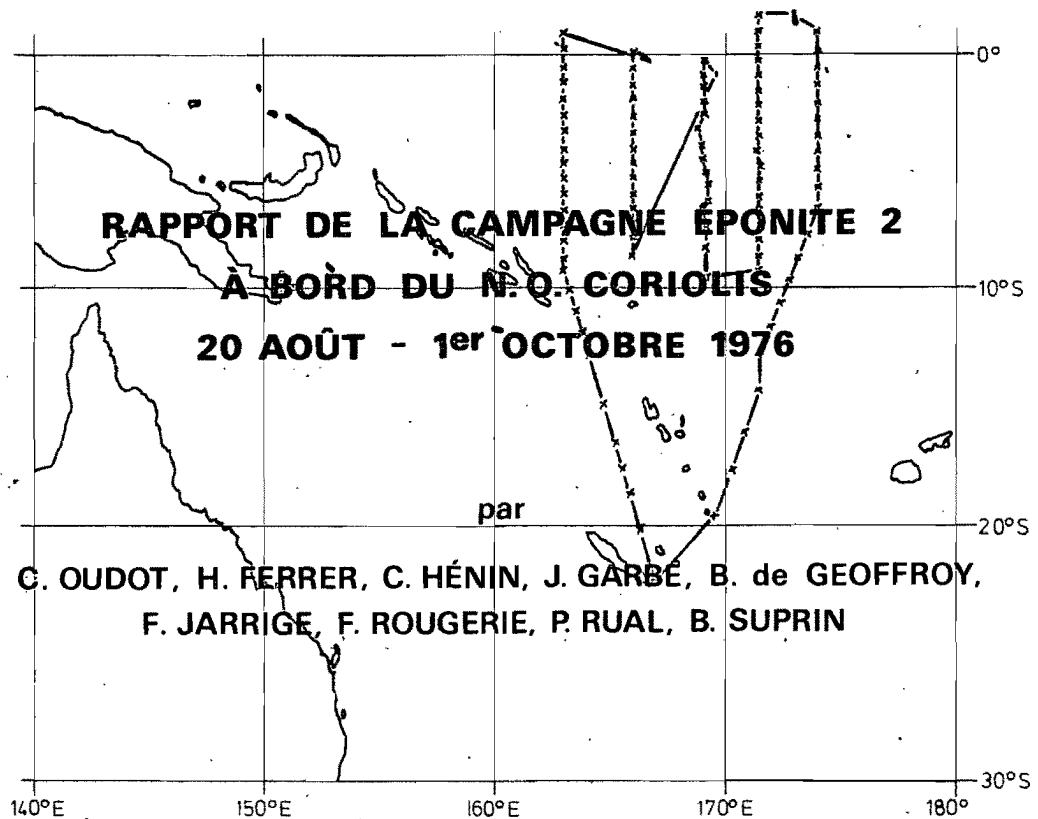
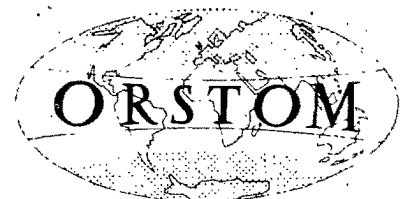


**RAPPORTS
SCIENTIFIQUES et TECHNIQUES**

N° 4



1979



R E S U M E

Une campagne océanographique a été réalisée par le N.O. CORIOLIS du 20 Août au 1er Octobre 1976 dans la région équatoriale du Pacifique Occidental pour étudier les mécanismes de reminéralisation de la matière organique qui a été produite par l'upwelling équatorial. Les paramètres mesurés sont les suivants : profondeur, température, salinité, oxygène dissous, azote dissous, gaz carbonique total, nitrite, nitrate, phosphate, silicate, azote et phosphore organique dissous, pH alcalinité, pigments chlorophylliens, vitesse et direction du courant. La campagne s'est déroulée dans ces conditions particulières en cette saison : à l'équateur il n'y avait pas d'upwelling et le courant portait à l'Est en surface. Sans doute à cause de ces conditions, la zone d'accumulation du nitrite au Sud de l'équateur était particulièrement étendue et la teneur en nitrite y atteignait des valeurs très élevées supérieures à 3 mmol/m³.

A B S T R A C T

An oceanographic cruise has been carried out on board R.V. CORIOLIS from August 20 st to October 1st 1976, in the equatorial region of the western Pacific. Its aim was the study of mineralization of the organic matter which has been produced through the equatorial upwelling. A large number of physical and chemical parameters was measured for 24 Sampling levels between surface and 300 m depth along 93 hydrographic casts located between 1° N and 9° S in latitude and, 174° E and 163° E in longitude. Current measurements were performed at most of these stations from surface to 600 m depth. From these data it has appeared that oceanographic conditions were quite abnormal for this period of the year : there was no upwelling at the equator, the surface current was westward, the nitrite accumulation zone was particularly spread in latitude and the nitrite content incide core reached as high values as 3 mmol/m³. Data collected during this cruise have been sent to national and international oceanographic data centers but they would be available as microfilm at ORSTOM in Noumea as the pictures of the distributions in printed out put different meridional plans of the measured parameters.

1 - INTRODUCTION

1.1. - But de la campagne

Les campagnes antérieures du CORIOLIS et du NOROIT entreprises en zone tropico équatoriale du Pacifique Occidental, dans le cadre du programme MINEPO (Minéralisation à l'Equateur dans le Pacifique Occidental), ont mis en lumière un certain nombre de traits de structure :

- abondante production primaire de la zone superficielle siège de l'upwelling équatorial, bordée au Nord et au Sud par d'importantes couches d'accumulation du nitrite au creux des convergences ;

- présence plus ou moins permanente d'un dôme productif subsuperficiel au Sud de l'Equateur, vers 10° S, à la limite du courant Equatorial Sud (C.E.S.) et du Contre Courant Equatorial Sud (C.C.E.S.).

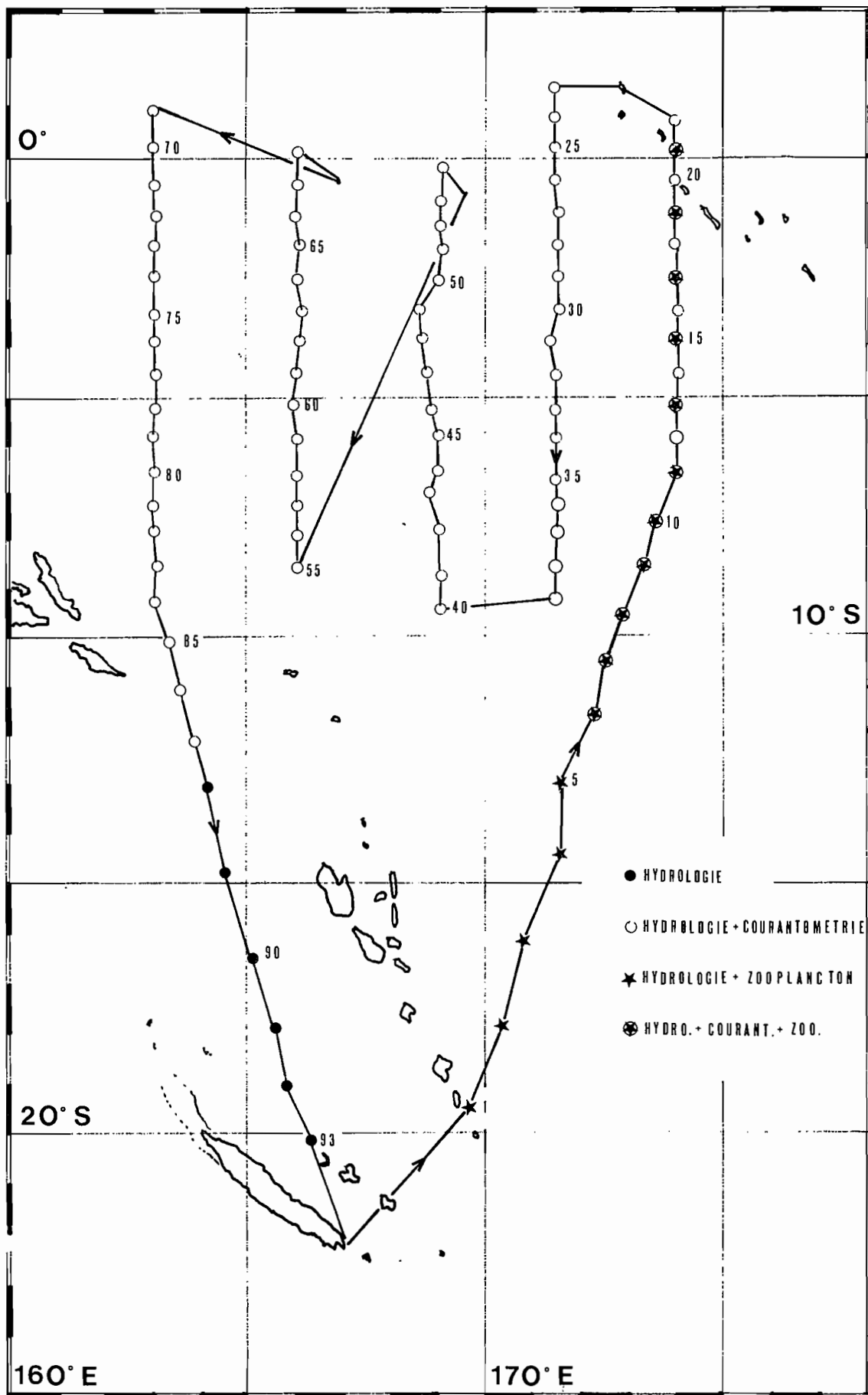
Un schéma de circulation méridienne a été proposé pour rendre compte des distributions observées des paramètres physico-chimiques et de biomasse végétale dans la région considérée en particulier de celle de nitrite interprété comme un stade intermédiaire de la minéralisation de l'azote organique. Mais les liaisons méridiennes entre les propriétés précédentes sont intégrées dans une circulation zonale qui est le facteur prépondérant dans une région où l'intensité des courants zonaux l'emporte largement sur celle des courants méridiens.

Il importait donc d'étudier la continuité de l'horizon nitrite en liaison avec l'upwelling équatorial pour mieux cerner les mécanismes qui gouvernent sa distribution (formation et disparition) et par extension celle des autres sels nutritifs dont une partie résulte de la reminéralisation d'une production antérieure de matière organique.

1.2. - Plan de travail de la campagne

Les coupes méridiennes initialement prévues de 6° S à 1° N ont dû être prolongées jusqu'à 9° S après la première coupe, en raison de la grande extension vers les Sud de l'horizon nitrite.

La zone de travail proprement dite (figure 1), représentée par un carré d'une dizaine de degrés de côté, est décrite par 5 coupes méridiennes distantes d'environ 3 degrés.



EPONITE 2

20.8.76 - 1.10.76

FIGURE 1 - Plan de la campagne EPONITE 2

Sur chaque coupe médiane, tous les 40 milles, sont conduites des stations hydrologiques entre 0 et 300 m et des stations courantométriques entre 0 et 600 m.

Sur les trajets aller et retour entre la zone de travail principal et Nouméa, des stations hydrologiques sont effectués tous les degrés en latitude entre 0 et 300 m.

Chaque station hydrologique comporte 24 niveaux de prélèvement d'échantillons d'eau de mer pour les analyses chimiques (salinité - oxygène - azote - gas carbonique total - ammoniacque-nitrite - nitrate - phosphate - silicate - azote et phosphore organique dissous - pigments chlorophylliens).

Un certain nombre de stations de zoo-plancton comportant chacune 2 traits de filets à larves (maille 0,2 mm) en surface et 2 traits à 200 m, est effectué pendant la première partie de la campagne, comme indiqué sur la figure 1.

1.3 - Composition de l'équipe scientifique

RUAL Pierre) Stations hydrologiques) et courantométriques.
SUPRIN Bernard	
GARBE Jean) Analyse de gaz dissous.
HENIN Christian	
DE GEOFFROY Bernard) Analyse d'oxygène et de pigments) chlorophylliens.
FERRER Henri	
OUDOT Claude) Analyses des sels nutritifs) et de la matière organique dissoute.
ROUGERIE Francis	
JARRIGE François) Calculs avec l'ordinateur PDP 8 du bord.

2 - METHODOLOGIES ET UNITES

2.1 - Observations météorologiques

Les observations météorologiques sont relevées à la passerelle du navire aux heures 00.00, 06.00, 12.00 et 18.00 T.U. en vue de remplir les carnets météorologiques préparés pour les navires en mer. Elles sont présentées, interpolées pour chaque station, avec les unités suivantes. Pour le vent, la vitesse est donnée en noeuds et la direction en degrés. Pour la houle, la hauteur est donnée en mètres, la période en secondes et la direction en degrés. Pour l'air, les températures indiquées par les thermomètres sec et humide sont en

degrés Celsius. La pression atmosphérique est indiquée en millibars et la nébulosité en octas.

2.2 - Courantométrie

Les mesures de courants ont été effectuées à l'aide de courantomètres Hydro Products modèle 501 modifiés. Deux appareils étaient installés sur le câble hydrologique, à une distance de 100 mètres, l'un de l'autre. Des paliers de 5 minutes étaient effectués tous les 20 m entre la surface et 300 m de profondeur et tous les 25 mètres entre 300 et 500 ou 600 mètres de profondeur. La séquence des paliers au cours de la station était arrangée de telle manière que toutes les cinq mesures il y ait un palier à 500 mètres de profondeur. Il y a 500 m de câble lesté sous le courantomètre le plus profond et un équilibre entre les forces agissant sur le bateau en surface et sur le câble en profondeur est recherché avant la station. Pendant la station le câble est maintenu vertical en manoeuvrant le moins possible. La dérive du navire pendant la station a pu être évaluée, quelques fois, grâce à l'obtention de plusieurs positions du navire à l'aide de satellite. En valeur absolue, les résultats ainsi obtenus ont une précision de l'ordre 12 cm/s pour ce qui est de la vitesse et de 20 ° pour la direction. En valeur relative, on obtient une meilleure précision notamment on estime le gradient vertical de la composante zonale du courant connu à mieux que $\pm 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ près.

2.3 - Echantillonnage

Les prélèvements d'échantillons d'eau de mer sont effectués au moyen de bouteilles NISKIN entièrement en PVC, de capacité 1,7 litre, et supportant un cadre de 2 ou 3 thermomètres à renversement.

L'eau soutirée des bouteilles est traitée immédiatement pour déterminer les paramètres physico-chimiques et les pigments chlorophylliens.

2.4 - Température, salinité et anomalie thermostérique

La température, exprimée en degrés Celsius, est déterminée à l'aide de thermomètres à renversement de fabrication japonaise (YOSHINO) et allemande (RICHTER et WIESE).

La salinité, exprimée en grammes de sels par kilogramme d'eau de mer (‰), est déterminée avec un salinomètre à induction de fabrication australienne AUTOLAB Mark III.

A certaines stations, des profils continus de température et de salinité sont obtenus à l'aide d'une sonde "STD" BISSET-BERNAN Model 9060 à enregistrement graphique in situ.

L'anomalie thermostérique Δ ST est exprimée en $^{\circ}\text{C}/\text{t}$ et calculée à partir de la température et la salinité.

2.5 - Gaz dissous

L'oxygène dissous (O_2 W), exprimée en ml/l , est déterminé suivant la méthode de WINKLER avec titrage potentiométrique automatique de l'iode libéré (combititreur METROHM 3 D).

L'oxygène (O_2 CH) est également déterminé par chromatographie en phase gazeuse en même temps que l'azote (exprimé en ml/l) et le gaz carbonique total (exprimé en mmol/l). L'appareil utilisé est un chromatographe INTERSMAT IGC 15 modifié et adapté suivant les travaux de WEISS et CRAIG (1973) à l'analyse des gaz dissous dans l'eau de mer.

L'utilisation apparente d'oxygène est calculée soit à partir des équations de solubilité de WEISS (1970) (UAOS) soit à partir du rapport oxygène/azote (UAO CH) et exprimée en ml/l .

L'oxygène corrigé de la consommation par respiration, appelé NO (BROCKER, 1974), est exprimée en ml/l .

Les anomalies de saturation d'oxygène (DO_2) et d'azote (DN_2) sont exprimées en pourcentage.

2.6 - pH et alcalinité

Les mesures pH (pH MES) sont effectuées à l'aide d'un pH mètre digital ORION Model 801 et sont ramenées à la température in situ (pH STU).

L'alcalinité des carbonates (ALC) et l'alcalinité totale (ALC TOT), exprimées en $\text{m\acute{e}q}/\text{l}$, sont déterminées à partir des mesures de pH et de gaz carbonique total (TAKAHASHI/et al., 1970).

2.7 - Sels nutritifs

Les sels nutritifs, exprimés $\mu\text{mol}/\text{l}$, sont dosés automatiquement en adaptant à l'Auto Analyzer TECHNICON II les méthodes manuelles classiques :

- méthode KOROLE FF (1969) pour l'ammoniaque ;
- méthode de BENDSCHNEIDER et ROBINSON (1952) pour le nitrite ;
- méthode de WOOD, ARMSTRONG et RICHARDS (1967) pour le nitrate ;

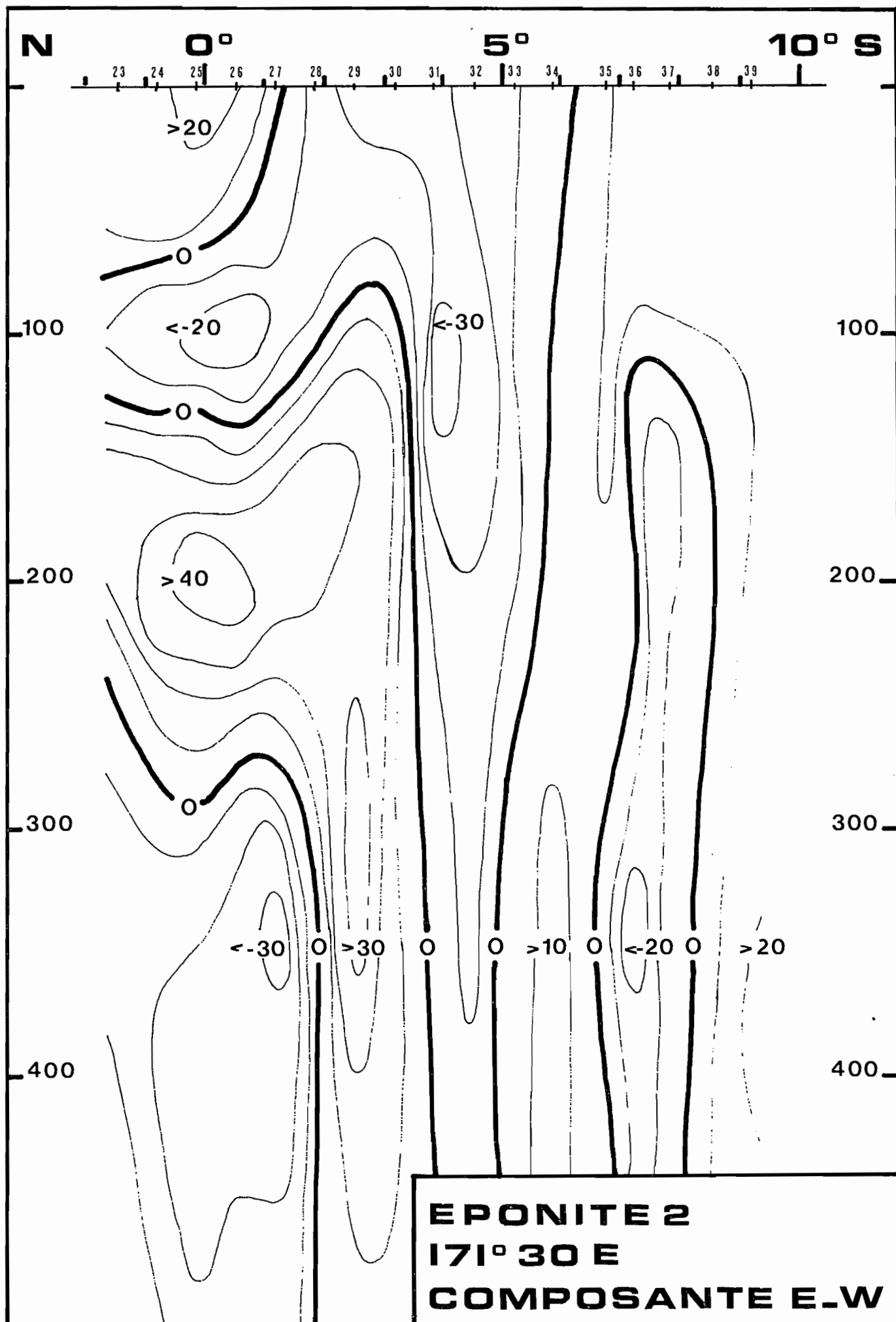


FIGURE 2 - Coupe méridienne de la composante zonale du courant le long de 171° 30 E

- méthode de MURPHY et RILEY (1962) pour le phosphate ;
- méthode de BREWER et RILEY (1966) pour le silicate.

2.8 - Azote, phosphore organique dissous

Les déterminations d'azote et de phosphore organique dissous (NOD et POD), exprimées en μ atg/l, ont lieu suivant la technique d'irradiation ultra-violette (lampe à vapeur de mercure 450 W) d'échantillons d'eau de mer filtrée (filtres en fibre de verre Gelman type A) décrite par ARMSTRONG et TIBBITS (1968).

2.9 - Pigments chlorophylliens

La chlorophylle a et les phaeo pigments, exprimés mg/m³, sont mesurés par fluométrie suivant la technique d'extraction acétonique des pigments sur filtre MILLIPORE HA (0,45 μ) (STRICKLAND et PARSONS, 1968).

3 - PREMIERES INTERPRETATIONS DES RESULTATS

Pendant toute la campagne, l'upwelling équatorial est absent. Ce caractère hydrologique découle d'une situation météorologique anormale pour la saison ; à l'Equateur l'alizé est inexistant et le vent souffle plutôt du secteur Ouest. Cette situation persiste depuis quelque temps déjà comme nous l'indiquent les observations météorologiques recueillies à l'Atoll de TARAWA et les observations de surface (salinité) des navires marchands confirment qu'elle régnait depuis le début du mois d'Août.

Les mesures de courant, à chaque coupe méridienne, révèlent en surface à l'Equateur un courant portant à l'Est. Entre ce courant superficiel et le courant de CROMWELL, il existe un courant portant à l'Ouest situé entre 70 et 130 m (figure 2).

Aux deux premières coupes (174° E et 171°30 E) persiste à l'Equateur en subsurface (entre 100 et 150 m) un éclatement de la thermocline (l'isotherme 25° C atteint 100 m) (figure 3) qui disparaît par la suite, alors qu'en surface l'eau est plus froide aux deux dernières coupes (166° E et 163° E).

Le flux est superficiel d'eau dessalée ($S < 34,5$ ‰) à l'Equateur (figure 4) repousse vers le Sud la masse d'eau salée ($S > 35,0$ ‰) engendrée

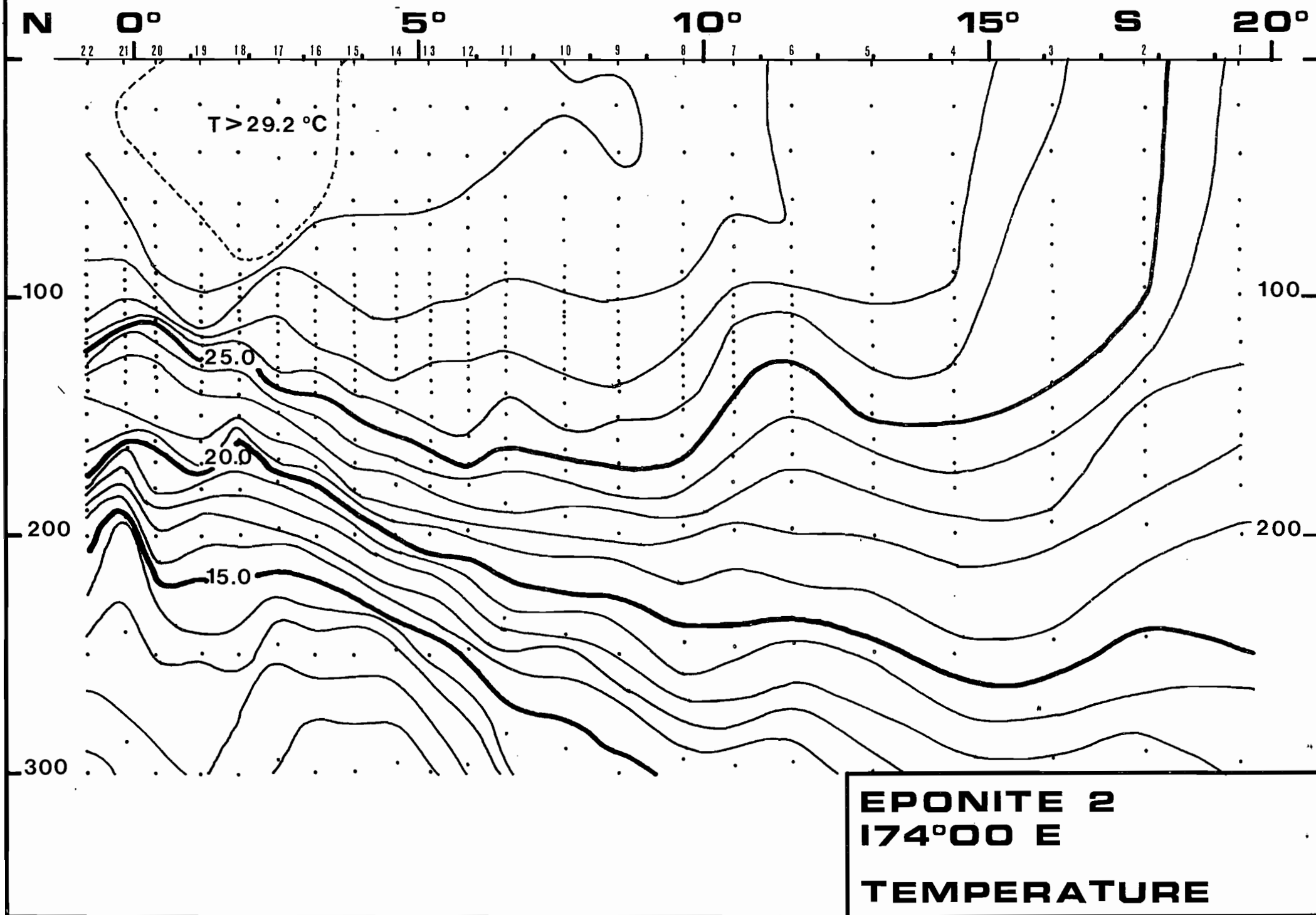


FIGURE 3 - Coupe méridienne de la température le long de 174° E

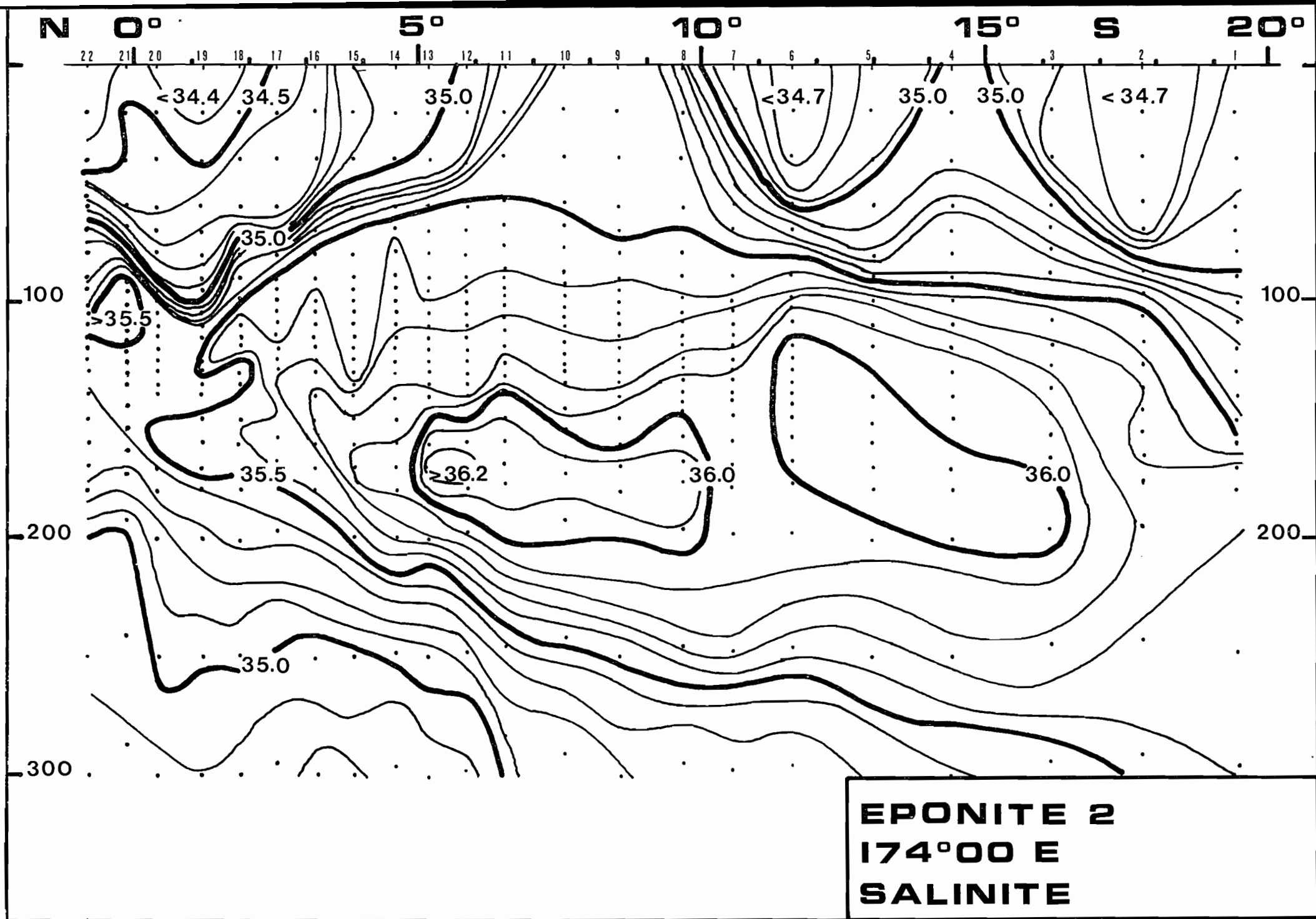


FIGURE 4 - Coupe méridienne de la salinité le long de 174° E

habituellement par l'upwelling équatorial. La salinité de cette dernière, entre 5 et 10° S, diminue d'Est en Ouest.

Le dôme tropical relevé antérieurement au voisinage de 10° S est absent aussi bien à l'aller qu'au retour de la campagne. Ce trait peut s'interpréter comme la conséquence du régime de vent à l'Equateur : en l'absence d'alizé soufflant sur l'Equateur, la masse d'eau accumulée au Nord de la Nouvelle-Guinée s'écoule préférentiellement à l'Equateur plutôt qu'au Sud et le C.C.E.S. beaucoup plus faible que d'habitude ne peut créer de dôme apparent à sa limite Sud avec le C.E.S.

Par contre, il existe certains signes d'un dôme plus au Sud, vers 16 - 17° S, qui sont plus prononcés au cours du trajet retour qu'à l'aller, c'est-à-dire à l'Ouest qu'à l'Est de l'Archipel des Nouvelles-Hébrides. Ce dôme est associé à la limite Sud du Contre Courant Tropical Sud qui est vraisemblablement perturbé et ralenti au passage de l'Archipel.

Durant cette campagne, l'horizon nitrite est particulièrement développé (figure 5). La couche à concentrations supérieures à 2 μ mol/l s'étend sur 6 degrés de latitude à chaque coupe et plusieurs échantillons ont révélé une concentration record supérieure à 3 μ mol/l. Le développement aussi important de la couche d'accumulation de nitrite doit être recherché dans les conditions hydrologiques particulières de la région. En absence d'upwelling équatorial (et de dôme tropical à 10° S), le nitrite, stade intermédiaire de reminéralisation des phases de production organique antérieures, n'est pas ramené vers la surface pour supporter une nouvelle phase de production et reste accumulé au creux de la convergence.

Les plus fortes concentrations d'ammoniaque (de l'ordre de 1 μ mol/l figure 6) sont relevées à la limite supérieure des concentrations maximales de nitrite et en absence de concentrations élevées de chlorophylle a. Cette superposition de l'ammoniaque immédiatement au-dessus de l'horizon nitrite est un argument en faveur de la théorie selon laquelle le nitrite, en zone équatoriale, résulte de l'oxydation de l'azote organique et non de la réduction du nitrate. Ce point peut être illustré par la régression N minéral/ PO_4 , pour une station (figure 7), en fonction de la profondeur : l'addition de l'ammoniaque puis du nitrite au nitrate comble de façon satisfaisante le déficit apparu dans l'augmentation du nitrate par rapport au phosphate quand la profondeur croît.

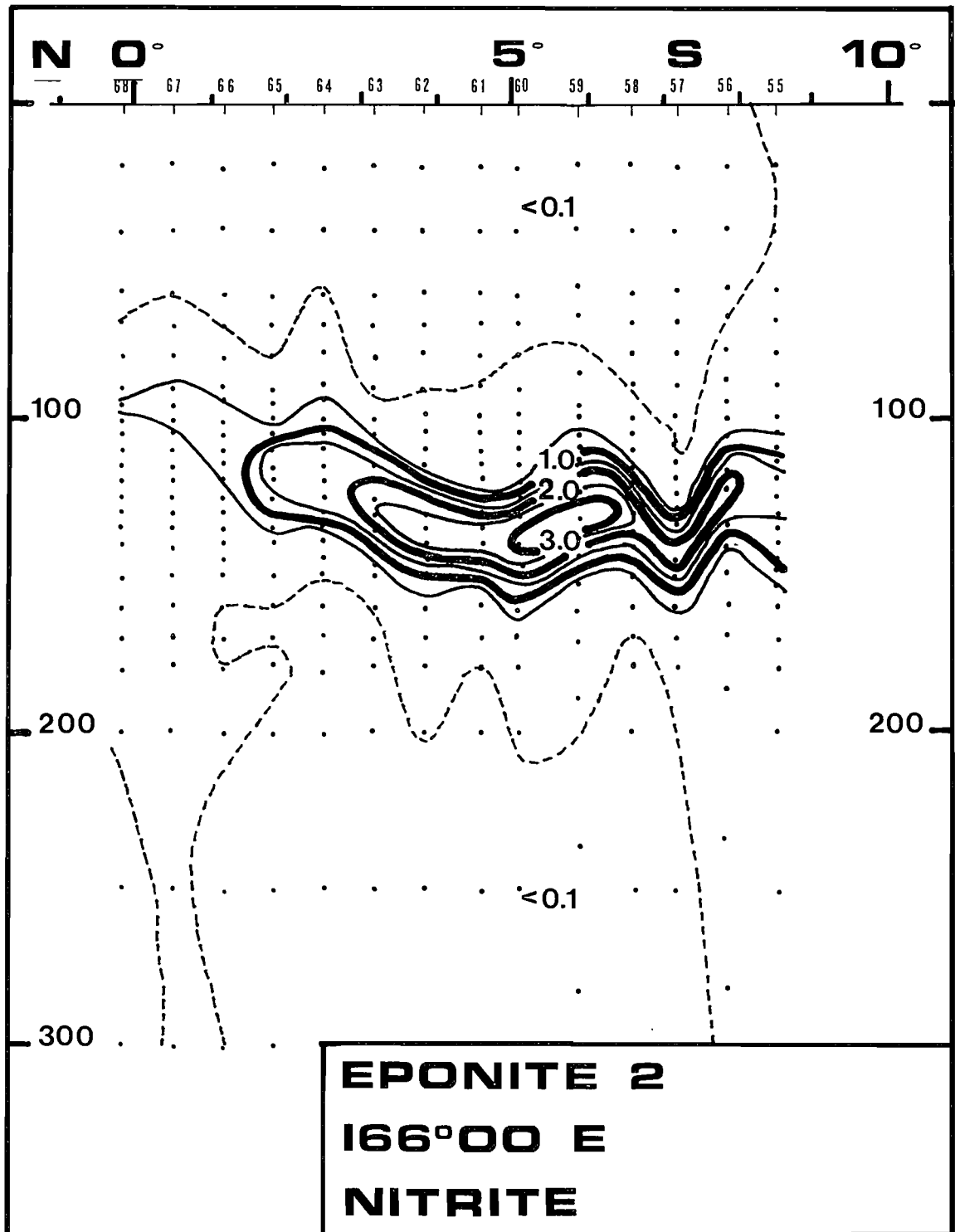


FIGURE 5 - Coupe méridienne du nitrite le long de 166° E

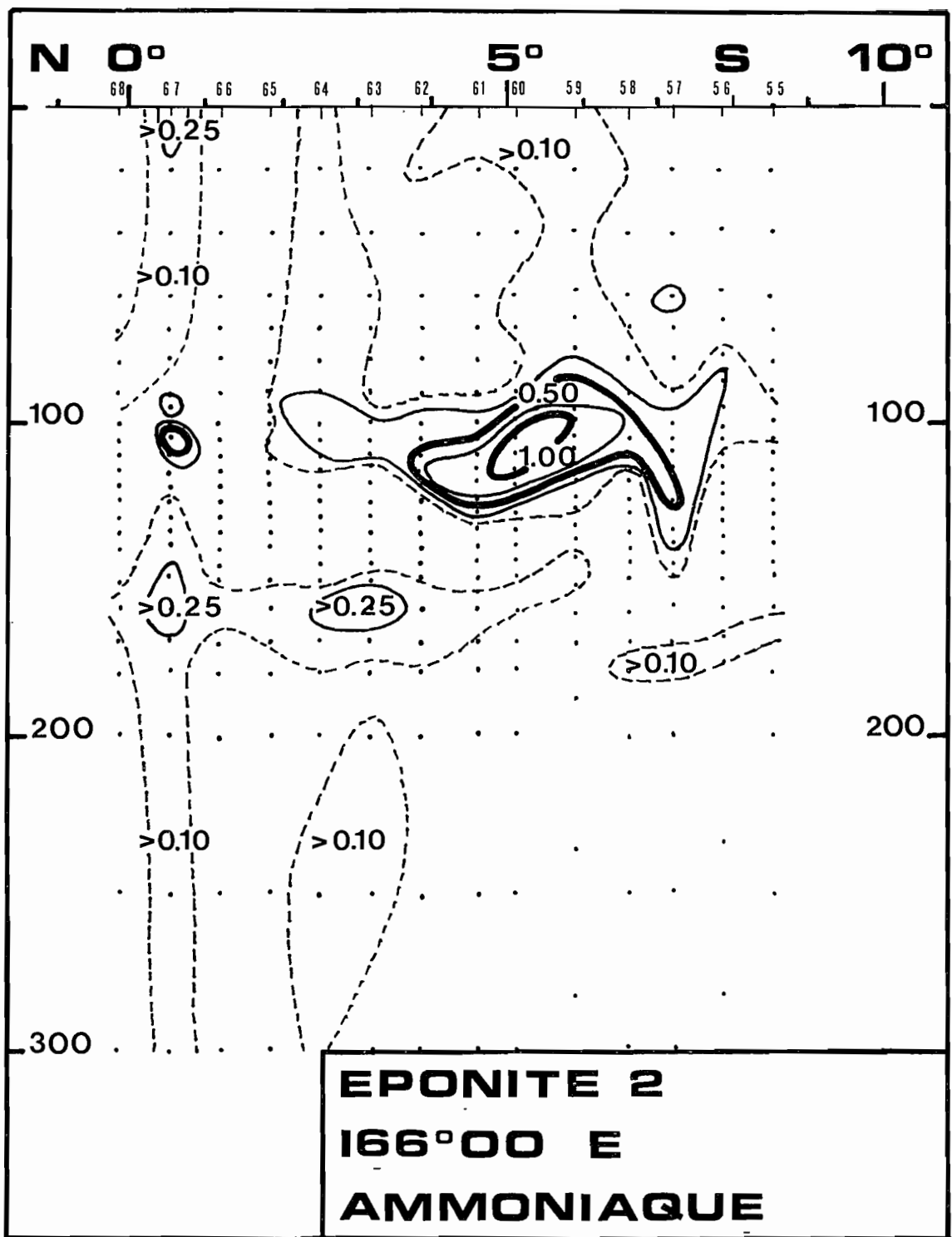


FIGURE 6 - Coupe méridienne de l'ammoniac le long de 166° E

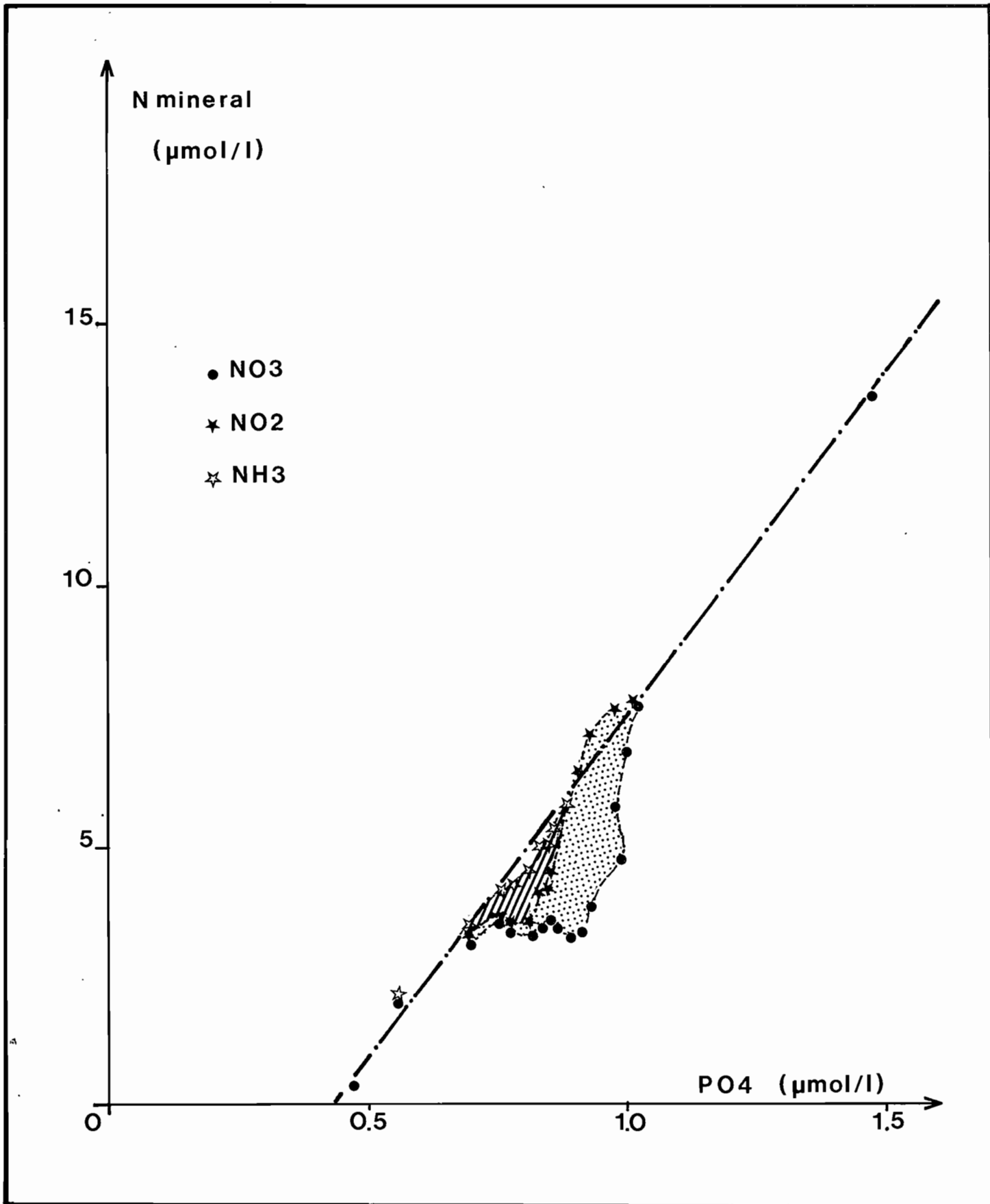


FIGURE 7 - Droite de régression N mineral/PO4 à la station 59
(166° E - 5°50' S)

Sur toute l'étendue de la zone prospectée pendant la campagne, le maximum de chlorophylle a (dont la concentration atteint rarement 0,5 mg/m³) est située entre 50 et 100 m (figure 8). On peut noter en outre des concentrations non négligeables (de l'ordre de 0,3 mg/m³) de chlorophylle a vers 16 - 17° S, au voisinage de 100 mètres, associées au dôme signalé précédemment ; les plus fortes concentrations (0,5 mg/m³) sont relevées à l'Ouest de l'Archipel des Nouvelles-Hébrides. La distribution verticale des phaeo pigments (figure 9) est très complexe, avec de nombreux maxima superposés, indiquant diverses phases successives de production organique.

Les distributions méridiennes de gaz dissous (en particulier l'azote ; figure 10) illustrent clairement les mouvements de convergence. L'azote en tant que propriété conservatrice confirme la participation de l'Eau de la Mer de Corail à la structure hydrologique du courant de CROMWELL.

4 - PRESENTATION DES DONNEES

Les données recueillies au cours de cette campagne, ainsi que les résultats des calculs de routine sont trop nombreux pour être publiés. Ils ont été envoyés aux centres national et international de données océanographiques et sont de plus disponibles au Centre ORSTOM de Nouméa sous forme de microfiche des imprimés obtenus à la sortie du traitement automatique. De même, sont disponibles sur ce même support les tracés des coupes de principaux paramètres physico-chimiques et des composantes zonale et méridienne du courant.

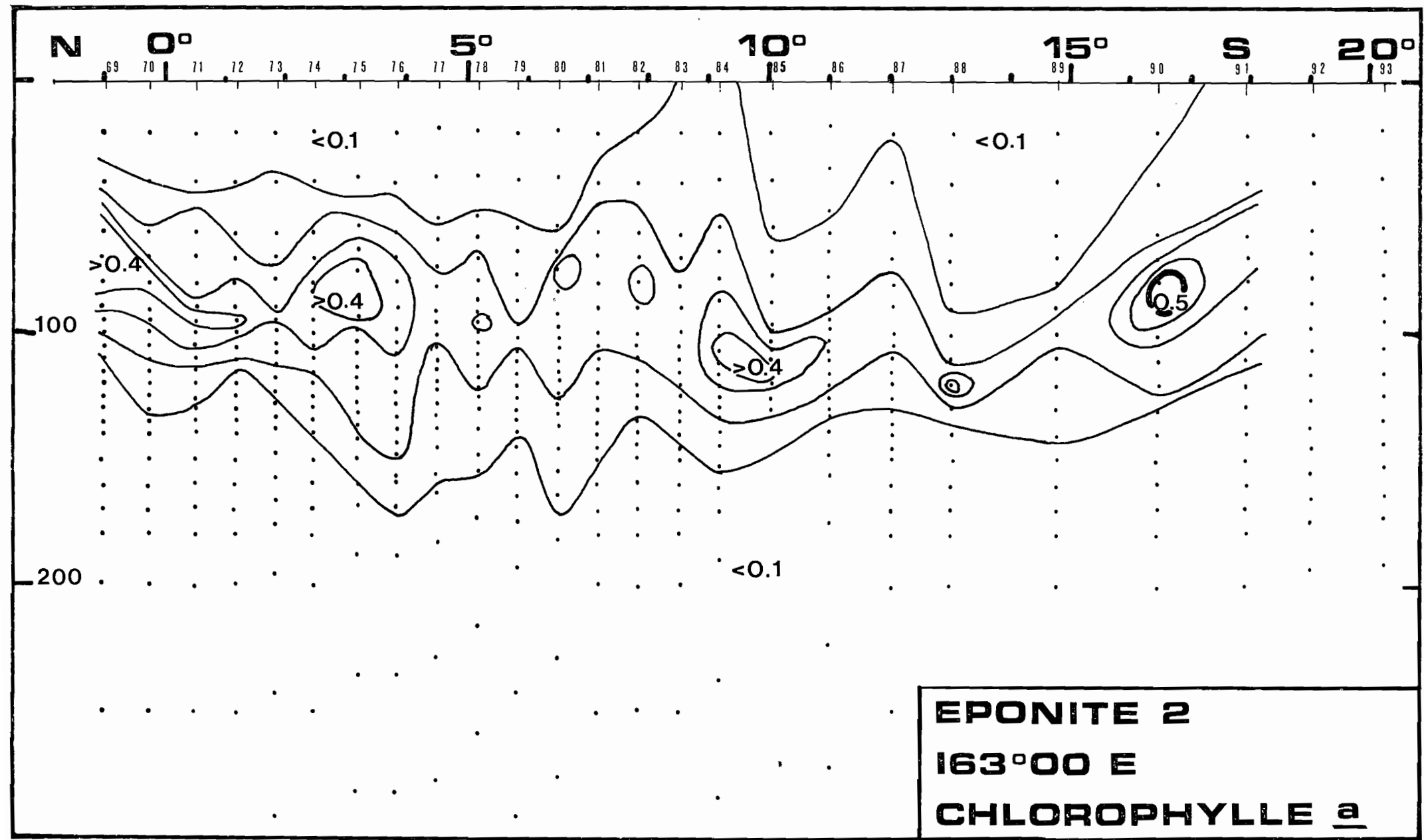


FIGURE 8 - Coupe méridienne de chlorophylle a le long de 163° E

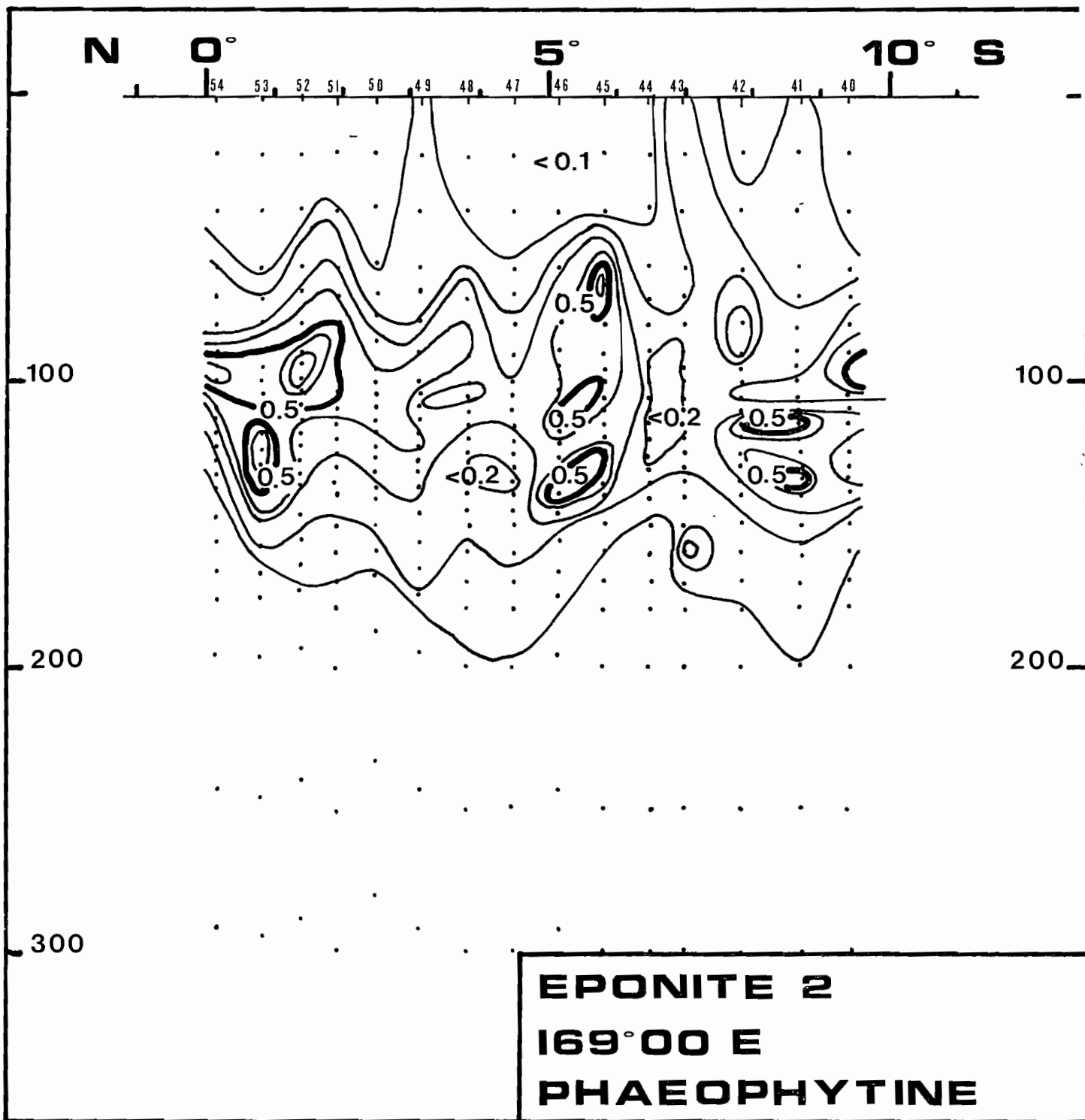


FIGURE 9 - Coupe méridienne de la phaeophytine le long de 169° E

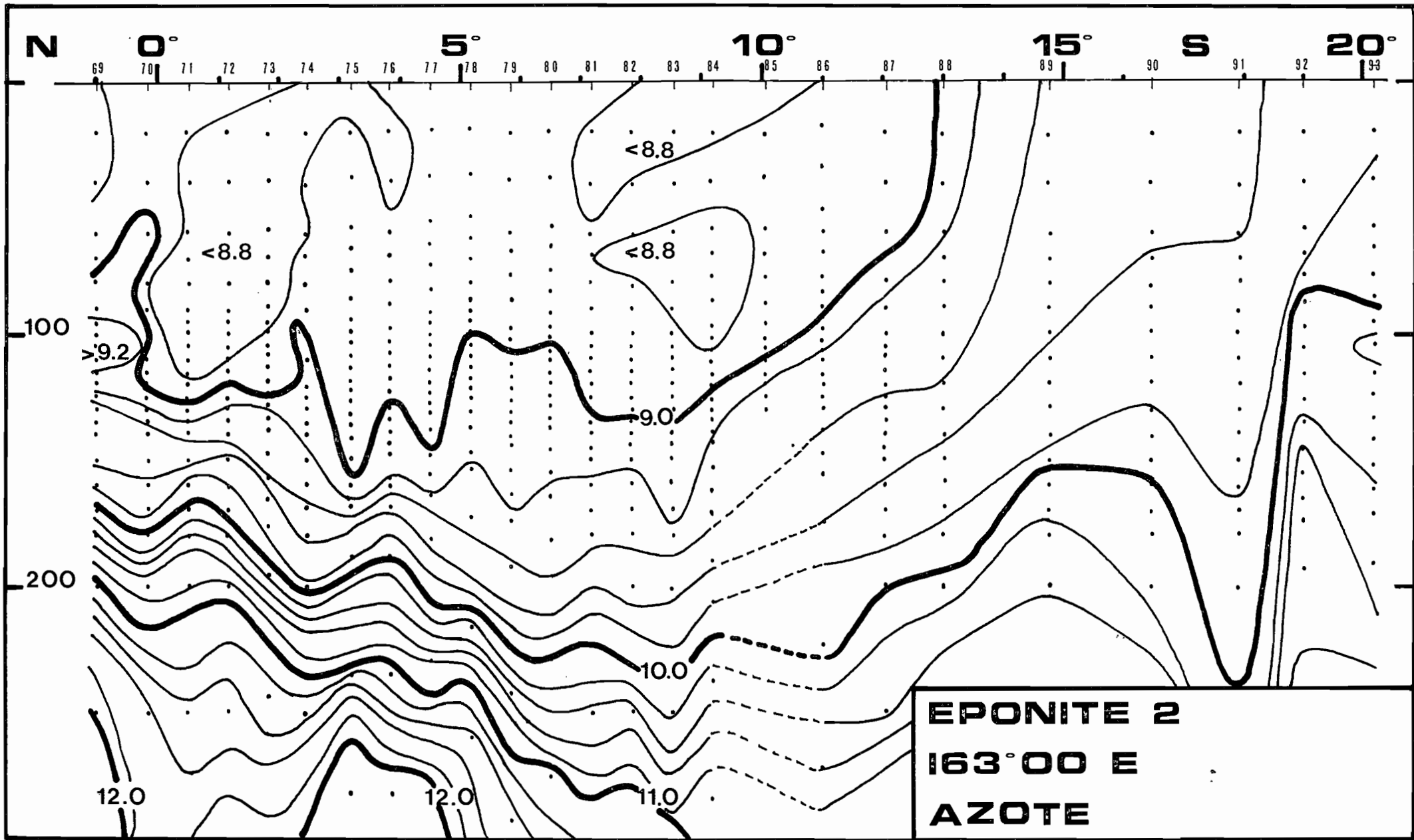


FIGURE 10 - Coupe méridienne de l'azote dissous le long de 163° E.

B I B L I O G R A P H I E

- ARMSTRONG (F.A.J.) et TIBBITS (S.), 1968 - Photochemical combustion of organic matter in sea water for nitrogen, phosphorus and carbon determination. J. Mar. Biol. Ass. U.K., vol. 48 : 143 - 152.
- BENSCHNEIDER (K.) et ROBINSON (R.J.), 1952 - A new spectrophotometric method for the determination of nitrite in sea water. J. Mar. Res., vol. II, n° 1 : 87 - 96.
- BREWER (P.G.) et RILEY (J.P.), 1966 - The automatic determination of silicate-silicon in natural waters with special reference to sea water. Anal. Chim. Acta, Vol. 35 : 514 - 519.
- BROECKER (W.S.), 1974 - Isotopes as water mass tracers. In Chemical Oceanography, Ed. Harcourt Brace Jovanovich Inc., 214 p.
- KOROLEFF (F.), 1969 - Direct determination of ammonia in natural waters as indophenol blue ICESCM 1969/C : 9 - 4 pp. (mimeo).
- MURPHY (J.) et RILEY (J.R.), 1962 - A modified simple solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal. Chim. Acta, Vol 27 : 31 - 36.
- STRICKLAND (J.D.H.) et PARSONS (T.R.), 1968 - A practical handbook of sea water analysis. Fish. Res. Board Canada, Bull. 167, 311 p.
- TAKAHASHI (T.), WEISS (R.F.), CULBERSON (C.H.), EDMOND (J.M.), HAMMOND (D.E.), WONG (C.S.), LI YUAN-HUI et BAINBRIDGE (A.E.), 1970 - A carbonate chemistry profile at the 1969 Geosecs inter calibration station in the Eastern Pacific Ocean. J. Geophys. Res., Vol. 75 : 7648 - 7666.
- WEISS (R.F.), 1970 - The solubility of nitrogen, oxygen and argon in water and sea water. Deep Sea Res., Vol. 17 : 721 - 735.
- WEISS (R.F.) et GRAIG (H.), 1973 - Precise shipboard determination of dissolved nitrogen, oxygen, argon and total inorganic carbon by gas chromatography. Deep Sea Res., Vol. 20 : 291 - 303.

WOOD (E.D.), ARMSTRONG (F.A.J.) et RICHARDS (F.A.), 1967 - Determination nitrate in sea water by cadmium-copper reduction to nitrite.
J. Mar. Biol. Ass. U.K., Vol. 47 : 23 - 31.