

MECANISMES DE FERTILISATION DANS
LE PACIFIQUE OCCIDENTAL TROPICAL

par

H. ROTSCHI et B. WAUTHY
Centre ORSTOM de Nouméa

-§-

RESUME.

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

SUMMARY.

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

12 FEB. 1973
O. R. S. I. C. M.

Collection de Référence

n°

5917
Océan

INTRODUCTION.

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

Cette situation apparaît clairement sur les cartes de distribution de la température de surface de REID (1969) : le refroidissement équatorial n'atteint pas 180° de mai à octobre (Fig. 1) et peut être décelé au mieux jusqu'à 170° E de novembre à avril (Fig. 2); encore peut-il être interprété comme résultant du transport advectif, le long de l'équateur, par le courant équatorial sud, d'eau froide due à l'upwelling du Pacifique central. Ce refroidissement peut, de plus, n'être qu'apparent, accentué par l'extension d'eau chaude vers l'est : dans l'hémisphère nord, d'une eau chaude formée en surface dans le Pacifique tropical occidental et transportée par le contre-courant équatorial nord dont le flux est maximum en août (WYRTKI et KENDALL 1967); dans l'hémisphère sud, d'une eau chaude à faible salinité originaire du nord de la mer du Corail (REID, op. cit.) qui semble indiquer un transport vers l'est en hiver boréal, bien que la combinaison de la circulation thermohaline et de la circulation induite par les vents conduise à des modèles de distribution de la température assez proches de la réalité (BRYAN et COX 1967).

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

Figure 1.

Figure 2.

À l'encontre de ces conclusions, les études du Centre ORSTOM de Nouméa, basées sur des croisières systématiques du "CORIOLIS" à l'équateur, ont établi la réalité de l'upwelling à 170° E; le long de ce méridien, ces travaux ont également permis la mise en évidence d'une circulation en zone tropicale susceptible d'entretenir un certain enrichissement de la couche superficielle conduisant à une production organique localement accrue.

UPWELLING EQUATORIAL A 170° E.

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

Figure 3.

Figure 4.

Figure 5.

Figure 6.

L'examen d'autres propriétés que la température permet de confirmer et de préciser l'importance de cette remontée des eaux subsuperficielles. C'est ainsi que la distribution verticale des sels nutritifs montre (Fig. 5) que, dans tous les cas où il y a refroidissement superficiel, on mesure un enrichissement correspondant de l'eau de surface et que, dans la couche subsuperficielle, la remontée des isophètes suit exactement celle des isothermes. Cette situation normale d'un enrichissement des eaux équatoriales par rapport aux eaux adjacentes contraste avec la pauvreté uniforme à toute latitude de la couche superficielle trouvée lors des deux croisières où une convergence existait en surface à l'équateur (Fig. 6). Une autre caractéristique de l'eau "upwellée" est sa salinité. En effet, dans le Pacifique occidental, les conditions météorologiques font que l'eau de surface est

relativement peu salée. En subsurface par contre, dans l'hémisphère sud, le maximum de salinité de l'eau subtropicale sud qui a plongé le long de la convergence tropicale vers 20° S s'avance jusqu'à l'équateur, progressant dans la thermocline. Comme la divergence en surface à l'équateur est alimentée en subsurface par une convergence située à la base de la couche superficielle et empiétant sur le sommet de la thermocline, elle entraîne une eau relativement salée : ainsi, la situation normale de divergence (Fig. 7, BORA 2) montre-t-elle en surface à l'équateur, de l'eau atteignant 35,30 ‰ contrastant avec celle trouvée au nord et au sud, de salinité inférieure à 34,50 ‰ qui envahit toute la zone équatoriale en situation de convergence (Fig. 7, BORA 1).

Figure 7

Il existe donc, en zone équatoriale du Pacifique occidental, des indices hydrologiques nets de mouvements verticaux liés au régime des vents; par vents persistants du secteur est, une divergence en surface à l'équateur entraîne une remontée d'eau subsuperficielle froide, salée, dense, riche en sels nutritifs et que l'on peut caractériser par les valeurs typiques suivantes T°C 27,00°C, S‰ 35,30‰, Δ st 490 cl/t, P-PO₄ 0,50 mg/m³, N-NO₃ 3,00 mg/m³. Cet upwelling cesse par vent du secteur ouest et une eau chaude, peu salée, légère et appauvrie en sels nutritifs, envahit alors la couche superficielle. Ce qu'il advient de l'eau de l'upwelling précédemment en surface à l'équateur a été précisé par des croisières mettant l'accent sur des mesures directes de courant en zone équatoriale et qui ont permis de dégager un schéma de circulation méridienne expliquant de façon satisfaisante les distributions observées.

CIRCULATION MERIDIENNE A 170° E.

Les mesures confirment l'existence d'une divergence en surface à l'équateur par vent de secteur est et révèlent la présence, au nord et au sud, de zones de convergence parfois traduites par des fronts thermiques. C'est ainsi qu'à la croisière Cyclone 2 (Mars 1967) la répartition verticale de la température (Fig. 8 b) montre en zone équatoriale, une remontée des isothermes; en surface (Fig. 8 a) il y a un net refroidissement équatorial associé à deux fronts thermiques à 3° N et 3° S. Les mesures de courants à 5 m (Fig. 8 c) révèlent une divergence à l'équateur et deux convergences au nord et au sud, au niveau des fronts. Bien qu'une situation aussi claire soit relativement rare à 170° E, la plupart des croisières ont

Figure 8

fourni divers indices hydrologiques et dynamiques de convergence, tant en surface, à quelques degrés au nord et au sud où l'eau "upwellée" à l'équateur peut donc être évacuée latéralement, qu'en subsurface, au sommet de la thermocline où il y a alimentation de l'upwelling par l'eau adjacente. Ces indices sont essentiellement les composantes nord-sud des courants mesurés, les anomalies de répartition verticale de la salinité et les inversions stables de la température.

Figure 9.

Dans l'hypothèse d'une circulation quasi-isentropique, la représentation (Fig. 9) de la composante nord-sud du courant dans laquelle les vecteurs nord-sud, d'une intensité supérieure à 10 cm/s sont figurés parallèlement aux isanostères illustré à des degrés divers, pour les croisières Cyclone 2, 6 et 7-2 effectuées en situation d'upwelling, la divergence équatoriale et les convergences latérales en surface ainsi que la convergence équatoriale au sommet de la thermocline. La croisière Cyclone 3 effectuée alors que le courant de surface portait à l'est révèle au contraire une convergence équatoriale en surface. Les croisières Cyclone 2 et 6 indiquent en outre que la circulation dans un plan méridien est souvent asymétrique par rapport à l'équateur : par vent de nord-est, comme au cours de la croisière Cyclone 2, il y a en effet prépondérance du flux vers le sud; en revanche, par vent de sud-est, cas de la croisière Cyclone 6, c'est le flux vers le nord qui l'emporte. Dans les deux cas, l'eau "upwellée" en zone équatoriale s'évacue en plongeant latéralement à la convergence; s'insinuant dans la partie supérieure de la thermocline, elle s'éloigne ensuite de l'équateur.

Figure 10.

Pour ce qui est des inversions de température, (Fig. 10) certaines d'entre elles, vers 3-4° N, sont associées à un fort gradient vertical de salinité; elles coïncident également avec la surface de convergence le long de laquelle l'eau salée "upwellée" en zone équatoriale plonge sous l'eau superficielle du contre-courant équatorial nord après avoir été plus ou moins réchauffée en surface au cours de son déplacement vers le nord. Cette eau est reprise ensuite par la circulation zonale et apparaît alors sur les coupes méridiennes comme une petite masse salée, isolée et en équilibre de densité avec l'eau du nord qui la surplombe; cette dernière étant moins salée est par conséquent plus froide, d'où apparition d'une inversion thermique stable. D'autres inversions situées soit au sommet de la

thermocline à l'équateur, soit au niveau du maximum de vitesse du courant de Cromwell sont liées à des gradients horizontaux de salinité; elles traduisent le réarrangement vertical, la densité croissant vers le bas, d'un système de lamelles où la température et la salinité diffèrent (STOMMEL et FEDOROV 1967). Ces lamelles sont constituées d'eaux bien distinctes originaires soit de l'hémisphère sud (eau chaude et salée du maximum subtropical du Pacifique sud), soit de l'hémisphère nord (eau froide et moins salée du contre-courant équatorial nord). De telles inversions sont donc associées à un mouvement convergent vers l'équateur des eaux subsuperficielles.

Par ailleurs, il existe, au sud de l'équateur et à une profondeur voisine de 100 m, des noyaux salés (salinité supérieure à 35,50 ‰ à 4° S et 80 m, au cours de la croisière Cyclone 3, salinité supérieure à 35,60 ‰ à 2° S et 100 m au cours de la croisière Cyclone 4) (Fig. 9). On les trouve à la latitude de la convergence sud. Du fait de leur salinité élevée, ils ne peuvent dériver que de l'eau subtropicale du Pacifique sud. Le diagramme T-S vertical à la latitude de ces noyaux indique que l'eau qui les compose est beaucoup plus chaude que celle de même salinité qui découlerait d'un mélange de l'eau d'origine avec les eaux de surface; elle ne peut donc s'être formée que par réchauffement en surface d'une eau "upwellée" qui, se déplaçant ensuite en direction des pôles, rencontre au niveau d'un front une eau plus légère sous laquelle elle plonge.

Les données courantométriques et hydrologiques conduisent donc à un schéma nouveau de la circulation méridienne moyenne en zone équatoriale, par vent d'est avec en surface un courant ouest (Fig. 11). Ce schéma, symétrique par rapport à l'équateur, est compatible avec différents modèles proposés antérieurement (CROMWELL 1953, FOFONOFF et MONTGOMERY 1955), tout au moins en ce qui concerne les deux cents premiers mètres. Cette circulation qui amène en surface, à l'équateur, un enrichissement quasi-permanent conditionne de façon très nette la production primaire à 170° E.

PRODUCTION PRIMAIRE A 170° E.

Elle a été évaluée par mesure d'une part de la chlorophylle a, d'autre part de la production de carbone organique. La première (Fig. 12) qui donne une estimation de la biomasse de phytoplancton a été mesurée spectrophotométriquement sur de grands volumes d'eau filtrée, 10-20 litres, avec

Figure 11

Figure 12

Figure 13.

des cuves à long trajet optique, 10 cm, et de faible capacité, 5 ml, ce qui améliore considérablement la sensibilité de la méthode applicable alors à des eaux oligotrophes. La seconde (Fig. 13) est une mesure de la fixation de CO_2 ; les échantillons marqués au ^{14}C ont été incubés "in situ" ce qui donne une approximation aussi bonne que possible de la production réelle dans la couche euphotique (LE BOURHIS et WAUTHY 1969).

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

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

MINERALISATION A 170° E.

Figure 14.

Toutes les croisières du N.O. CORIOLIS ont indiqué la présence d'une couche d'accumulation de nitrite en subsurface en zone équatoriale où la concentration dépasse 2 mg/m^3 (Fig. 14). HISARD et PITON (1969) en ont donné une description détaillée, établissant qu'à l'équateur le nitrite se trouve dans le gradient de densité et que sa concentration en surface suit l'intensité de l'upwelling au même titre qu'un autre sel nutritif; ils ont montré que la couche a un maximum d'épaisseur vers 5° S où elle s'étale entre deux gradients de densité. Le gradient supérieur qui la sépare de la couche de surface est dû surtout à la répartition verticale de la température tandis que le gradient inférieur est dû à la présence du maximum de

salinité subtropical du Pacifique sud; ils ont montré enfin que le nitrite est lié à une utilisation apparente de l'oxygène (U.A.O.) positive. OUDOT, HISARD et VOITURIEZ (1969) ont montré qu'à l'équateur, le maximum de nitrite est associé à une anomalie thermostérique ($\Delta \sigma_t$) précise, différente au nord et au sud, donc apparemment liée à des eaux déterminées circulant de façon isentropique.

La croisière EPONITE entreprise pour étudier tout spécialement cette accumulation remarquable (HISARD, WAUTHY et PAGES 1971) a permis d'en préciser certains traits et d'avancer dans l'interprétation de sa formation (OUDOT, RUAL, WAUTHY 1972, HISARD et al 1972). En particulier, il a été montré que les caractéristiques $T^\circ C$ et $S^\circ /_{\text{‰}}$ de l'eau du maximum de nitrite lui conféraient l'anomalie de densité de l'eau "upwellée" à l'équateur qui a plongé et que la distribution verticale du nitrite était conforme à celle que l'on obtiendrait par diffusion ou mélange turbulent vertical à partir d'une "couche-source" de nitrite intercalée entre deux gradients de densité dans une structure stratifiée (Fig. 15). En ce qui concerne le mode de formation du nitrite il semble peu probable que ce dernier soit dû à la réduction du nitrate par le phytoplancton (VACCARO et RYTHER 1960) car le maximum de chlorophylle a était nettement au dessus, dans le gradient supérieur de densité, à la base de la couche homogène. Par contre, deux arguments plaident en faveur d'une minéralisation par oxydation de la matière organique : d'une part l'association du nitrite et des fortes valeurs de phaeo-pigments dans une eau à UAO positive; d'autre part, l'existence d'une couche où les sels nutritifs sont en excès par rapport aux propriétés conservatives et qui correspond au maximum de nitrate, supérieur à $8,5 \text{ mg/m}^3$, à 8° S (Fig. 16).

Quant à la matière organique, il est peu vraisemblable qu'elle puisse tomber de la couche euphotique directement au dessus, car dans ce cas les particules s'accumuleraient à la base de la couche homogène, au dessus du gradient de densité et non au dessous comme le nitrite; par ailleurs la production au sud de l'équateur est faible. Par contre, la circulation méridienne suggérée précédemment fournit le mécanisme nécessaire pour relier la disparition périodique de matière organique produite à l'équateur à l'accumulation au sud, en subsurface, du nitrite, forme intermédiaire dans la minéralisation de l'azote. Le nitrite pourrait ainsi être un excellent traceur d'une circulation méridienne capable de transférer une partie de la richesse organique équatoriale, vers le sud, par transport dans la thermocline au dessus du

"plancher" constitué en zone tropicale occidentale par la couche relativement pauvre du maximum de salinité.

CIRCULATION INTERTROPICALE.

Figure 17

A chacune des dix croisières du N.O. CORIOLIS le long du méridien 170° E on a noté l'existence d'une circulation tropicale geostrophique assez complexe impliquant, outre le courant équatorial sud, la permanence de deux contre-courants, le contre-courant équatorial sud dont le noyau est situé vers 10° S et le contre-courant tropical sud localisé au sud de 15° S et dont la limite sud n'a pas pu être précisée, les observations s'arrêtant à 20° S. (Fig. 17). Ces courants, qui ont été étudiés par JARRIGE (1968) et MERLE, ROTSCIHI et VOITURIEZ (1969), transportent des eaux qui leur sont spécifiques; ils sont geostrophiques, associés à une inversion de pente des isothermes supérieures de la thermocline et leur présence a été confirmée par des mesures directes de courant.

Figure 18

Dans l'hypothèse d'une circulation zonale stationnaire, la juxtaposition de flux de sens opposés crée, dans l'hémisphère sud, une convergence à la limite nord et une divergence à la limite sud d'un contre-courant portant à l'est et inclus dans une circulation générale vers l'ouest. Pour ce qui est du contre-courant équatorial sud, la divergence sera localisée vers 10 ° S et la convergence entre 5° S et 10° S; pour le contre-courant tropical sud, la convergence sera vers 15° S; correspondant à ces zones de divergence et de convergence, l'on trouve en surface des biomasses végétales relativement riches ou pauvres, comme le confirment les résultats cumulés des différentes croisières (Fig. 18); la topographie de la surface de discontinuité associée à cette alternance des courants et contre-courants, amenant les fortes concentrations de sels nutritifs plus ou moins près de la surface, rend compte de ces différences d'enrichissement de la couche euphotique par diffusion ou mélange dû aux vents (Fig. 19).

Figure 19.

CONCLUSION.

Ainsi, les mécanismes proposés par AUSTIN et RINKEL (op. cit) pour l'enrichissement de la couche superficielle dans le Pacifique Central, à l'est de 180°, existent également dans la partie occidentale à 170° E. Malgré leur irrégularité, les vents, en général de secteur est, provoquent à l'équateur

un upwelling capable d'entretenir, à longueur d'année, une production moyenne nettement plus forte qu'au nord ou au sud. Cette production édifiée par à coups peut être stockée sous forme de matière organique particulée associée à l'eau upwellée qui plonge aux convergences proches de l'équateur, s'insinue dans la thermocline et s'accumule au nord et au sud, en subsurface; cette matière organique, par l'intermédiaire des bactéries et des flagellés, pourrait servir de nourriture à des "filter-feeders". Il y a là un mécanisme capable d'assurer une utilisation optimale continue d'une production discontinue à l'équateur. La phase ultime de l'utilisation de cette matière organique est, bien entendu, sa minéralisation dont l'étape intermédiaire du nitrite révèle la localisation et l'extension au nord et au sud.

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

BIBLIOGRAPHIE

- AUSTIN T.S. et M.O. RINKEL - 1958 - Variations in upwelling in the equatorial Pacific. Proc. Ninth Pac. Sci. cong., 1957, 16, 67-71.
- BRYAN K., et D. COX - 1967 - A numerical investigation of the oceanic general circulation. Tellus, 19, 54-80.
- COLIN C., C. HENIN, P. HISARD et G. OUDOT - 1971 - Le courant de Cromwell dans le Pacifique central en février 1970. Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Oceanogr. IX, 2, 167-186.

- CROWWELL T. - 1953 - Circulation in a meridional plane in the Central equatorial Pacific. *J. Mar. Res.*, 12, 2, 196-213.
- FOFONOFF N.P. et R.B. MONTGOMERY - 1955 - The equatorial undercurrent in the light of the vorticity equation. *Tellus*, 7, 518-521.
- HISARD P. et B. PITON - 1969 - La distribution du nitrite dans le système des courants équatoriaux de l'océan Pacifique à 170° E. *J. Cons. Int. Explor. Mer*, 32, 3, 303-317.
- HISARD P., B. WAUTHY et J. PAGES - 1971 - The organization of the last multidisciplinary cruise of N.O. CORIOLIS. *Int. Mar. Sci. Symp.*, August 1971, Sydney Australia, Institute of Marine Sciences, The University of New South Wales, 58-62.
- HISARD P. et al - 1972 - Rapport scientifique de la croisière "Eponite" du N.O. CORIOLIS.
O.R.S.T.O.M., Centre de Nouméa, rap. n° 48, 103 pp, multigr.
- JARRIGE F. - 1968 - On the eastward flow of water in the western Pacific south of the equator. *J. mar. Res.*, 26, 3, 286-289.
- LE BOURHIS J. et B. WAUTHY - 1969 - Quelques aspects de la distribution de la production primaire le long du méridien 170° E, entre 20° S et 5° N. *Cah. ORSTOM.*, sér. *Océanogr.*, VII, 4, 83-93.
- MERLE J., H. ROTHSCHI et B. VOITURIEZ - 1969 - Zonal circulation in the tropical western south Pacific at 170° E. *Perspectives in fisheries Oceanography*, *Jap. Soc. Fish. Oceanogr.*, Special Number, 91-98.
- NEUMANN G. - 1960 - Evidence for an equatorial undercurrent in the Atlantic Ocean. *Deep-Sea Res.*, 6, 4, 328-335.
- OUDOT C., P. HISARD et B. VOITURIEZ - 1969 - Nitrite et circulation méridienne à l'équateur, dans l'océan Pacifique occidental. *Cah. O.R.S.T.O.M.*, sér. *Océanogr.*, VII, 4, 67-82.
- OUDOT C., P. RUAL et B. WAUTHY - 1972 - Minéralisation south of the equator in relation to equatorial fertility. *Int. Symp. Oceanogr. South Pac.* February 1972, Wellington, New Zealand, Abstracts, 27-29.
- REID J.L. - 1969 - Sea-surface temperature, salinity and density of the Pacific ocean in summer and winter. *Deep-Sea Res.*, supplement to vol. 16, 215-224.
- RODEN G.I. - 1962 - Oceanographical aspects of the eastern equatorial Pacific. *Geofisica Internacional*, 2, 4, 77-91.

- ROTSCHI H. - 1968 - Remontée d'eau froide et convergence à l'équateur dans le Pacifique occidental. C.R. Acad. Sci. Paris, 267, 1459-1462.
- ROTSCHI H., -P. HISARD et P. RUAL - 1968 - Observation de deux fronts thermiques dans le Pacifique équatorial occidental. C.R. Acad. Sci. Paris, 266, 1465-1468.
- ROTSCHI H. et C. COLIN - 1972 - Sur la circulation Nord-Sud à l'équateur dans l'Océan Pacifique Occidental. C.R. Acad. Sci. Paris, (sous presse).
- ROTSCHI H., P. HISARD et F. JARRIGE - 1972 - The water masses of the western Pacific at 170° E between 20° S and 4° N. Horace Lamb Centre for Oceanographical Research, The Flinders University of South Australia, Survey Paper n° 15.
- STOMMEL H. et K.N. FEDOROV - 1967 - Small scale structure in temperature and salinity near Timor and Mindanao. Tellus, 19, 4, 306-325.
- VACCARO R.F. et J.H. RYTHER - 1960 - Marine phytoplankton and the distribution of nitrite in the sea. J. Cons. Int. Explor. Mer, 25, 260-271.
- WYRTKI K., et R. KENDALL - 1967 - Transports of the equatorial countercurrent. J. Geophys. Res., 72, 8, 2073-2076.

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

BP 4

NOUMEA - Nlle-Calédonie.

LEGENDE DES ILLUSTRATIONS.

- Figure 1 - Température de surface, de mai à octobre dans l'océan Pacifique, (d'après Reid, 1969).
- Figure 2 - Température de surface de novembre à avril, dans l'océan Pacifique, (d'après Reid, 1969).
- Figure 3 - Répartition de la température dans un plan méridien à l'équateur, à 170° E, lorsque le courant de surface porte à l'ouest. Espacement des isothermes 1° C. (d'après Rotschi, 1968).
- Figure 4 - Répartition de la température dans un plan méridien à l'équateur, à 170° E, lorsque le courant de surface porte à l'est. Espacement des isothermes 1° C. (d'après Rotschi, 1969).
- Figure 5 - Répartition du nitrate dans un plan méridien à l'équateur, à 170° E lorsque le courant de surface porte à l'ouest. Espacement des isolignes 2 mg/m^3 . (d'après Rotschi, 1968).

- Figure 6 - Répartition du nitrate dans un plan méridien à l'équateur, à 170° E, lorsque le courant de surface porte à l'est. Espacement des isolignes 2 matg/m³. (d'après Rotschi, 1968).
- Figure 7 - Répartition de la salinité dans un plan méridien à l'équateur, à 170° E, lorsque le courant de surface porte à l'est (BORA 1) et lorsqu'il porte à l'ouest (BORA 2). Espacement des isohalines 0,10 ‰.
- Figure 8 - a. Variation en latitude, en mars 1967, de la température de surface en zone équatoriale, en période d'upwelling marqué;
 b. Répartition de la température dans un plan méridien au cours de la même croisière;
 c. Courants mesurés à 5 m sous la surface, au cours de la même croisière;
 (d'après Rotschi et al., 1968).
- Figure 9 - Répartition, dans un plan méridien à l'équateur, à 170° E, de la composante nord-sud, supérieure à 10 cm/s, des courants. Dans l'hypothèse d'une circulation isentropique les vecteurs ont été tracés parallèles aux isanostères. Le vecteur le plus long correspond à une intensité de 60 cm/sec. En noir courant portant au nord, en blanc courant portant au sud (d'après Oudot et al. 1969).
- Figure 10 - Distribution dans un plan méridien à l'équateur à 170° E des inversions stables de température. La longueur du segment correspond à l'épaisseur de l'inversion; en blanc inversions liées à un fort gradient vertical de salinité : Cyclone 3, mars 1967, Cyclone 4, avril 1967.
- Figure 11 - Schéma de circulation dans un plan méridien à l'équateur en mars 1967(d'après Rotschi et Colin, 1972).
- Figure 12 - Répartition en latitude de la chlorophylle a, le long du méridien 170° E, dans la couche 0-50 m (d'après Rotschi et al., 1972).
- Figure 13 - Répartition en latitude de la production primaire mesurée par la méthode du ¹⁴C, le long du méridien 170° E (d'après Rotschi et al. 1972).
- Figure 14 - Répartition, en octobre 1966, sur fond de nitrate, du nitrite dans un plan méridien à 170° E. En grisé clair concentrations comprises entre 1,0 et 2,0 matg/m³; en grisé foncé concentrations supérieures à 2,0 matg/m³. Les isolignes de nitrate sont espacées de 2 matg/m³ (d'après Hisard et Piton, 1969).

- Figure 15 - Répartition en septembre 1970, sur fond de densité, du nitrite dans un plan méridien à 170° E. En grisé clair concentrations inférieures à 1 matg/m³; en grisé foncé concentrations supérieures à 1 matg/m³. En hachuré salinité supérieure à 36‰. Les isanostères sont espacées de 20 cl/t (d'après Hisard et al. 1972).
- Figure 16 - Répartition, en septembre 1970, sur fond de nitrate, du nitrite dans un plan méridien à 170° E. En grisé clair concentrations inférieures à 1 matg/m³, en grisé concentrations supérieures. Les isolignes de nitrate sont espacées de 2 matg/m³ (d'après Hisard et al., 1972).
- Figure 17 - Répartition en latitude du contre-courant équatorial sud et du contre-courant tropical sud rencontrés à 170° E au cours des croisières du Coriolis (d'après Merle et al., 1969).
- Figure 18 - Distribution schématique de la chlorophylle a à 170° E. (d'après Le Bourhis et Wauthy, 1969).
- Figure 19 - Répartition du nitrate dans un plan méridien à 170° E. Les zones hachurées indiquent les courants geostrophiques portant à l'est, supérieurs à 10 cm/sec.