

LA DISTRIBUTION DU NITRITE DANS LE SYSTEME DES COURANTS EQUATORIAUX DE L'OCEAN PACIFIQUE, A 170°E

Par

PHILIPPE HISARD et BERNARD PITON

Centre ORSTOM de Nouméa, Nouméa,
Nouvelle-Calédonie

The distribution of nitrite in the equatorial region of the Pacific Ocean, between 160°E and 180° shows the existence of two noteworthy zones of subsurface accumulation. The first one which is observed at the equator seems to be bound to the surface divergence; the second which is greater, is observed at 5°S and seems to correspond to a convergence.

Between 4°S and 7°S the nitrite concentration at 120 m can exceed 2.5 mg-at/m³ and in a layer 50 m thick the concentration exceeds 1.0 mg-at/m³. At the depth of the accumulation there is a stability maximum reinforced by the presence of the core of the high salinity southern subtropical water.

The nitrite accumulation is at the bottom of an homogeneous surface layer, warm, poor in nutrients and in chl *a*; where the nitrite appears the vertical gradient of oxygen and nitrate is at a maximum.

The accumulation of nitrite at the equator, is on the contrary, associated with waters which are colder, richer in nutrients and containing 0.25 mg/m³ chl *a*.

The comparison of the distribution at four different longitudes shows a relation between the convergence at the southern limit of the equatorial current and an accumulation of nitrite.

INTRODUCTION

Le nitrite, stade intermédiaire entre l'ammoniaque et le nitrate dans la reminéralisation de l'azote *a*, dans l'Océan Pacifique équatorial et tropical, une distribution particulière; il s'accumule soit immédiatement sous la couche superficielle, soit plus profondément dans les eaux intermédiaires. De nombreux auteurs ont essayé d'expliquer l'origine de ces formations localisées de nitrite; le premier niveau est associé au fort gradient thermique qui caractérise la thermocline et par conséquent il est situé à la profondeur où l'on observe un gradient de densité maximal; pour BRANDHORST (1959), REDFIELD, KETCHUM et RICHARDS (1963) et VACCARO (1965), ce maximum supérieur serait dû à l'oxydation bactérienne intense de l'ammoniaque et des acides aminés provenant de la matière organique dont la sédimentation est ralentie à ce niveau. L'isolement par WATSON (1965) d'une bactérie nitrifiante qui utiliserait l'ammoniaque comme source d'énergie et le gaz carbonique comme source de carbone est conforme à cette hypothèse. Pour THOMAS (1966), dans l'Océan Pacifique tropical nord-est, la décroissance du nitrate dans la zone subsuperficielle d'accumulation du nitrite et l'absence d'ammoniaque à ce niveau suggèrent une dénitrification jusqu'à l'oxyde nitreux et l'azote. Il faut aussi noter l'hypothèse de VACCARO et RYTHER (1960) qui, à partir d'observations sur culture

J. Cons. int. Explor. Mer

32

No. 3

303-17

Copenhague, Avril 1969

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

Collection de Référence

n°/3900 6X1.

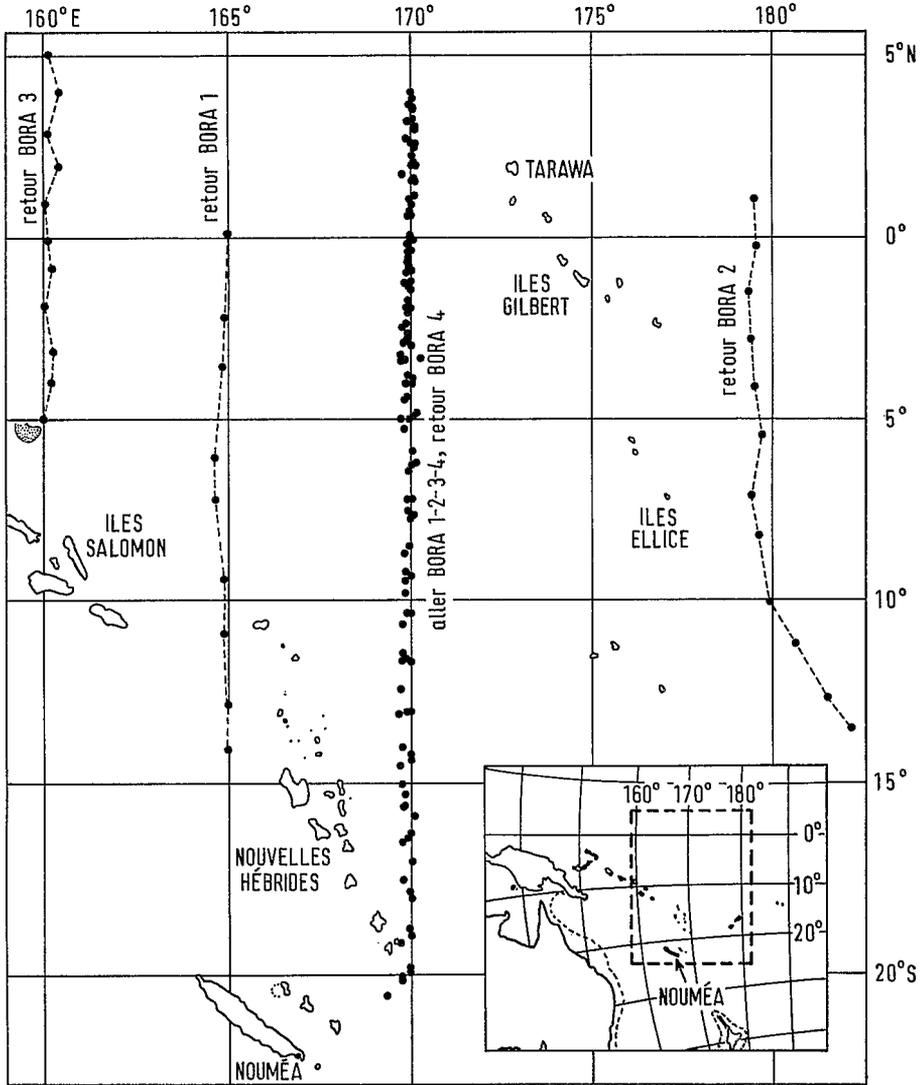


Figure 1. Positions des stations.

démontrent la possibilité d'une excrétion de nitrite par les cellules phytoplanctoniques carencées en azote lorsque, dans des conditions d'éclairement atténué, elles se trouvent brusquement en contact avec un excès de nitrate. Le deuxième maximum de nitrite ou maximum inférieur, est associé étroitement à des eaux très pauvres en oxygène comme celles que l'on trouve le long des côtes du Pérou entre 100 et 1000 m de profondeur. Pour BRANDHORST (1959), cette deuxième zone d'accumulation peut s'expliquer par une dénitrification bactérienne, hypothèse qui rejoint l'observation faite par RICHARDS et VACCARO

(1956) et RICHARDS et BENSON (1961) d'une dénitrification jusqu'à l'azote moléculaire dans la fosse anaérobie "Cariaco". Les récents travaux de STRICKLAND *et al.* (1966) le long des côtes du Pérou n'ont pas permis de préciser si ce maximum inférieur provient de la réduction du nitrate comme l'a suggéré BRANDHORST (1959), ou bien s'il est dû au fait que l'oxydation du nitrite en nitrate dans le cas de faibles teneurs en oxygène est plus inhibée que celle de l'ammoniaque en nitrite. Enfin, WOOSTER, CHOW et BARRETT (1965) insistent sur le rôle que peut jouer la circulation dans la distribution du nitrite dans l'Océan Pacifique équatorial sud-est.

De novembre 1965 à octobre 1966, quatre campagnes océanographiques d'une durée d'un mois environ, ont été effectuées par le N/O "Coriolis" dans la région occidentale de l'Océan Pacifique, le long de 170°E, entre 20°S et 5°N, le retour ayant lieu respectivement le long de 160°E, 180°, 165°E et 170°E; la figure 1 représente la position des stations. Ces campagnes avaient pour but l'étude des variations saisonnières du système équatorial et tropical sud. Environ 180 stations hydrologiques furent occupées à raison de deux par jour avec mesure de la température et analyse de la salinité, de l'oxygène dissous, du phosphate, du nitrate, du nitrite, du pH et de l'alcalinité. Chaque jour, une mesure de la productivité primaire et la détermination de la distribution des pigments s'ajoutaient à ces observations physico-chimiques.

METHODES

Les résultats et les diverses méthodes utilisées avec les précisions des déterminations sont décrits en détail dans les rapports scientifiques du Centre ORSTOM de Nouméa, LEMASSON, MAGNIER et PITON (1967), ROTSCHE *et al.* (1967) et MAGNIER *et al.* (1967). Rappelons ici que l'oxygène dissous a été analysé par la méthode de WINKLER avec titration potentiométrique de l'iode libéré au titrateur automatique Beckman, modèle K; l'utilisation apparente de l'oxygène

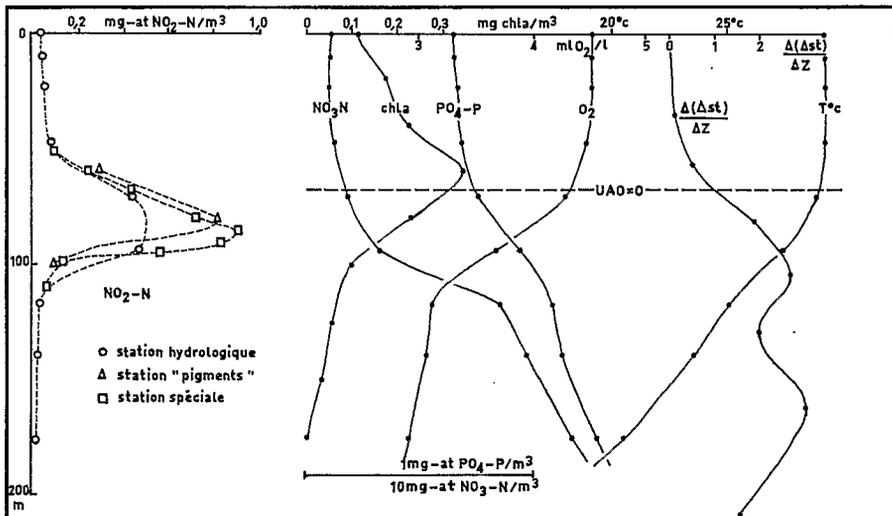


Figure 2. Distributions verticales observées à 01°30'S.

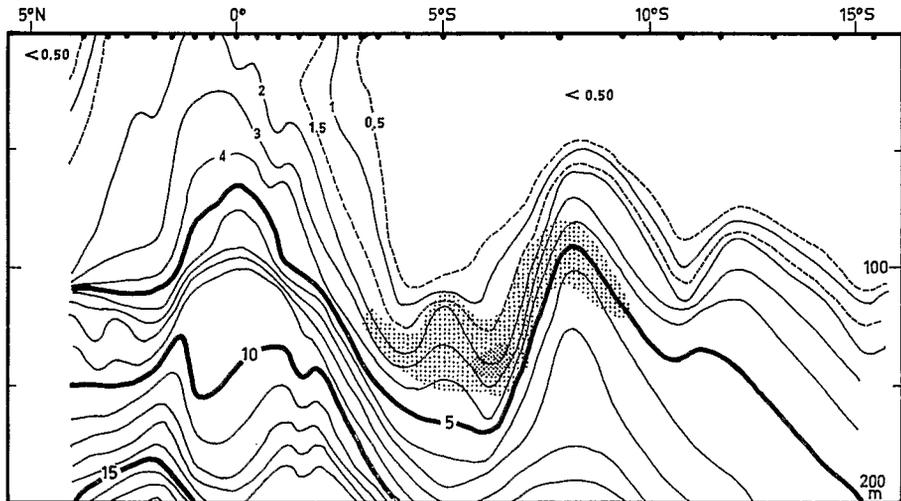


Figure 3. Distribution du nitrate (mg-at/m^3) en mars 1966.
En pointillé, la "poche de nitrite".

(UAO) a été calculée à partir des tables de TRUESDALE *et al.* (1955); le phosphore minéral dissous a été dosé par la méthode de WOOSTER et RAKESTRAW (1951), le nitrate par la méthode de MORRIS et RILEY (1955) et le nitrite par celle de BENDSCHNEIDER et ROBINSON (1952), les mesures d'extinction étant faites avec un spectrophotocolorimètre Beckman DU. Les teneurs en chlorophylle ont été mesurées selon la méthode spectrophotocolorimétrique mise au point par RICHARDS et THOMPSON (1952) et ont été calculées d'après les formules de PARSONS et STRICKLAND (1963).

Les deux premières campagnes effectuées le long de 170°E ayant montré l'existence d'accumulations remarquables de nitrite, principalement vers 5°S , nous décidâmes au cours des campagnes suivantes de les étudier spécialement et de faire des prélèvements plus nombreux au voisinage du maximum de nitrite; dans ce but nous avons effectué des déterminations supplémentaires de nitrite sur les échantillons d'eau prélevés en même temps pour l'analyse des pigments à l'aide d'une bouteille de 50 l; ces échantillons étaient prélevés tous les 5 à 10 m de profondeur dans le sommet de la thermocline après examen du profil bathythermique; ces mesures supplémentaires permirent plusieurs fois de souligner l'extrême finesse de la couche à maximum de nitrite; la figure 2 montre la nécessité de faire des prélèvements aussi rapprochés que possible à la profondeur probable du maximum de nitrite pour détecter et la valeur et l'immersion du véritable maximum. En effet, lors d'une station hydrologique effectuée avec des bouteilles disposées tous les 25 m nous avons mesuré un maximum de nitrite de 0.47 mg-at/m^3 à 113 m de profondeur alors que dans les échantillons prélevés pour l'analyse des pigments nous avons mesuré 0.82 mg-at/m^3 à 100 m; nous avons alors effectué une station supplémentaire avec des prélèvements tous les 5 m et nous avons déterminé un maximum de nitrite de 0.90 mg-at/m^3 à 105 m; de même à une autre station équatoriale, nous

avons déterminé un maximum de nitrite de 0.98 mg-at/m^3 à 70 m alors que, grâce à des prélèvements supplémentaires, nous avons mesuré une concentration de 2.00 mg-at/m^3 à 80 m. Au cours de la dernière campagne, du fait des autres impératifs scientifiques, nous n'avons pu réduire qu'à 20 m l'espacement des bouteilles de prélèvement, ce qui néanmoins améliora la détection du maximum supérieur de nitrite.

DISTRIBUTIONS OBSERVEES

La structure hydrologique des masses d'eau des deux cents premiers mètres montre que l'on peut distinguer quatre régions en fonction de leur latitude et que l'on peut en particulier les caractériser par leur plus ou moins grande richesse en sels nutritifs: entre 20°S et 10°S la masse d'eau subsuperficielle a une épaisseur de 150 m et elle est épuisée presque complètement en sels nutritifs; entre 11°S et 9°S , on observe une augmentation sensible des teneurs en sels nutritifs vers 60 m de profondeur mais les eaux superficielles restent pauvres; entre 8°S et 3°S , il y a une deuxième masse d'eau subsuperficielle, épuisée en sels nutritifs, dont l'épaisseur atteint 150 m vers 5°S ; enfin, au nord de 2°S , on observe un enrichissement des eaux de surface sous l'effet de la divergence équatoriale; cet enrichissement des eaux de surface intéresse seulement une zone allant de 2°S à 3°N environ; au nord de 3°N on observe le début du développement des eaux du contre-courant équatorial pauvres en sels nutritifs. Les figures 3 et 4 qui montrent la distribution verticale du nitrate et du phosphate en mars 1966, dans les deux cents premiers mètres, illustrent ces différences.

Cette structure suggère que nous avons observé, entre 20°S et 4°N , deux zones de divergence correspondant aux deux dômes de sels nutritifs et deux zones de convergence correspondant aux deux masses d'eau homogène, épuisées en sels nutritifs.

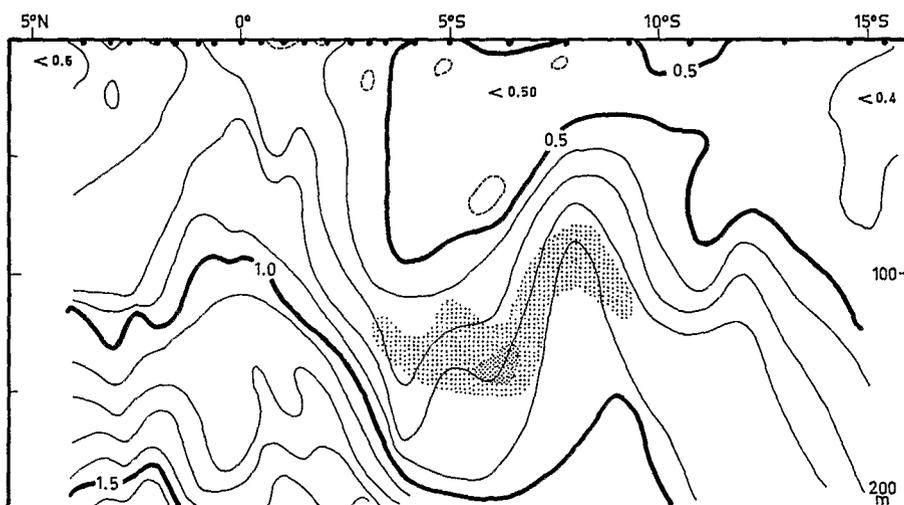


Figure 4. Distribution du phosphate (mg-at/m^3) en mars 1966.
En pointillé, la "poche de nitrite".

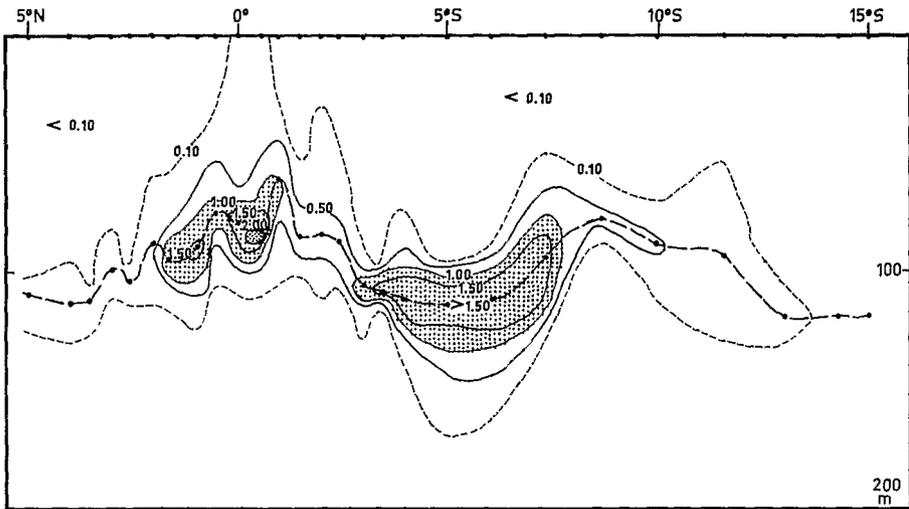


Figure 5. Distribution du nitrite en juin 1966 (mg-at/m³).

Les caractères que nous venons de décrire dans les eaux superficielles ont présenté au cours des quatre campagnes quelques variations; en particulier, la structure hydrologique en décembre 1965 est à considérer à part car toute la région de 20°S à 4°N était occupée par une masse d'eau homogène, épuisée en sels nutritifs et seuls les gradients verticaux vers 100 m de profondeur permettaient de noter une tendance à l'enrichissement de la zone équatoriale, sans que cela affecte réellement les eaux de surface; au contraire, en mars 1966, nous avons observé dans la zone équatoriale, une divergence très prononcée et

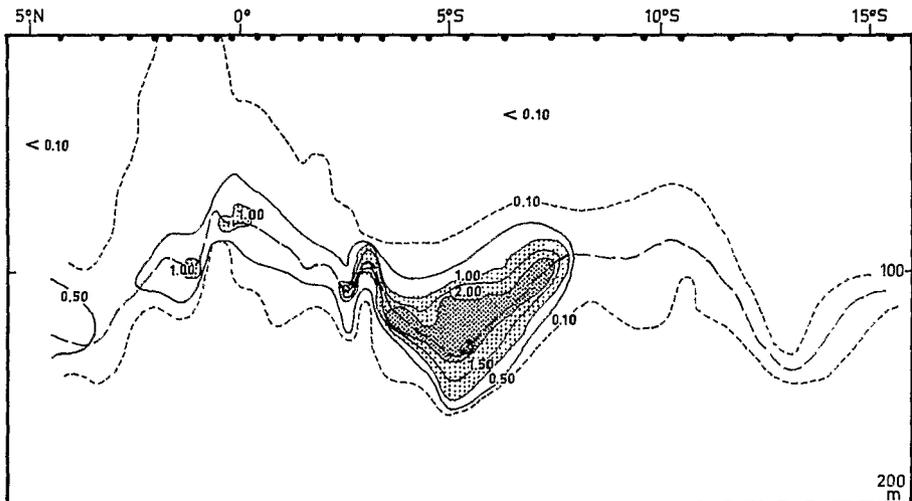


Figure 6. Distribution du nitrite en octobre 1966 (mg-at/m³).

nous avons mesuré une teneur de nitrate maximale en surface de 2.6 mg-at/m^3 , la teneur moyenne entre 2°S et 3°N étant supérieure à 1.5 mg-at/m^3 . La structure hydrologique en juin-juillet et en septembre-octobre était dans l'ensemble semblable à celle d'avril.

La couche que définit le maximum supérieur de nitrite situé vers 100 m de profondeur présente selon la latitude des variations importantes en épaisseur et en teneurs, comme le montrent les figures 5 et 6.

Vers 20°S , la valeur du maximum de nitrite ne dépasse pas 0.20 mg-at/m^3 ; ce maximum est à une profondeur moyenne de 125 m, ce qui le situe nettement sous la couche isotherme de surface dont l'épaisseur n'est que de 30 à 50 m; entre 20°S et 10°S , la valeur du maximum ne dépasse pas 0.40 mg-at/m^3 mais sa profondeur se rapproche de celle de la base de la couche homogène superficielle qui s'épaissit; le maximum de nitrite se trouve sous le maximum de stabilité associé à la thermocline et au-dessus d'une deuxième couche à stabilité maximale, car il apparaît à ces latitudes, vers 150 m de profondeur, un noyau de salinité élevée qui est la trace de l'eau subtropicale de l'Océan Pacifique sud et qui accentue la stabilité. À partir de 8°S et jusqu'à 3°S , on observe un développement brutal de la couche du maximum de nitrite tant en épaisseur qu'en concentration; ce développement est tel que pour différencier cette structure, nous emploierons le terme de "poche de nitrite". À $5^\circ 18'\text{S}$, en septembre 1966, nous avons noté une concentration de 2.06 mg-at/m^3 à 110 m et de 2.56 mg-at/m^3 à 128 m de profondeur et à 4°S , à 127 m, une concentration de 2.71 mg-at/m^3 .

Vers 3°S , la couche d'accumulation devient sensiblement moins épaisse mais les teneurs mesurées restent élevées; à l'équateur, on observe quelques noyaux d'accumulation avec des teneurs qui peuvent atteindre 2.00 mg-at/m^3 , vers 80 m de profondeur et, en zone équatoriale, la ligne qui joint le maximum de nitrite de chaque station à la même forme en dôme que les isolignes des concentrations des divers sels nutritifs.

Dans la "poche de nitrite", vers 5°S , les fortes teneurs observées sont situées à une profondeur très voisine de celle de la couche de stabilité maximale qui à cette latitude est particulièrement grande; en effet, par suite de la plus grande épaisseur de la couche homogène, le maximum de stabilité lié au sommet de la thermocline et le maximum de stabilité provoqué par le noyau de salinité de l'eau subtropicale du Pacifique sud se confondent en un seul maximum renforcé. Au nord de 2°S , les deux maxima de stabilité se différencient à nouveau car l'épaisseur de la couche homogène diminue et dans la zone équatoriale le maximum de nitrite se trouve associé étroitement au maximum supérieur de stabilité.

En résumé, le long de 170°E , entre 20°S et 4°N , la couche où la concentration du nitrite est élevée, est caractérisée d'une part par des variations en épaisseur et en valeur des teneurs mettant en relief une poche d'accumulation vers 5°S et des noyaux d'accumulation à l'équateur, d'autre part par sa profondeur comparée à celles des couches où la stabilité est maximale; nous pouvons ainsi différencier trois types de distribution: le premier, de 10°S à 20°S où le maximum est faible et situé sous la couche de stabilité maximale, le deuxième entre 3°S et 7°S caractérisé par une formation en "poche" à très fortes teneurs, à la profondeur de la couche unique de stabilité maximale, le troisième, entre 3°S et 3°N , où le maximum de nitrite est élevé et situé au niveau de la couche supérieure de stabilité maximale.

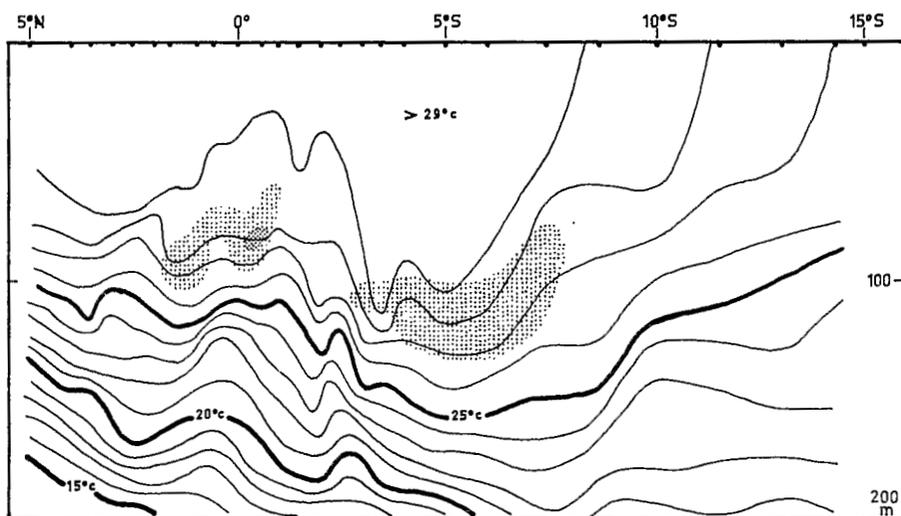


Figure 7. Distribution de la température en juin 1966.
En pointillé, la "poche de nitrite".

La concentration de nitrite en surface est généralement très faible; elle n'augmente que dans la zone équatoriale en association probablement avec le phénomène de divergence des eaux. L'apparition du nitrite en surface suit plus ou moins l'enrichissement de ces eaux en nitrate: en juin 1966, les eaux de surface avaient une teneur en nitrate supérieure à 1.00 mg-at/m^3 au nord de $2^{\circ}25'S$, et leur teneur en nitrite ne devenait importante qu'entre $0^{\circ}32'S$ et $0^{\circ}02'N$ où elle était de 0.18 mg-at/m^3 . En revanche, en octobre 1966, les

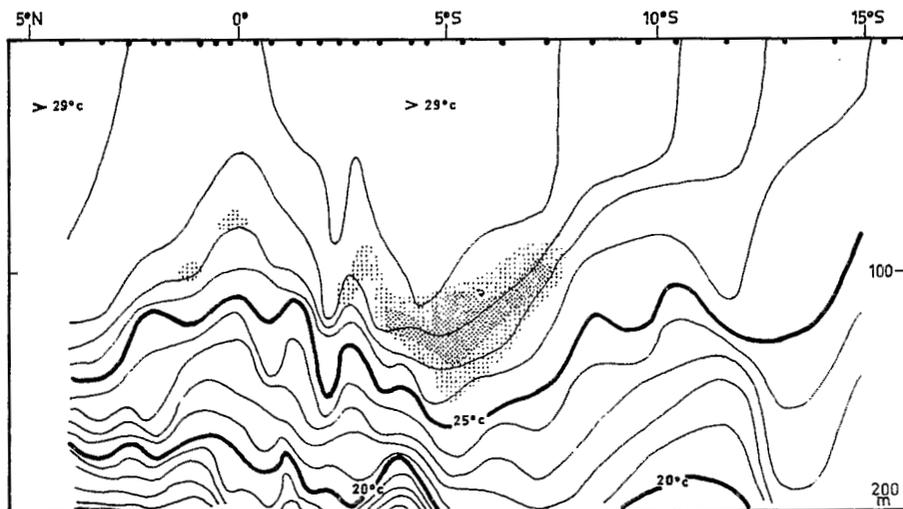


Figure 8. Distribution de la température en octobre 1966.
En pointillé, la "poche de nitrite".

teneurs en nitrite des eaux de surface à l'équateur sont devenues importantes dès que ces eaux ont été enrichies en nitrate par la divergence. En fait, dans les deux cas, la présence de teneurs notable de nitrite en surface est liée à l'existence d'un creux du relief dynamique qui représente le centre actif du phénomène de divergence équatoriale.

Les figures 7 et 8 représentent la distribution verticale de la température en juin et en octobre 1966 avec en surimpression la localisation de la "poche de nitrite" à 5°S et des noyaux de nitrite à l'équateur. Les maxima de nitrite sont localisés au sommet de la thermocline, à la base de la couche homogène superficielle; d'autre part, la "poche de nitrite" à 5°S est située dans une zone où le profil thermique montre l'existence d'une importante masse d'eau à température élevée, supérieure à 29°C et dont l'épaisseur maximale dépasse 100 m; la profondeur des maxima de nitrite dans cette région coïncide pratiquement avec celle de l'isotherme 28°C et, de plus, dans la zone équatoriale, l'isotherme 28°C est encore à la même profondeur que les noyaux de nitrite. Cette coïncidence que nous avons observé à chaque campagne suggère qu'il existe peut-être dans les conditions physico-chimiques rencontrées, une température optimum qui favoriserait la production du nitrite ou plutôt l'arrêt à ce stade des processus de transformations soit chimiques soit biologiques pouvant produire du nitrate, ou de l'ammoniaque.

Les autres propriétés chimiques étudiées, permettent de définir les différentes concentrations associées aux zones d'accumulation du nitrite. La couche superficielle est saturée en oxygène et l'on y observe des teneurs supérieures à 4.60 ml/l. La figure 9 représente la distribution verticale de l'oxygène en octobre 1966. La profondeur à partir de laquelle l'utilisation apparente de l'oxygène est positive est environ 80 m et sa variation en fonction de la latitude suit étroitement la variation en profondeur du maximum de nitrite, mais le niveau où

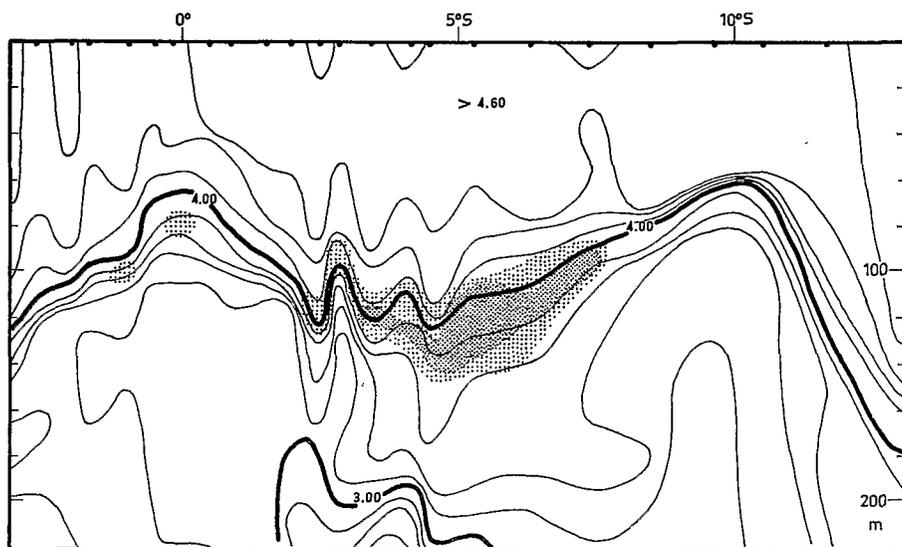


Figure 9. Distribution de l'oxygène en octobre 1966 (ml/l).
En pointillé, la "poche de nitrite".

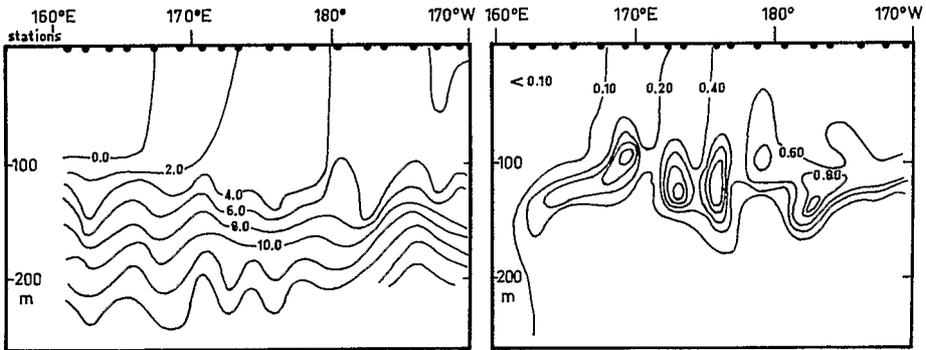


Figure 10. Distribution du nitrate (à gauche) et du nitrite (à droite) (mg-at/m³) le long de l'équateur en mars 1965.

l'UAO est nulle est toujours situé au-dessus du maximum de nitrite, la différence de profondeur entre les deux niveaux étant de 20 m environ. Le maximum de nitrite est donc observé dans une eau où la minéralisation de la matière organique est déjà importante puisque la consommation apparente de l'oxygène est de l'ordre de 0.70 ml/l pour une teneur en oxygène de 4 ml/l environ.

A la base de la couche saturée en oxygène, on observe un gradient vertical important d'oxygène et c'est à cette profondeur que se trouve le maximum de nitrite. Dans la région de la "poche de nitrite", vers 5°S, ce gradient vertical d'oxygène est atténué, il n'est plus que de 0.20 ml/l pour 20 m, alors qu'à 10°S et 2°S, il est de 0.80 ml/l pour 20 m. Donc le maximum de nitrite est

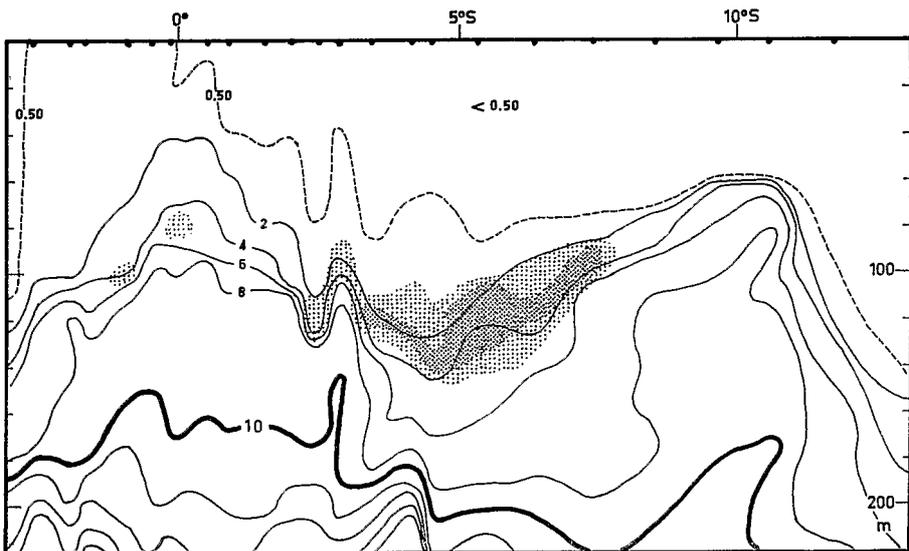


Figure 11. Distribution du nitrate en octobre 1966 (mg-at/m³).
En pointillé, la "poche de nitrite".

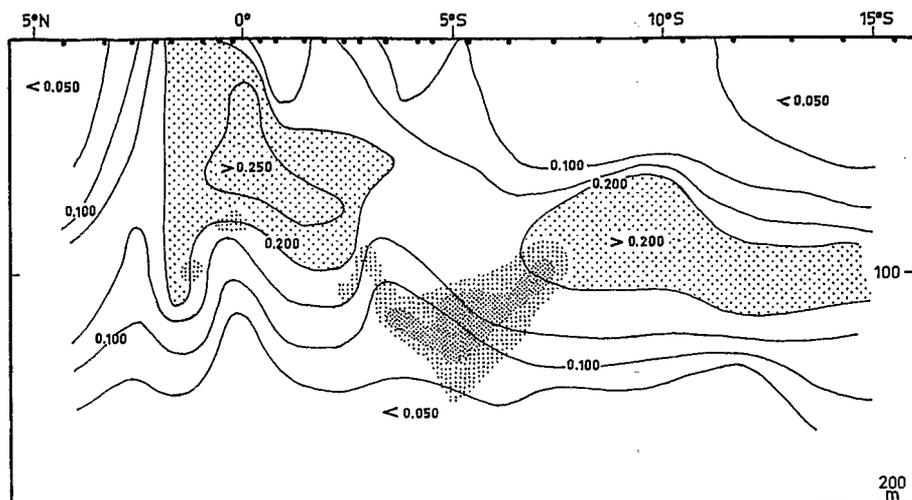


Figure 12. Distribution de la chlorophylle *a* (mg/m^3) en juin 1966.
En pointillé, la "poche de nitrite".

observé dans la couche de gradient vertical maximum d'oxygène, mais ce gradient est plus faible à 5°S dans la zone de la "poche de nitrite" que plus au sud ou plus au nord.

La relation entre la teneur en nitrite et la teneur en nitrate a déjà été abordée pour les eaux de surface; il semble lorsque les eaux sont épuisées en nitrate, qu'il n'y ait pas de concentrations décelables de nitrite mais que, lorsque ces eaux sont enrichies en nitrate, on observe des teneurs de nitrite qui sont dans un rapport NO_2/NO_3 de 1:4; au cours de la campagne "Alizé" du N/O "Coriolis" qui s'est déroulée le long de l'équateur dans le Pacifique en 1964-1965, nous avons observé, en surface, un épuisement progressif en nitrate d'est en ouest et une décroissance parallèle de la teneur en nitrite ainsi que le montre la figure 10; à l'ouest de 168°E , les teneurs en nitrate deviennent inférieures à $0.5 \text{ mg-at}/\text{m}^3$ et les teneurs en nitrite qui étaient de l'ordre de $0.40 \text{ mg-at}/\text{m}^3$ plus à l'est, deviennent inférieures à $0.05 \text{ mg-at}/\text{m}^3$. Pour ce qui est du maximum supérieur de nitrite, d'une manière générale il n'est observé qu'à une profondeur où la concentration du nitrate atteint $1 \text{ mg-at}/\text{m}^3$ sans que la valeur du maximum de nitrite paraisse en relation directe avec la concentration correspondante du nitrate; le rapport NO_2/NO_3 pour les valeurs de la "poche de nitrite" varie du simple au triple.

Les maxima de nitrite sont donc observés dans une eau où les teneurs en nitrate sont déjà importantes et le gradient vertical de la teneur en nitrate est de plus maximum à cette profondeur. Ce gradient de nitrate est toutefois moins élevé dans la région de la "poche de nitrite" que plus au nord et plus au sud; la figure 11 montre la distribution verticale du nitrate et du nitrite en octobre 1966.

Les déterminations de pigments permettent d'étudier la relation pouvant exister entre la répartition des populations phytoplanctoniques et les teneurs en nitrite. Les figures 12 et 13 montrent la distribution de la chlorophylle *a* en

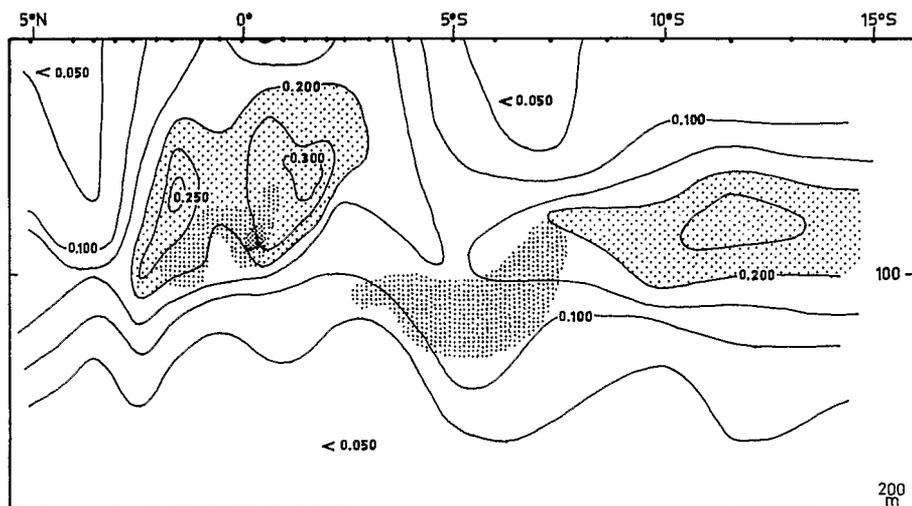


Figure 13. Distribution de la chlorophylle a (mg/m^3) en octobre 1966. En pointillé, la "poche de nitrite".

juin et octobre 1966. Les teneurs maximales en chlorophylle a de l'ordre de $0.20 \text{ mg}/\text{m}^3$ sont situées vers 80 à 100 m de profondeur entre 15°S et 4°N , excepté dans la zone équatoriale où le maximum est situé vers 60 m (WAUTHY, LE BOURHIS et AMADEO, 1967). La couche à teneurs maximales en chlorophylle a est donc située au-dessus de la couche à teneurs maximales en nitrite. Vers 5°S , les teneurs maximales en chlorophylle a sont plus faibles que plus au nord et plus au sud.

Dans la zone équatoriale, en revanche, les noyaux de nitrite semblent associés aux fortes teneurs en chlorophylle a que l'on observe 20 m au-dessus. Il est donc vraisemblable que les processus de formation du nitrite, d'une part dans la région de 5°S , d'autre part dans la zone équatoriale, sont différents et que, dans celle-ci, la formation du nitrite soit directement liée à la forte productivité des eaux enrichies par la divergence équatoriale, une intense oxydation bactérienne pouvant se produire à la base de la couche euphotique.

INFLUENCE DE LA CIRCULATION SUR LA REPARTITION GEOGRAPHIQUE DU NITRITE

Lors des campagnes BORA, nous avons effectué quelques stations hydrologiques sur les méridiens 160°E , 165°E et 180° qui confirment les résultats observés le long de 170°E ; d'autre part, nous disposons de mesures effectuées par le "Vityaz", le long de 172°E et 172°W en 1957. SMETANINE (1960) a décrit le profil de nitrite observé au cours de cette campagne.

En étudiant la répartition géographique du maximum de nitrite au sud de l'équateur, il apparaît que les teneurs supérieures à $1 \text{ mg-at}/\text{m}^3$ forment une zone principalement axée le long du parallèle 5°S . Si l'on compare cette répartition au relief dynamique de la surface par rapport à 1000 db, il semble y avoir une étroite association entre la zone des fortes teneurs en nitrite et une

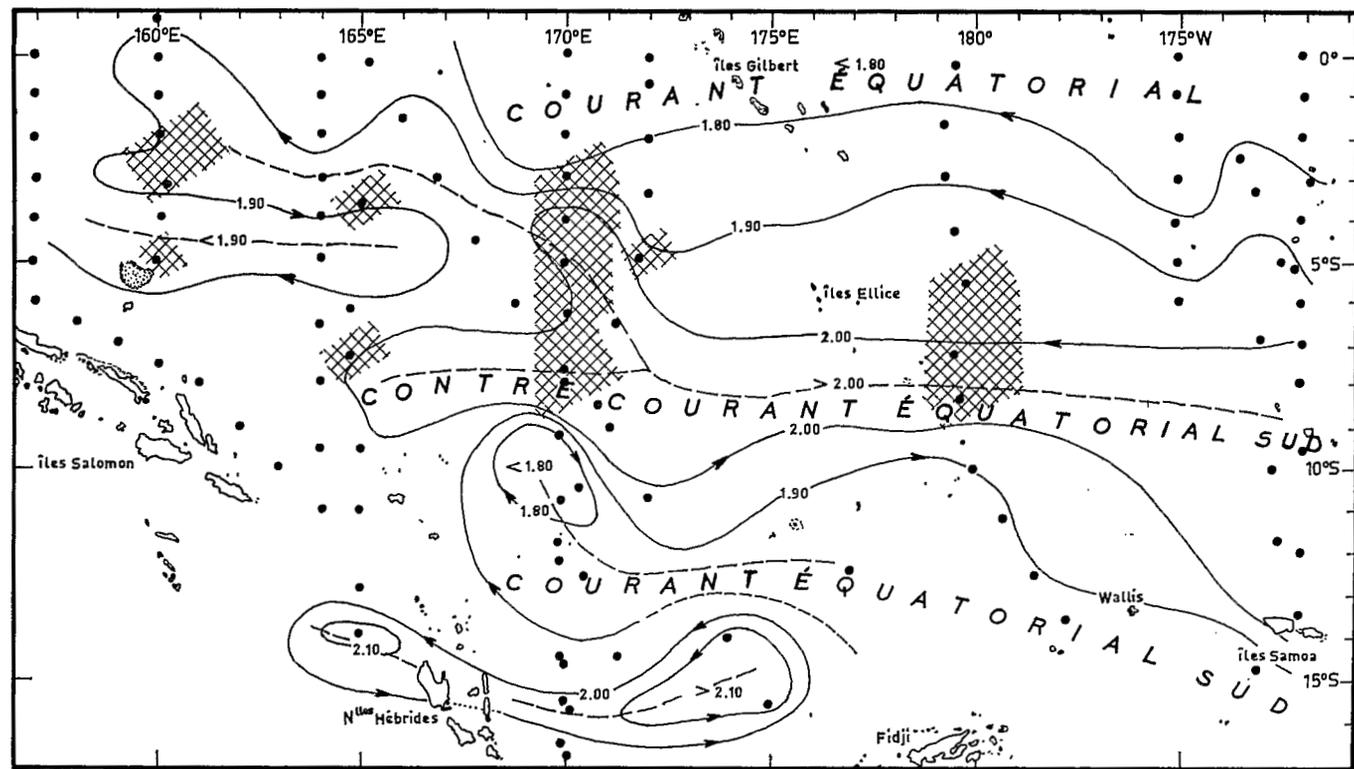


Figure 14. Répartition observée de la "poche de nitrite" et relief dynamique de la surface par rapport à 1000 db.

zone de convergence ainsi que le montre la figure 14. Cette zone de convergence qui a été mise en évidence par REID (1961) à partir des résultats EQUAPAC a été précisée à l'aide des résultats BORA. Elle se développe entre le courant équatorial et le contre-courant équatorial sud. L'association qui apparaît entre cette zone de convergence et les fortes accumulations de nitrite est représentative de la région équatoriale sud entre 160°E et 180°; ce schéma pourrait avoir une extension géographique plus importante et être ainsi caractéristique de la circulation équatoriale.

CONCLUSION

La formation du nitrite peut être liée à l'oxydation de la matière organique dont la sédimentation est ralentie au sommet de la thermocline; c'est certainement ce qui se produit à l'équateur où la matière organique est plus abondante, mais à 5°S, où l'on observe peu de chlorophylle, la formation d'une "poche de nitrite" peut être aussi liée au phénomène de convergence qui est clairement mis en évidence par la structure hydrologique; les cellules phytoplanctoniques se trouvant dans des eaux épuisées en sels nutritifs, se dégradent et coulent; dans leur chute, elles commencent à réduire le nitrate dès qu'elles atteignent en profondeur des eaux plus riches, excréant du nitrite lorsque la réduction est bloquée par manque d'énergie lumineuse selon le processus décrit par VACCARO et RYTHER (1965); ce processus pourrait de plus être favorisé par une température élevée. Ces deux phénomènes, oxydation de la matière organique et excrétion cellulaire se produisant dans une zone de convergence, expliqueraient les exceptionnelles accumulations de nitrite qui forment une poche vers 5°S; l'accumulation de nitrite à 5°S qui a été aussi identifiée à 160°E, 165°E et 180° est probablement un trait de structure générale des eaux sub-équatoriales de l'Océan Pacifique.

REMERCIEMENTS

Cette étude n'aurait pas été possible sans la participation de l'ensemble de la section d'Océanographie du Centre ORSTOM de Nouméa. Les croisières BORA ont été effectuées sous la direction de Mr H. ROTSCI, avec le concours de F. JARRIGE, L. LEMASSON, Y. MAGNIER, J. MERLE, J. NOEL, P. RUAL, B. VOITURIEZ, océanographes physiciens, de B. WAUTHY et J. LE BOURHIS, océanographes biologistes, avec la participation de H. GOIRAN, A. LE CORVAISIER et J. GARBE, techniciens, et de Mme M. SICARD, aide-chimiste.

BIBLIOGRAPHIE

- BENDSCHNEIDER, K., and ROBINSON, R. J., 1952. "A new spectrophotometric method for the determination of nitrite in sea water". *J. mar. Res.*, **11**: 87-96.
- BRANDHORST, W., 1959. "Nitrification and denitrification in the eastern tropical North Pacific". *J. Cons. perm. int. Explor. Mer*, **25**: 3-20.
- LEMASSON, L., MAGNIER, Y., et PITON, B., 1967. "Résultats des observations physico-chimiques de la croisière BORA 1 du N/O "Coriolis"". Rapp. ORSTOM Centre Nouméa, *Océanogr.*, (9) 32 pp. (mimeo).
- LEMASSON, L., PITON, B., et JARRIGE, F., 1967. "Résultats des observations physico-chimiques de la croisière BORA 3 du N/O "Coriolis"". Rapp. ORSTOM Centre Nouméa, *Océanogr.*, (11) 32 pp. (mimeo).
- MAGNIER, Y., HISARD, PH., JARRIGE, F., RUAL, P., et VOITURIEZ, B., 1967. "Résultats des observations physico-chimiques de la croisière BORA 4 du N/O "Coriolis"". Rapp. ORSTOM Centre Nouméa, *Océanogr.*, (12) 28 pp. (mimeo).

- MORRIS, A. W., and RILEY, J. P., 1963. "The spectrophotometric determination of nitrate in natural waters with special reference to sea-water". *Analytica chim. Acta*, **12**: 464-81.
- PARSONS, T. R., and STRICKLAND, J. D. H., 1963. "Discussion of spectrophotometric determination of marine-plant pigments, with revised equations for ascertaining chlorophylls and carotenoids". *J. mar. Res.*, **21**: 155-63.
- REDFIELD, A. C., KETCHUM, B. H., and RICHARDS, F. A., 1963. "The influence of organisms on the composition of sea water" in *The Sea*, **2**: 26-77. Ed. by M. N. Hill. Interscience Publishers, N.Y. 554 pp.
- REID, J. L., 1961. "On the geostrophic flow at the surface of the Pacific Ocean with respect to the 1,000-decibar surface". *Tellus*, **13**: 489-502.
- RICHARDS, F. A., and THOMPSON, T. G., 1952. "The estimation and characterization of plankton populations by pigments analysis. II. A spectrophotometric method for the estimation of plankton pigments". *J. mar. Res.*, **11**: 156-72.
- RICHARDS, F. A., and VACCARO, R. F., 1956. "The Cariaco Trench, an anaerobic basin in the Caribbean Sea". *Deep Sea Res.*, **3**: 214-28.
- RICHARDS, F. A., and BENSON, B. B., 1961. "Nitrogen/argon and nitrogen isotope ratios in two anaerobic environments, the Cariaco Trench in the Caribbean Sea and Dramsfjord, Norway". *Deep Sea Res.*, **7**: 254-64.
- ROTSCHI, H., HISARD, PH., LEMASSON, L., MAGNIER, Y., NOEL, J., et PITON, B., 1967. "Résultats des observations physico-chimiques de la croisière ALIZE du N/O "Coriolis"". *Rapp. ORSTOM Centre Nouméa, Oceanogr.*, (2) 56 pp. (mimeo).
- ROTSCHI, H., HISARD, PH., MAGNIER, Y., et NOEL, J., 1967. "Résultats des observations physico-chimiques de la croisière BORA 2 du N/O "Coriolis"". *Rapp. ORSTOM Centre Nouméa*, (10) 35 pp.
- SMETANINE, D. A., 1960. "Sur certains traits des propriétés chimiques des eaux de la partie centrale de l'Océan Pacifique". *Trudy Inst. Okeanol.*, **40**: 58-71. (en russe).
- STRICKLAND, J. D. H., CARLUCCI, A. F., EPPLEY, R. W., HOLM-HANSEN, O., LINN, R. J., MULLIN, M. M., STEARNS, C. R. and WILLIAMS, P. M., 1966. "A cruise off the Coast of Peru aboard B.A.P. "Unanué"". Unpublished manuscript. 152 pp.
- THOMAS, W. H., 1966. "On denitrification in the northeastern tropical Pacific Ocean". *Deep Sea Res.*, **13**: 1109-14.
- TRUESDALE, G. A., DOWNING, L. D., DOWNING, A. L. et LOWDEN, G. F., 1955. "The solubility of oxygen in pure water and sea water". *J. appl. Chem.*, **5**: 53-62.
- VACCARO, R. F., and RYTHER, J. H., 1960. "Marine phytoplankton and the distribution of nitrite in the sea". *J. Cons. perm. int. Explor. Mer.*, **25**: 260-71.
- VACCARO, R. F., 1965. "Inorganic nitrogen in sea water" in *Chemical Oceanography*, **1**: 365-408. Ed. J. P. Riley and G. Skirrow, Academic Press, N.Y. 712 pp.
- "Vityaz", 1957. "Manuscript data of the twenty-sixth Cruise of the Expedition ship "Vityaz". USSR Inst. Oceanol". N.O.D.C. (90862) Unpaginated.
- WATSON, S. W., 1965. "Characteristics of a marine nitrifying bacterium, *Nitrosocystis oceanus* SP". *Limnol. Oceanogr.* **10**: (suppl.) 274-89.
- WAUTHY, B., LE BOURHIS, J., et AMADEO, M., 1967. "Mesures de production primaire des croisières BORA 1, 3 et 4 du N/O "Coriolis"". *Rapp. ORSTOM Centre Nouméa, Oceanogr.*, (14) 31 pp. (mimeo).
- WOOSTER, W. S., and RAKESTRAW, N. W., 1951. "The estimation of dissolved phosphate in sea water". *J. mar. Res.*, **10**: 91-100.
- WOOSTER, W. S., CHOW, Ts. J., and BARRETT, I., 1965. "Nitrite distribution in Peru current waters". *J. mar. Res.*, **23**: 210-21.

PHILIPPE HISARD et BERNARD PITON
LA DISTRIBUTION DU NITRITE DANS LE
SYSTEME DES COURANTS EQUATORIAUX
DE L'OCEAN PACIFIQUE, A 170° E

EXTRAIT DU JOURNAL DU CONSEIL INTERNATIONAL
POUR L'EXPLORATION DE LA MER
VOL. 32. No. 3. 1969

139000/1