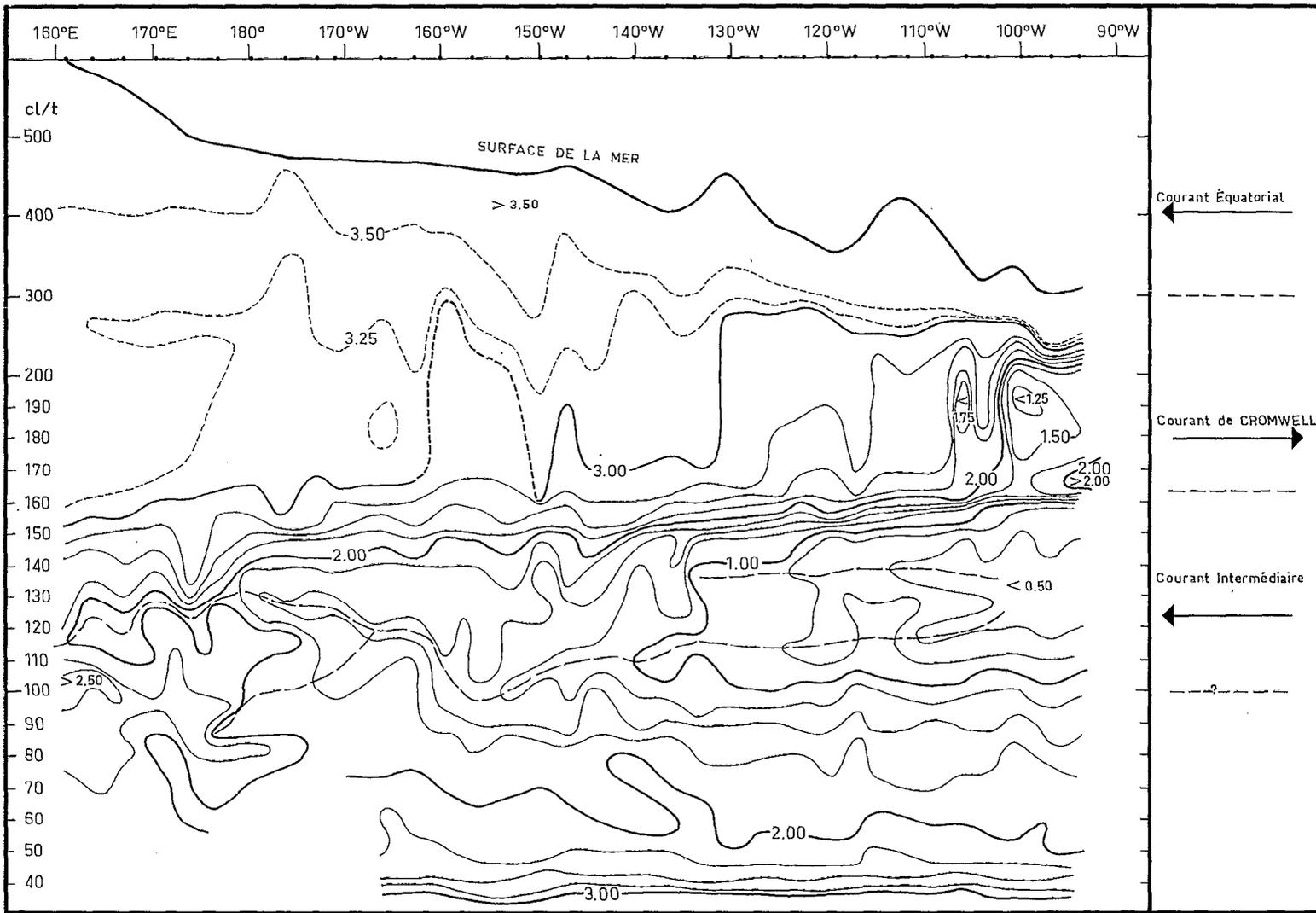


Fig. 12. — Distribution verticale de l'oxygène dans le plan équatorial de l'Océan Pacifique, en fonction de l'anomalie thermostérique. D'après les données de la campagne « ALIZÉ » du « CORIOLIS » (nov. 1964-mars 1965).  
 La ligne en longs pointillés entre 140 et 100 cl/t souligne l'extension du minimum d'oxygène d'Est en Ouest.

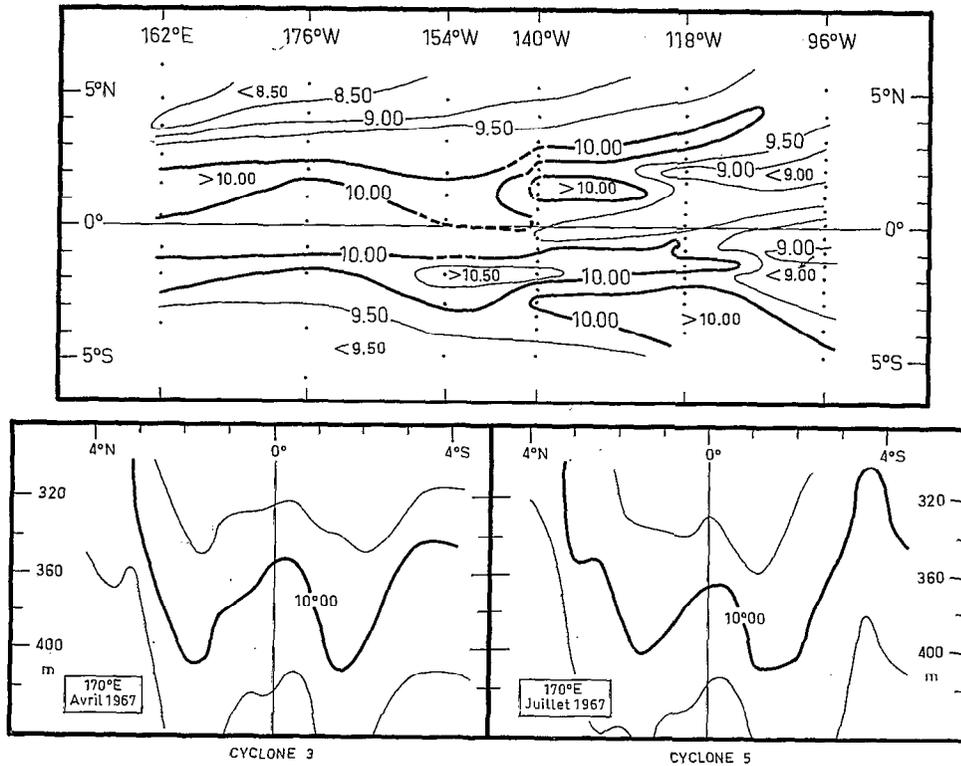


Fig. 13. — En haut : Distribution de la température (en °C) à 400 m de profondeur dans la zone équatoriale. La température a été interpolée par le N.O.D.C. d'après les données de la campagne 34 du « VITYAZ » et de la campagne « SWAN SONG » de l'« ARGO ». En bas : Forme remarquable en « W » des isothermes vers 400 m de profondeur, entre 4° N et 4° S à 170° E en avril 1967 et juillet 1967 (« CORIOLIS » campagne « CYCLONE »).

profondeurs (fig. 13). Le dôme équatorial, partie centrale du « W », atteste encore une circulation vers l'ouest alors que les branches externes témoignent des flux adjacents portant à l'est.

Les données utilisées par REID (1965) ne lui ont pas permis de dessiner la crête équatoriale du relief de l'isanostère 125 cl/t; néanmoins, la carte du potentiel d'accélération qu'il a établie implique un courant équatorial portant à l'ouest et par conséquent requiert, dans l'hypothèse géostrophique, l'existence d'une crête équatoriale du relief de l'isanostère 125 cl/t. On retrouve encore cette circulation sur la carte du potentiel d'accélération au niveau 80 cl/t. La section méridienne de l'anomalie thermostérique à 160° W (cf. fig. 6 in REID, 1965) permet de suivre le « W » équatorial jusque vers 1.200 m de profondeur; ceci confirme l'hypothèse de RUAL (1969) sur l'extension profonde du Courant Équatorial Intermédiaire.

La forme en « W » du relief de l'isanostère 120 cl/t et de la structure correspondante des isothermes qui se reconnaît sur les figures 10 b et 13, peut permettre d'identifier le Courant Équatorial Intermédiaire et ses limites nord et sud jusqu'à 118° W. À l'est de cette longitude, cette forme paraît évoluer bien que la distribution de l'oxygène dissous (fig. 10 a) suggère l'existence de ce courant jusqu'aux îles Galapagos.

La zone de transition entre le Courant de Cromwell et le Courant Équatorial Intermédiaire correspond à la zone de minimum de gradient d'anomalie thermostérique (150-170 cl/t) (fig. 14 a). C'est une couche de forte épaisseur et de faible stabilité, alors que le courant sous-jacent, portant à l'ouest, correspond à une augmentation du gradient d'anomalie thermostérique (120-150 cl/t). Cette zone de transition à stabilité verticale faible que STROUP (1962) avait identifiée seulement à la base du Courant de Cromwell (« Eau Équatoriale à 13° C ») s'observe aussi à 170° E sur les

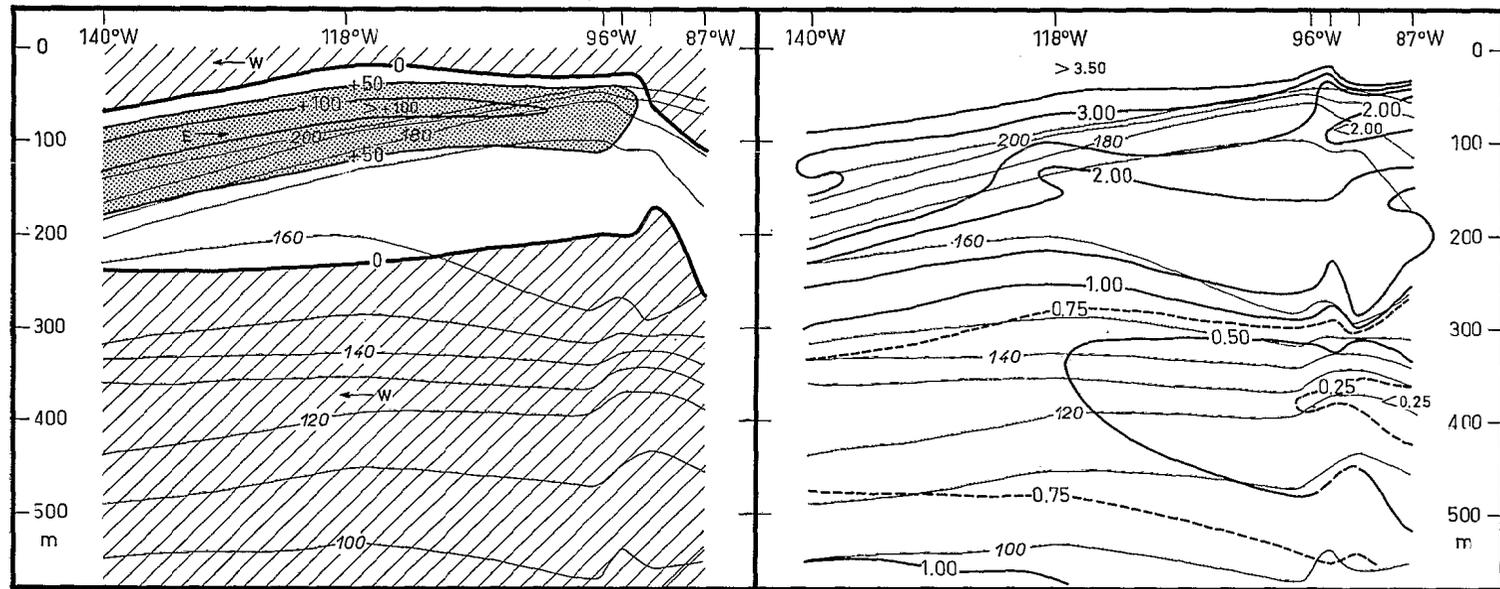


Fig. 14. — a) Composantes zonales en cm/s du courant dans le plan équatorial du Pacifique Oriental d'après les observations de la campagne « SWAN SONG » de l'« ARGO » (automne 1961) ; zone hachurée : flux portant à l'ouest, zone ombrée : flux portant à l'est (supérieure à +50 cm/s). Les lignes épaisses représentent les isotaches 0, +50 et 100 cm/s. Les lignes fines représentent les isanostères de 100 cl/t à 200 cl/t de 10 en 10. b) Distribution verticale de l'oxygène dans le plan équatorial (même source que 14 a). Espacement des isoplèthes : 0,50 ml/l de 1,00 à 3,50 ml/l et 0,25 ml/l pour les teneurs inférieures à 1,00 ml/l.

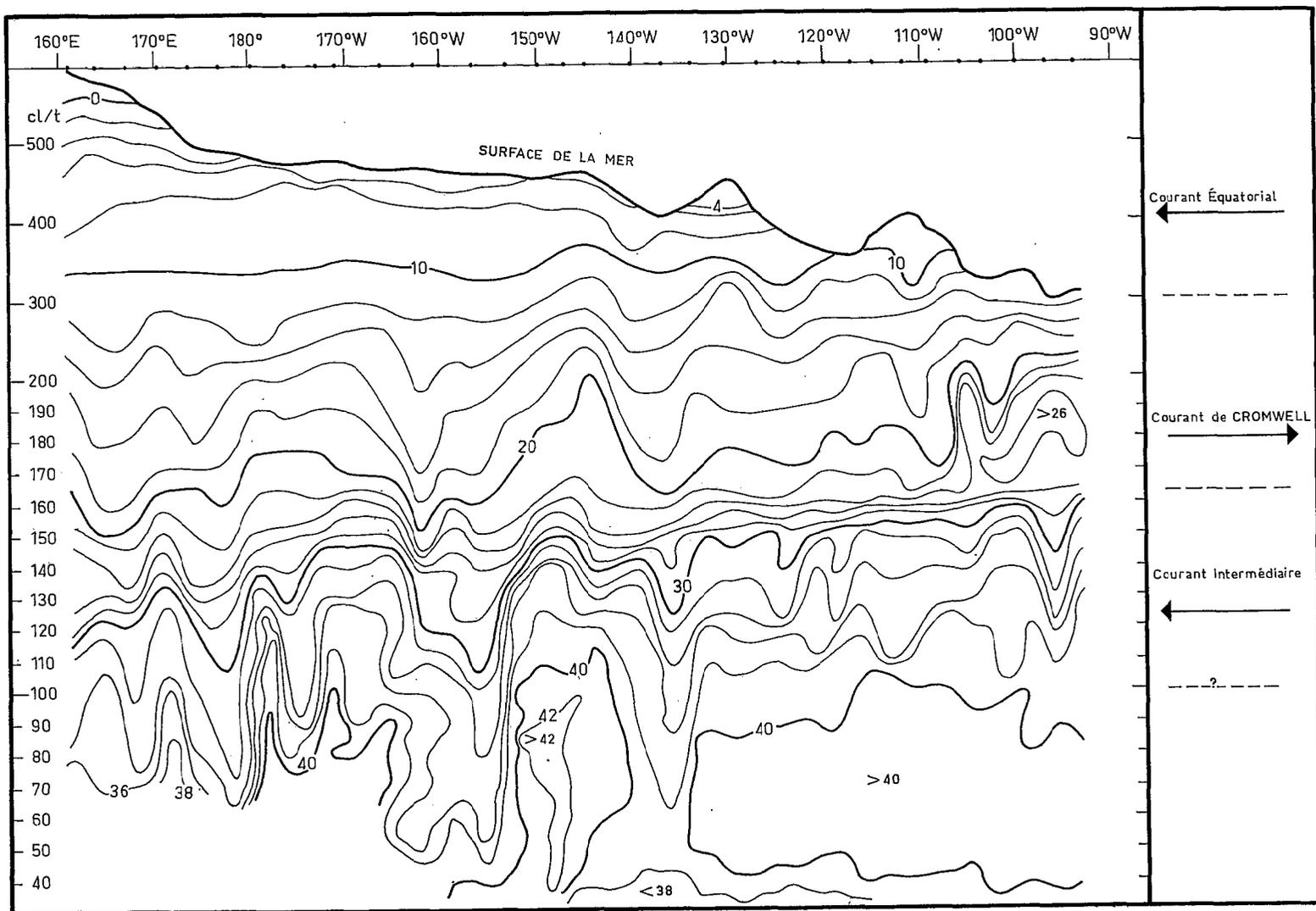


Fig. 15. — Distribution verticale du nitrate (en  $\mu\text{atg/l}$ ) dans le plan équatorial de l'océan Pacifique, en fonction de l'anomalie thermostérique. D'après les données de la campagne « ALIZÉ » du « CORIOLIS » (nov. 1964-mars 1965). Espacement des isoplèthes : 2  $\mu\text{atg/l}$ .

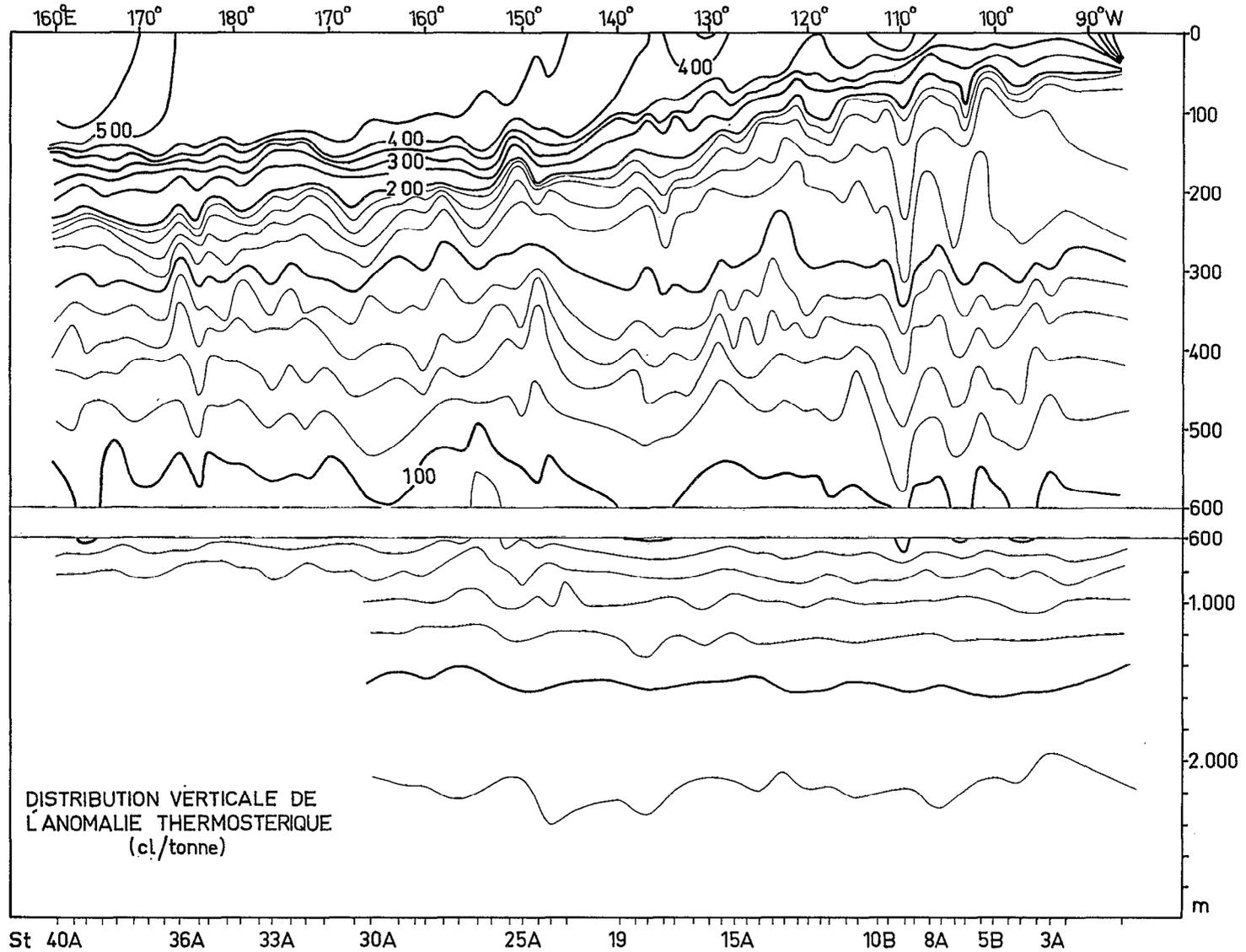


Fig. 16. — Distribution verticale de l'anomalie thermostérique (en cl/t) dans le plan équatorial de l'océan Pacifique, en fonction de la profondeur. D'après les données de la campagne « ALIZÉ » du « CORIOLIS » (nov. 1964-mars 1965). Espacement des isanostères : 10 cl/t de 40 à 200 cl/t et 50 cl/t de 200 à 550 cl/t.

côtés du Courant Équatorial Intermédiaire à la profondeur des isanostères 160 cl/t, 140 cl/t et 120 cl/t (fig. 4 f, 5 f et 6 f). On retrouve cette structure dans le Pacifique central et oriental, sur la carte de distribution de l'épaisseur de la couche isanostère 160 cl/t  $\pm 5$  cl/t établie par TSUCHIYA (1968); il faut y voir un indice de l'apparition sous le Courant de Cromwell du Courant Équatorial Intermédiaire.

### 3. INFLUENCE DE LA CIRCULATION SUR LA DISTRIBUTION DES SELS NUTRITIFS A L'ÉQUATEUR

L'eau du Courant Équatorial Intermédiaire est caractérisée par un minimum marqué de la teneur en oxygène (fig. 14 et 12). Cette faible teneur étant le résultat d'une forte minéralisation qui s'est produite dans la partie orientale du Pacifique, les eaux de ce courant sont riches en sels nutritifs; cette richesse contraste avec les teneurs plus faibles des eaux des flux portant à l'est qui les entourent. Ainsi, entre le Courant de Cromwell et le Courant Équatorial Intermédiaire, les phénomènes d'échanges par diffusion turbulente verticale sont facilités et d'autre part entre les flux portant à l'est et le Courant Équatorial Intermédiaire les échanges latéraux doivent être importants.

Il semble qu'une conséquence de ces échanges soit l'enrichissement en sels nutritifs des eaux du Courant de Cromwell au fur et à mesure de son écoulement vers l'est. En effet sur 200 cl/t en particulier, les teneurs en nitrate croissent de 15  $\mu\text{atg/l}$  à 24  $\mu\text{atg/l}$  entre 140° W et 95° W (fig. 15). Ceci est en accord avec le schéma de circulation « d'estuaire » proposé par REDFIELD et *al.* (1963). On est en effet en présence d'un système de courant et de contre-courant superposés, le plus profond étant le plus riche en sels nutritifs.

Les isanostères dans le Courant de Cromwell remontent de 200 m de profondeur environ dans le Pacifique Occidental à 50 m près des îles Galapagos (fig. 16). Un simple écoulement isentropique ramène donc à une très faible profondeur des eaux riches en sels nutritifs. Il suffit d'une faible divergence induite par les vents pour provoquer l'enrichissement des eaux de surface. Ce dernier est accentué quand les alizés faiblissent, car le Courant de Cromwell atteint alors la surface (WYRTKI, 1965, JONES, 1969).

### 4. STRUCTURES SIMILAIRES DANS L'OCÉAN ATLANTIQUE ET L'OCÉAN INDIEN

Le Courant Équatorial Intermédiaire dans l'Océan Pacifique ne peut plus être mis en doute, et des mesures directes semblent avoir mis en évidence un courant équatorial portant à l'ouest sous le Courant de Lomonossov dans l'Atlantique et sous le Contre-Courant Équatorial Subsuperficiel de l'Océan Indien. Entre 27° W et 35° W et entre les latitudes 1° 30 S et 1° 30 N, STALCUP et METCALF (1966), au cours de 11 stations sur bouées ancrées, occupées pendant 6 jours chacune et d'une station équatoriale occupée pendant 60 jours ont mesuré dans l'Atlantique un courant portant à l'ouest avec une vitesse de l'ordre de 20 cm/s à 400 m de profondeur. Ce courant était aussi associé au minimum équatorial d'oxygène dissous. VAPNYAR (1967) utilisant les mesures de salinité et de température du « CRAWFORD » à l'équateur à 32° 30 W, a calculé un profil de courant qui indique un courant portant à l'ouest entre 300 m et 600 m de profondeur avec une intensité maximum de 34 cm/s. SARKISYAN (1969) présente une coupe méridienne à 30° W qui indique aussi un tel courant en-dessous de 350 m de profondeur; il présente un profil de courant qui montre entre 300 m et 1.000 m de profondeur un maximum de vitesse de 45 cm/s vers 650 m pour ce courant ouest.

Dans l'Océan Indien, TAFT et KNAUSS (1967), d'après la campagne LUSIAD des N.O. « ARGO » et « HORIZON » en 1962-63, indiquent souvent sur leurs coupes méridiennes entre 53° E et 92° E, un courant absolu coulant vers l'ouest, à l'équateur, entre 100 m et 300 m de profondeur. Il semble associé à un minimum d'oxygène dissous, mais ses caractéristiques varient beaucoup d'une coupe à l'autre et même, sur certaines d'entre elles il ne semble pas exister. Un an plus tard, le N.O. « DISCOVERY » a effectué une croisière dans la zone occidentale qui a permis à SWALLOW (1964) d'identifier à 58° E un courant absolu portant vers l'ouest en-dessous de 100 m, avec une intensité de plus de 25 cm/s. Entre 58° E et 68° E, à 200 m de profondeur entre 2° S et 2° N il indique, par rapport à la profondeur de référence 1.500 m, un courant portant à l'ouest d'une intensité voisine de 50 cm/s.

Il semble donc que, sous le Contre-Courant Équatorial Subsuperficiel (« Equatorial Undercurrent ») de l'Océan mondial, se trouve un Courant Équatorial Intermédiaire coulant vers l'ouest lui aussi centré sur l'équateur. Ce courant ne serait donc pas lié aux structures particulières d'un océan mais serait un phénomène lié aux conditions générales qui règnent à l'équateur dans les trois océans.

### BIBLIOGRAPHIE

- BENNETT (E. B.), 1963. — An oceanographic atlas of the eastern tropical Pacific Ocean, based on data from Eastropic Expedition, Oct.-Dec. 1955, *Bull. Inter Amer. trop. Tuna Comm.*, vol. 8, n° 2, pp. 31-165.
- BJERKNES (J.), 1966 (a). — Survey of el Nino 1957-58 and its relation to tropical Pacific meteorology. *Bull. Inter Amer. trop. Tuna Comm.*, vol. 12, n° 2, 62 p.
- BJERKNES (J.), 1966 (b). — A possible response of the atmospheric Hadley circulation to equatorial anomalies of ocean temperature. *Tellus*, vol. 18, n° 4, pp. 820-829.
- BURKOV (V. A.), OVCHINNIKOV (I. M.), 1960 (a). — Structure of zonal streams and meridional circulation in the central Pacific during the northern hemisphere winter. (en russe). *Trud Inst. Okeanct. Akad. Nauk. S.S.S.R.*, vol. XL, pp. 93-107.
- BURKOV (V. A.), OVCHINNIKOV (I. M.), 1960 (b). — Investigations of equatorial currents to the north of New Guinea (en russe). *Trud. Inst. Okeanol. Akad. Nauk. S.S.S.R.*, vol. XL, pp. 121-134.
- CROMWELL (T.), 1953. — Circulation in a meridional plane in the central Equatorial Pacific. *J. mar. Res.*, vol. 12, n° 2, pp. 196-213.
- HIDAKA (K.), 1962. — Non linear theory of an equatorial flow with special application to the Cromwell current. *J. Oceanogr. Soc. Japan*. 20th Ann. vol., pp. 223-241.
- HISARD (P.), MERLE (J.) et VOITURIEZ (B.), 1970. — The Equatorial Undercurrent at 170° E in March and April 1967. *J. mar. Res.*, vol. 28, n° 3, pp. 281-303.
- ICHYE (T.), 1964. — An essay on the equatorial current system *Studies in Oceanogr.*, pp. 38-46. Ed. Yoshida. Univ. Washington Press.
- ISTOSHIN (Yu. V.) et KUKLIN (G. N.), 1962. — Le Courant de Cromwell à 154° W (en russe). *Okeanol.*, vol. 11, n° 2, pp. 262-263.
- ISTOSHIN (Yu. V.), KALASHNIKOV (A. A.), 1965. — The Cromwell current in the western Pacific. *Oceanol.*, vol. 5, n° 6, pp. 14-17 (traduction anglaise).
- JONES (J. H.), 1969. — Surfacing of Pacific Equatorial Undercurrent Direct observation. *Sciences*, 163, pp. 1449-50.
- KNAUSS (J. A.), 1960. — Measurements of the Cromwell current. *Deep-Sea Res.*, vol. 6, n° 3, 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.
- KORT (V. G.), BURKOV (V. A.) et TCHEKOTILLO (K. A.), 1966. — Nouvelles données sur les courants équatoriaux dans la partie occidentale de l'Océan Pacifique (en russe). *Dokl. Akad. Nauk. S.S.S.R.*, vol. 171, n° 2, pp. 337-339.
- KOSHYAKOV (MN.), NEYMAN (V. G.), 1965. — Some results of measurements and calculations of zonal currents in the Pacific Equatorial region. *Oceanol.*, vol. 5, n° 2, pp. 37-49. (Traduction anglaise).

- MAGNIER (Y.), ROTSCHI (H.), RUAL (P.) et COLIN (C.), 1970. — Circulation équatoriale dans le Pacifique Occidental (170° E). A paraître dans *Progr. in Oceanogr.*, vol. 6, Pergamon Press.
- MONTGOMERY (R. B.), WOOSTER (W. S.), 1954. — Thermosteric anomaly and the analysis of serial oceanographic data. *Deep-Sea Res.*, vol. 2, n° 1, pp. 68-70.
- MONTGOMERY (R. B.), 1962. — Equatorial Undercurrent in review. *J. Oceanogr. Soc. Jap.* 20th Anniv. vol., pp. 487-498.
- MONTGOMERY (R. B.), STROUP (E. D.), 1962. — Equatorial waters and currents at 150° W in July-August 1952. *Johns Hopkins Oceanogr. Stud.*, n° 1, 68 p.
- REDFIELD (A. C.), KETCHUM (B. H.), RICHARDS (F. A.), 1962. — The influence of organisms on the composition of sea water. *The Sea*, vol. 2, M. N. Hill, Ed., pp. 26-77.
- REID (J. L.), 1965. — Intermediate waters of the Pacific Ocean. *Johns Hopkins Oceanogr. Stud.*, n° 2, 85 p.
- RUAL (P.), 1969. — Courants équatoriaux profonds. *Deep-Sea Res.*, vol. 16, pp. 387-391.
- SARKISYAN (A. S.), 1966. — On dynamics of currents in the Equatorial Atlantic. *Proc. Symp. Oceanogr. fish res. Tropical Atlantic*. Abidjan. U.N.E.S.C.O. Edit., pp. 23-32.
- STALCUP (M. C.), METCALF (W. G.), 1966. — Direct measurements of the Atlantic Equatorial Undercurrent. *J. mar. Res.*, vol. 24, n° 1, pp. 44-45.
- STROUP (E. D.), 1961. — The distribution of Equatorial 13° C Water in the eastern Pacific. Communication au 10<sup>e</sup> Congrès des Sciences du Pacifique, Honolulu.
- SVERDRUP (H. U.), JOHNSON (M. W.), FLEMING (R. H.), 1942. — The oceans, their physics, chemistry and general biology. New York, Prentice Hall, 1087 p.
- SWALLOW (J. C.), 1964. — Equatorial Undercurrent in the Western Indian Ocean. *Nature*, vol. 204, n° 4957, pp. 436-437.
- « SWAN-SONG », 1965. — *Data Report S.I.O.*: 66-1, 125 p.
- TAFT (B. A.), KNAUSS (J. A.), 1967. — The Equatorial Undercurrent of the Indian Ocean as observed by the Lusiad expedition. *Bull. S.I.O.*, n° 9, 163 p.
- TAKAHASCHI (T.), CHAEN (M.), UEDA (S.), 1960. — Report of the Kagoshima Maru I.G.Y. cruise, 1958. *Mem. Fac. Fish., Kagoshima Univ.*, vol. 8, pp. 82-86.
- Tsuchiya (M.), 1961. — An oceanographical description of the Equatorial current system of the Western Pacific. *Oceanogr. Mag.*, vol. 13, n° 1, pp. 1-30.
- Tsuchiya (M.), 1968. — Upper waters of the intertropical Pacific Ocean. *Johns Hopkins Oceanogr. Stud.*, n° 4, 50 p.+4 sch.
- VAPNYAR (D. Yu.), 1967. — Some results of computing the gradient currents in the western part of the equatorial Atlantic *Oceanol.*, vol. 7, n° 3, pp. 338-343. (Traduction anglaise).
- YOSIDA (S.), NITANI (H.), SUZUKI (N.), 1959. — Report of multiple ship survey in the equatorial region I.G.Y. Jan-Feb., 1958 (in Japanese). *Hydrogr. Bull. Tokyo*, n° 59, pp. 1-30.