

CONVENTIONS
SCIENCES DE LA MER
Océanographie

N° 3

1989

Etude de l'influence des conditions hydrologiques
sur la production pélagique dans la zone
occidentale du pacifique
(Programme PROPPAC)

Laboratoire d'océanographie
du Centre ORSTOM de Nouméa
B.P. A5 Nouméa, Nouvelle-Calédonie

Robert **LEBORGNE**
Aubert **LE BOUTEILLER**
Marie Hélène **RADENAC**

Compte rendu de fin d'études d'une
recherche financée par le Ministère
de la Recherche et de la Technologie

Décision d'aide n° 87.L.0494

Novembre 1989

INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE
POUR LE DÉVELOPPEMENT EN COOPÉRATION

Centre de Nouméa

The logo for ORSTOM, featuring the word "ORSTOM" in a stylized, bold, sans-serif font. The letters are white with a blue outline, set against a dark blue background.

**CONVENTIONS
SCIENCES DE LA MER
Océanographie**

N° 3

1989

**Etude de l'influence des conditions hydrologiques
sur la production pélagique dans la zone
occidentale du pacifique
(Programme PROPPAC)**

Laboratoire d'océanographie
du Centre ORSTOM de Nouméa
B.P. A5 Nouméa, Nouvelle-Calédonie

**Robert LEBORGNE
Aubert LE BOUTEILLER
Marie Hélène RADENAC**

**Compte rendu de fin d'études d'une
recherche financée par le Ministère
de la Recherche et de la Technologie**

Décision d'aide n° 87.L.0494

Novembre 1989

**INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE
POUR LE DÉVELOPPEMENT EN COOPÉRATION**

ORSTOM

Centre de Nouméa

O R S T O M

**(Institut Français de Recherche Scientifique pour le
Développement en Coopération)**

**Centre de Nouméa, Laboratoire d'Océanographie
BP A 5 NOUMEA CEDEX - Nouvelle Calédonie**

Robert LE BORGNE, Aubert LE BOUTELLER, Marie Hélène RADENAC

**ETUDE DE L' INFLUENCE DES CONDITIONS HYDROLOGIQUES
SUR LA PRODUCTION PELAGIQUE DANS LA ZONE
OCCIDENTALE DU PACIFIQUE**

(Programme PROPPAC)

Compte rendu de fin d'étude
d'une recherche financée par
le ministère de la recherche
et de la technologie.

Novembre 1989.

Décision d'aide n° 87.L.0494

FICHE SIGNALÉTIQUE ADMINISTRATIVE

Numéro de la décision d'aide 87.L.0494

Objet de la décision : Aide à la réalisation du programme PROPPAC de l'ORSTOM/NOUMEA

Nom du responsable scientifique : LE BORGNE Robert

Téléphone : 26 10 00

Adresse du laboratoire : ORSTOM BP A 5 - Nouméa Cedex
Nouvelle-Calédonie

Objectifs visés à l'origine : Etude de la distribution verticale et de la répartition géographique des sels nutritifs, des biomasses et des productions pélagiques.

Etude des variations interannuelles.

Etablissement de relations liant la production pélagique à l'hydrologie.

Ces objectifs ont-ils été atteints ? sinon, pourquoi ?

La phase de récolte des données n'est pas terminée, de sorte que les études prévues ne sont pas achevées. Les objectifs seront atteints, ainsi que le montrent les résultats ici présentés.

D'autres objectifs que ceux visés à l'origine ont-ils été atteints ? Lesquels ?

Etude de la relation entre données de surface et données de la colonne d'eau en vue de l'utilisation pour la télédétection.

Evaluation de la production nouvelle.

Le compte rendu a-t-il un caractère confidentiel ? NON

Si oui, pendant combien de temps ?

Des brevets ont-ils été pris à l'occasion de la recherche ? NON

Conclusion générale sur la recherche :

Suivi de l'épisode El Nino de 1986-1987
Comparaison Atlantique orientale-Pacifique occidentale
Caractéristiques de la production primaire dans l'ouest-Pacifique
Structure des écosystèmes tropicaux du large.

FICHE BIBLIOGRAPHIQUE

Numéro de la décision d'aide 87.L.0494

Objet de la décision : Aide à la réalisation du programme PROPPAC de l'ORSTOM/NOUMEA

Auteurs : LE BORGNE R., LE BOUTEILLER A., et RADENAC M.H.,

Titre : Etude de l'influence des conditions hydrologiques sur la production pélagique dans la zone occidentale du Pacifique (programme PROPPAC)

Organisme bénéficiaire : O R S T O M

Date de rédaction du compte rendu de fin d'étude : Octobre 1989.

TABLE DES MATIERES

		<u>Pages</u>
I	AVANT PROPOS	4
II	LES OBJECTIFS DE PROPPAC	4
III	STRATEGIE ADOPTEE	4
IV	RESULTATS ACQUIS DEPUIS LE LANCEMENT DU PROGRAMME ..	6
	1. Résultats des radiales	6
	1.1. Structure hydrologique et biomasse planctonique	6
	1.2. Variation temporelles : influence du phénomène El Nino	8
	1.3. Comparaison avec l'Océan Atlantique tropical	9
	2. Résultats obtenus aux stations de longue durée	9
	2.1. Variabilité à court-terme de la structure hydrologique	9
	2.2. Production primaire	12
	2.3. Biomasse et production zooplanctonique	15
V	CONCLUSIONS	17
VI	TRAVAUX DE VALORISATION	17
VII	ANNEXES : Publications	18

I AVANT PROPOS

La phase de récolte des données du programme PROPPAC (PROduction Pélagique PACifique) n'est pas achevée au moment de la rédaction du rapport de fin de convention MRT. Les radiales SURTROPAC, qui ont débuté en 1984, se poursuivront, en principe jusqu'en 1995 et la dernière des quatre campagnes PROPPAC doit avoir lieu en novembre 1989. Dans ces conditions, le rapport final ici présenté pour la période couvrant l'aide du MRT (1988-1989) fait état de résultats préliminaires ou partiels et fait ressortir le descriptif plutôt que l'interprétation ou la modélisation des processus considérés.

II LES OBJECTIFS DE PROPPAC

Le programme s'attache à l'étude de l'influence des variations de l'hydrologie du milieu hauturier sur la production pélagique. Il complète le programme SURTROPAC (UR 1A de l'ORSTOM) qui étudie, quant à lui, les variations de l'hydrologie dans le Pacifique intertropical sous l'effet des variations climatiques. Il s'agit donc d'un programme d'étude de l'environnement hauturier, dont les retombées possibles concernent le troisième programme d'océanographie hauturière de Nouméa, "Environnement des thonidés" (UR 1K). Quatre produits sont attendus :

- Mise en évidence de relations quantitatives liant la structure verticale des paramètres hydrologiques à la biomasse et à la production planctonique, le but étant de prévoir l'impact des premières sur les secondes, sous l'effet des variations climatiques.
- Etude des relations entre les biomasses superficielles et celles de la colonne d'eau dans une optique d'utilisation (éventuelle) de la télédétection.
- Détermination des rapports production/biomasse du plancton (P/B).
- Description des réseaux trophiques pélagiques basée sur une structure dimensionnelle, en relation avec la structure hydrologique et les mécanismes physiques à l'origine des apports en sels nutritifs dans la couche euphotique.

A ces quatre thèmes fixés au début du programme, on peut en ajouter un cinquième devenu prioritaire dans les programmes internationaux : celui de la capacité de fixation du CO₂ par la production primaire pélagique et ses variations temporelles.

III STRATEGIE ADOPTEE

Il était difficile d'utiliser les données historiques pour établir les relations liant la biomasse planctonique à la production : les méthodes n'étaient pas les mêmes et l'échantillonnage, le long de la colonne d'eau, n'avait pas été conçu dans ce but. La réalisation par le programme SURTROPAC à compter de janvier 1984, de deux radiales annuelles le long de 165°E fut l'occasion de compléter le jeu de données de paramètres

physiques par des mesures de paramètres chimiques (nitrate, nitrite, phosphate, oxygène) et biologiques (chlorophylle, zooplancton). Ces radiales, qui doivent se poursuivre jusqu'en 1995, sont constituées de stations de courte durée (3 heures), qui ne permettent pas de mesurer toutes les caractéristiques des écosystèmes pélagiques : variabilité à court-terme, taux de production, distribution verticale, nécessitent en effet la réalisation de stations de longue durée. Quatre campagnes PROPPAC ont donc été programmées, comprenant des stations de 6 à 8 jours, situées dans des structures hydrologiques considérées comme représentatives de la radiale 165°E et du Pacifique Ouest. A ce jour, ont été étudiés l'upwelling équatorial, la bordure nord de ce dernier, la zone équatoriale (3°N) en période d'El Nino. En novembre 1989, devraient être étudiées les eaux oligotrophes à thermocline peu marquée et profonde du sud de la radiale, la convergence au sud de l'upwelling (thermocline profonde, gradient fort) et la divergence de 10°S. L'objectif est donc d'être en mesure d'interpréter les observations des radiales SURTROPAC à la lumière des descriptions détaillées faites lors des campagnes PROPPAC.

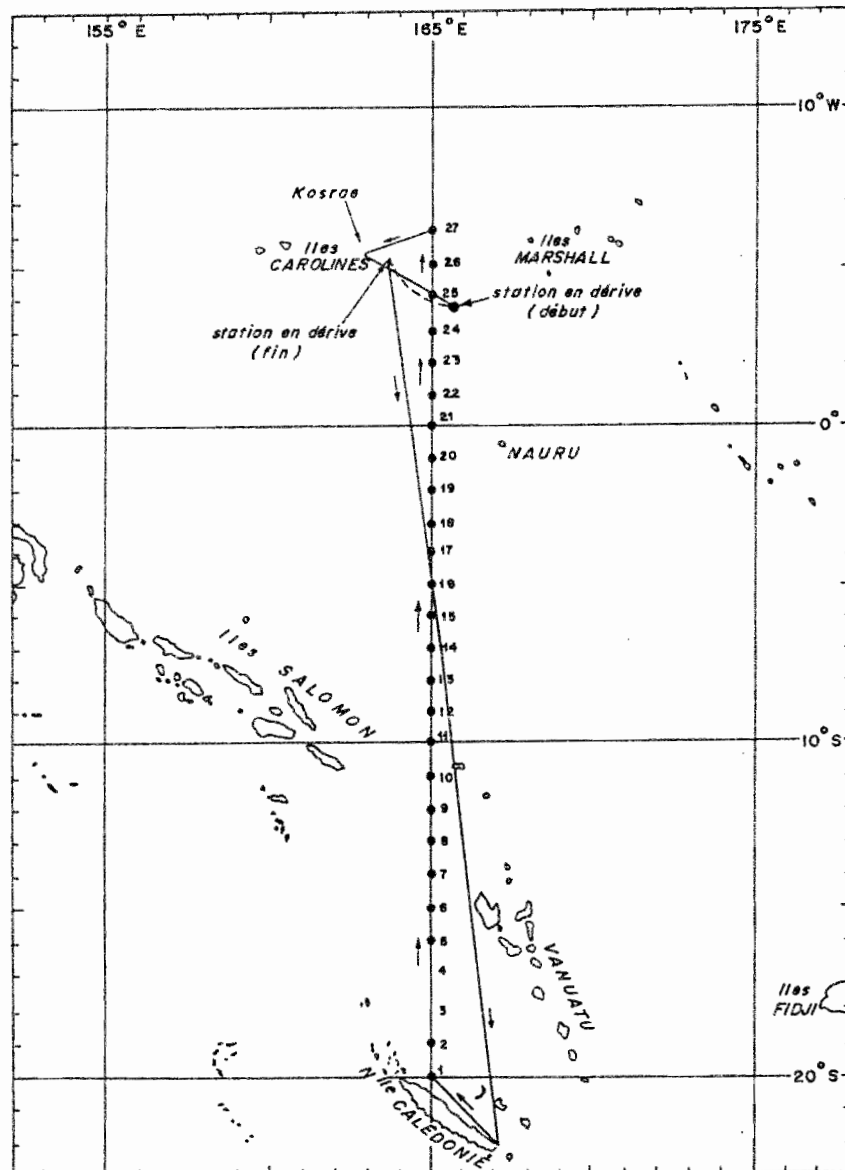


Fig.1. La radiale 165°E des programmes SURTROPAC et PROPPAC

IV RESULTATS ACQUIS DEPUIS LE LANCEMENT DU PROGRAMME

Bien qu'ils soient complémentaires, on peut distinguer les résultats obtenus lors des radiales 20°S - 10°N, de ceux des points fixes des campagnes PROPPAC, qui ont trait à des études plus fines et plus détaillées.

1. Résultats des radiales

1.1. Structure hydrologique et biomasse planctonique

La disponibilité des sels nutritifs dans la couche euphotique règle les niveaux de biomasse du phytoplancton et, par voie de conséquence, ceux des autres échelons du réseau trophique. Cette disponibilité est fonction de la structure hydrologique, qui présente des variations marquées le long de la radiale 165°E, à la fois en latitude et au cours du temps. La profondeur à laquelle apparaissent les nitrates, la nitracline, consitue un indice de cette disponibilité et elle est représentée (Fig. 2) pour deux périodes : juillet (SURTROPAC 8) et septembre (PROPPAC 1).

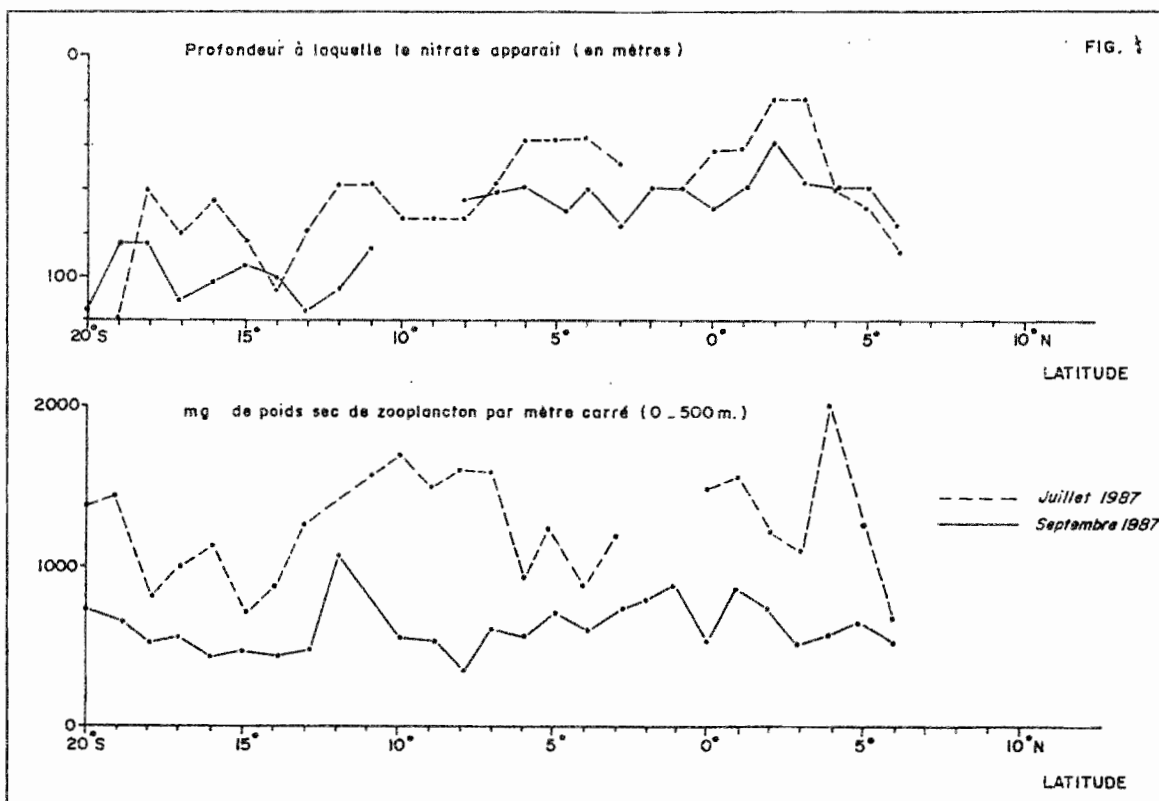


Fig.2. Variation de la profondeur de la nitracline le long de la radiale 165°E en juillet 1987 et septembre 1987 (période d'inversion des courants de surface liée à El Nino). Conséquence sur le niveau de biomasse du zooplancton.

Il apparaît sur cet exemple, qu'en trois mois, sous l'effet des variations de la courantologie de surface, dues à l'épisode El Nino, la nitracline s'est approfondie d'une vingtaine de mètres, entraînant une baisse de la production primaire et du zooplancton (Fig. 2). L'établissement de relations quantitatives liant la structure hydrologique (température, densité, gaz dissous, sels nutritifs) et la biomasse planctonique, constitue l'étape suivante de l'étude et devrait permettre de prévoir, avec une certaine probabilité de réussite, les conséquences des variations hydrologiques (suivies par le programme TOGA) sur la production planctonique dans l'ouest du Pacifique. Le choix du paramètre hydrologique à considérer est essentiel.

Ainsi, par exemple, en est-il de la couche homogène, qui serait définie uniquement à partir du profil de température. Lukas et Lindstrom (Proceedings Hawaiian Winter Workshop, 1987) mettent en évidence dans le Pacifique ouest l'existence d'une "barrière de sel", qui est la différence de profondeur entre le sommet de la thermocline et le sommet de la halocline principale. Cette couche apparaît dans 80 à 85% des stations situées au nord de la Papouasie-Nouvelle-Guinée (campagnes WEPOCS), mais ce pourcentage est moins important (45 à 50%) le long de la radiale 165°E et l'on peut supposer qu'il va en décroissant lorsqu'on progresse vers l'est, la couche d'eau dessalée en surface étant de moins en moins épaisse. Le long du méridien 165°E, l'épaisseur de cette "barrière de sel" est surtout importante au nord de 10°S et elle est extrêmement variable (Fig.3) Ainsi, peut-on observer une variation de plusieurs dizaines de mètres à un mois d'intervalle. L'existence de cette barrière et ses variations ont probablement des effets sur les apports de sels nutritifs dans la couche euphotique, en raison de la stabilité statique supplémentaire qu'elle entraîne et qui reste à évaluer.

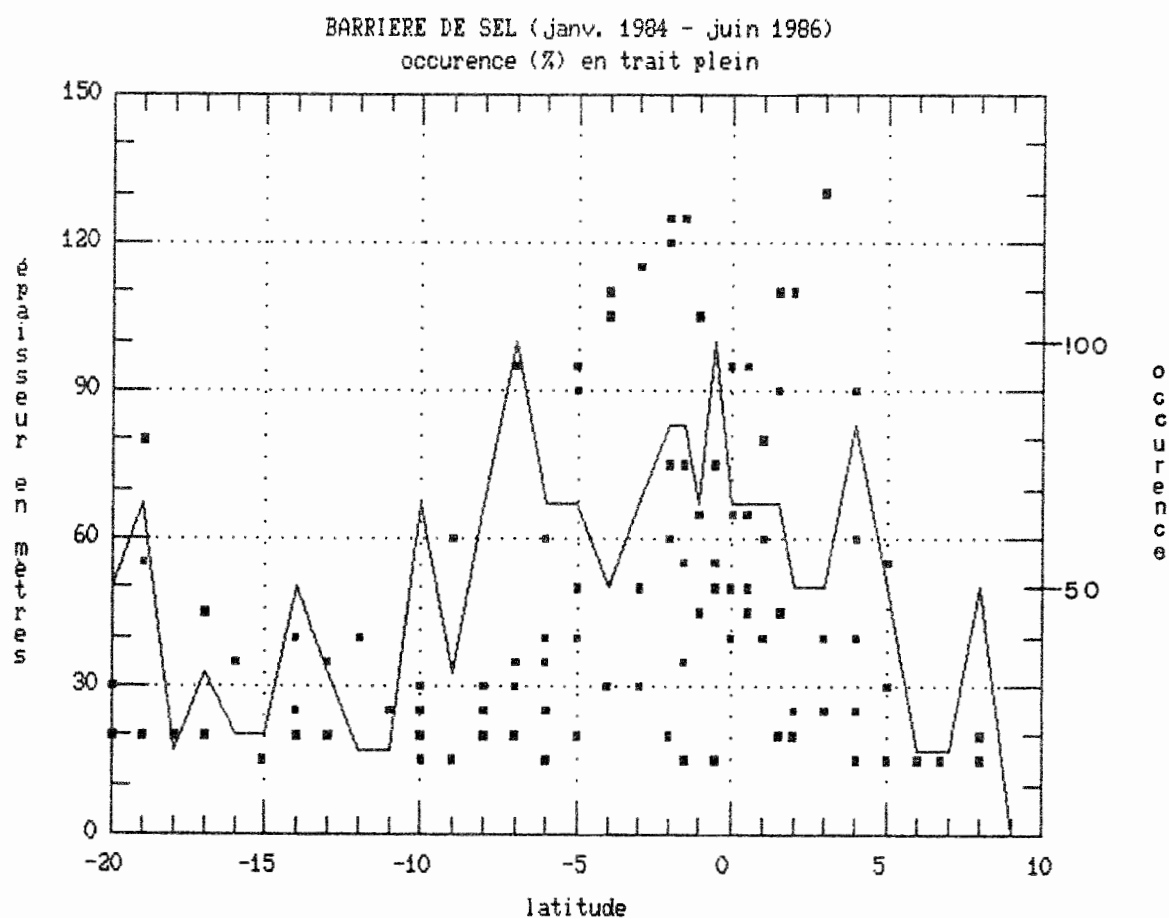


Fig.3.Épaisseur de la "barrière de sel" (en mètres) le long du méridien 165°E. En traits pleins, pourcentage d'occurrence de cette "barrière de sel" à chaque latitude.

1.2. Variations temporelles : influence du phénomène El Nino.

En se basant sur les observations réalisées par l' ORSTOM entre 1967 et 1976, on pouvait penser trouver un enrichissement équatorial relativement permanent, son absence occasionnelle (3 cas sur 15) étant alors liée aux évènements El Nino-ENSO. Or, de janvier 1984 à janvier 1988 inclus, il n'a pas été observé d'upwelling équatorial sur un total de 10 radiales, montrant ainsi l'existence de variations de longue période.

En alternant de juillet 1987 à janvier 1989, les campagnes SURTROPAC et PROPPAC, nous avons disposé d'observations trimestrielles et eu la chance d'assister au déroulement complet d'un épisode El Nino (renverse du courant équatorial sud) et au retour de l'upwelling équatorial avec les conséquences que cela entraîne sur les niveaux de biomasse et la répartition du plancton (Fig. 4). Depuis avril 1988, l'upwelling équatorial a été observé de nouveau au cours de chacune des campagnes.

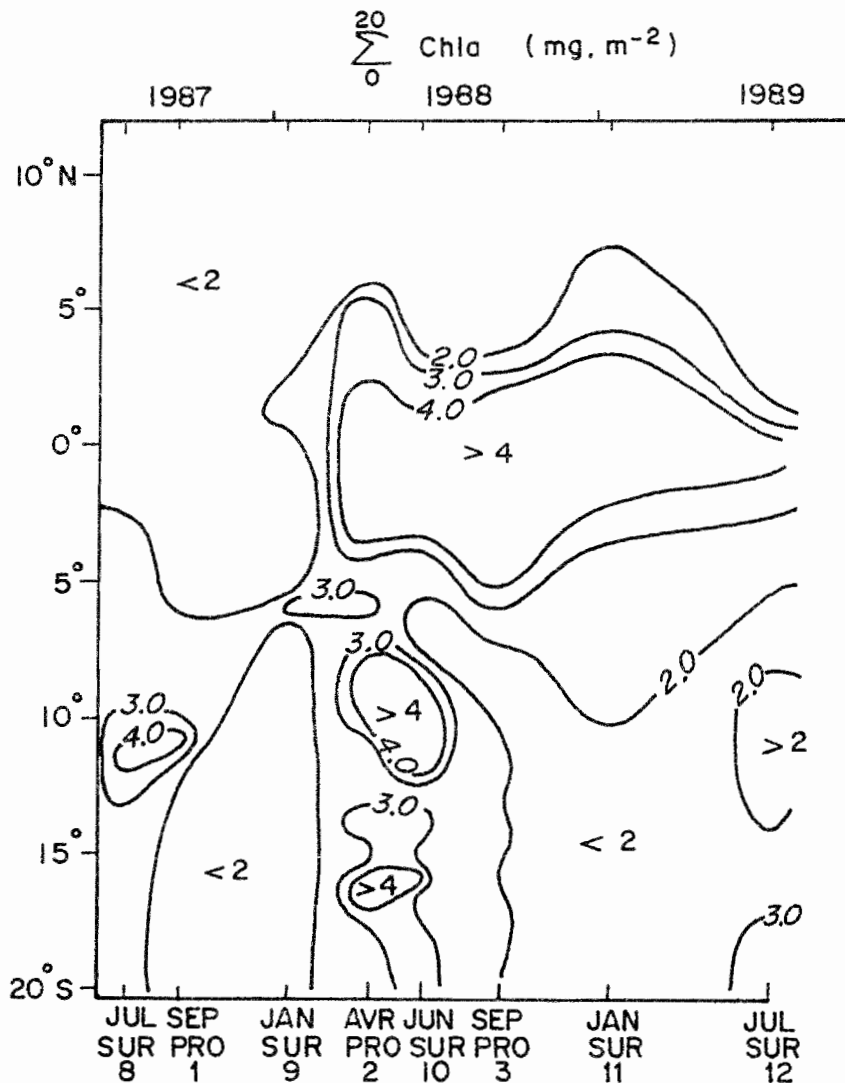


Fig.4. Mise en évidence de l'enrichissement dû à l'upwelling équatorial : chlorophylle phytoplanctonique contenue dans la couche de surface (10-20 m) accessible aux satellites "couleur de l'eau". Valeurs pour les 8 radiales qui se sont déroulées de juillet 1987 à juillet 1989.

Une étude est en cours (Eldin et al., en préparation) pour décrire les conditions hydrologiques rencontrées le long du méridien 165°E au cours de l'évènement El Nino 1986-1987 et les comparer à une période de référence. L'échantillon de référence est construit à partir des six premières campagnes SURTROPAC (janvier 1984 à juin 1986). L'évènement El Nino est décrit par 14 campagnes (1 campagne russe, 4 campagnes sino-américaines, 6 campagnes SURTROPAC et 3 campagnes PROPPAC). Trois phases sont mises en évidence : mise en place (janvier à juillet 1986), évènement (décembre 1986 à janvier 1988), retour à la normale (avril à octobre 1988).

1.3. Comparaison avec l'océan Atlantique tropical

Des méthodes et un échantillonnage identiques, réalisés par les mêmes auteurs, rendent cette comparaison possible et permettent de relativiser les données observées dans le Pacifique occidental, parfois considéré comme pauvre. Les résultats obtenus par PROPPAC montrent que ce n'est pas le cas de la chlorophylle.

Depuis juillet 1987, l'étude de la distribution de la chlorophylle le long du méridien 165°E montre qu'en moyenne, la partie occidentale de l'océan Pacifique possède une richesse phytoplanctonique tout à fait du même ordre de grandeur que celle de l'Atlantique équatorial dans la zone décrite par les campagnes FOCAL, c'est-à-dire du Golfe de Guinée aux côtes du Brésil : teneur moyenne en chlorophylle dans l'Atlantique de 26 mg.m⁻² (367 profils), teneur moyenne dans le Pacifique ouest de 27 mg. m⁻² (234 profils sur 7 radiales). L'enrichissement lié à l'upwelling équatorial est significatif avec 34 mg.m⁻² de chlorophylle (40 profils à 165°E).

Des résultats différents apparaissent cependant pour les biomasses zooplanctoniques, dont les valeurs moyennes le long de la radiale sont voisines des valeurs les plus faibles observées dans le Golfe de Guinée (Atlantique est). L'enrichissement équatorial dans le Pacifique se traduit par un rapport moyen de 2,5 entre les stations situées dans l'upwelling et celles qui sont situées en dehors (ce rapport étant de 3 dans l'Atlantique).

2. Résultats obtenus aux stations de longue durée

Trois situations ont été étudiées lors des trois premières campagnes PROPPAC (voir en III) afin de considérer la variabilité à court-terme de l'ensemble des paramètres et de mesurer la production planctonique primaire et secondaire.

2.1. Variabilité à court-terme de la structure hydrologique

La première station a été effectuée à 3°N fin septembre 1987. Prenant place pendant l'évènement El Nino 1986-1987 (inversion du courant sud équatorial), le cisaillement vertical de courant était faible et le sommet de la thermocline peu profond (50 à 60 m). Une chaîne à thermistances a dérivé pendant 8 jours et a permis la mise en

évidence d'une onde interne de période proche de 12 heures dans la thermocline pendant la deuxième partie de la dérive (figure 5). L'amplitude de cette oscillation augmente avec la profondeur.

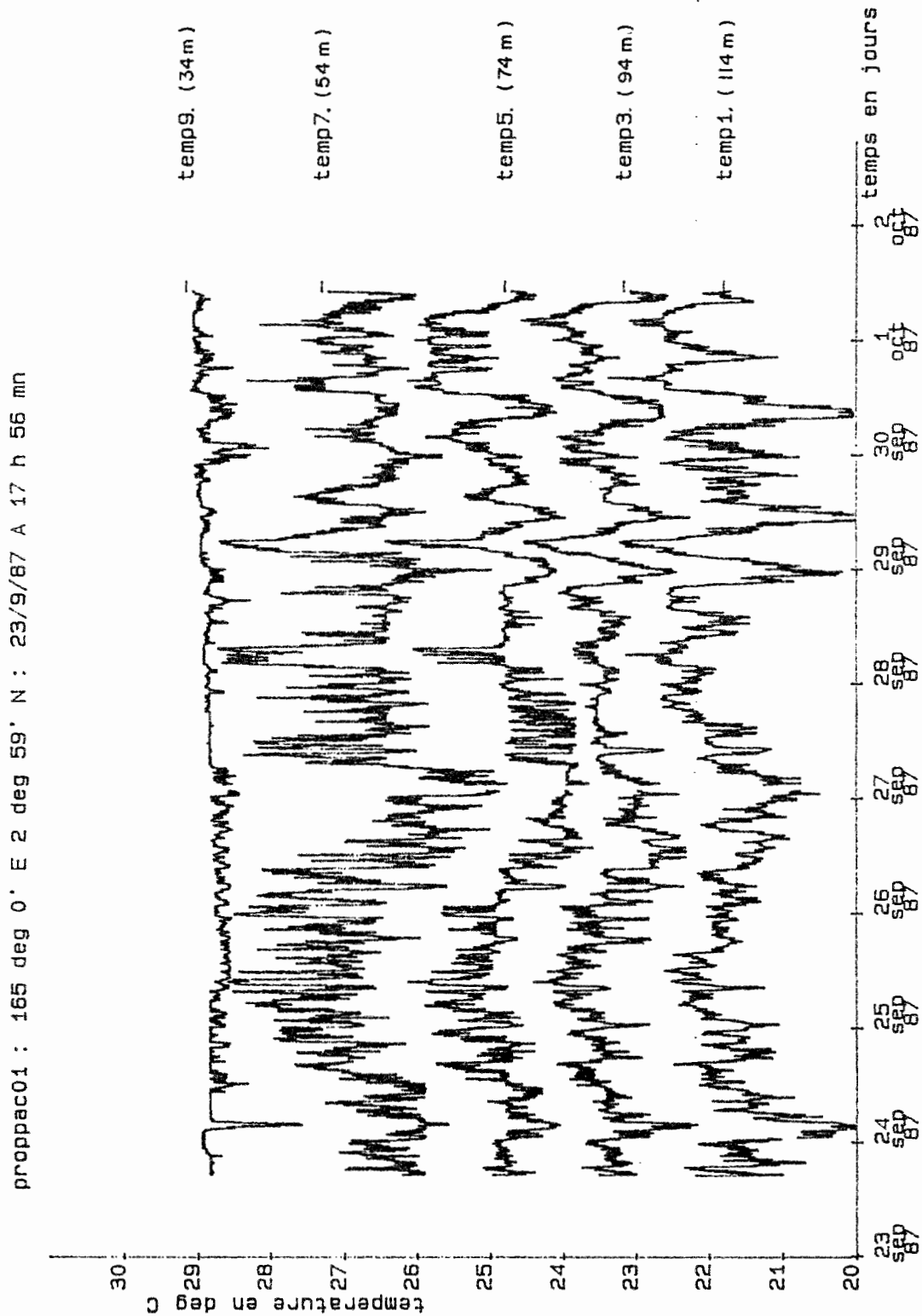


Fig.5. Variations de la température mesurée à cinq profondeurs lors de la station en dérive de 8 jours de PROPPAC1. Les mesures ont été faites toutes des deux minutes avec une chaîne à thermistances Aanderaa.

Le second "point fixe" a eu lieu à 0° dans l'upwelling équatorial en avril 1988. Ses résultats ont été l'objet d'une discussion avec Mike McPhaden (PMEL-NOAA Seattle) qui a permis d'initier une étude de la variabilité des paramètres température, salinité et densité à l'équateur. Les premiers résultats ont été présentés à la session de poster du congrès TOGA de Nouméa en mai 1989. Deux zones de mélange potentiel sont mises en évidence grâce à un "index statistique d'activité" (figure 6). L'une d'elle est située à la limite entre le courant sud équatorial et le sous courant équatorial. L'instabilité due au cisaillement vertical de courant est l'une des causes de la forte variabilité qui y est observée. La deuxième zone, plus inattendue car le cisaillement y est faible et le nombre de Richardson élevé, est localisée vers 300 m entre le sous courant équatorial et le courant équatorial intermédiaire.

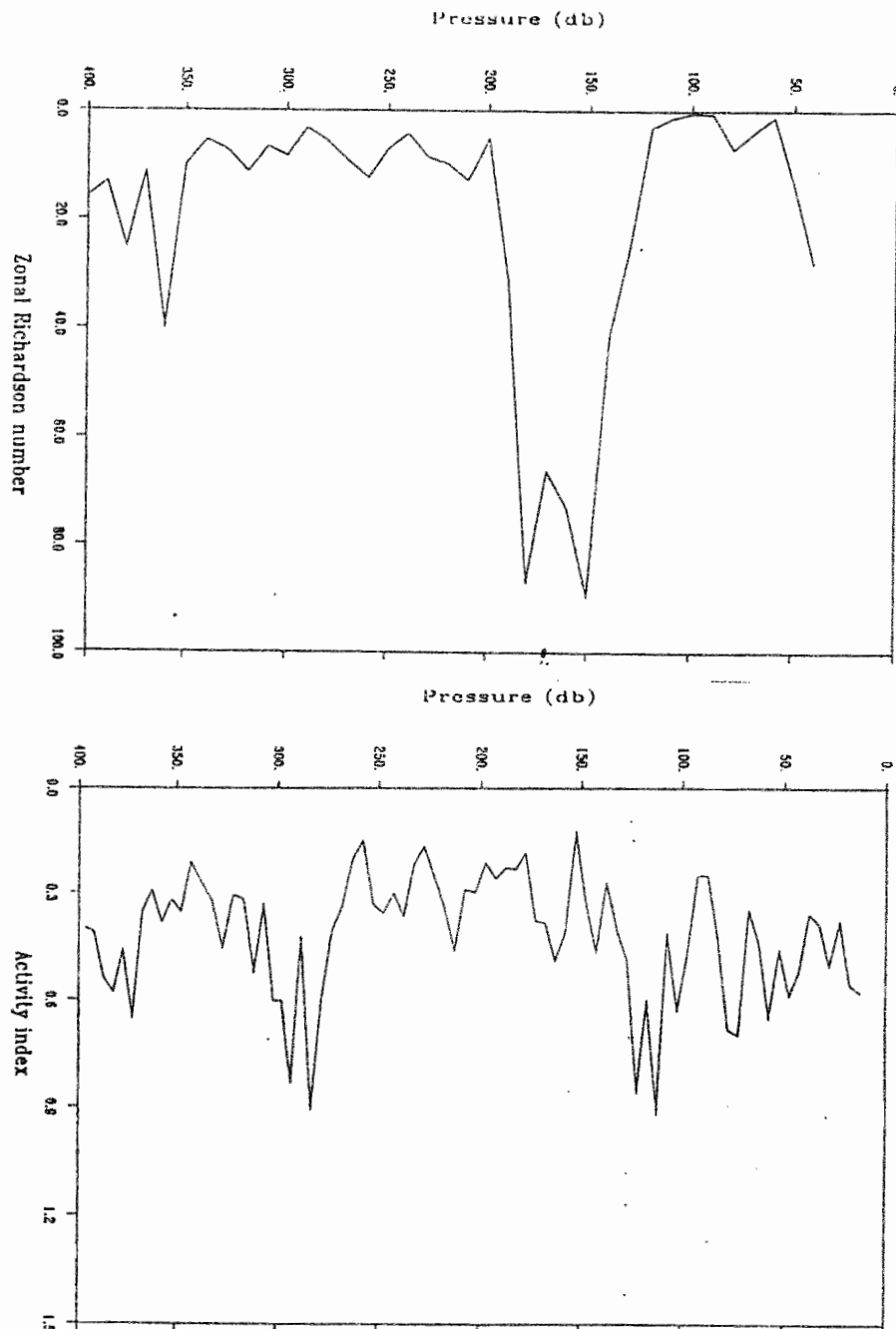


Fig.6. Mise en évidence de deux zones de variabilité élevée à l'équateur lors de la station en dérive de 8 jours de PROPPAC2.

Les données de la troisième station, située en bordure de l'upwelling équatorial (septembre 1988), sont en cours d'exploitation.

2.2. Production primaire

Les résultats obtenus jusqu'à présent sur la production primaire concernent la nature et la taille des organismes qui en sont responsables et le rapport liant biomasse et production (P:B). Sont en cours d'analyse, le matériel particulaire (analyseur "CHN") et les échantillons de production azotée (méthode ^{15}N). Les résultats permettront d'estimer la production nouvelle, basée sur la consommation de nitrate par le phytoplancton, qui constitue le véritable indice de la richesse potentielle d'une région. A grand échelle d'espace et de temps, cette production nouvelle représente la quantité de matière piégée par l'océan par processus biologique. Elle constitue le paramètre clé du programme JGOFS (Joint Global Ocean Flux Study). Les résultats obtenus à PROPPAC sont énumérés à présent.

Les variations de la structure de taille des cellules phytoplanctoniques répondent exactement aux mêmes lois dans l'océan Atlantique intertropical que dans le Pacifique ouest. La chlorophylle est contenue en majorité dans des organismes de taille inférieure à 1 micron dans les eaux de la couche homogène épuisées en sels nutritifs. Inversement, les eaux riches en sels nutritifs de l'upwelling équatorial ou du maximum profond de chlorophylle contiennent en majeure partie de la chlorophylle dans la fraction supérieure à 1 micron. La composition du phytoplancton est étudiée à l'aide de la microscopie à épifluorescence qui permet de distinguer cyanobactéries et microalgues eucaryotes. Les cyanobactéries de moins de 1 μm de diamètre dominent numériquement partout jusqu'au bas de la couche euphotique (1% de lumière) tandis que les microalgues ne sont abondantes qu'en présence de sels nutritifs, au niveau du maximum de chlorophylle où elles culminent et au-dessous (Fig. 7). Enfin, l'analyse détaillée de la distribution des pigments chlorophylliens permet de mettre en évidence une troisième sorte de cellules, découvertes depuis un peu plus d'un an, les prochlorophytes, cellules bactériennes très petites et très riches en chlorophylle b. Ces organismes ne sont décelés en quantité que dans le bas de la couche euphotique (Fig. 7 et Fig. 8).

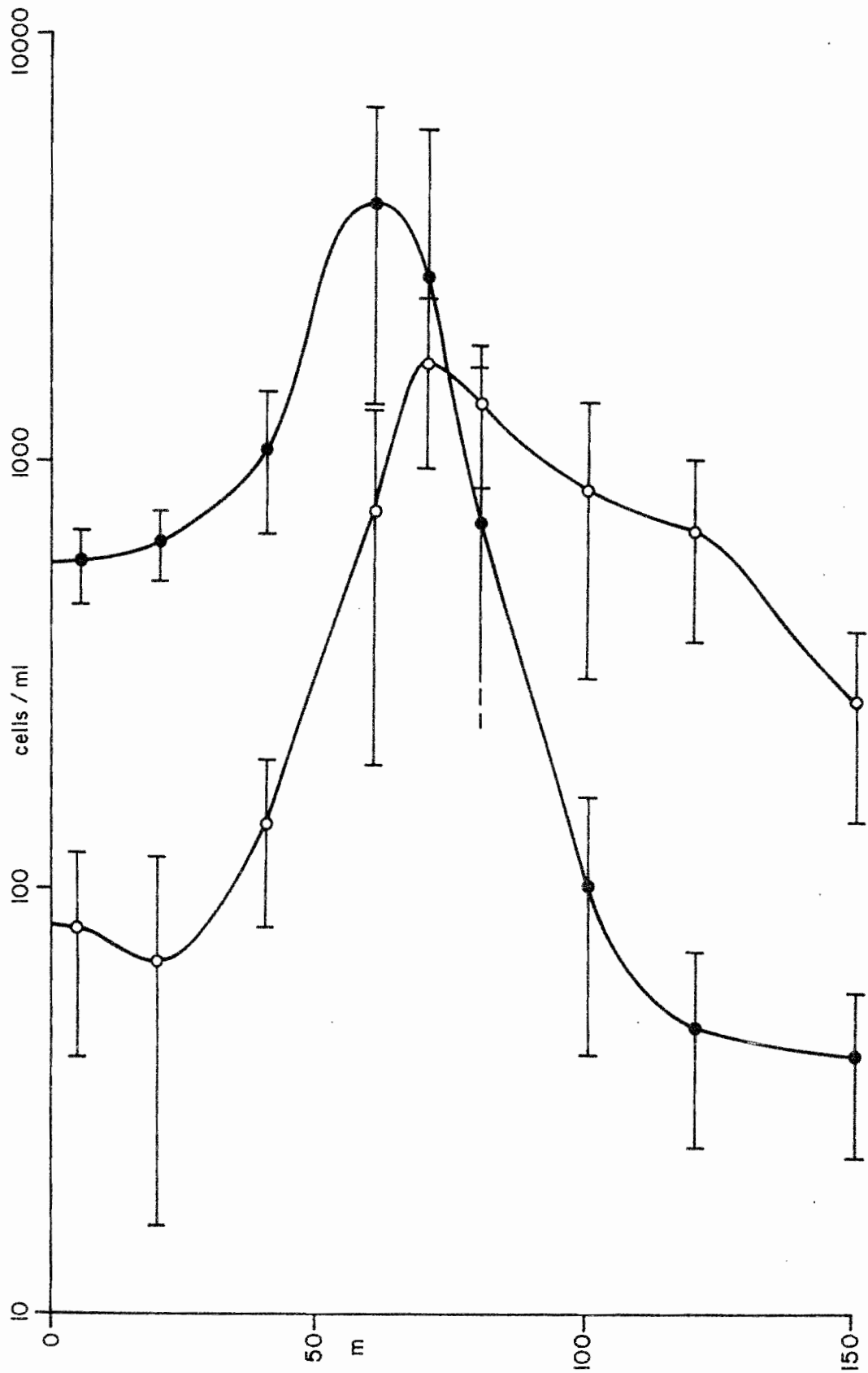


Fig.7. Distribution verticale typique des bactéries (●) et des microalgues (○) obtenue au cours du point fixe de PROPPAC 1 (8 jours d'observation). Le maximum de microalgues se trouve au-dessous de celui des cyanobactéries et correspond au maximum de chlorophylle.

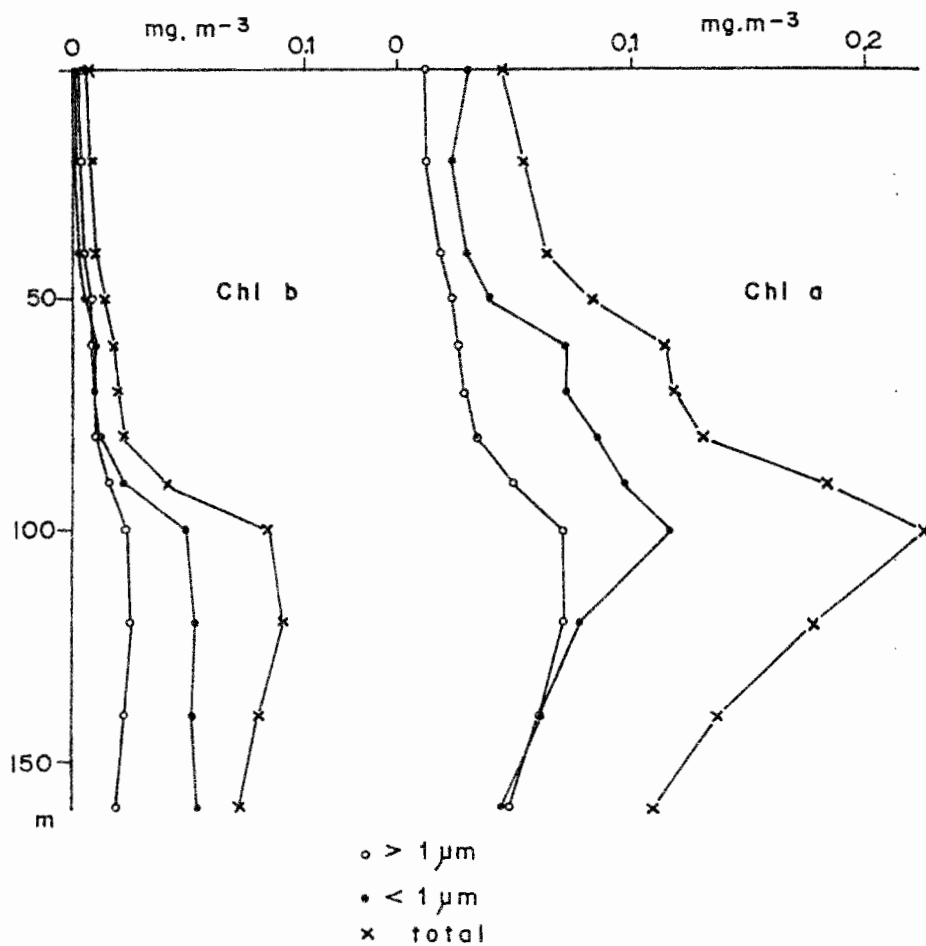


Fig.8. Mise en évidence des prochlorophytes, bactéries photosynthétiques riches en chlorophylle b. Distribution verticale typique des chlorophylles a et b avec tamisages sur filtre de 1 mm de porosité. Station à 5°N, 165°E avec sommet de la nitracline à 100m ($\text{NO}_3 = 0,087 \text{ mmole} \cdot \text{m}^{-3}$). Analyses au spectrofluorimètre par Jacques Neveux (CNRS, Banyuls s/m).

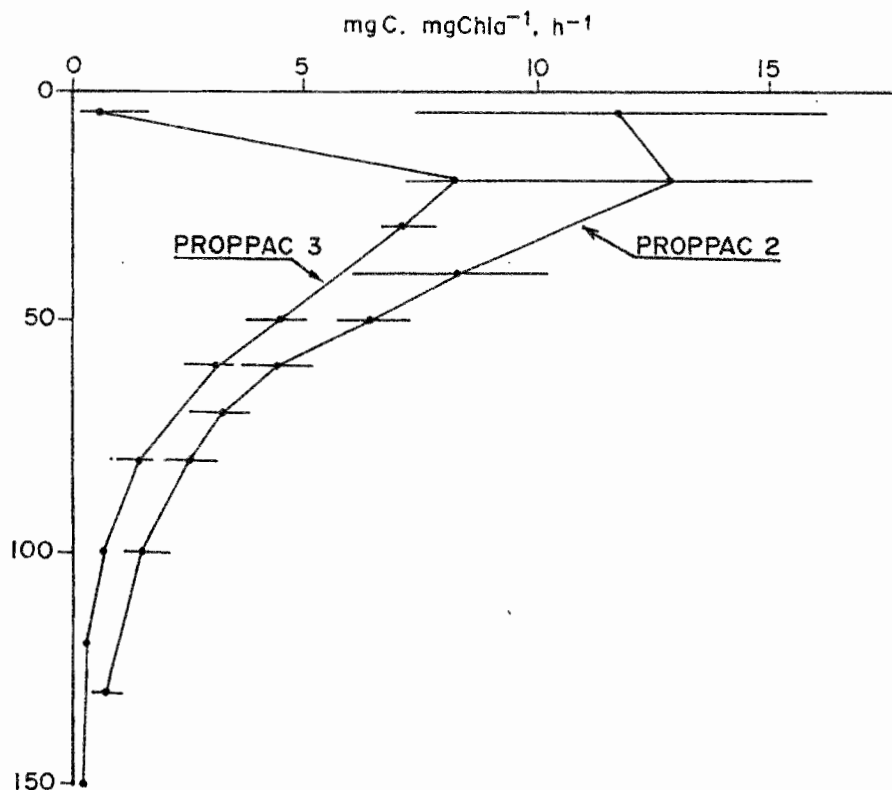


Fig.9. Mise en évidence de la différence de productivité entre l'upwelling équatorial et la convergence nord-équatoriale: moyennes de 8 profils à 0°, 165°E (PROPPAC 2) et à 4-5°N, 165°E (PROPPAC 3). Production primaire par unité de chlorophylle et par heure.

La distribution de la chlorophylle le long du méridien 165°E obtenue 2 fois par an lors des campagnes SURTROPAC prévues jusqu'en 1995, fournit un bon indice de la richesse potentielle de la région. Cependant, la relation complexe entre biomasse chlorophyllienne et production photosynthétique est encore mal connue. Les trois études, de 8 jours chacune, de la production primaire réalisées à ce jour dans le cadre du programme PROPPAC permettent de dresser le bref bilan suivant :

1) Dans un système hydrologique donné, la production primaire est directement fonction de la biomasse phytoplanctonique.

2) La production par unité de biomasse dépend avant tout de la quantité de lumière disponible, pas du tout de la teneur en sels nutritifs. Ceci apparaît sur la figure 9 où le maximum de productivité se trouve à 20 m, que l'on ait (PROPPAC 2) ou non des nitrates à cette profondeur.

3) La production par unité de biomasse et par unité de lumière est plus élevée dans l'upwelling équatorial que dans les deux autres situations étudiées, caractérisées par la présence d'une couche de surface oligotrophe (Fig. 9).

4) La productivité de l'upwelling équatorial de l'ouest Pacifique (165°E) est du même ordre de grandeur que celle de l'upwelling équatorial de l'Atlantique (4°W, programme CIPREA).

De ces propriétés découlent les conséquences principales suivantes :

- La distribution verticale de la chlorophylle est beaucoup plus importante à connaître que la valeur intégrée par unité de surface.

- L'absence d'effet sensible sur la productivité de l'épuisement apparent des sels nutritifs suggère que le phytoplancton présent dans ces eaux oligotrophes est bien adapté aux conditions environnantes. Son taux de croissance serait proche du taux de croissance maximal.

- Le phytoplancton de l'upwelling équatorial se distingue nettement de celui appartenant au maximum profond de chlorophylle sur deux points : d'une part, il est significativement plus productif (à biomasse et lumière égales), d'autre part il ne contient que fort peu de chlorophylle b dans sa fraction inférieure à 1 mm et donc probablement pas ou peu de cellules de type prochlorophyte.

2.3. Biomasse et production zooplanctonique

Les données de biomasse zooplanctonique obtenues jusqu'à présent font apparaître des résultats particulièrement nets. Les zones riches de la radiale 20°S - 10°N sont caractérisées par une fraction plus importante d'organismes des classes de tailles les plus grandes (Fig. 10) et par une distribution plus superficielle des biomasses (Fig. 11) que dans les zones plus pauvres. Il s'agit là de 2 conséquences de la taille du phytoplancton, constitué comme on l'a vu précédemment, d'une fraction plus importante de grandes cellules dans les eaux contenant du nitrate. La "chaîne" trophique est alors plus courte et il y a davantage de phytophages dans le zooplancton de la classe de taille supérieure (500-2000 μ m). Egalement, davantage de phytophages signifie plus de zooplancton dans les couches superficielles où se trouve le phytoplancton. Ces remarques sont étayées d'observations microscopiques sur la composition taxonomique des échantillons de plancton.

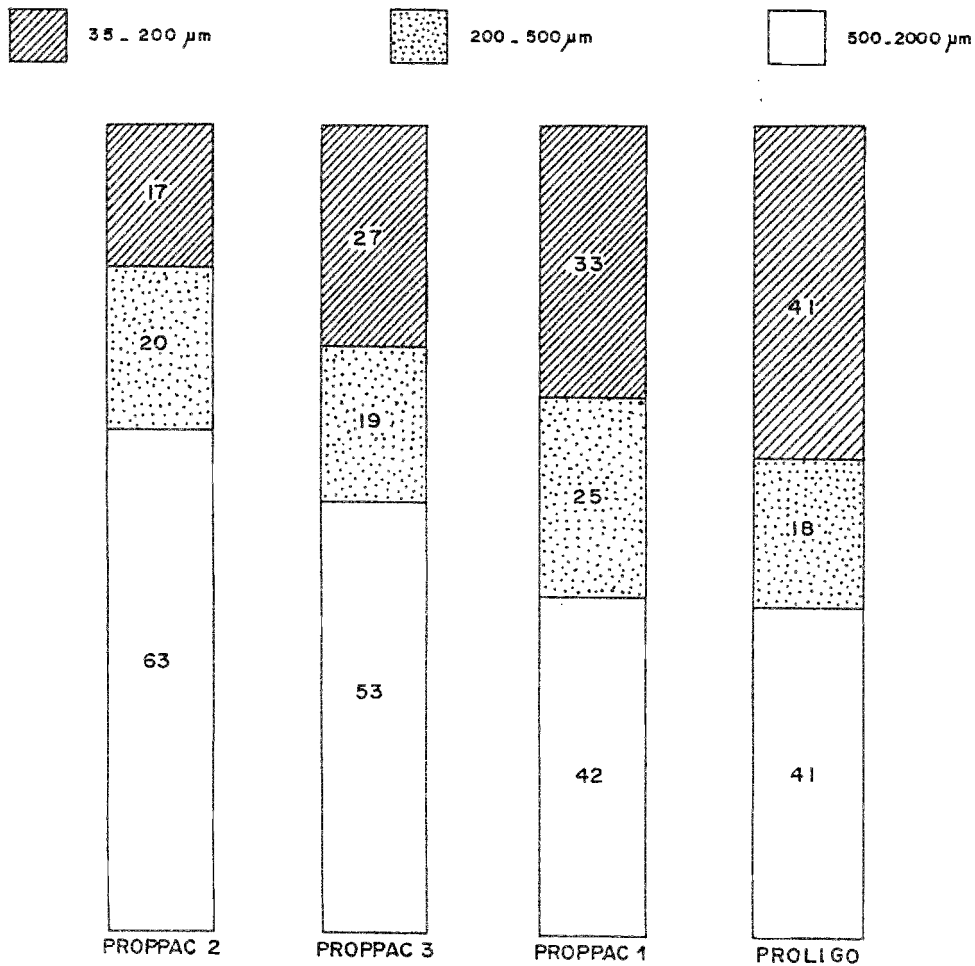


Fig.10. Structure dimensionnelle des écosystèmes pélagiques en relation avec leur biomasse. Les quatre points fixes de l'ouest Pacifique sont ordonnés par ordre croissant de biomasse zooplanctonique de PROLIGO* à PROPPAC 2. (Les nombres sont les pourcentages des différentes classes de taille). * campagne du programme PROCAL, ayant consisté en un point fixe situé à 15°S et 173°E.

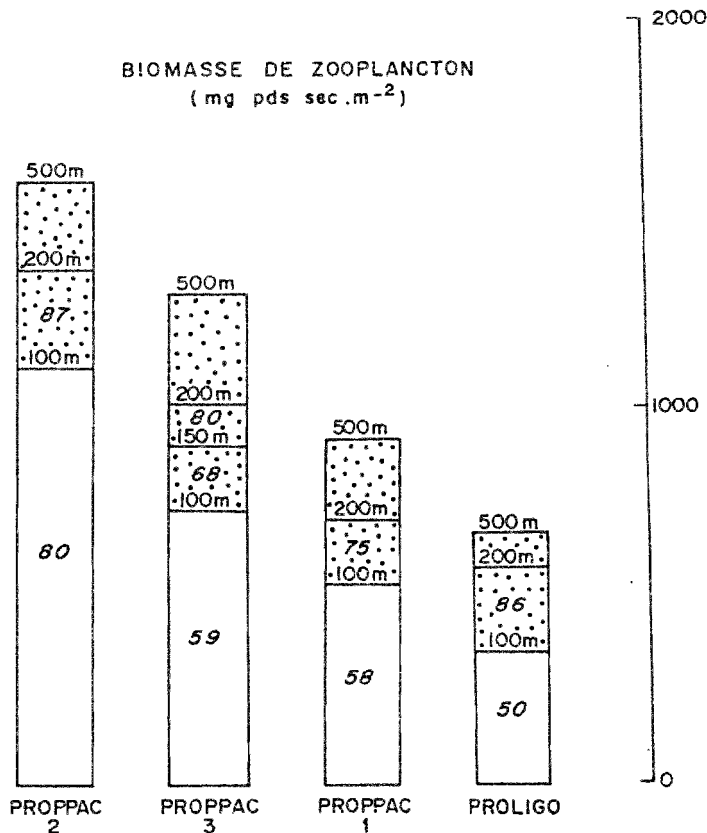


Fig.11. Distribution verticale du mésozooplancton (200-2000 mm) aux quatre points fixes classés par ordre croissant de biomasse de PROLIGO à PROPPAC 2. (Les nombres sont les pourcentages cumulés).

La zone équatoriale du Pacifique ouest a des biomasses zooplanctoniques significativement plus faibles (en période d'upwelling) que dans l'Atlantique est, que ce soit entre 0 et 100 m ou entre 0 et 500 m (tableau 1). Ceci peut être dû à l'existence de réseaux trophiques plus complexes dans le premier cas et/ou à une prédation plus forte, les taux de production (P:B) devant en principe être supérieurs dans le Pacifique où la température des 100 premiers mètres est de 29°C, contre 20-23°C dans l'Atlantique est. Les valeurs de chlorophylle étant pratiquement identiques dans les deux océans, comme on l'a vu, le rapport entre les biomasses phyto et zooplanctoniques est donc lui aussi différent et constitue un argument en faveur de réseaux trophiques plus complexes dans le Pacifique occidental.

Tableau 1 : Comparaison des biomasses zoo et phytoplanctoniques de points fixes équatoriaux de l'Atlantique (4°W, campagnes CIPREA) et du Pacifique (165°E, PROPPAC 2).

Campagne	Latitude	Zooplancton (p.s. m ⁻²)		Chlorophylle "a" (mg. m ⁻²)
		0-100 m	0-500 m	
CIPREA 2	0°	1694	2371	18
PROPPAC 2	0°	1110	1600	23

V CONCLUSIONS

Un certain nombre de points ont pu être considérés alors que la phase active de terrain n'est pas terminée au moment de la rédaction de ce rapport. Il s'agit du suivi trimestriel de l'hydrologie et des biomasses lors de l'épisode El Nino de 1986-1987, de la comparaison que l'on peut faire entre l'Atlantique oriental et le Pacifique occidental, des caractéristiques de la production primaire et de la structure des écosystèmes. Ces points font l'objet d'articles en préparation ou en cours de publication. D'autres aspects, faisant appel à des analyses chimiques en cours, ou de caractère plus synthétique, seront abordés après la campagne PROPPAC 4, de novembre 1989. Il s'agit du problème important de la relation entre l'hydrologie et la production pélagique, des rapport P:B, des études de mécanismes physiques responsables des apports en sels nutritifs dans la couche euphotique. Le programme PROPPAC devrait ainsi apporter sa contribution à la connaissance du fonctionnement des écosystèmes pélagiques du large, qui sont l'objet d'une attention de plus en plus forte de la part des programmes internationaux en cours ou en projet, traitant du problème du climat et de ses modifications.

VI TRAVAUX DE VALORISATION

Le nombre de publications est réduit à l'heure actuelle en raison de la charge en campagnes à la mer et de la jeunesse des participants.

Publications

- P. Gerard, 1986: Programme PROPPAC. Hydrologie, nutriments, chlorophylle et zooplancton des radiales 1 à 6 SURTROPAC. Doc. multigr. Centre ORSTOM Nouméa, 125 pp.
- J. Blanchot, R. Le Borgne, A. Le Bouteiller et M.H. Radenac, 1987: Rapport de la campagne PROPPAC 01 du N.O. CORIOLIS (9 sept. - 8 oct. 1987) Doc. multigr. Centre ORSTOM Nouméa, 29 p.
- J. Blanchot, R. Le Borgne, A. Le Bouteiller et M.H. Radenac, 1988: Rapport de la campagne PROPPAC 02 du N.O. CORIOLIS (27 mars - 27 avril 1988) Doc. multigr. Centre ORSTOM Nouméa, 37 p.
- J. Blanchot, R. Le Borgne, A. Le Bouteiller, M.H. Radenac, et M. Rodier 1988: Rapport de la campagne PROPPAC 03 du N.O. CORIOLIS (11 sept. - 11 oct. 1988) Doc. multigr. Centre ORSTOM Nouméa, 54 p.
- J. Blanchot, A. Le Bouteiller et M. Rodier: Distribution verticale et abondance du picoplancton et nanoplancton autotrophe dans l'ouest de l'océan Pacifique tropical. (en préparation).
- A. Le Bouteiller et J. Blanchot: Size distribution of phytoplankton in the western tropical Pacific ocean. (en préparation).
- G. Eldin, T. Delcroix, M.H. Radenac et S.M. Toole: Vertical structure variability in the western tropical Pacific (160°-165°E) linked to 1986-87 ENSO, 20°S - 10°N (en préparation).

Communications aux Congrès

- J.M. Toole, T. Delcroix, G. Eldin, E. Firing, M. Francis, C. Hénin, S. Jiang, Y. Mangum, R. Millard, J. Picaut, S. Pu, M.H. Radenac, Z. Wang & E. Zou: Evolution of the western Pacific ocean during the 1986-87 El Nino. Symposium on western Pacific Air-Sea interactions. November 15-17, 1988 à Pékin (PRC).
- J. Blanchot, R. Le Borgne, A. Le Bouteiller et M. Rodier: ENSO and NON-ENSO Events : Consequences on the nutrients and planktonic biomasses and production in the western tropical Pacific ocean (165°E). Congrès TOGA-COARE 24-30 mai 1989 à Nouméa (Nouvelle Calédonie).
- M.H. Radenac: Fine structure variability in the equatorial western Pacific ocean. Congrès TOGA-COARE 24-30 mai 1989 à Nouméa (Nouvelle Calédonie).

- RAPPORT DE LA CAMPAGNE PROPPAC Ø1 DU N.O. CORIOLIS
(9 sept.-8 oct. 1987) -

J. BLANCHOT, R. LE BORGNE, A. LE BOUTEILLER et M.H. RADENAC
Centre ORSTOM de Nouméa. B.P. A5. Nouméa Cédex - Nouvelle-Calédonie

I - Objectifs des campagnes PROPPAC.

La campagne PROPPAC Ø1 du N.O. Coriolis est la première des quatre campagnes prévues dans le programme PROPPAC, dont le thème général est l'étude des relations liant l'hydrologie et la biomasse/production planctonique dans le Pacifique occidental. PROPPAC comprend deux types de campagnes à la mer : une participation aux deux campagnes annuelles SURTROPAC (du Groupe SURTROPAC de l'ORSTOM/Nouméa) avec des stations de courte durée, d'une part et la réalisation de campagnes PROPPAC, d'autre part, consistant en une radiale et un point fixe. La position de ce dernier est choisie à la fin de la radiale, chaque point fixe représentant une situation "type" et permettant les mesures de paramètres qui ne peuvent être faites au cours des stations de 3h des radiales. Les sujets suivants sont considérés aux points fixes :

- étude de la variabilité à court-terme des paramètres hydrologiques et biologiques, du type ondes internes ou migrations nyctémérales.
- description de la distribution verticale de ces mêmes paramètres et étude de leurs relations. Un cas particulier de cette rubrique est celui de la relation existant entre les valeurs de surface et les valeurs intégrées.
- mesures ou évaluations des productions primaire et zooplanctonique, nécessitant l'immobilisation du navire et l'acquisition de nombreux paramètres. L'objectif est de déterminer les rapports P/B et de déterminer leurs facteurs de variation, en particulier d'origine hydrologique (advection, mélanges).
- description de la structure dimensionnelle des réseaux trophiques pélagiques, qui conditionne à la fois la valeur des taux de production et le rendement écologique du système.

II - Plan de la campagne PROPPAC Ø1 (Fig. 1)

La campagne a comporté trois phases :

(1) La radiale préliminaire (9-20 sept.) a permis de décrire la situation

océanographique le long du méridien 165°E, de 20°S à 6°N, à une période intermédiaire, entre celles de juillet 1987 (SURTROPAC Ø8) et janvier 1988 (SURTROPAC Ø9) et lors d'une phase d'El Nino. En outre, les résultats de la radiale ont permis de choisir la position de la station de 8 jours, que l'on voulait voir caractérisée par une thermocline marquée et superficielle. Les stations comprenaient les opérations suivantes :

- météo complète
- profil de courant 0-600 m
- un trait de sonde CTD0 0-1000 m
- des prélèvements à la rosette à 12 niveaux, avec mesures de : nitrate et nitrite (haute-sensibilité), phosphate, oxygène (pour calibration de la sonde), azote et phosphore organique dissous, ATP (adénosine tri-phosphate), examen du pico et du nanoplancton, chlorophylle (<1 µm et >1 µm), carbone, azote et phosphore particulaires.
- un profil de pénétration de la lumière (aux stations ayant lieu de jour)
- mesures de production primaire en "in-situ" simulé
- mesures de poids sec, matière organique, azote et phosphore zooplanctoniques, prélèvements pour identifications à partir de traits de filet WP-2 (0-500 m) et 35 µm (0-200 m).

(2) La station en dérive de 8 jours (23/9 au 1/10) a débuté à 3°N sur 165°E et a consisté en un suivi de la bouée de la chaîne à thermistances. Ces dernières étaient placées tous les 10 m entre 24 et 114 m, sur une ligne de 250 m de long. Les mesures ont été faites toutes les 2 mn à l'exception d'une interruption de 45 mn environ, au milieu de la série, nécessitée par le remplacement des piles. Chaque jour, les opérations suivantes ont été faites :

- météo, toutes les 3h
- sonde 0-1000 m et profil de courants de 0 à 600 m toutes les 4h
- prélèvements à la rosette de bouteilles de 5l à 5.00, 12.00 et 17.00 (heure locale) pour les mesures de nitrate et nitrite (haute sensibilité), phosphate, carbone, azote, phosphore particulaires, ATP, chlorophylle "a", prélèvements pour comptages au microscope en épifluorescence de cyanobactéries, et nanoplancton.
- mise à l'eau de deux lignes de production primaire, une fois

par jour de 7.00 à 17.00 avec mesures d'incorporation de ^{14}C , ^{15}N , et variations des concentrations de chlorophylle "a". La première ligne supportait des flacons remplis à bord du bateau et la seconde, des bouteilles transparentes dont la fermeture était déclenchée du bord.

- un profil d'atténuation de la lumière
- un profil de zooplancton (35-200 et $> 200 \mu\text{m}$) et des prélèvements pour l'étude de la répartition des particules en classes de tailles, avec deux bouteilles de 30l, associées.
- des prélèvements de zooplancton le matin et la nuit dans les couches 0-500, 0-200, 0-100 et 0-40 m pour les fractions de tailles 200-200 μm et 35-200 μm . Mesures de poids sec, poids sec sans cendre, composition élémentaire, respiration, excrétion (NH_4 , PO_4 , azote et phosphore totaux).

(3) Le retour de 3°N à Nouméa (2 au 8/10) a comporté :

- Tous les degrés de latitude, des tirs de X-BT et des prélèvements de chlorophylle de surface.
- Des stations analogues à celles de la radiale préliminaire à 9°, 10° et 11°S pour vérification de la permanence des nitrates en surface, phénomène observé à l'aller.

II - Equipe scientifique

10 scientifiques de l'ORSTOM-Nouméa embarquaient :

- océanographie physique :
 - Patricia BERHIER, stagiaire
 - Jean-Yves PANCHE, électronicien
 - Marie-Hélène RADENAC, chercheur
- chimie :
 - Sylvain BONNET, technicien
 - Philippe GERAD, technicien
- production primaire - matériel particulaire :
 - Jean BLANCHOT, chercheur
 - Aubert LE BOUTEILLER, chercheur
 - Henri WALICO, technicien
- production secondaire :
 - William DE BROUWER, technicien
 - Robert LE BORGNE, chercheur, Chef de Mission

IV - Premiers résultats

Rédigé un mois après le retour de campagne, ce rapport ne présente qu'une partie des résultats qui ont pu être obtenus rapidement. C'est le cas des données de la radiale, mais les observations réalisées lors de la station en dérive nécessitent un dépouillement beaucoup plus long, notamment en ce qui concerne les mesures de production, de sorte que cette partie de la campagne pourra apparaître sous-représentée dans le chapitre ci-dessous.

(1) Résultats de la radiale

1.1. Hydrologie-courantologie. Il est intéressant de comparer ces résultats à ceux de la campagne SURTROPAC 08 qui s'est déroulée en juillet 1987, dont voici en préambule un résumé succinct (T. Delcroix, communication personnelle) :

- vents de sud ouest de forte intensité (25-30 noeuds) relevés de 9S à 4N (ils ont fortement diminué au retour : 10 à 15 noeuds, mais leur direction est restée la même),
- pas d'eau ayant une température supérieure à 29°C en surface,
- profondeur faible du sommet de la thermocline ; isotherme 28°C à 60 m au voisinage de l'équateur,
- présence d'eaux peu salées ($34.1 < S < 34.5$) sur 60 m au nord de 9S,
- transports vers l'est importants de 6S à 5N sur 240 m (courant atteignant 120 cm/s en surface),
- noyau, peu marqué, du sous-courant équatorial à 150 m, et sa vitesse atteint 40 cm/s,
- la vitesse des branches nord et sud du sous-courant, centrées à 3N et 3S (de 200 à 400 m) est importante (30 cm/s),
- la vitesse du courant équatorial intermédiaire atteint 30 cm/s entre 300 et 400 m.

A PROPPAC 01, les observations ont été les suivantes :

(1) Vents (Fig. 2)

Pendant toute la campagne, ils ont été faibles, voire très faibles. On note la présence d'une zone de calmes de 8S à 1S et la persistance des vents d'ouest et de sud-ouest au delà de 1S.

(2) Température (Fig. 3)

La profondeur du sommet de la thermocline (60 m) n'a guère évolué depuis le mois de juillet. Des eaux plus chaudes ($T > 29^\circ\text{C}$) sont apparues au nord de 5S.

(3) Salinité (Fig. 4)

La situation est assez semblable à celle de juillet. Les eaux peu salées ($S < 34.5$) sont toujours présentes sur 60 m au nord de 6S. Une différence importante réside dans l'existence d'eaux très peu salées ($33.7 < S < 34.0$) au-delà de 2S. Il s'agit sans doute (eaux du nord de la Nouvelle-Guinée ?) d'une conséquence des forts transports persistants vers l'est (cf paragraphe suivant).

(4) Courants (Fig. 5 et 6)

En surface, le transport est moins important que pendant le mois de juillet mais il reste dirigé vers l'est au nord de 5S (le courant atteint 50 à 60 cm/s). Par contre, au sud, une branche du courant sud équatorial apparaît ($U \simeq 40$ cm/s).

Les branches nord et sud du sous-courant équatorial restent centrées à 3N et 3S, mais la vitesse a faibli depuis le mois de juillet. Le noyau, et ceci est un résultat remarquable, est extrêmement bien marqué et atteint la position la plus haute observée jusqu'à présent (90 m). Sa vitesse est importante : 70 cm/s.

La structure du courant équatorial intermédiaire reste similaire à celle du mois de juillet. Signalons enfin, que la composante nord atteint 30 cm/s au sud de 5S.

1.2 Sels nutritifs (Fig. 7)

Seule la distribution des nitrates le long de la radiale est représentée car elle fait apparaître deux résultats remarquables :

- des concentrations en nitrates, supérieures à $0,5 \mu\text{mole. l}^{-1}$, sont observés en surface à 10°S , lors de la radiale préliminaire. Ceci est observé pour la première fois depuis que l'on dose les sels nutritifs au cours des radiales SURTROPAC (janvier 1985) et n'est jamais apparu dans les résultats publiés par ROTHSCHI, JARRIGE et HISARD (1972) le long de 170°E . Notons toutefois que les nitrates ont toujours une distribution plus superficielle vers 10°S lors des radiales de janvier, comparées aux zones situées plus au sud ou plus au nord. Mais leur apparition en surface revêt un caractère transitoire, si l'on se base sur le fait qu'on ne l'observait plus deux semaines plus tard.

- les teneurs en nitrate sont les plus élevées de la série des radiales SURTROPAC, à 200 m de profondeur au nord de l'équateur : $30 \mu\text{moles. l}^{-1}$ contre 10 à 20 $\mu\text{moles. l}^{-1}$ précédemment. Elles sont accompagnées de valeurs très faibles d'oxygène dissous (non représenté sur nos figures) et témoignant de la présence à 6°N d'eaux arctiques intermédiaires.

1.3 Chlorophylle "a" (Fig. 8)

La figure (8) présente la distribution de la chlorophylle le long de la radiale. La chlorophylle par unité de surface est calculée sur 80 mètres de profondeur, ce qui correspond à l'épaisseur de la couche euphotique (moyenne de 14 profils de pénétration de la lumière dans l'eau). La chlorophylle de surface et celle contenue dans la couche euphotique présentent des distributions assez semblables avec un pic à 11°S (à rapprocher des nitrates en surface à 10°S), des valeurs assez élevées à l'équateur (non décelées toutefois par la chlorophylle de surface) et des teneurs plus faibles au nord de 3°N. Les valeurs obtenues en septembre (PROPPAC) sont plus faibles que celles mesurées en juillet (SURTROPAC 8) avec la même méthode. Corrélativement, le sommet de la nitracline, étroitement associé au maximum de chlorophylle, apparaît plus profondément en septembre qu'en juillet, sauf à la latitude des îles Salomon. En valeur intégrée de 0 à 200 m, la chlorophylle s'élève à 26 mg.m^{-2} (moyenne des 60 profils de SURTROPAC 8 et PROPPAC 1 ; CV = 16 %).

Afin de montrer l'importance du picophytoplancton, et par analogie au travail réalisé dans l'Atlantique équatorial (HERBLAND et al., Deep-Sea Research, 1985, 32 : 819-836), la distribution par taille de la chlorophylle a été déterminée. En moyenne, 85 % de la chlorophylle appartient à des cellules inférieures à 3 μm . Comme dans l'Atlantique, la présence de nitrate dans l'eau détermine la distribution de la chlorophylle au-dessus et au-dessous de 1 μm (Fig. 9) :

- couche homogène ($\text{NO}_3 < 0,1 \mu\text{mole}$) : $\text{Chla} < 1 \mu\text{m} = 65 \%$ de la Chla totale en moyenne.
- sommet de la nitracline : autant de $\text{Chla} < 1 \mu\text{m}$ que de $\text{Chla} > 1 \mu\text{m}$.
- au-dessous du maximum de Chla : $\text{Chla} < 1 \mu\text{m} \approx 35 \%$ de la Chla totale.

Sur l'ensemble de la couche euphotique, la chlorophylle $< 1 \mu\text{m}$ représente 35 à 50 % de la chlorophylle totale.

1.4 Zooplancton (Fig. 10)

Les données de poids sec par mètre carré du zooplancton 200-2000 μm (filet WP-2) sont systématiquement plus faibles à PROPPAC 01 qu'à SURTROPAC 08 (juillet 87), quelle que soit la latitude. Pour l'ensemble des stations de la radiale, la moyenne est de 639 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$ ($S = 178$) contre 1193 en juillet 87, valeur d'ailleurs "normale" pour cette période (1209 en juillet 84, 1202 en juillet 85 et 1133 en juillet 86). Cette observation est à rapprocher de celle concernant la chlorophylle "a" au paragraphe précédent, moins abondante à PROPPAC qu'à SURTROPAC.

Si l'on excepte deux valeurs élevées à 8 et 9°S, il n'apparaît pas de zone d'enrichissement marquée à PROPPAC 01.

(2) Résultats de la station en dérive

2.1 Trajectoire de la bouée dérivante et vent (Fig. 11)

La bouée dérivante de la chaîne à thermistances a été lâchée à 3N, 165E. Elle s'est dirigée vers l'est pendant 4 jours jusqu'au point 2.9N, 166E. La trajectoire s'est ensuite infléchie vers le nord-ouest jusqu'à la position de relevage (3.3N, 166.4E).

Les vents, d'abord sud-ouest puis ouest le premier jour, disparaissent jusqu'au 5ème jour. Lors de la migration de la bouée vers le nord-est, ils s'établissent sud-est puis nord-est.

2.2 Température et salinité de la sonde (Fig. 12 et 13)

Conformément à ce qui avait été mesuré pendant la radiale, des eaux chaudes ($T > 29^\circ\text{C}$) et peu salées ($S < 34$) sont présentes en surface pendant la station.

2.3 Courants (Fig. 14 et 15)

Une variabilité assez importante est mise en évidence.

Le courant ouest de surface, mesuré lors de la radiale est absent en début de station. Il réapparaît au bout de 5 jours. Ceci peut être une réponse rapide à l'établissement des vents d'est.

La vitesse de la branche nord du sous-courant est généralement de l'ordre de 20 cm/s. Elle peut cependant atteindre 40 cm/s pendant quelques heures.

En surface, une composante nord non négligeable est mesurée après 5 jours de station.

2.4 Chaîne à thermistances (Fig. 16 et 17)

Nous ne présentons ici que la deuxième partie de l'enregistrement effectué après la remise à l'eau de la bouée. Il s'agit donc des 4 derniers jours.

L'extrême variabilité de la température est frappante (jusqu'à 2,2°C en 1 heure à une même profondeur).

Une onde de période proche de 12 heures est présente.

2.5 Sels nutritifs

Si l'on définit la profondeur de la nitracline comme étant la profondeur à partir de laquelle la concentration de nitrate est supérieure à $0.5 \mu\text{mole.l}^{-1}$, on observe qu'elle varie de 50 à 70 m au cours de la station, indépendamment du temps.

2.6 Distribution verticale du picoplancton et du nanoplancton autotrophes (Fig. 18 a et b), de l'ATP et de la chlorophylle "a".

Deux profils caractéristiques sont présentés sur la fig. 18. On notera que :

- le nombre de cyanobactéries varie d'un facteur 10 entre la couche homogène et le maximum.
- le nombre des microalgues varie dans un même rapport.
- le pic des cyanobactéries est souvent au-dessus de celui des microalgues.
- le nombre des cyanobactéries chute brutalement à partir de 80-90 m.
- la zone d'abondance des microalgues est vaste ; elle descend en-dessous de la zone euphotique (0-80 m), elle débute vers 60-70 m et s'étend jusqu'à 100-120 m.
- le pic d'abondance des cyanobactéries et des microalgues est proche de la nitracline.
- le maximum d'ATP coïncide avec le maximum de cyanobactéries.
- le pic de chlorophylle "a" est étalé, il débute avec le pic des cyanobactéries et se prolonge ensuite avec les microalgues.

- il n'y a pas homogénéité qualitative des cyanobactéries et des microalgues le long de la colonne d'eau (Tableau 1), on notera les différences de taille, de forme et de fluorescence des deux taxons suivant la profondeur.

2.7 Production primaire

Au cours du point fixe, 8 profils de production primaire *in situ* sur 9 niveaux permettent de tirer les premières conclusions suivantes :

Les profils ont tous la même allure, avec un maximum assez peu marqué toujours situé vers 60 m, c'est-à-dire au niveau ou juste au-dessus du maximum de chlorophylle. Le maximum de productivité est toujours situé à 20 m et s'élève à $9 \text{ mg C.mg Chla}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ en moyenne. La production totale moyenne s'élève à $70 \text{ mg C.m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ (soit environ $0,7 \text{ g.m}^{-2} \cdot \text{jour}^{-1}$), dont 85 à 90 % dans la couche euphotique et 50 % dans la couche 0-50 m.

2.8 Zooplancton

Le maximum de zooplancton des classes de taille 35-200 μm et 200-2000 μm est situé à 60 ou 70 m selon les stations, donc au niveau de la nitracline. En tenant compte de l'effet des migrations verticales, 20 % de la biomasse des 500 premiers mètres se trouve située dans la couche 0-40 m, 56 % dans celle 0-100 m, 76 % dans les 200 premiers mètres. La distribution verticale des organismes zooplanctoniques est donc superficielle dans cette zone à couche homogène relativement peu épaisse (40 à 50 m, fig. 12).

L'un des buts du point fixe est de déterminer l'amplitude des variations nyctémérales. Aucune variation significative n'apparaît dans les 200 ou 500 premiers mètres, entre le jour et la nuit. En revanche, les biomasses diurnes sont égales à 0.44 et 0.65 fois celles de nuit, respectivement pour les couches 0-40 et 0-100 m.

Le microplancton (35-200 μm) représente la moitié de la biomasse du mésozooplancton (200-2000 μm), cette dernière fraction comprenant 38 % d'animaux de la classe de taille 200-500 μm , soit d'avantage que lors d'un point fixe réalisé dans des eaux oligotrophes (PROLIGO). Enfin, le zooplancton est caractérisé au point fixe, par des teneurs élevées en matière organique (pourcentage de poids sec sans cendre supérieur à 80 %), ce qui le distingue de celui des eaux oligotrophes du sud de la radiale et qui s'explique par l'abondance des crustacés (Copépodes, es-

sentiellement) dans les échantillons. Il faudrait donc considérer, non pas le poids sec, mais le poids sec sans cendre, lorsqu'on s'intéresse aux variations d'abondance le long de la radiale 20°S, 6°N.

V - Conclusions

La campagne PROPPAC 01 venait à point, intercalée entre les deux SURTROPAC de juillet 1987 et janvier 1988. Il était, en effet, important de suivre l'évolution dans le temps de l'anomalie de type El Niño, qui affecte l'importance du transport d'ouest en est, tant en surface qu'en profondeur. On notera également la permanence, sur une zone aussi vaste, des vents de secteur ouest.

Cette situation anormale est-elle à l'origine des très faibles valeurs observées pour les biomasses phyto- et zooplanctoniques, en relation, semble-t-il, avec un approfondissement du sommet de la nitracline ? La série complète des radiales effectuées de juillet 1987 à janvier 1989 devrait permettre de répondre à cette question.

Les données du point fixe sont encore en cours de dépouillement et les résultats présentés ici ne donnent donc qu'une information incomplète. Le profil vertical de productivité, établi à la station de 8 jours est typique du milieu océanique. Mais pour la première fois dans le Pacifique ouest, on pourra le comparer aux observations en épifluorescence sur des populations phytoplanctoniques, qui font apparaître des variations importantes dans l'aspect même des cellules plus que dans leur abondance. La répartition des classes de tailles est la même, pour ce qui est de la chlorophylle "a" que dans l'Atlantique équatorial, de sorte que l'on peut penser que les écosystèmes équatoriaux des deux océans ont un mode de fonctionnement voisin ou identique.

La production primaire des 50 premiers mètres est égale à la moitié de la production totale de la couche euphotique, lors de la station en dérive. Au contraire, la chlorophylle des 50 premiers mètres ne représente que 20 % du total, mais elle est bien décrite par la valeur de surface, de sorte que cette dernière est un bon indice de la production primaire (mesurée au ^{14}C) de la colonne d'eau.

Enfin, dans les conditions hydrologiques de la station en dérive, la couche 0-200 m ne subit pas de variations nyctémérales significatives de sa biomasse zooplanctonique, tant en ce qui concerne le micro- que le mésozooplancton. Ces résultats seront associés prochainement aux données de taux de production et de composition élémentaire afin de situer le zooplancton dans l'écosystème considéré.

Tableau 1 : Observations qualitatives des cyanobactéries et des micro-algues au microscope à épifluorescence à la station 55

Profondeur m	Caractéristiques	Cyanobactéries	Microalgues
5	taille forme Fluorescence (t) (f) (F)	grandes (2x1µm) bâtonnets +	grandes (> 4µm) petites (< 4µm) variable +
20	" (t) (f) (F)	idem	idem
40	" (t) (f) (F)	idem	idem
50	" (t) (f) (F)	grandes bâtonnets ++ petites sphères	petites 2 chloroplastes ++
60	" (t) (f) (F)	idem +++	idem
70	" (t) (f) (F)	nombreuses idem +++ petites	grandes variable petites +++
80	" (t) (f) (F)	grandes (≥ 1µm) sphères ++++	idem +++ et ++
90	" (t) (f) (F)	idem + colonie de petites ++++	idem +++ et +
100	" (t) (f) (F)	idem	petites variable +
120	" (t) (f) (F)	idem	petites en forme de poussière +
200	Présence de bactéries et d'algues en trop petit nombre pour être comptées		

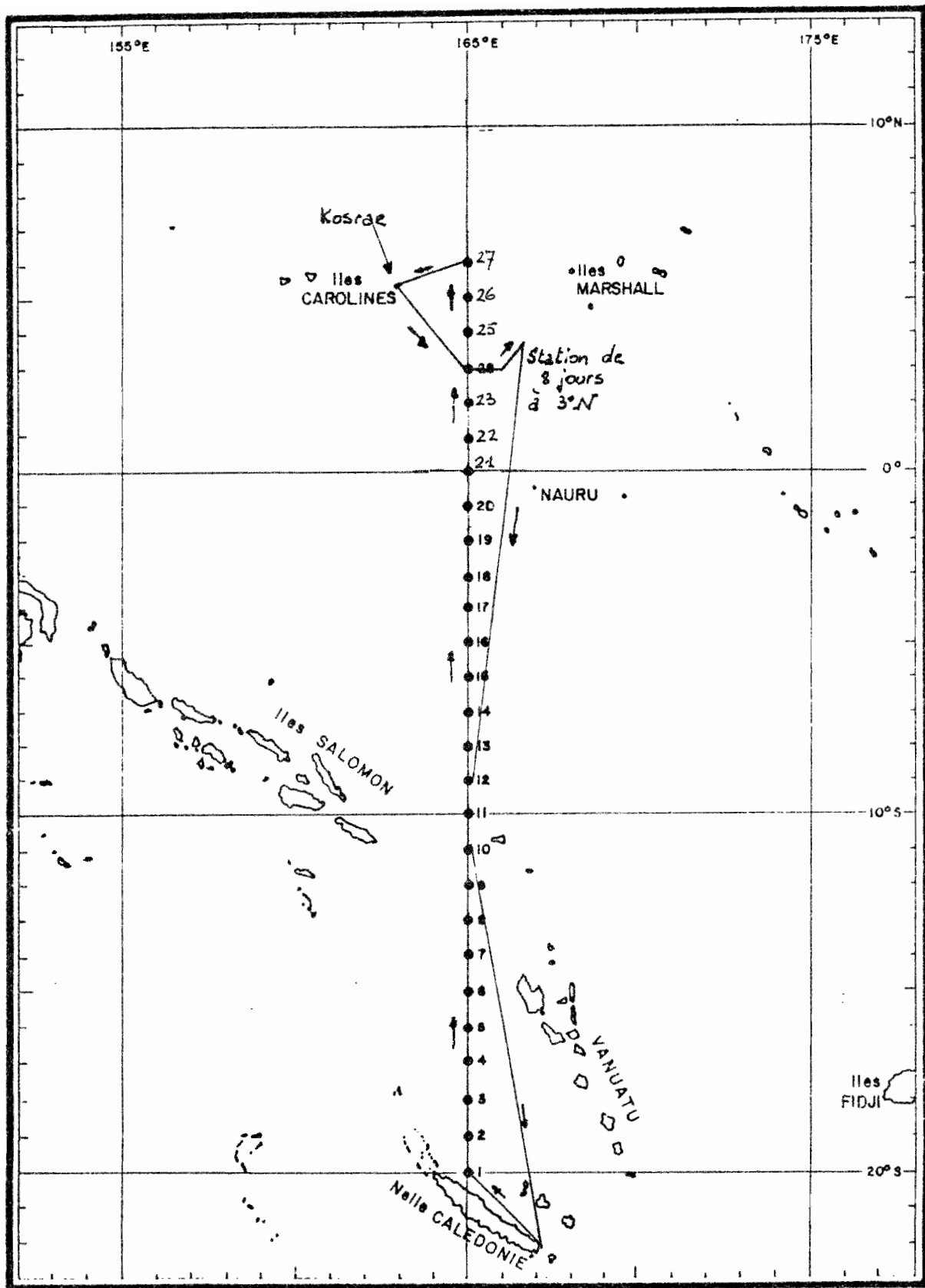
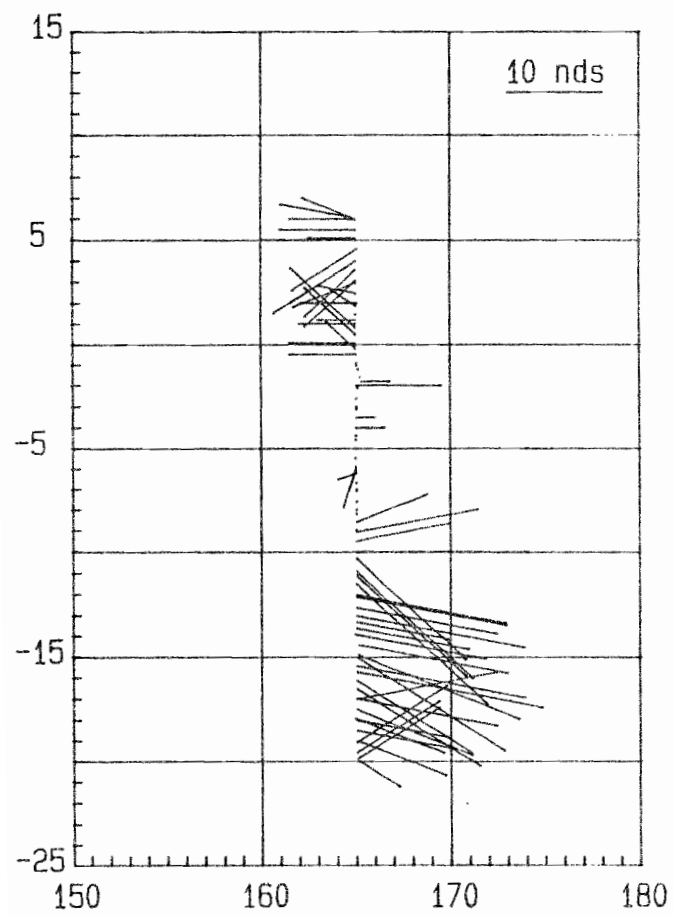
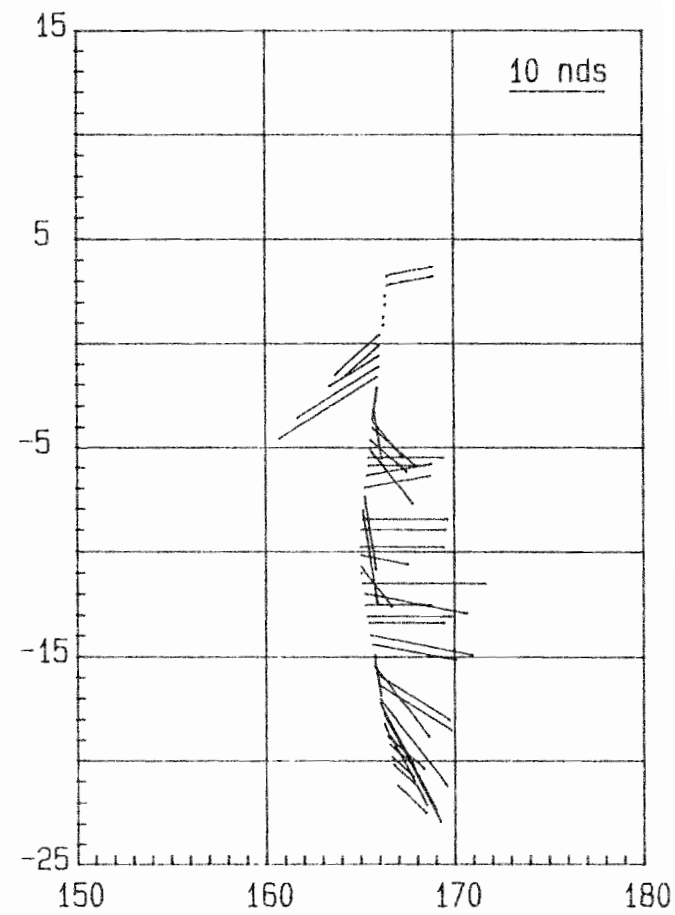


Fig. 1. Plan de la campagne PROPPAC 1 (9/9-8/10/87)

Fig. 2. PROPPAC 1 - VENT



ALLER - 9 au 20 sept 87



RETOUR - 1 au 7 oct 87

Fig. 3. TEMPERATURE - 165E - sept 87

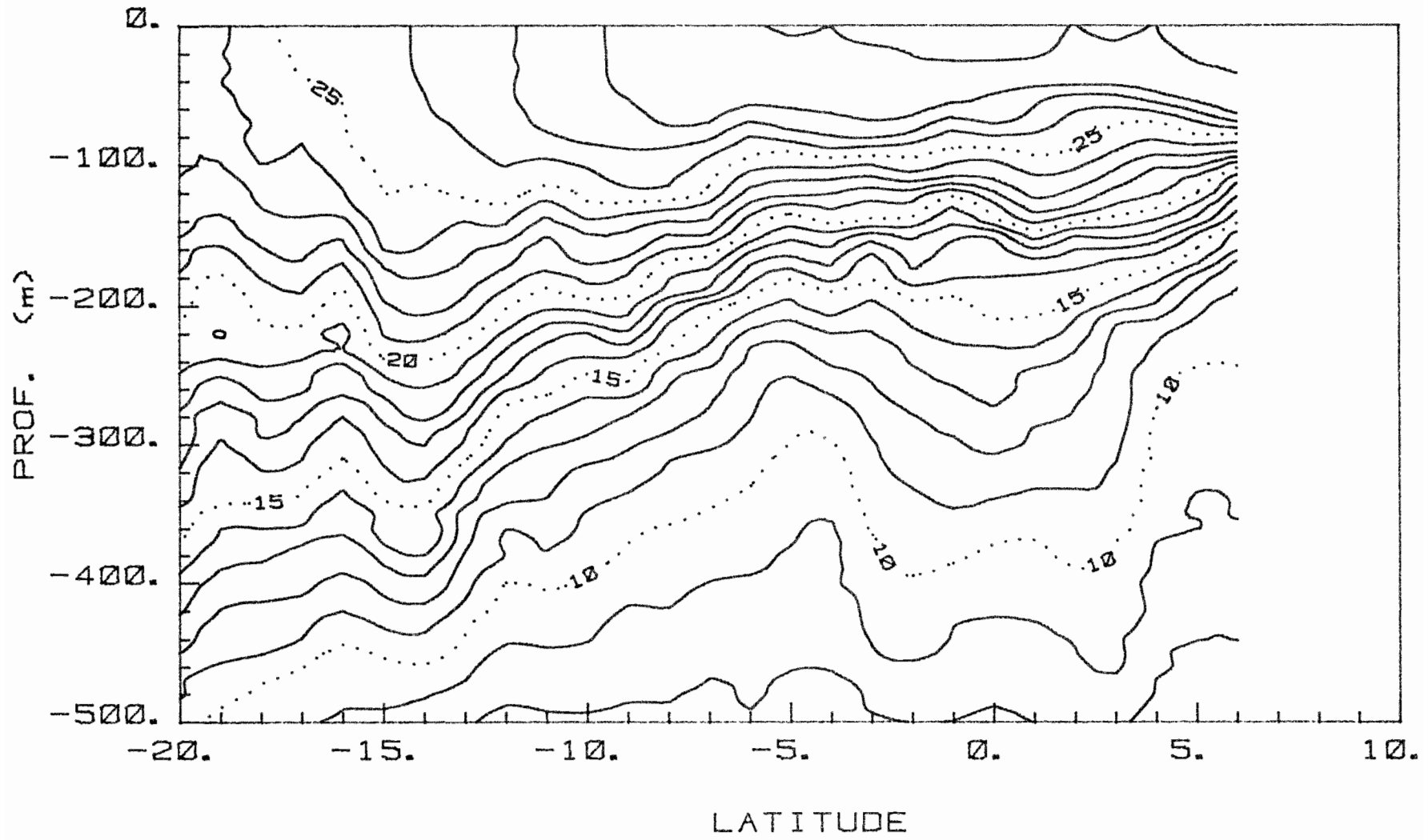


Fig. 4. SALINITE - 165E - sept 87

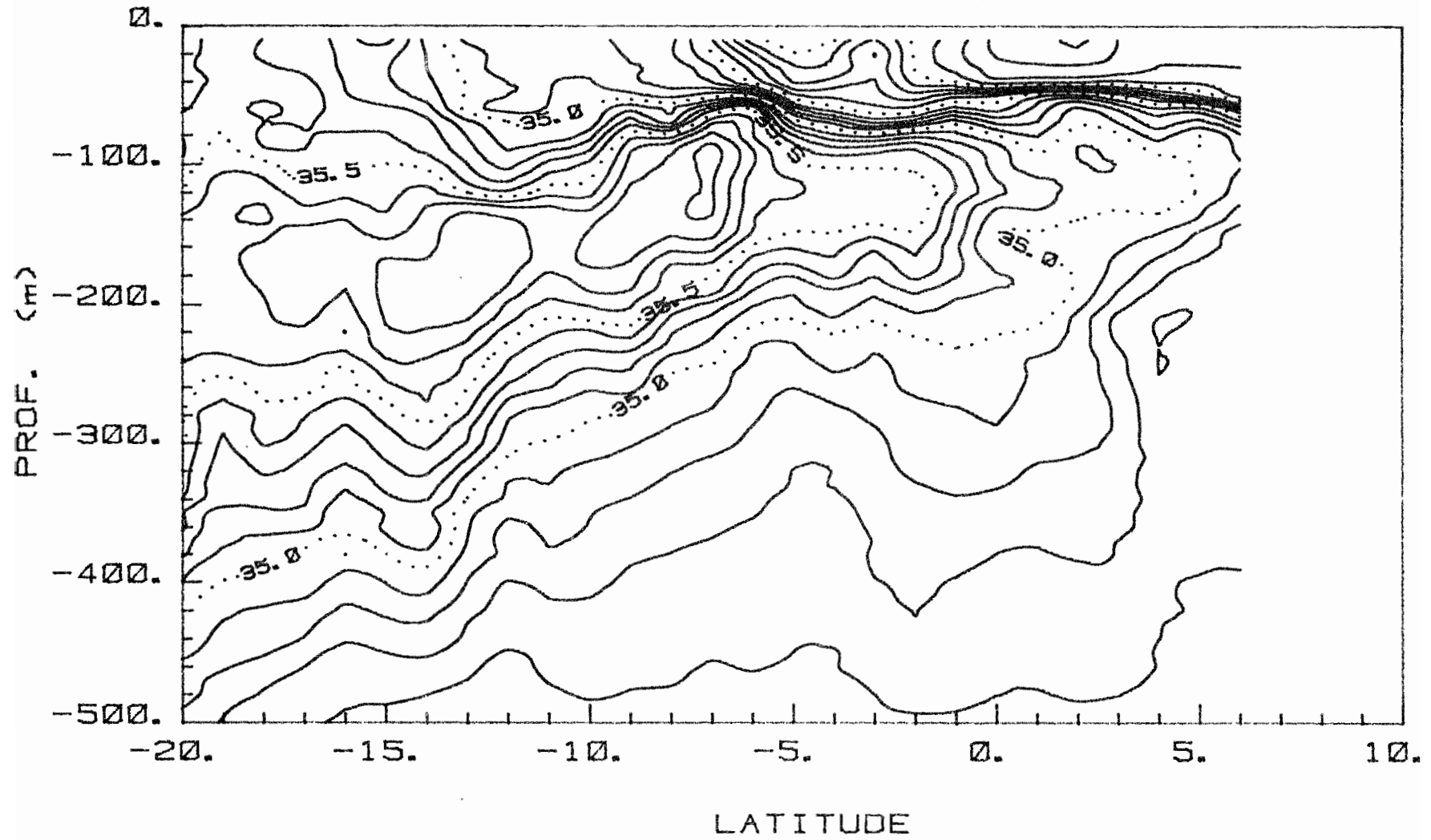


Fig. 5. COMPOSANTE ZONALE - 165E. sept 87

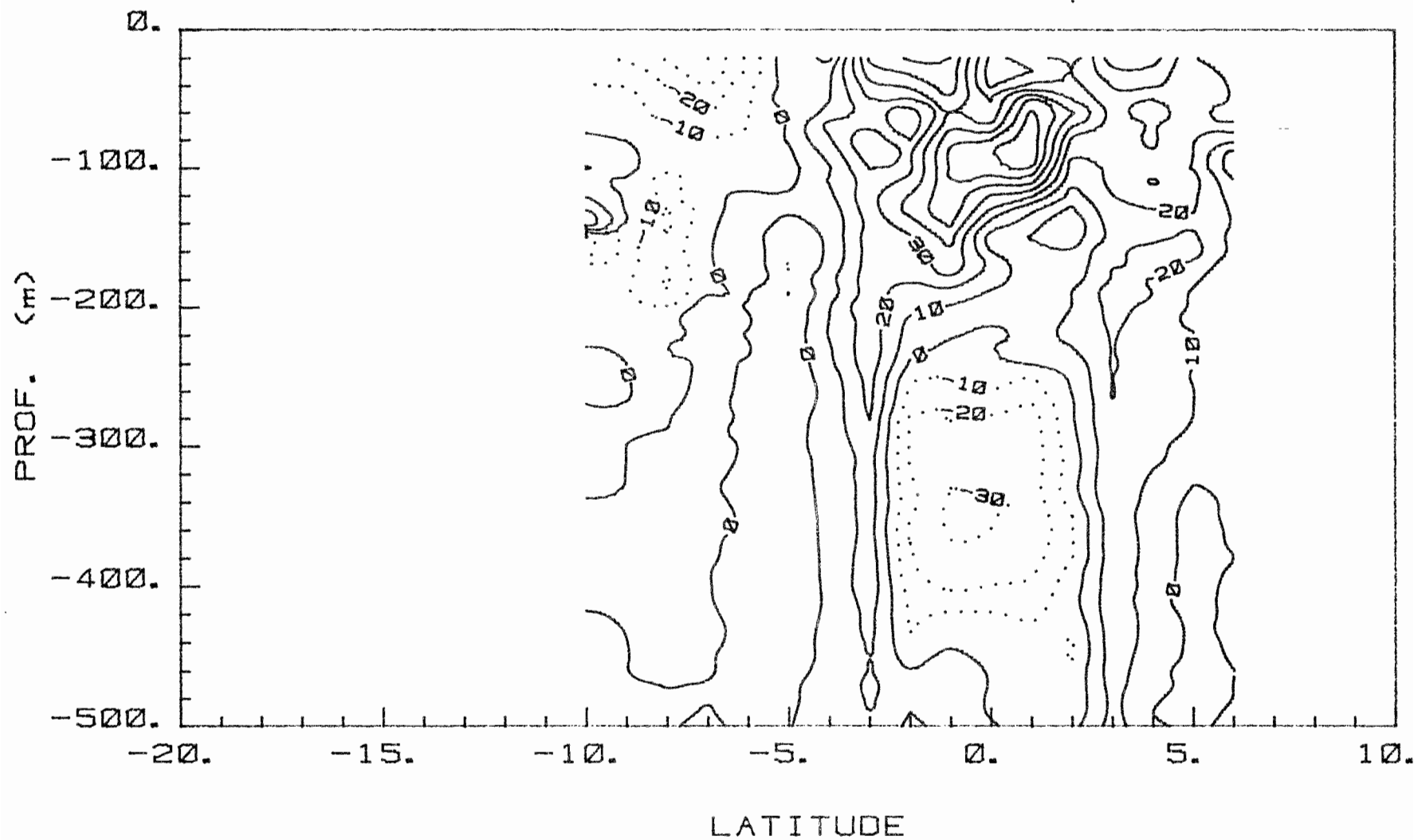
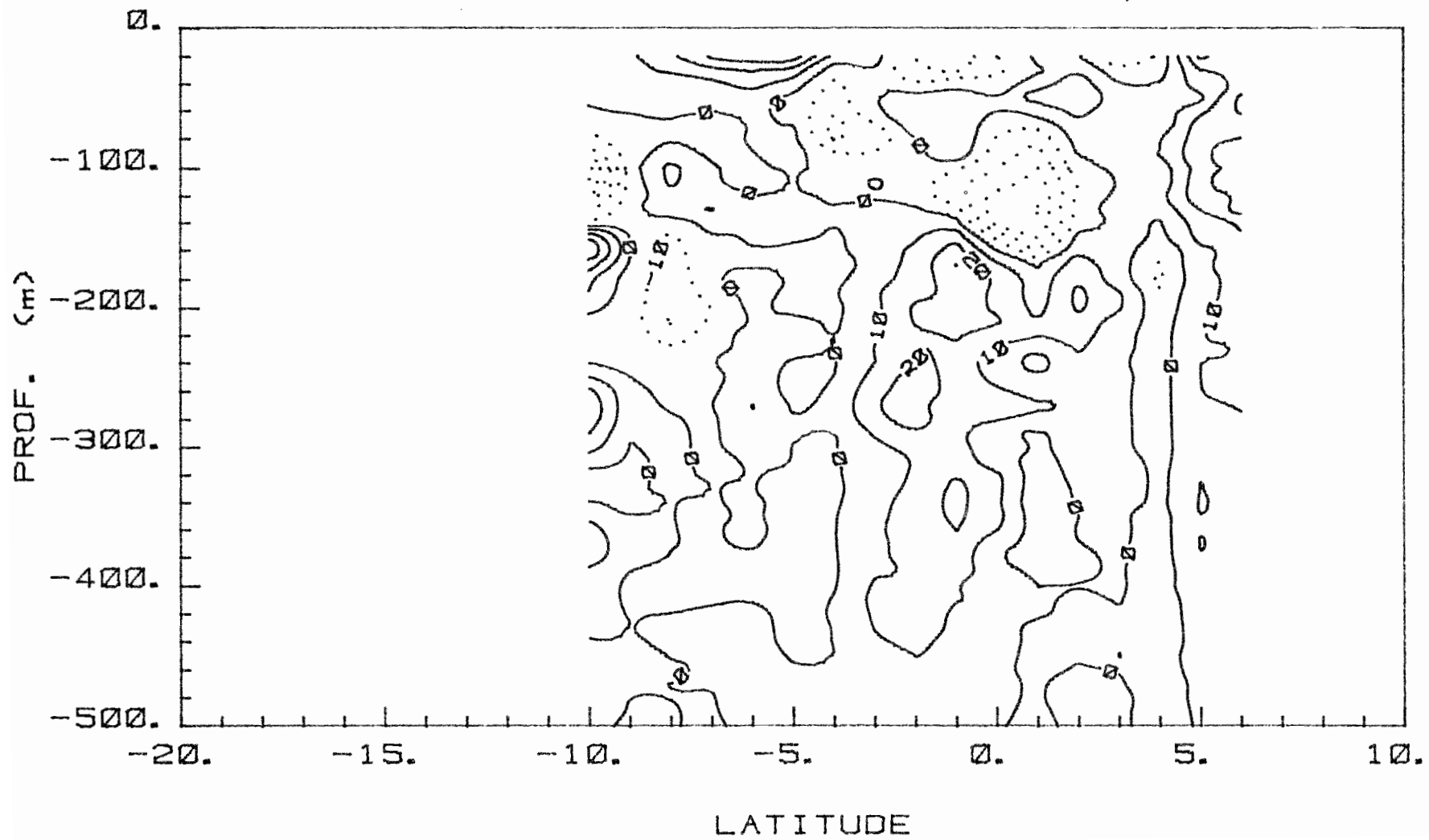


Fig. 6. COMPOSANTE MERIDIENNE - 165E. sept 87



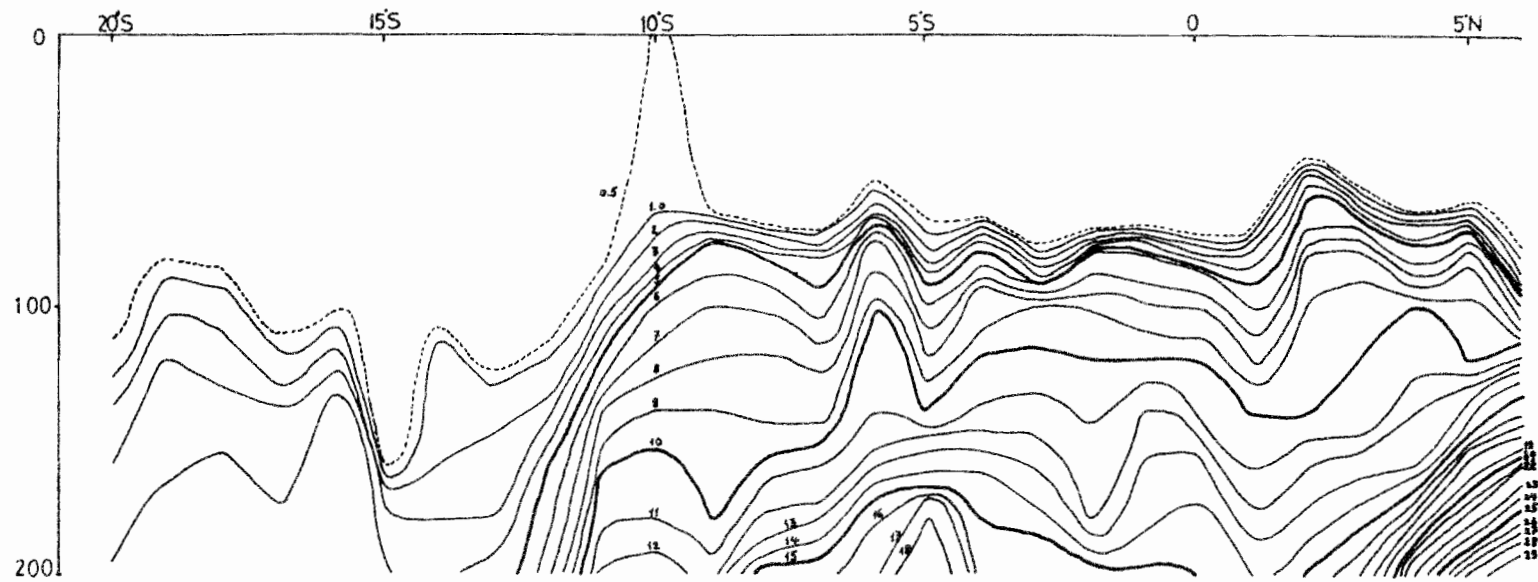


Fig. 7. Coupe de nitrate + nitrite ($\mu\text{mole. l}^{-1}$) le long de 165°E lors de PROPPAC Ø1

Fig. 8. Distribution de la chlorophylle a mesurée en surface et dans la couche euphotique à 165°E lors des missions SURTROPAC 8 et PROPPAC 1

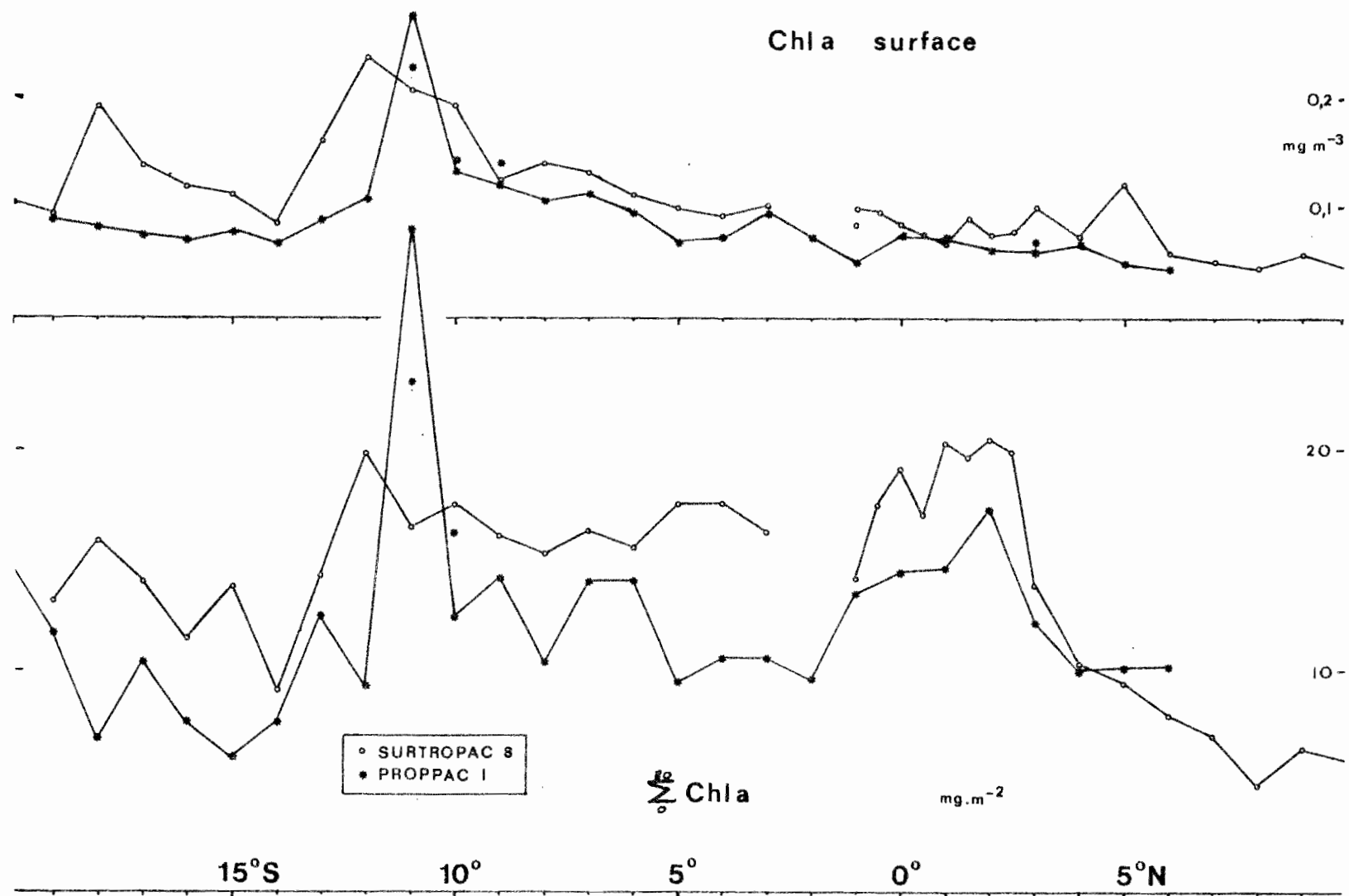


Fig. 9. Distribution de la chlorophylle a au-dessus et au-dessous de $1 \mu\text{m}$. 18 profils entre 0 et 200 m à 165°E .
Ronds clairs : $\text{NO}_3^- < 0,1 \mu\text{mole}$
Ronds sombres : $\text{NO}_3^- > 0,1 \mu\text{mole}$

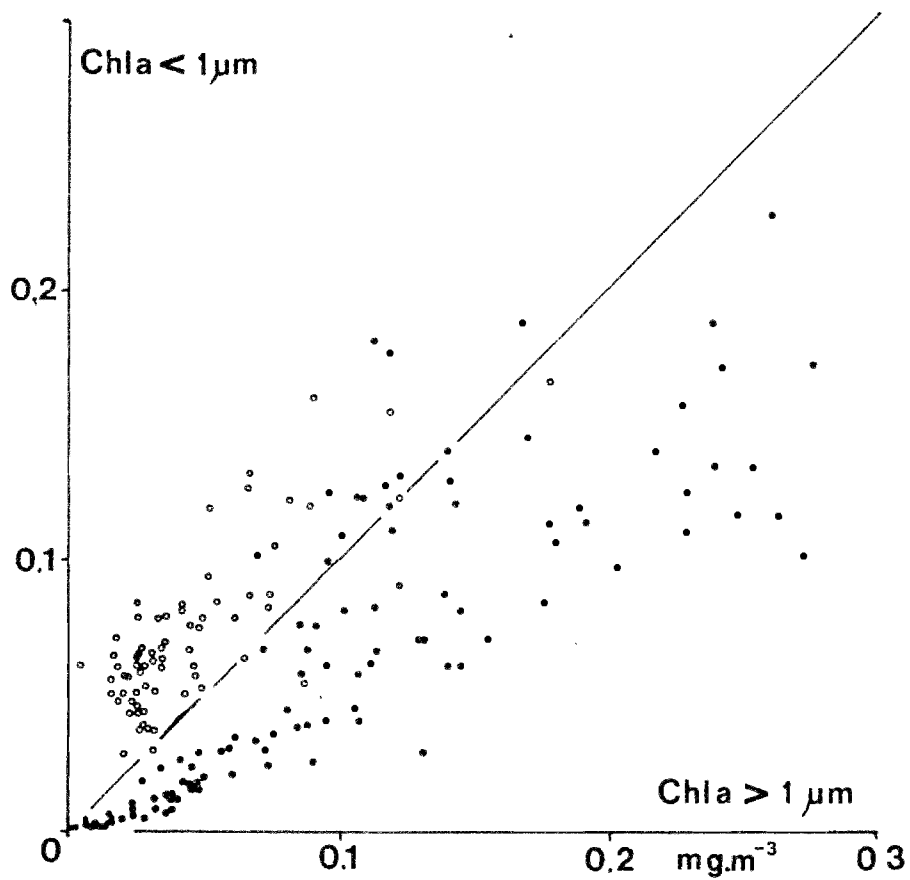
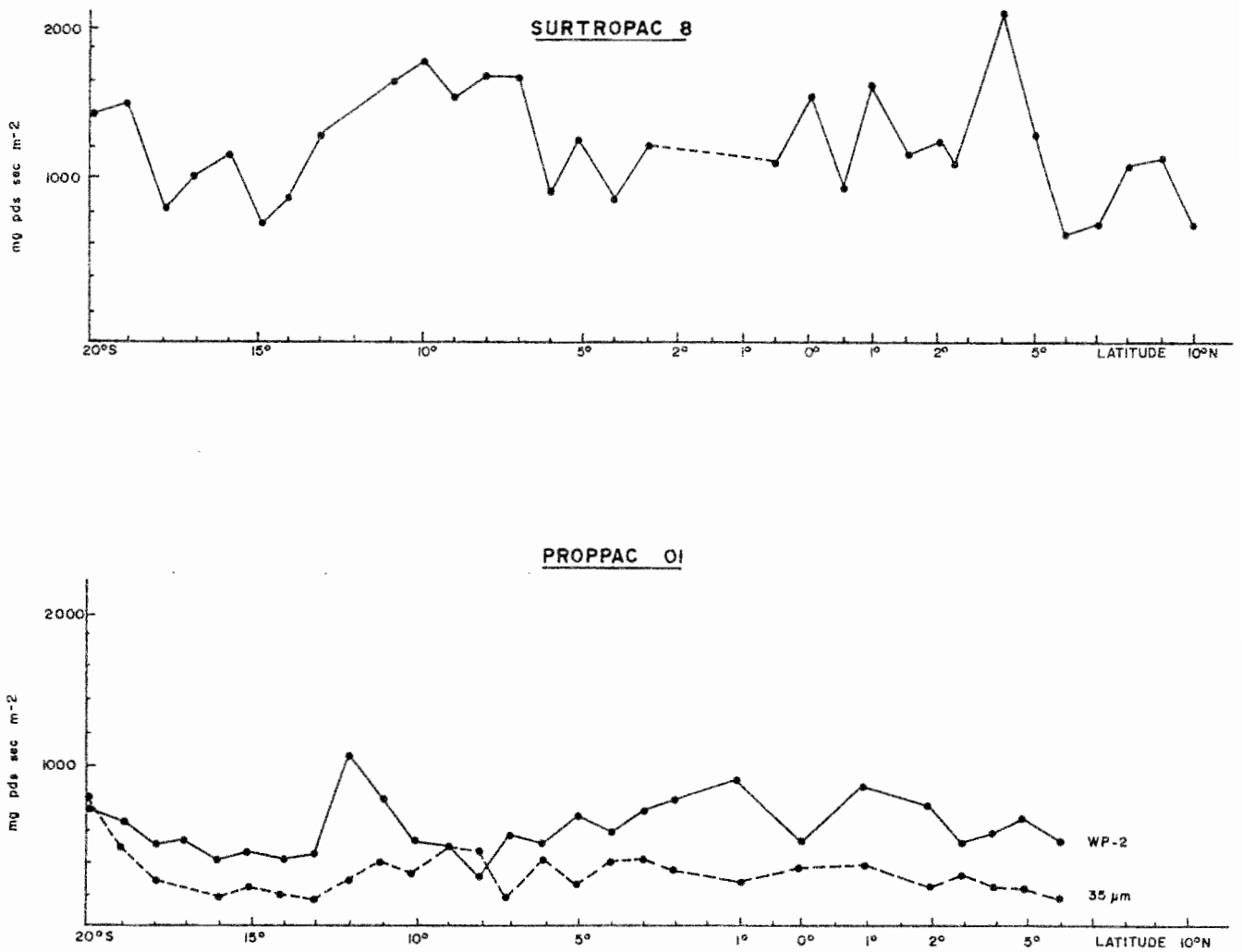


Fig. 10. Poids secs (mg.m^{-2}) de zooplancton 35-200 μm (35μ) et $> 200 \mu\text{m}$ (WP-2) dans la couche 0-500 m, observés en juillet 1987 (SURTROPAC 08) et septembre 1987 (PROPPAC 01)



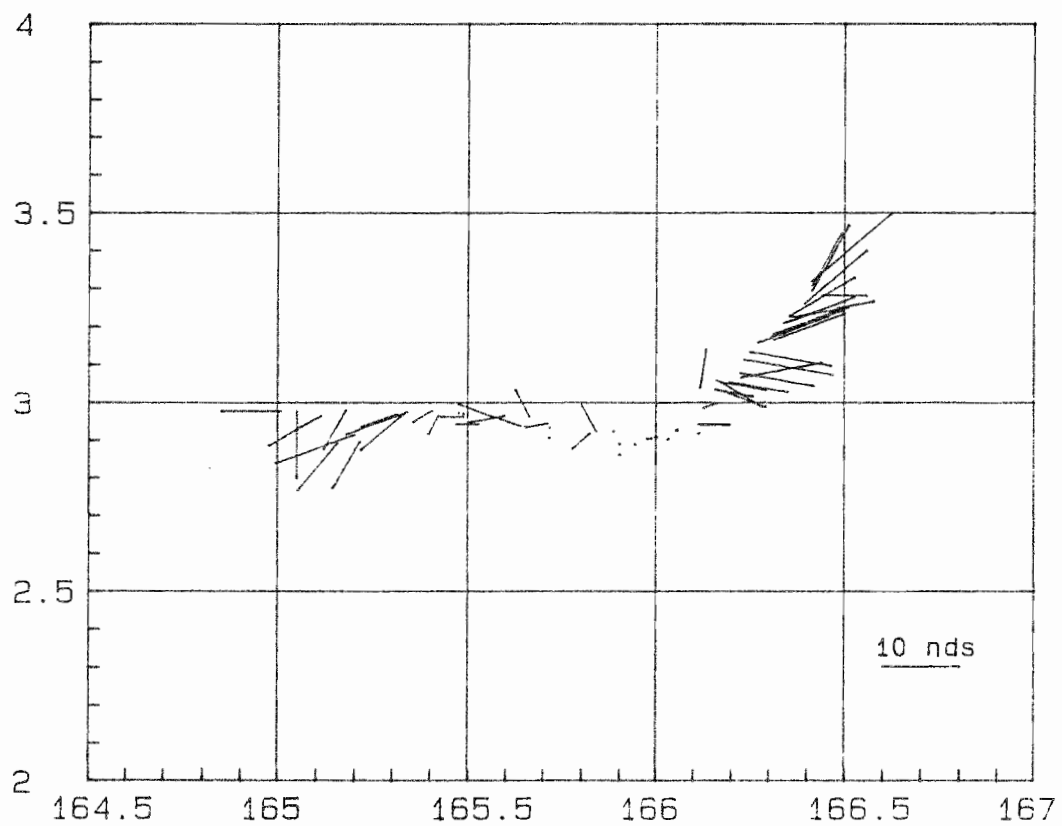


Fig. 11. PROPPAC 1 - VENT

Station en derive - 23 sept au 1 oct 87

Fig. 12. TEMPERATURE SONDE - station en derive - sept 87

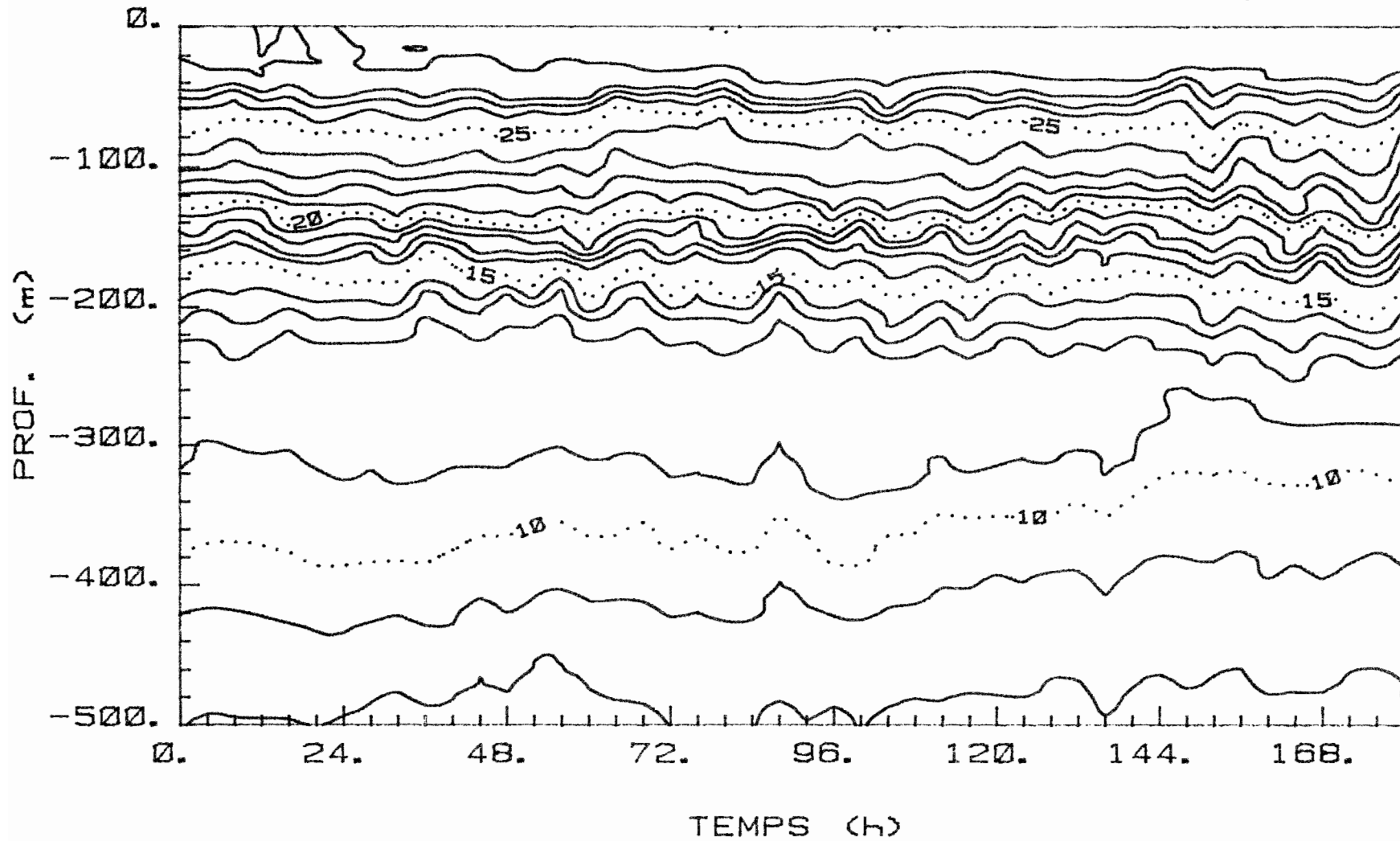


Fig. 13. SALINITE SONDE - station en derivate - sept 87

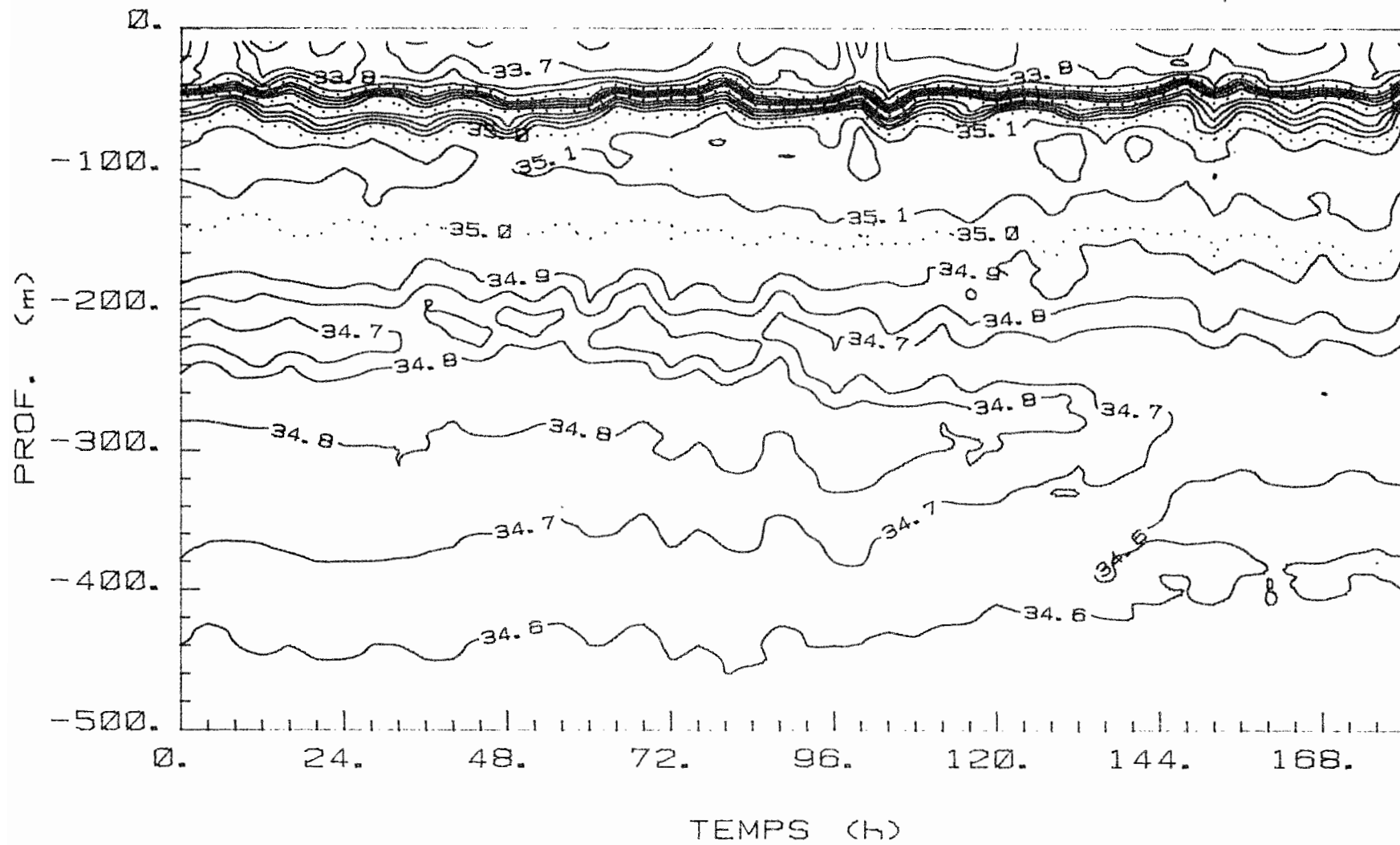


Fig. 14. COMPOSANTE ZONALE - station en derive - sept 87

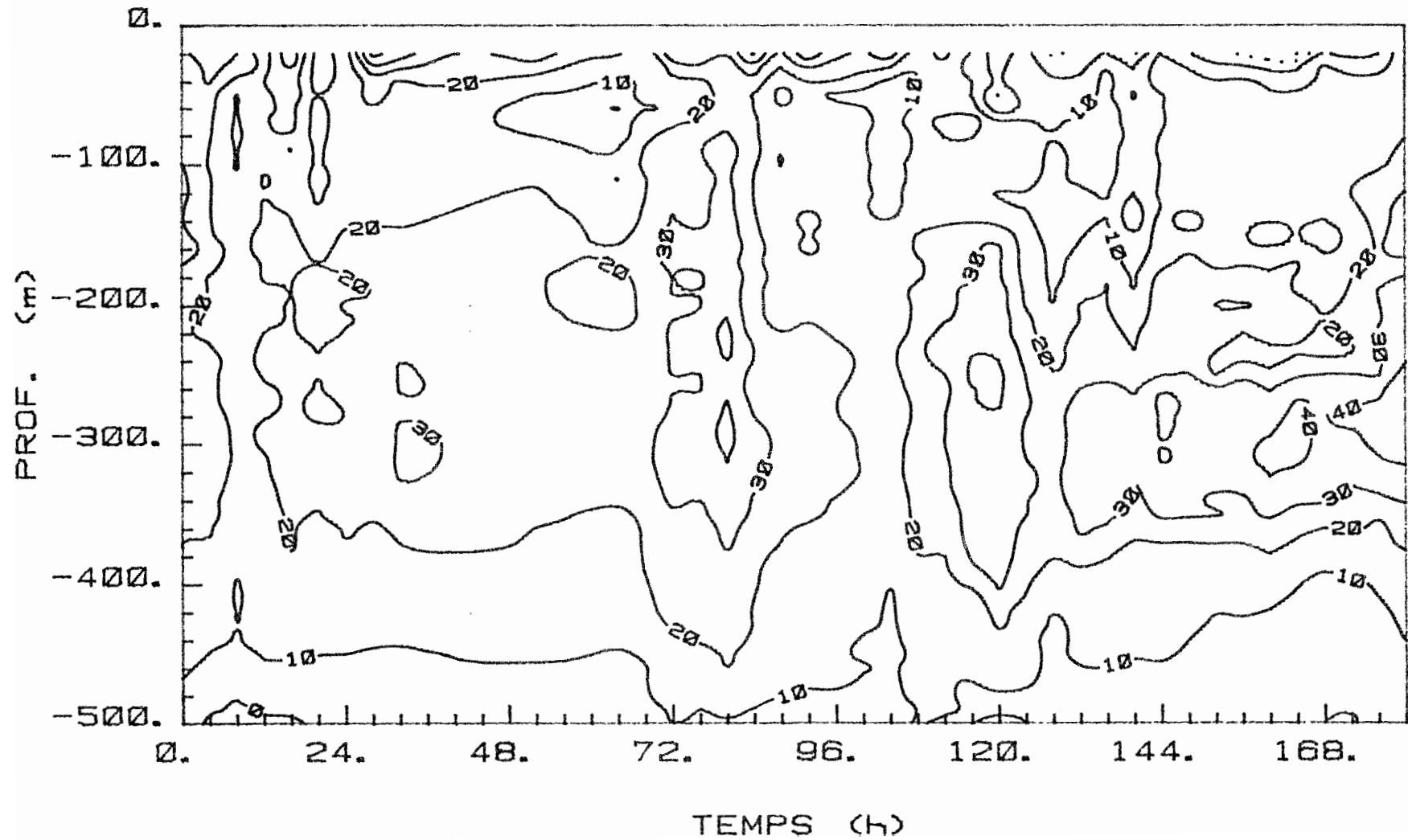


Fig. 15. COMPOSANTE MERIDIENNE - station en derive - sept 87

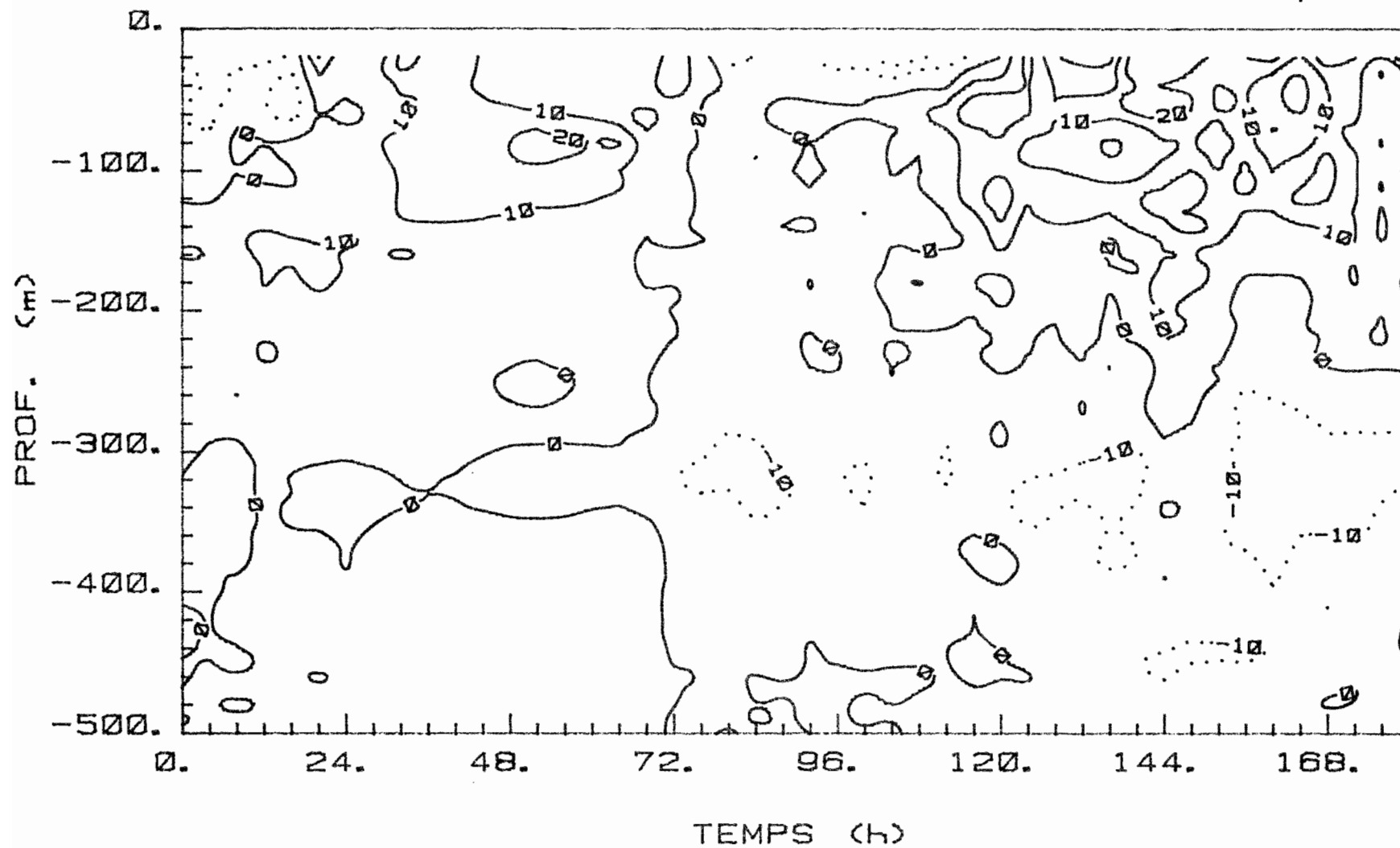


Fig. 16. THERMISTANCES du 29/9/87 9.50TU au 1/10/87 11.40TU

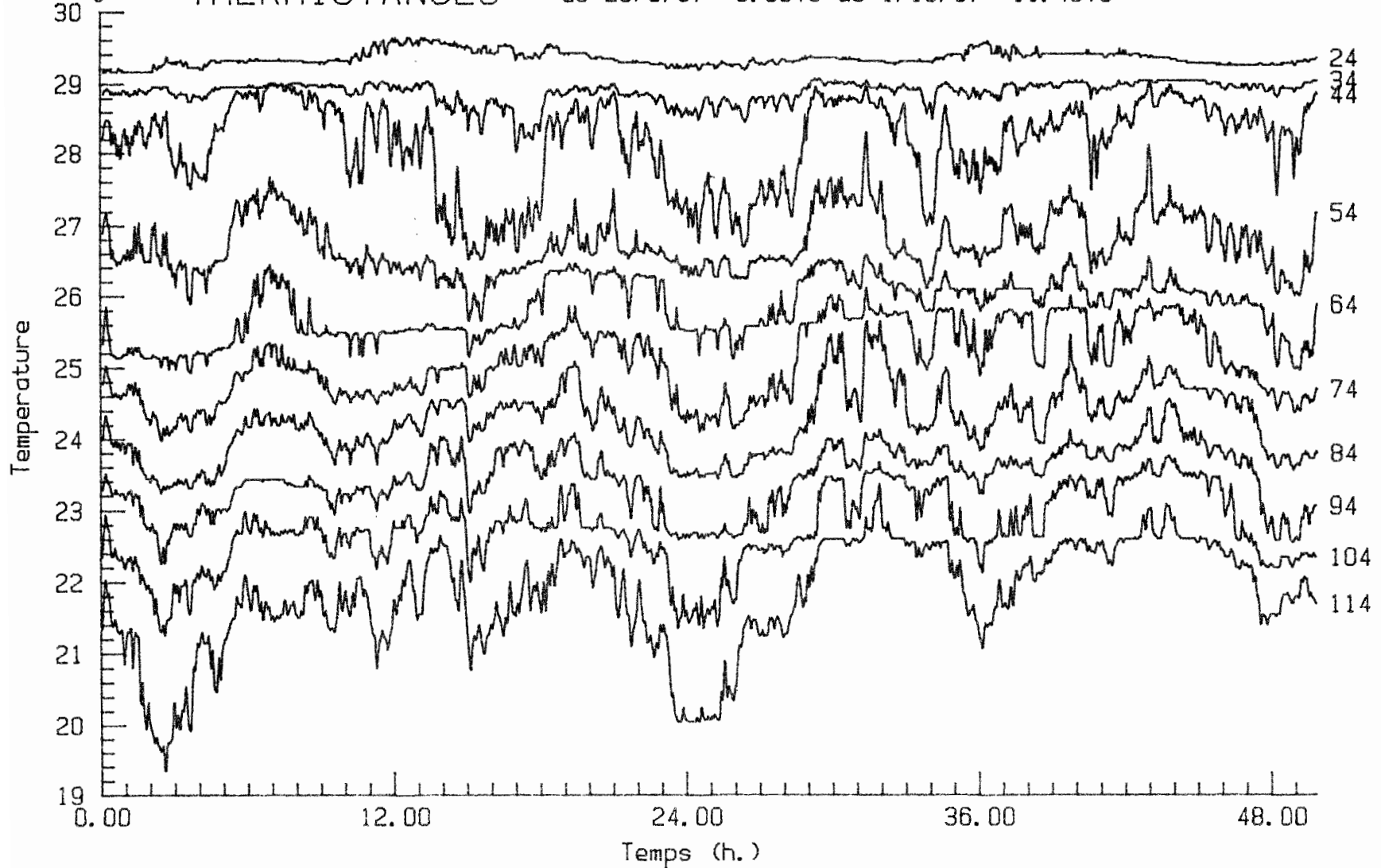
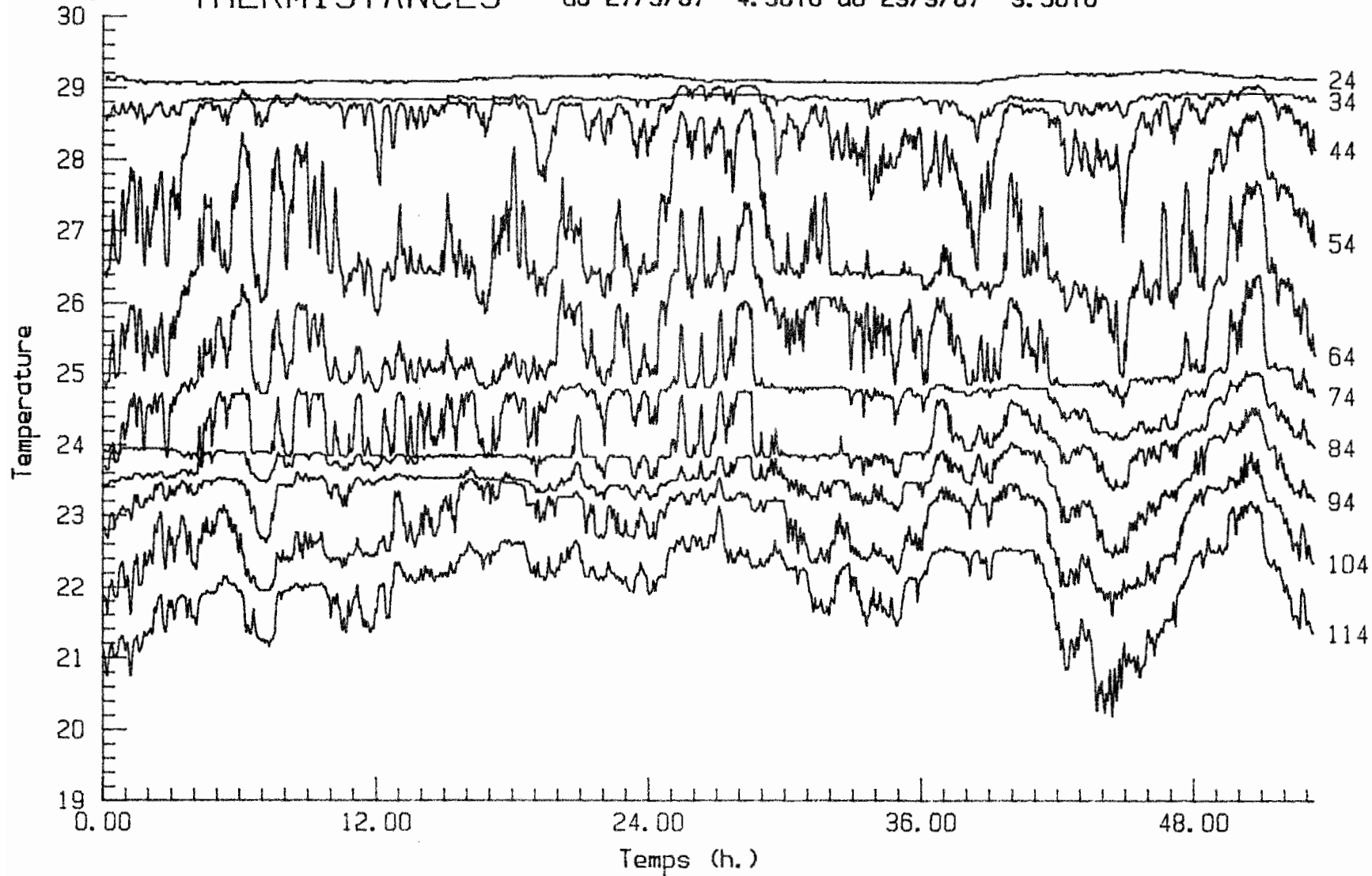


Fig. 17. THERMISTANCES du 27/9/87 4.30TU au 29/9/87 9.50TU



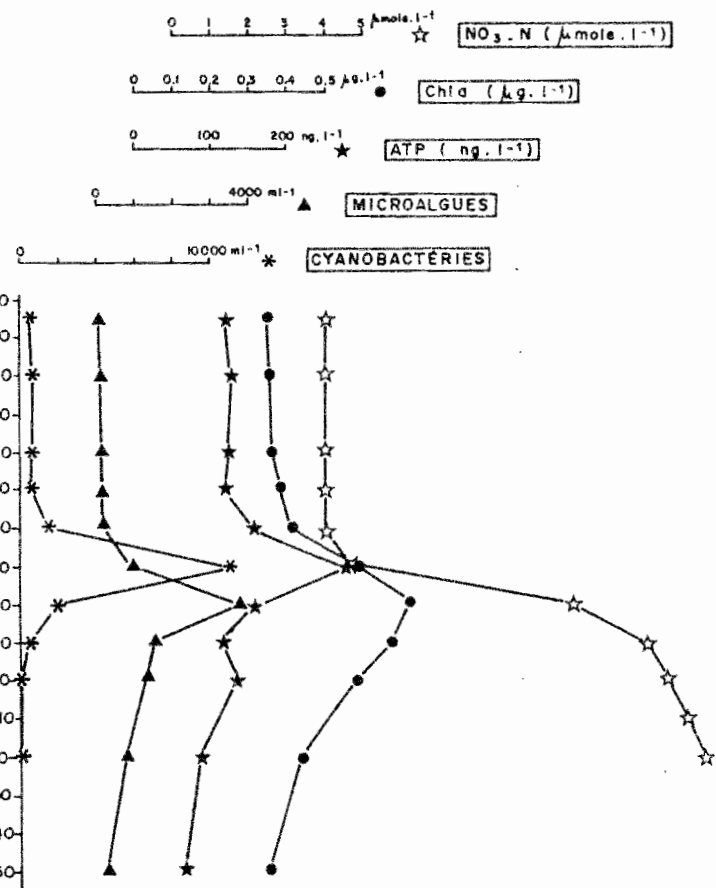


Fig. 18a. STATION 55. PROFILS VERTICAUX DES CONCENTRATIONS DE CYANOBACTÉRIES, DE MICROALGUES, D'ATP, DE CHLOROPHYLLE "A", ET DE NITRATE

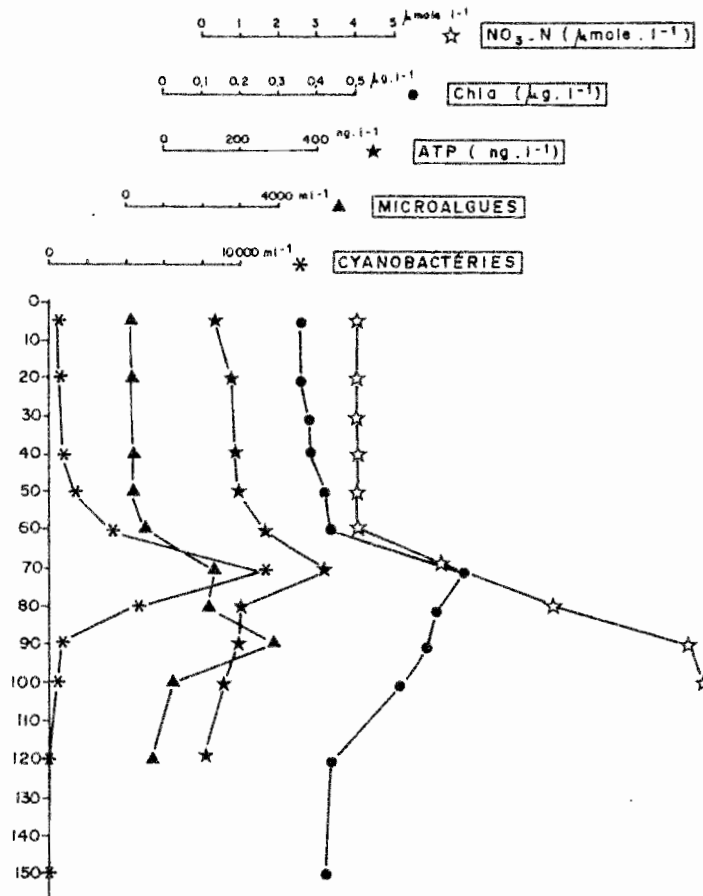


Fig. 18b. STATION 67. PROFILS VERTICAUX DES CONCENTRATIONS DE CYANOBACTÉRIES, DE MICROALGUES, D'ATP, DE CHLOROPHYLLE "A", ET DE NITRATE

RAPPORT DE LA CAMPAGNE PROPPAC 02 DU N.O. CORIOLIS

(27 mars - 27 avril 1988)

J. BLANCHOT, R. LE BORGNE, A. LE BOUTEILLER & M.H. RADENAC
Centre ORSTOM de Nouméa B.P. A5 Nouméa cédex -
Nouvelle-Calédonie

I OBJECTIF DES CAMPAGNES PROPPAC.

La campagne PROPPAC 02 du N.O. CORIOLIS est la seconde des quatre campagnes prévues dans le programme PROPPAC, dont le thème général est l'étude des relations liant l'hydrologie et la biomasse/production planctonique dans le Pacifique occidental. PROPPAC comprend deux types de campagnes à la mer : une participation aux deux campagnes annuelles SURTROPAC (du Groupe SURTROPAC de l'ORSTOM/Nouméa) avec des stations de courte durée, d'une part et la réalisation de campagnes PROPPAC, d'autre part, consistant en une radiale et un point fixe. La position de ce dernier est choisie à la fin de la radiale, chaque point fixe représentant une situation "type" et permettant les mesures de paramètres qui ne peuvent être faites au cours des stations de 3 h des radiales. Les thèmes suivants sont considérés aux points fixes :

- étude de la variabilité à court-terme des paramètres hydrologiques et biologiques, du type ondes internes ou migrations nycthémerales du zooplancton.
- description de la distribution verticale de ces mêmes paramètres et étude de leurs relations. Un cas particulier de cette rubrique est celui de la relation existant entre les valeurs de surface et les valeurs intégrées.
- mesures ou évaluations des productions primaire et zooplanctonique, nécessitant l'immobilisation du navire et l'acquisition de nombreux paramètres. L'objectif est de déterminer les rapport P/B et de déterminer leurs facteurs de variation, en particulier d'origine hydrologique (advection, mélanges).
- description de la structure dimensionnelle des réseaux trophiques pélagiques, qui conditionne à la fois la valeur des taux de production et le rendement écologique du système.

II PLAN DE LA CAMPAGNE PROPPAC 02 (fig. 1)

La campagne a comporté deux phases :

(1) La radiale préliminaire (28 mars - 8 avril) a permis de décrire la situation océanographique le long du méridien 165° E, de 20° S à 6° N, à une période intermédiaire, entre celles de janvier 1988 (SURTROPAC 9) et juillet 1988 (SURTROPAC 10). Il était intéressant en particulier de savoir si la situation de type "El Niño" qui avait été observée en septembre 87 (PROPPAC 01) de fin "El Niño" en janvier 1988 (SURTROPAC 09) persistait. En outre, les résultats de la radiale ont permis de choisir la position de la station de 8 jours, représentative d'une structure hydrologique caractéristique. A PROPPAC 2, il s'est agi de l'upwelling équatorial. Les stations de la radiale comprenaient les opérations suivantes :

- météo complète
- un profil de courant 0-600 m avec un profileur TAREQ et deux courantomètres Aanderaa
- un trait de sonde CTDO 0-1000 m
- des prélèvements à la rosette à 12 niveaux, avec mesures de : nitrate et nitrite (haute-sensibilité), phosphate, oxygène (pour calibration de la sonde), azote et phosphore organique dissous, ATP (adénosine tri-phosphate), examens du pico et du nanoplankton, (cyanobactéries et microalgues) chlorophylle a, b et c (de différentes classes de taille), carbone, azote et phosphore particulaires.
- un profil de pénétration de la lumière (aux stations ayant lieu de jour)
- mesures de production primaire en "in-situ" simulé
- mesures de poids sec, matière organique, azote et phosphore zooplanctoniques, prélèvements pour identifications, à partir de traits de filet WP-2 (0-500 m) et 35 µm (0-200 m).

(2) La station en dérive de 8 jours (13/4 au 20/4) a débuté à l'équateur sur 168° E et a consisté en un suivi de la bouée de la chaîne à thermistances. Ces dernières étaient placées le long d'une ligne de 250 m de long, entre 60 m de profondeur et 160 m, donc à la fois dans le courant sud-équatorial et le sous-courant de Cromwell. Les mesures étaient enregistrées toutes les 2 mn et n'ont porté que sur les trois premiers jours. En effet, la deuxième série de mesures, consécutive au changement des piles, a été perdue le dernier jour, en même temps que l'ensemble du mouillage. Néanmoins, ce dernier a pu être suivi pendant près de 8 jours et n'a dérivé que de 50 milles (fig. 14) dans une zone de forts courants. Ceci a été rendu possible grâce à une "drogue" parachute, immergée dans le courant superficiel et qui permettait d'équilibrer l'influence du sous-courant sur la partie inférieure du mouillage.

Chaque jour, les opérations suivantes étaient faites à proximité immédiate du mouillage de la chaîne à thermistances (à l'exception de la station de 5.30 h qui avait lieu à 3 milles environ) :

- météo, toutes les 3 h.
- sonde 0-1000 m et profil de courants de 0 à 600 m toutes les 6 h.

- prélèvements à la rosette de bouteilles de 5 L. à 5.30 h, 12.00 h et 18.30 h (heure locale) pour les mesures de nitrate et nitrite (haute sensibilité), phosphate, carbone, azote, phosphore particulaire*, ATP**, chlorophylle a, prélèvements* pour comptages de cyanobactéries et microalgues en microscopie en épifluorescence.

(* matin, seulement ** matin et soir).

- mise à l'eau de deux lignes de production primaire, une fois par jour de 7.00 h à 17.00 h avec mesures d'incorporation de ^{14}C , ^{15}N , variations des concentrations en pigments chlorophylliens et effectifs de microalgues et cyanobactéries, et production d'oxygène. La première ligne supportait des flacons remplis à bord du bateau et la seconde, de bouteilles transparentes dont la fermeture était déclenchée du bord par messenger.

- un profil vertical de zooplacton (35-200 μm et $> 200 \mu\text{m}$) et des prélèvements pour l'étude de la répartition des particules en classes de tailles (C, N, P particulières, ATP, comptages microscopiques, pigments chlorophylliens a, b et c pour les fractions <1 , <3 et $<35 \mu\text{m}$) avec deux bouteilles Niskin de 30 L, associées. Ces prélèvements ont eu lieu le matin de 7.00 h à 8.30 h et le soir (une fois).

- un profil d'atténuation de la lumière, en milieu de journée, avec enregistrement quotidien de la lumière incidente.

- des prélèvements de zooplancton le matin et la nuit dans les couches 0-500, 0-200 m et 0-100 m pour les fractions de tailles 200-2000 μm , et 35-200 μm . Mesures de poids sec, poids sec sans cendre, composition élémentaire, respiration, excrétion (NH_4 , PO_4 , azote et phosphore totaux).

Le tableau 1 récapitule le nombre d'analyses et de mesures effectuées sur la radiale et au point fixe.

III EQUIPE SCIENTIFIQUE

10 scientifiques de l'ORSTOM embarquaient :

- océanographie physique :

Michel NEDELEC, électronicien
Jean-Yves PANCHE, électronicien
Marie-Hélène RADENAC, chercheur

- chimie :

Sylvain BONNET, technicien
Philippe GERARD, technicien

- production primaire - matériel particulière :

Jean BLANCHOT, chercheur
Aubert LE BOUTEILLER, chercheur
Henri WALICO, technicien

- production secondaire :

William DE BROUWER, technicien
Robert LE BORGNE, chercheur, Chef de mission.

IV RESULTATS PRELIMINAIRES

Rédigé un mois après le retour de campagne, ce rapport ne présente qu'une partie des résultats qui ont pu être obtenus rapidement. De ce fait, certains peuvent apparaître sous-représentés, ce qui est le cas des mesures de production au point fixe ou des données de la chaîne à thermistances, dont le traitement informatique n'a pu encore être fait en raison du changement de système, en cours au Centre ORSTOM de Nouméa.

(1.) RESULTATS DE LA RADIALE (28 mars-8 avril 1988)

1.1. Paramètres météorologiques (fig. 2, 3 et 4)

Les vents (fig. 2) n'ont jamais excédé 20 noeuds pendant la campagne. De 13°S à 2°S la direction dominante est nord ouest. De part et d'autre de cette zone, les vents soufflaient du nord est. L'absence de vents d'ouest au retour (20 au 27 avril 1988) laisse supposer que le vent de secteur ouest de l'aller n'était qu'épisodique. Les paramètres météorologiques des trajets aller et retour sont présentés sur les figures 3 et 4.

1.2. Températures (fig. 5)

La température de surface est assez élevée (>29° C au nord de 15°S et 30° vers 10°S). Un upwelling bien marqué (jusqu'à 100 m) apparaît au nord de 5S et la température de surface chute à moins de 28° C en surface.

Le sommet de la thermocline atteint 120 m au voisinage de l'équateur (60 m lors de la campagne PROPPAC 01 en octobre 1987). Un gradient important existe vers 150 m à 4°N.

1.3. Salinité (fig. 6)

La salinité est faible (<34.5‰) de 13°S à 5°S. Cette couche atteint une épaisseur de 100 m au sud de 2°S. Au nord de 5°S l'upwelling est très marqué en salinité et de l'eau salée (35.4‰) est amenée en surface au voisinage de l'équateur.

1.4. Courants (fig. 7 et 8)

Depuis la dernière campagne PROPPAC, la branche nord du

courant sud équatorial (CSE) s'est réinstallée. Le transport vers l'ouest est assez fort et on note un courant atteignant 70 cm/s en surface de 5°S à 5°N. Elle est bordée au nord par le contre courant nord équatorial et au sud par le contre courant sud équatorial (CCS) ($U_{max} = 50$ cm/s). Le cœur du sous courant équatorial est situé vers 180 m et est très légèrement décalé vers le nord. Les branches nord et sud du sous courant restent centrées à 3°N et 3°S. Leurs vitesses atteignent respectivement 30 cm/s et 20 cm/s. Le courant équatorial intermédiaire est absent.

Dans la partie sud de la radiale (au sud du CCSE), on retrouve la branche sud du CSE de 14°S à 10°S, et le contre courant sud tropical vers 15°S.

La composante méridienne atteint des valeurs élevées en surface, notamment vers 15°S et 3°S (50 cm/s et -50 cm/s), à l'équateur (40 cm/s) et vers 5°N (60 cm/s).

1.5. Sels nutritifs (fig. 9 et 10)

Les coupes de nitrate (et nitrite) et de phosphate font apparaître le schéma désormais classique de la remontée des isolignes vers 10°S : alors qu'au sud de cette latitude, la teneur en $NO_3 + NO_2$ n'atteint guère que 6 $\mu\text{moles l}^{-1}$ à 160 m, au nord (de 10° S à 6° N), elle dépassera les 11 $\mu\text{moles l}^{-1}$.

Entre 8 et 10°S, on observe le dôme déjà signalé par OUDOT et WAUTHY (1976), qui peut atteindre la surface comme ce fut le cas lors de la radiale de PROPPAC 1 (septembre 1987).

Mais le phénomène majeur est l'existence de l'upwelling équatorial entre 3°S et 5°N (soit sur une distance de plus de 900 km) caractérisé par des concentrations en surface de nitrate et phosphate supérieures à 0.2 et 0.1 $\mu\text{moles l}^{-1}$, respectivement et dépassant 3 $\mu\text{moles l}^{-1}$ de N- NO_3 à 0° et 2° S. Depuis que les sels nutritifs sont dosés lors des radiales SURTROPAC (janvier 85) ou PROPPAC (septembre 87), c'est la première fois que des concentrations dépassent 0.5 μmoles de N- NO_3 , sont observées en surface, contrairement à la période allant de novembre 65 à août 76 (campagnes BORA, CYCLONE, EPONITE, FOC, MINEPO du N.O. CORIOLIS) pendant laquelle elles l'ont été 12 fois sur 15.

1.6. Chlorophylle a (fig. 11)

La distribution de la chlorophylle a le long de la radiale (fig. 11) montre deux zones d'enrichissement : l'une vers 10° S au niveau de la remontée de la thermocline (voir fig. 5), l'autre centrée sur l'équateur. A la richesse en sels nutritifs de l'upwelling équatorial correspond une biomasse phytoplanctonique relativement plus élevée, quoique fort modeste, paradoxalement. Ainsi, la concentration de la chlorophylle de surface n'est que de 0,20 mg. m^{-3} en moyenne (valeur calculée sur 32 mesures dans des eaux riches en nitrate).

Un autre trait caractéristique de cette radiale est constitué par la présence de cyanophycées du genre *Oscillatoria* (alias *Trichodesmium*) rencontrées de manière quasi continue de 17° S à 8° S, soit sur toute l'épaisseur de la couche euphotique, soit dans la cou-

che de surface seulement (trainées visibles sur l'eau à 13° S). Les profils de chlorophylle présentent alors deux pics, l'un en surface et l'autre à la profondeur habituelle au sommet de la nitracline, le premier pouvant égaler ou même largement dépasser le second. Une mer très calme et des eaux chaudes ($T > 28^{\circ} C$) semblent être deux des conditions qui ont favorisé le développement de ces algues.

La distribution par taille de la chlorophylle a été étudiée pour vérifier les résultats précédents et confirmer la relation très forte établie entre structure de taille et présence/absence de nitrate.

Les résultats sont ceux attendus :

- couche homogène épuisée en nitrate ($NO_3 < 0,02$ micromole) ; $Chla < 1 \mu m = 60\%$ de la chlorophylle totale en moyenne. Une exception cependant : les échantillons qui contiennent des *Oscillatoria*, grandes cellules riches en chlorophylle retenues sur le filtre de $1 \mu m$.
- sommet de la nitracline : $Chla < 1 \mu m = Chla > 1 \mu m$
- au dessous du pic de chlorophylle : $Chla < 1 \mu m \approx 35 \%$
- couche de surface riche en nitrate : $Chla < 1 \mu m = 41 \%$ en moyenne.

Le filtre Nucléopore de $1 \mu m$ de porosité semble donc discriminer au mieux les petites cellules phytoplanctoniques très nombreuses dans les eaux épuisées en nitrate de celles, plus grandes, dont la biomasse domine dans la nitracline profonde ou dans les eaux de surface riches en nitrate. Les comptages au microscope en épifluorescence montrent que les cyanobactéries appartiennent presque toutes à la fraction inférieure à $1 \mu m$ tandis que les microalgues eucaryotes sont en majorité retenues sur le filtre de $1 \mu m$ (voir ci-dessous). La comparaison entre structure de taille de la chlorophylle et comptage de cellules phytoplanctoniques permet de suggérer que la biomasse chlorophyllienne des cyanobactéries serait majoritaire dans les eaux oligotrophes épuisées en sels nutritifs alors que la chlorophylle des cellules eucaryotes dominerait dans les eaux riches en nitrate.

Ce résultat est confirmé par les analyses de pigments au spectrophotomètre (méthode de JEFFREY & HUMPHREY, 1975) : le taux de chlorophylle b des fractions supérieures à $1 \mu m$ et à $3 \mu m$ est nettement supérieur à celui mesuré sur la fraction totale (fig. 12). Or seules les cellules eucaryotes sont connues aujourd'hui pour contenir de la chlorophylle b.

1.7. Zooplancton (fig. 13)

Contrairement à la radiale SURTROPAC 09 (janvier 1988), qui ne présente que peu de variation du poids sec du mésozooplancton (WP2) en fonction de la latitude, celle de PROPPAC 2 présente un enrichissement équatorial très marqué entre $3^{\circ}S$ et $2^{\circ}N$, correspondant à celui des sels nutritifs ou de la chlorophylle a. La seconde zone de biomasse élevée est celle de $10^{\circ} S$, associée elle aussi au dôme de sels nutritifs noté précédemment. Le poids sec moyen par mètre-carré est de 875 mg à PROPPAC 2, valeur inférieure à celles des radiales de

janvier et juillet 84 (1109 et 1209), 85 (958, 1202), 86 (1086, 1133), 87 (1051 et 1193). Il est probable que la moyenne observée à PROPPAC 02 corresponde à un retour à la "normale" après un épisode El Niño caractérisé par des valeurs faibles : 639 à PROPPAC 01 (sept. 87) 657 à SURTROPAC 09 (janvier 88).

(2) RESULTATS DE LA STATION EN DERIVE A L'EQUATEUR (12-20 AVRIL 1988)

2.1. Trajectoire de la bouée dérivante et paramètres météorologiques (fig. 14, 15 et 16).

La bouée ne s'est que peu déplacée (50 milles) au cours des 8 jours de station. La trajectoire (fig. 14) a d'abord été orientée vers l'est puis s'est infléchie vers le nord au bout de 5 jours. Les vents (fig. 15) sont restés faibles et orientés nord-est à sud-est pendant toute la station. Les paramètres météorologiques sont présentés sur la figure 16.

2.2. Température.

Les résultats correspondent avec ceux de la radiale et l'évolution en température est faible.

2.3. Courants (fig. 18)

A cause de très forts courants de surface, bon nombre de mesures n'ont pu être effectuées correctement. Peu de variations sont notées.

2.4. Sels nutritifs (fig. 19)

En huit jours d'observation, les concentrations en nitrate sont restées relativement constantes, ce qui traduit la stabilité dans le temps de l'upwelling équatorial dans l'Ouest-Pacifique.

Dans le détail, on note des valeurs stables de concentrations de sels nutritifs en surface, du début au 5ème jour (station 44), puis une légère diminution par la suite. L'évolution temporelle de la distribution verticale du nitrate de la fig. 19 présente aussi une similitude avec celle de la température (fig. 17) qu'il sera intéressant d'étudier en détail.

2.5. Chlorophylle

La distribution de la chlorophylle se caractérise par la présence d'un pic très peu marqué, situé le plus souvent à 50 m. Malgré trois échantillonnages par jour seulement, des variations nycthémérales très nettes sont mises en évidence (fig. 20). Leur amplitude moyenne est de 35 %. Ces variations sont en tous points comparables à celles obtenues à l'équateur dans l'Atlantique au cours de 13 jours d'étude en point fixe à 4° W (campagne CIPREA 4, octobre 1979) : les biomasses sont les mêmes, les profils ont même allure et les maxima (en début d'après-midi) et minima (en fin de nuit) semblent aux mêmes heures. Ces variations ont une double signification : elles reflètent, d'une part une grande productivité primaire; d'autre part, elles prouvent qu'un équilibre écologique avancé est atteint par l'écosystème.

La biomasse globale du phytoplancton ne varie pas significativement du premier au huitième jour du point fixe. En revanche, elle varie beaucoup au cours du cycle diurne du fait de l'étroite imbrication entre deux processus opposés : production photosynthétique au cours de la seule journée d'un côté, grazing quasi continu nuit et jour de l'autre.

Les premiers résultats de production primaire montrent aussi une très forte productivité puisque la teneur en chlorophylle augmente de 15 à 150 % entre 20 et 80 m dans les flacons placés en incubation in situ du lever au coucher du soleil (fig. 21).

2.6. Résultats des examens microscopiques en épifluorescence.

(a) Un profil caractéristique du point fixe est présenté (fig. 22). On notera que :

- le nombre des cyanobactéries varie peu de 0 à 80 m. Il est de l'ordre de $7 \text{ à } 8.10^6$ cellules l^{-1}
- le nombre des microalgues varie du simple au triple et culmine à 80 m (3.10^6 cellules l^{-1}),
- le nombre des cyanobactéries diminue rapidement à partir de 80 m,
- le nombre des microalgues diminue également à partir de 80 m, mais reste encore important à 130 m (8.10^5 cellules l^{-1}).

Le nombre des cyanobactéries présentes dans la couche 0-80 m est du même ordre de grandeur que celui trouvé au niveau du pic d'abondance de PROPPAC 1, comme si ce dernier s'étendait à toute la colonne d'eau. Enfin, il y a une grande homogénéité qualitative de l'aspect des cyanobactéries et des microalgues. Les premières sont rondes et très brillantes, les secondes sont petites ($< 4 \mu\text{m}$) et brillantes de 0 à 130 m. On ne retrouve plus les différences d'aspects (brillance, taille et forme) relevées au cours de la campagne PROPPAC 1.

(b) Augmentation du nombre des cyanobactéries et des microalgues en fin d'incubation en fonction de la profondeur.

Au point fixe la comparaison des effectifs obtenus sur 9 niveaux avant et après incubation in situ destinée à la mesure de la production primaire a été faite 8 fois. Les résultats de la station 39 sont présentés ci dessous, à titre d'exemple.

Effectif en fin d'incubation \
 Effectif en début d'incubation.

Profondeur (m)	5	20	40	50	60	70	80	100	130
Cyanobactéries	1.6	1.4	1.5	1.6	1.3	0.9	1.1	1.6	nd
Microalgues	1.8	1.9	2.3	1.2	nd	1.2	0.7	0.8	nd

Il y a augmentation des effectifs des cyanobactéries sur toute la colonne d'eau. De plus, la plupart des cyanobactéries à 5, 20, 40 et 50 m sont en cours de division. Il y a augmentation du nombre des microalgues dans la couche 0-70 m et diminution au delà.

(c) Répartition du nombre des cyanobactéries et des microalgues.

Afin de montrer l'importance respective des cyanobactéries et des microalgues en fonction de la taille, des séparations par filtration et des comptages ont été fait 8 fois au point fixe. Les résultats de la station 55 sont présentés ci-dessous.

% Des effectifs des cyanobactéries (CB) et des microalgues (MA) selon la profondeur et la gamme de taille.

Profondeur (cm)	0.2 - 35 m		1 - 35 m		0.2 - 1 m	
	CB	MA	CB	MA	CB	MA
20	100	100	18	95	78	5
50	100	100	19	68	76	30
100	100	100	26	78	95	48

On remarquera que les filtrations donnent des résultats satisfaisants à 20 et 50 m mais qu'à 100 m les résultats ne le sont pas.

Quelle que soit la profondeur, la plus grande part des cyanobactéries se retrouvent dans la fraction 1-35 μm .

2.7. Zooplancton (fig. 23)

Le schéma de l'évolution temporelle des biomasses (fig. 23) fait apparaître des chevauchements entre les couches 0-100, 0-200 et 0-500 m, qui traduisent un échantillonnage défectueux, dû au cisaillement de courants à l'équateur. Ceci peut expliquer l'absence de variations nycthémerales observée pour la couche 0-100 m, contrairement au point fixe de PROPPAC 1, situé dans une structure hydrologique très différente, il est vrai.

Le tableau ci-dessous présente les valeurs moyennes de poids sec par mètre carré dans les trois couches ainsi que les résultats obtenus lors du point fixe de 8 jours à PROPPAC 1 (3° N), celui de deux semaines à PROLIGO (15° S, 173° E) et d'un troisième situé à 2°30' S sur 4° W (CIPREA 1, Golfe de Guinée) dans une situation d'upwelling équatorial.

POINT FIXE	0-100 m	0-200 m	0-500 m
PROPPAC 2	1110	1384	1600
PROPPAC 1	530	708	938
PROLIGO	339	584	680
CIPREA 1	4249	-	5341

Les résultats ci-dessus ayant été obtenus en tenant compte de l'effet des variations nycthémerales, avec des méthodes rigoureusement identiques (mêmes filets, mêmes profondeurs, mêmes mesures du poids sec) et dans des zones hauturières, il est possible de les comparer.

(1) Le point fixe de PROPPAC 2 présente les valeurs les plus élevées obtenues jusqu'à présent dans le Pacifique occidental lors des campagnes de l'ORSTOM postérieures à 1981. L'upwelling équatorial en est la cause.

(2) Toutefois, les valeurs sont très inférieures à celles d'un point fixe réalisé dans la zone équatoriale du Golfe de Guinée lors de CIPREA 1 et, d'une façon générale, à toutes les valeurs observées dans la zone équatoriale de l'Atlantique oriental à 4° W (voir tableau VI de LE BORGNE et al. 1983). Une telle différence, on l'a vu en 2.5., n'apparaît pas sur les valeurs intégrées de chlorophylle.

La distribution verticale du zooplancton est superficielle et régulièrement répartie dans la couche euphotique. Ainsi, 70 % du poids sec de zooplancton de la couche 0-500 m se trouvent dans les 100 premiers mètres (contre 56 % au point fixe de PROPPAC 1) et 88 % dans les 200 premiers. Pour ce qui est de la fraction 35-200 μm (dénommée "phyto"), la distribution est encore plus superficielle, puisque 94 % du poids sec de la couche 0-200 m se trouvent dans les 100 premiers mètres. En considérant le poids sec sans cendre (matière organique) au lieu du poids sec, on obtient des pourcentages quasiment identiques car la teneur du plancton en poids sec sans cendre est la même selon que l'on considère les couches 0-100, 0-200 ou 0-500 m.

La biomasse, par ailleurs, est régulièrement répartie dans les 100 premiers mètres, à l'instar de ce que l'on observe pour les paramètres décrivant les particules (tableau ci-dessous).

Pourcentages de plancton présent dans les différentes couches /0-100 m (8 stations)

Couche	35-200 μm (1)	> 200 μm (1)	copépodes (2)
0-20 m	22	25	26
0-40 m	44	50	48
0-60 m	65	73	69
0-80 m	85	91	89

(1) Biomasse mesurée en phosphore

(2) effectifs

Le microplancton (35-200 μm) représente 20 % du poids sec sans cendre du mésozooplancton (< 200 μm) et 30 % du poids sec, la différence provenant de teneurs plus faibles du microplancton en matière organique. Les valeurs sont bien plus faibles que lors du point fixe de PROPPAC 1 (50 %) et sont peut être caractéristiques de zones plus riches. De la même façon, l'importance de la biomasse des organismes de la classe de taille 200-500 μm par rapport à celle de 200 à 5000 μm , est plus faible qu'à PROPPAC 1 : 24 % contre 38 %. La figure 24 reprend ces valeurs sous une forme synthétique pour trois points fixes de biomasse décroissante : PROPPAC 1, PROPPAC 2, et PROLIGO.

Enfin, le zooplancton du point fixe équatorial est riche en matière organique, ce qui s'explique par l'abondance des crustacés dans les échantillons.

En conclusion, le niveau de biomasse, sa distribution superficielle, l'importance des classes de taille supérieures et la teneur élevée en matière organique sont caractéristiques d'une zone ri-

che.

V CONCLUSIONS

PROPPAC 2 est la quatrième campagne d'une série de sept, trimestrielles, couvrant la période allant de juillet (campagne SURTROPAC 8) à janvier 1989 (SURTROPAC 11).

Les résultats obtenus lors de la radiale faite sur le méridien 165° E montrent un retour à une situation océanographique "normale" après l'épisode El Niño observé sur les radiales de juillet 87 à janvier 88. Mais, surtout, apparaît pour la première fois depuis le début des radiales bi-annuelles SURTROPAC (janvier 84), un upwelling équatorial très marqué en salinité, sels nutritifs et, dans une moindre mesure, température de surface. L'upwelling s'étend, en latitude, sur 8 degrés et il a pu être étudié pendant 8 jours lors d'une station en dérive.

Les teneurs en sels nutritifs, chlorophylle et zooplancton sont restées sensiblement les mêmes lors de cette station dont la position a peu varié. Ceci montre la stabilité de l'upwelling équatorial dans le temps. L'un des objectifs de la mission était celui de déterminer la part des apports par advection verticale, et mélange du fait de l'existence d'un fort cisaillement de courants. La perte d'une partie des données de la chaîne à thermistances et la difficulté de dresser des profils de courants rendent incertaine la réalisation de ces objectifs.

Il est intéressant de comparer les données de biomasse à celles d'autres zones. Ainsi, on observe d'étonnantes similitudes entre deux études réalisées dans l'upwelling équatorial de l'Atlantique (4° W) et du Pacifique (168° E) pour ce qui est des variations nycthérales de la chlorophylle. Or ces variations, si elles sont générales au milieu océanique tropical, ce qui n'est pas certain, sont rarement mises en évidence, surtout du fait de la difficulté de bien échantillonner la chlorophylle lorsque ses profils de distribution présentent des pics très marqués. Ainsi, ces variations sont à peine visibles lors des 8 jours de point fixe à 3° N (PROPPAC 1) et ne sont significatives que dans la couche de surface à PIRAL (12 jours de point fixe dans la convergence nord-équatoriale, 8 et 10 jours de point fixe dans le dôme de Guinée).

Les productions de chlorophylle dans les flacons d'incubation sont elles aussi directement comparables d'un upwelling équatorial à l'autre. Elles montrent que la chlorophylle augmente plus au cours de la journée dans les flacons d'incubation que dans le milieu naturel environnant. La production primaire mesurée dans des flacons en verre ou en polycarbonate serait-elle surestimée, et par l'effet de quel processus ? Inhibition du grazing ou augmentation de la productivité par adaptation rapide à un niveau d'éclairement artificiellement fixé le long de la ligue d'incubation? Les nombreuses expérimentations menées à ce jour lors des deux premières campagnes PIRAL apportent à peu près autant d'éléments de réponses favorables à l'une et à l'autre hypothèse pour tenter de progresser dans cette voie. Nous essaierons les inhibiteurs spécifiques des eucaryotes ou des procaryotes lors de

PROPPAC 3.

Enfin, l'étude de l'importance des organismes de petite taille ($<1 \mu\text{m}$) dans la biomasse particulaire a pu être poursuivie en mesurant des chlorophylles (a, b, et c) et en observant les cellules au microscope en épifluorescence. Les eaux contenant du nitrate, tant en surface qu'en profondeur, ont une proportion plus faible de procaryotes (cyanobactéries) que les eaux qui sont dépourvues de nitrate.

La biomasse du zooplancton, stable au cours de la station en dérive, est caractéristique d'une zone riche : distribution superficielle, dominance des organismes des classes de tailles supérieures, richesse en crustacés. Cependant, son niveau est très inférieur à celui que l'on observe dans l'upwelling équatorial de l'Atlantique alors que les valeurs de chlorophylle sont voisines. Y-a-t-il un contrôle du zooplancton par ses prédateurs qui soit plus important dans le Pacifique occidental que dans l'Atlantique oriental, en raison de stades d'évolution différents des écosystèmes pélagiques ?

Sonde 0-1000m (Salinité, Température, Oxygène).....	56
Profils de courants 0-600m (profileur Tareq et courantomètre Aanderaa).....	43
Chaîne à thermistances (11 niveaux).....	3j
Oxygène (méthode de Winkler).....	486
NO ₃ (Haute sensibilité).....	567
NO ₂ (Haute sensibilité).....	567
PO ₄	567
NH ₄	12
Carbone particulaire.....	147
Azote particulaire.....	147
Phosphore particulaire.....	197
Adénosine tri-phosphate (ATP).....	578
Echantillons pour comptages de cyanobactéries et microalgues.....	216
Chlorophylle <u>a</u>	992
Chlorophylle <u>b</u> , <u>c</u>	75
Mesures de production primaire (méthode à l'oxygène).....	54
Mesures de production primaire (variations de chlorophylle <u>a</u>)....	160
Mesures de production primaire (méthode au ¹⁴ C).....	144
Mesures de production primaire (méthode à ¹⁵ N)	95
Profils d'atténuation de la lumière.....	11
Poids sec de zooplancton (35-200µm).....	55
Teneur en matière organique du plancton (35-200µm).....	55
Teneur en carbone, azote, phosphore " (").....	44
Echantillons pour identification " (").....	36
Taux de respiration et d'excrétion (NH ₄ , PO ₄ , N et P total).....	21
Poids secs de zooplancton (>200µm).....	97
Teneur en matière organique du zooplancton (>200µm).....	97
Teneur en carbone, azote, phosphore " (").....	92
Echantillons pour identification " (").....	46
Taux de respiration et d'excrétion (NH ₄ , PO ₄ , N et P total).....	42
Comptages et biomasse (phosphore) par niveau (plancton >35µm)....	44
Comptages et biomasse (phosphore) par niveau (plancton >200µm)...	44

Tableau 1 - Récapitulatif du nombre de mesures réalisées lors de la campagne PROPPAC 2 du N.O. Coriolis.

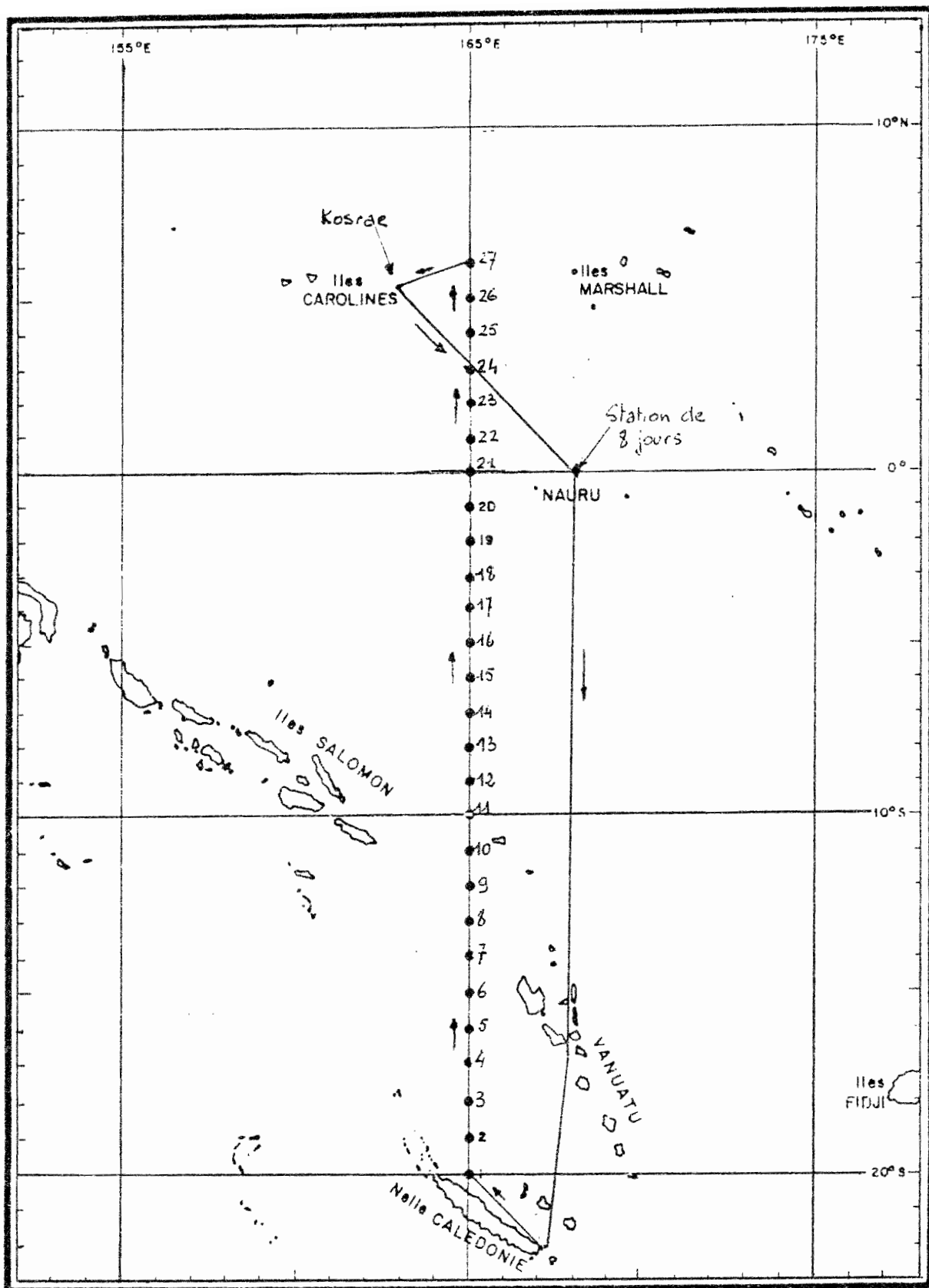


Fig. 1 - Plan de la campagne PROPPAC 2 (27 mars - 27 avril 1988)

PROPPAC 2 - VENT

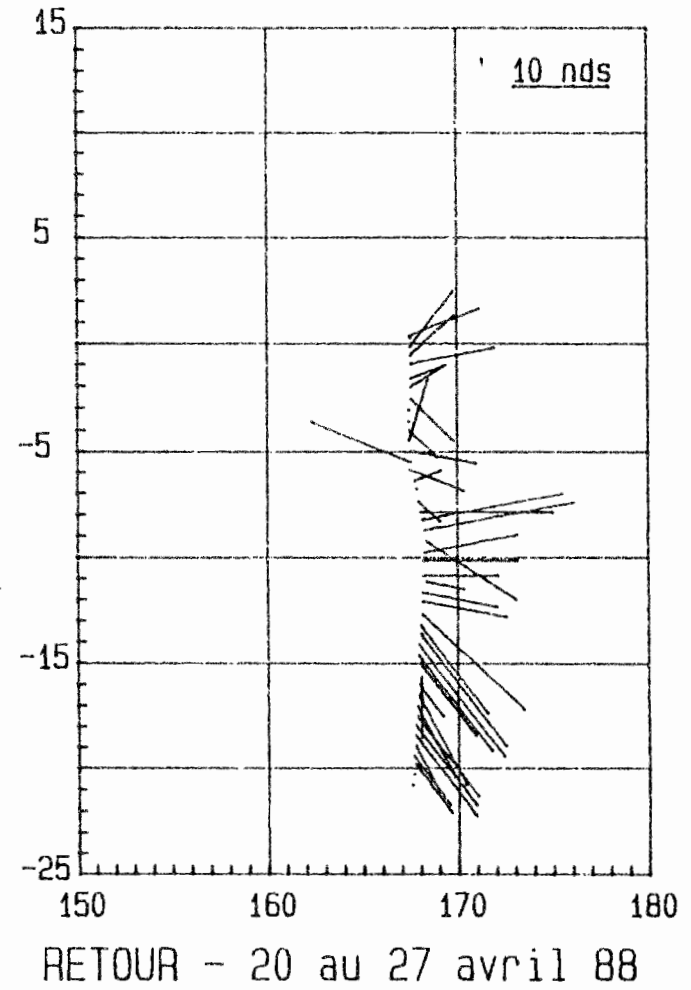
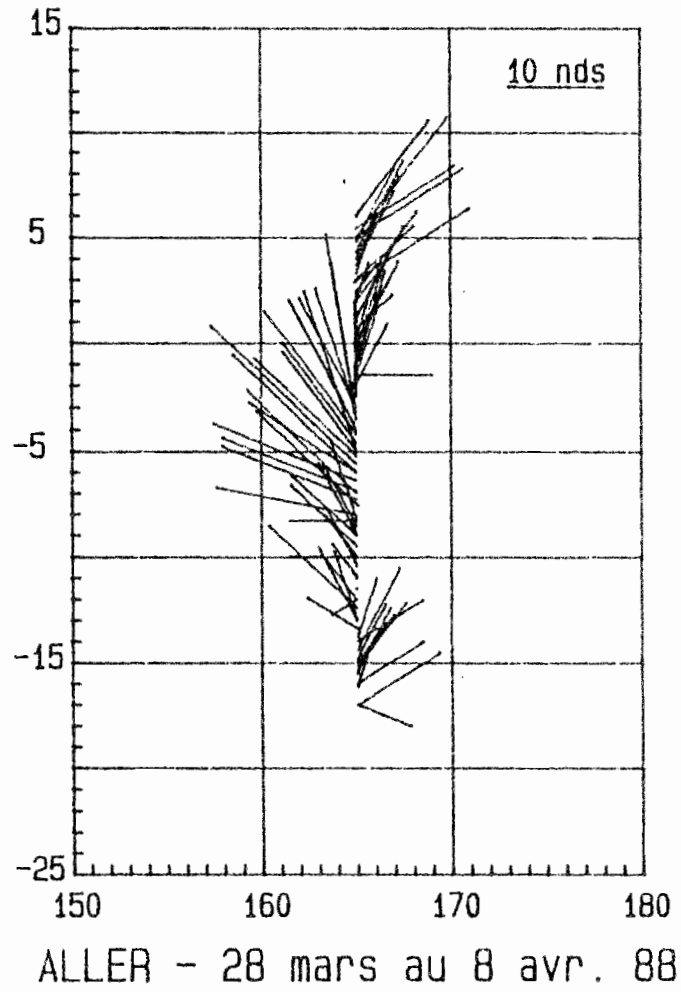


Fig. 2

Fig. 3 METEO proppac 2

28 mars au 8 avril 1988

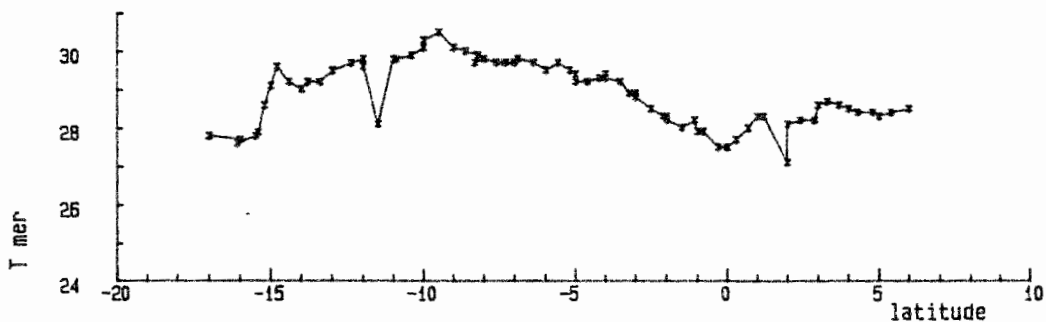
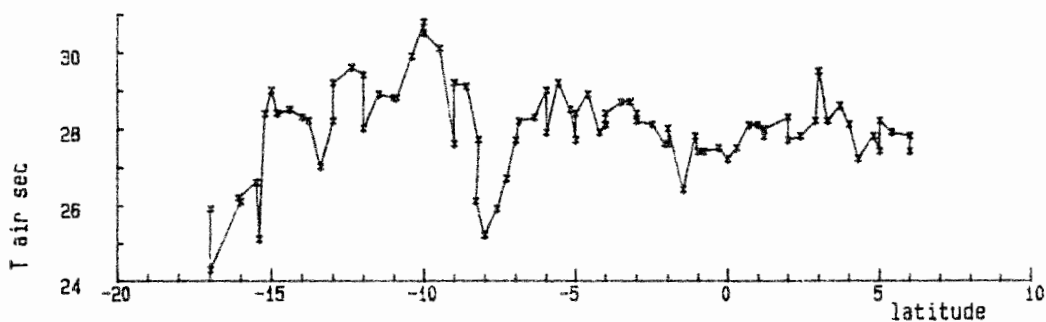
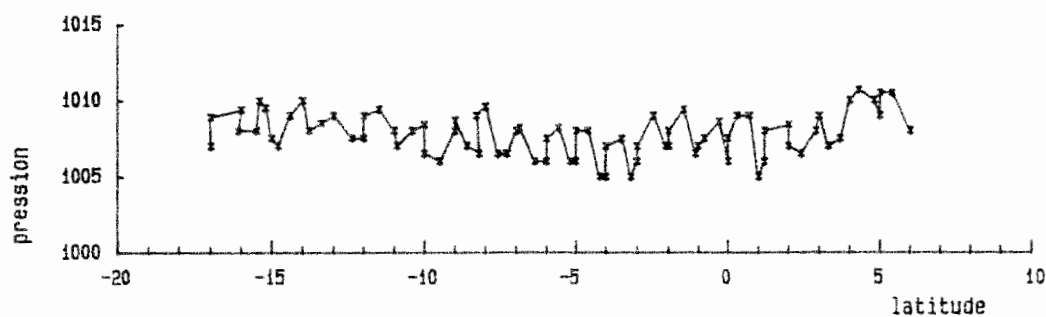
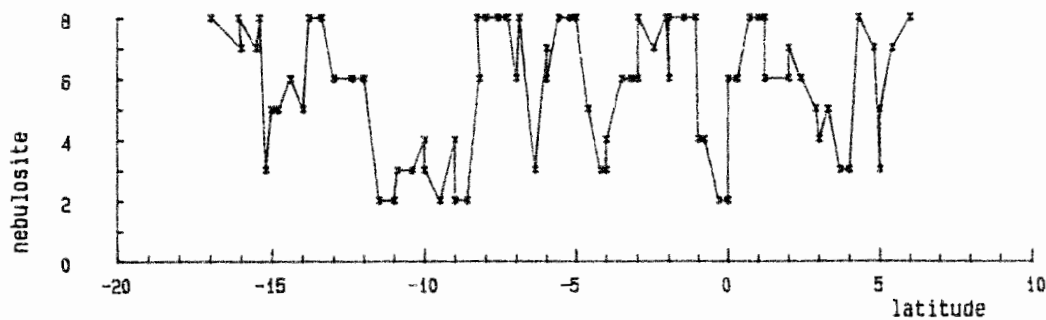
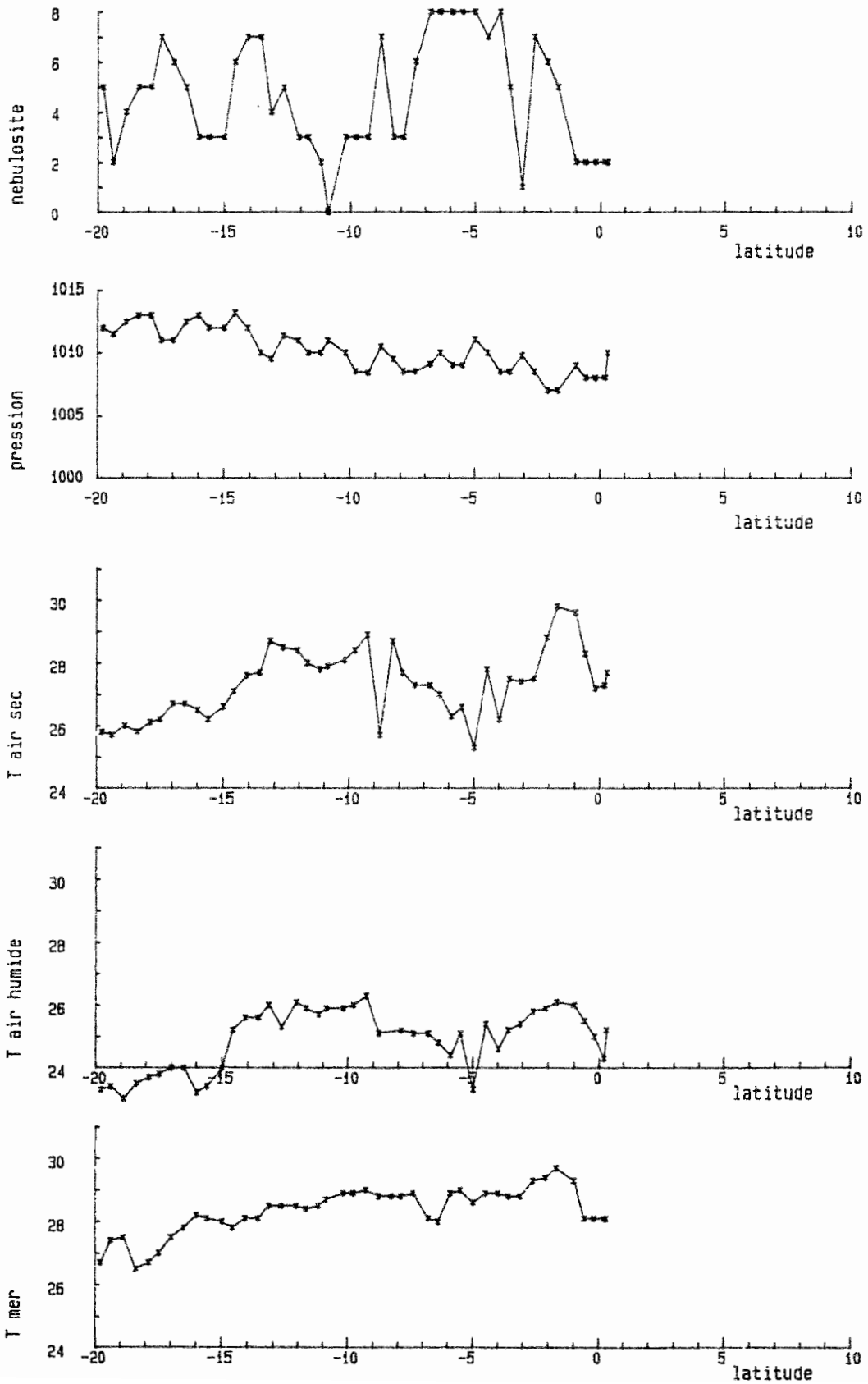


Fig. 4 METEO proppac 2

20 au 27 avril 1988



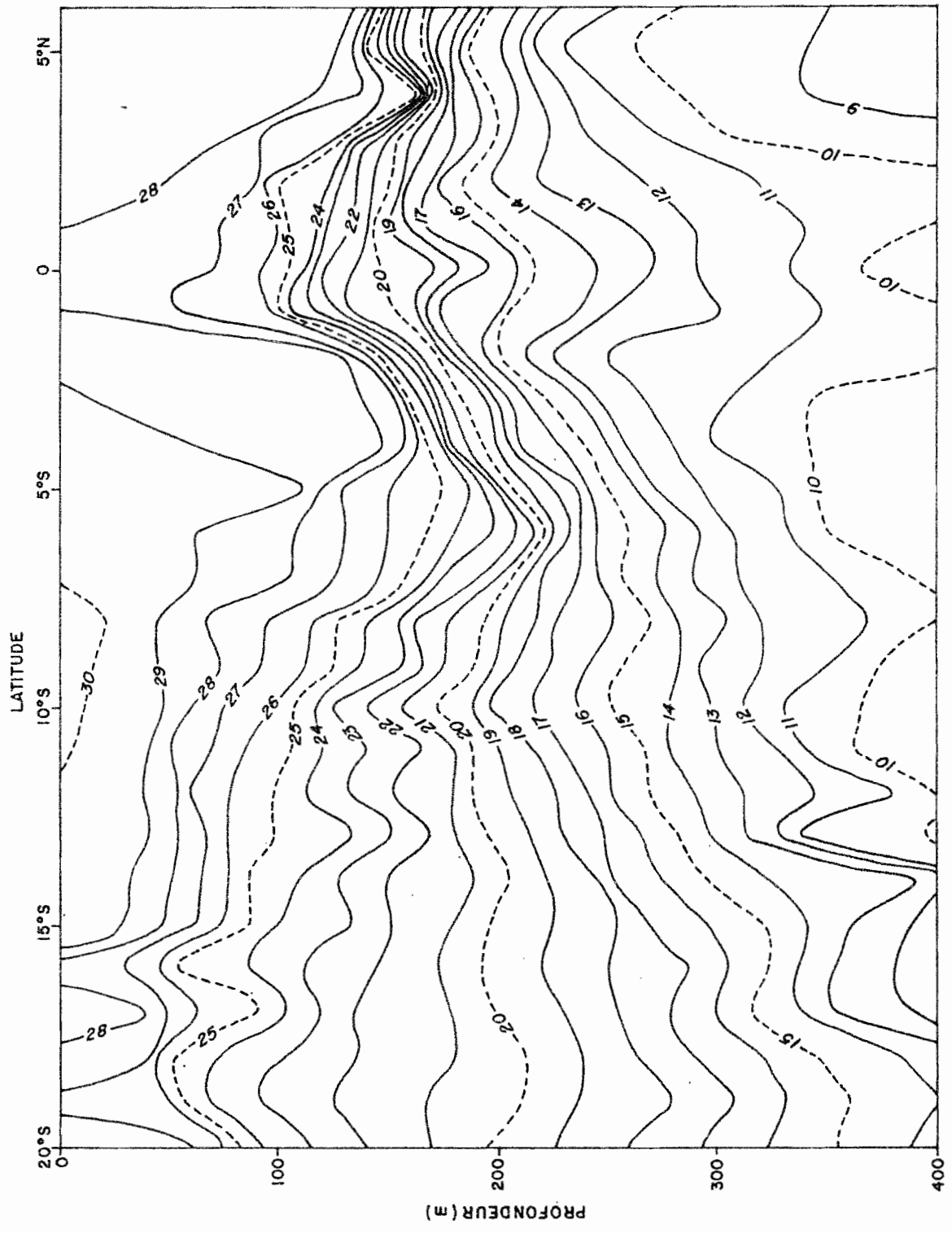


Fig. 5 - Profil de température le long de la radiale de PROPPAC 2 (165°E)

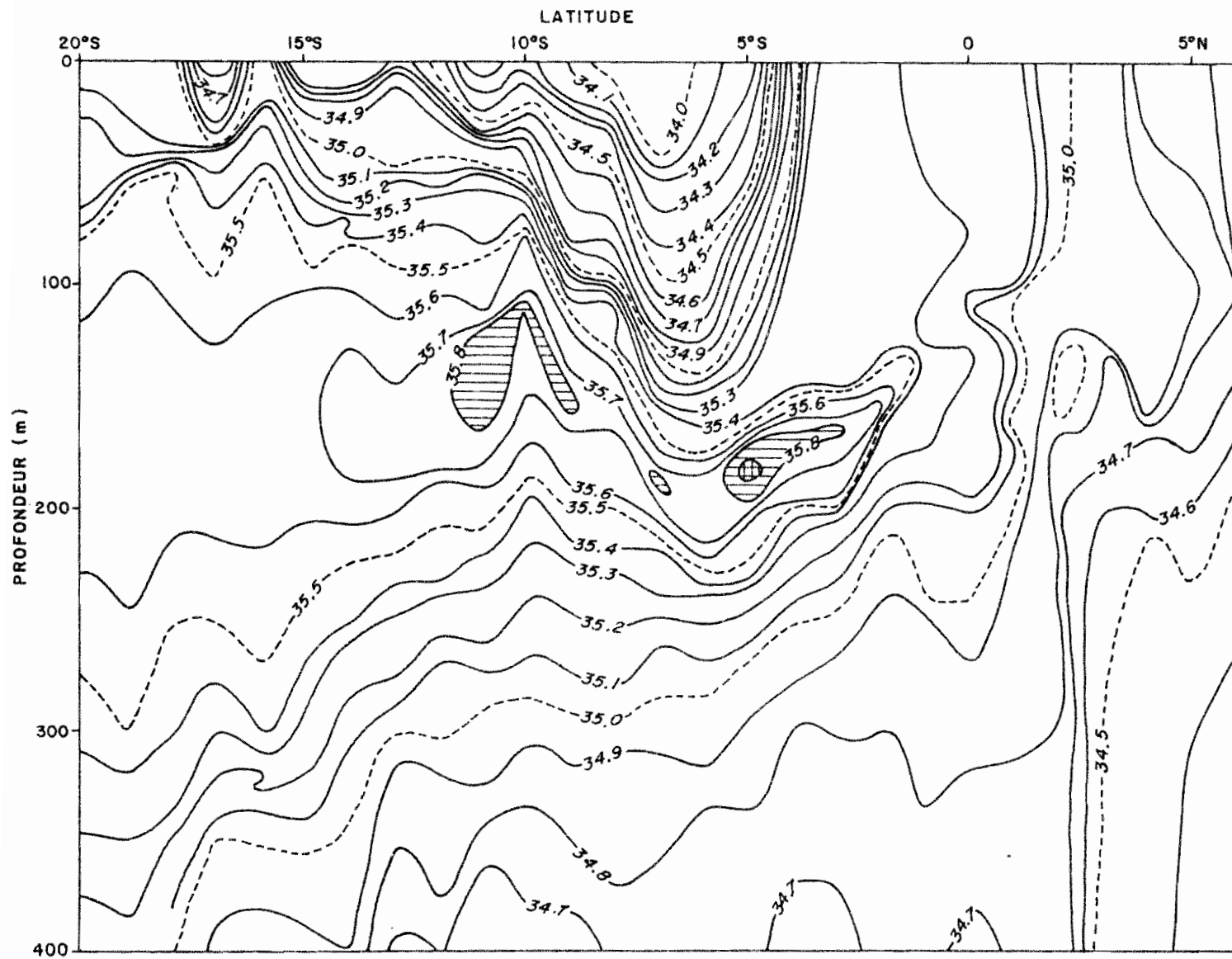


Fig. 6 - Profil de salinité le long de la radiale de PROPPAC 2 (165°E)

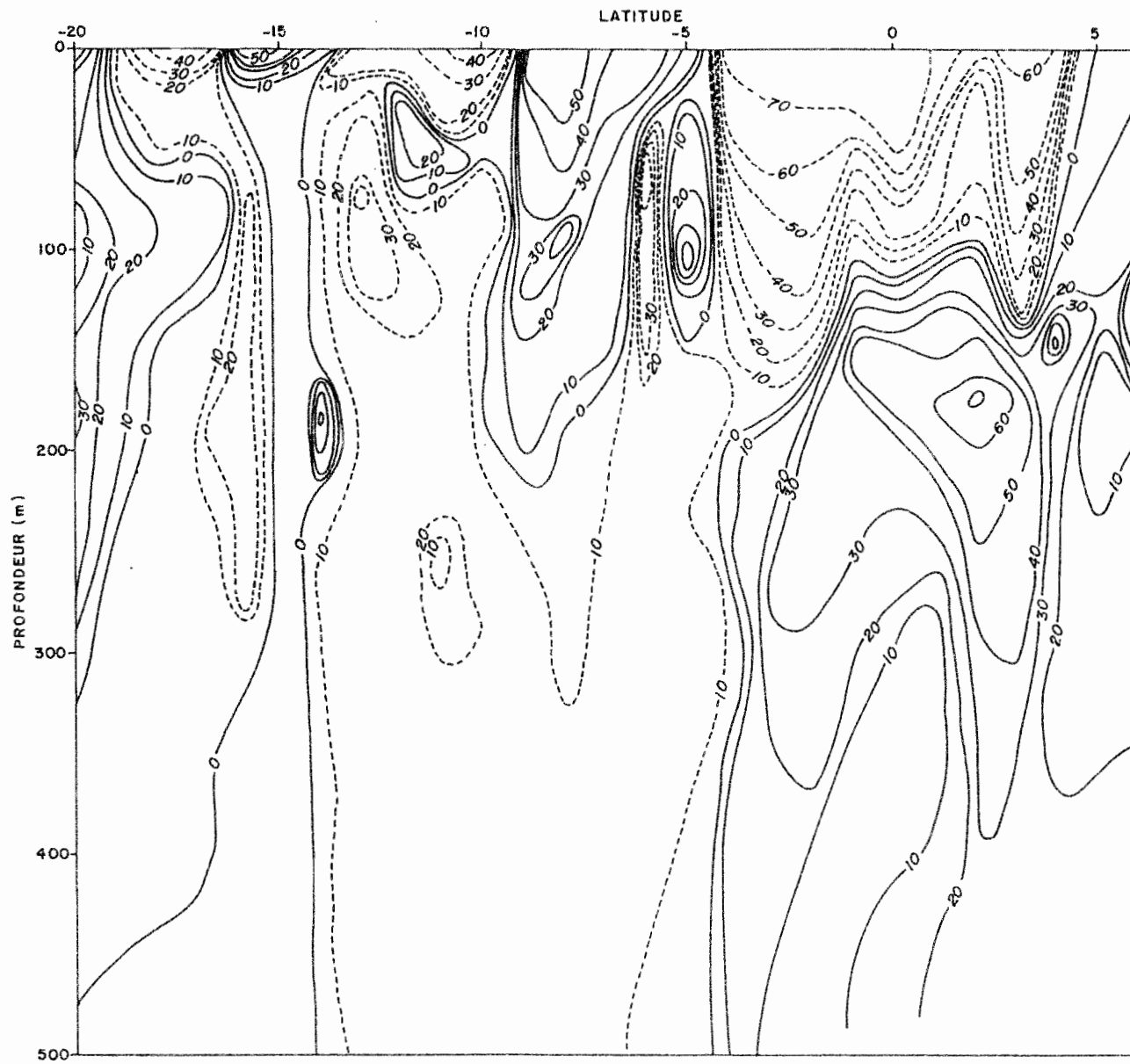


Fig. 7 - Profil de la composante zonale des courants le long de la radiale de PROPPAC 2 (165°E)

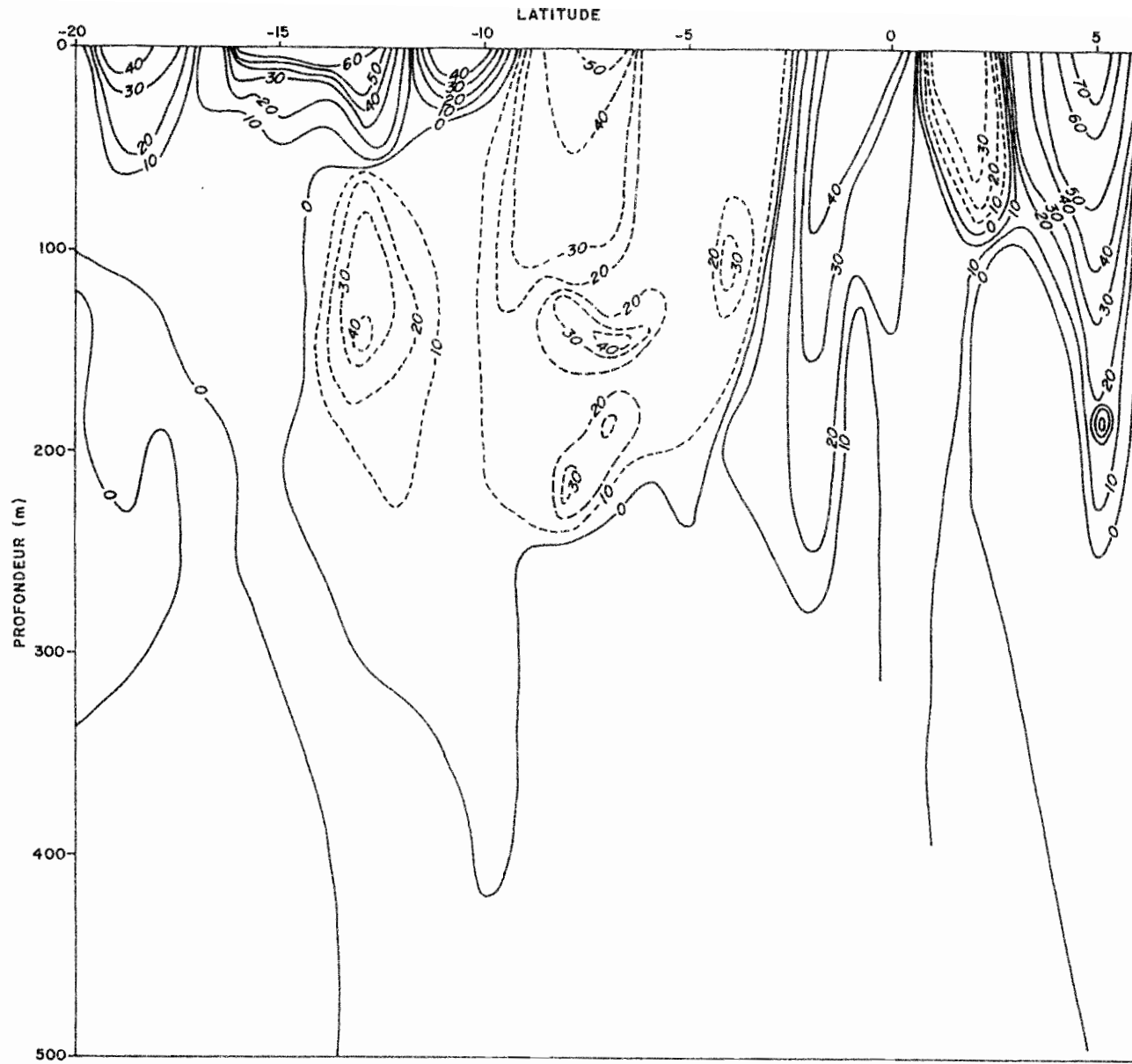


Fig. 8 - Profil de la composante méridienne des courants le long de la radiale de PROPPAC 2 (165°E)

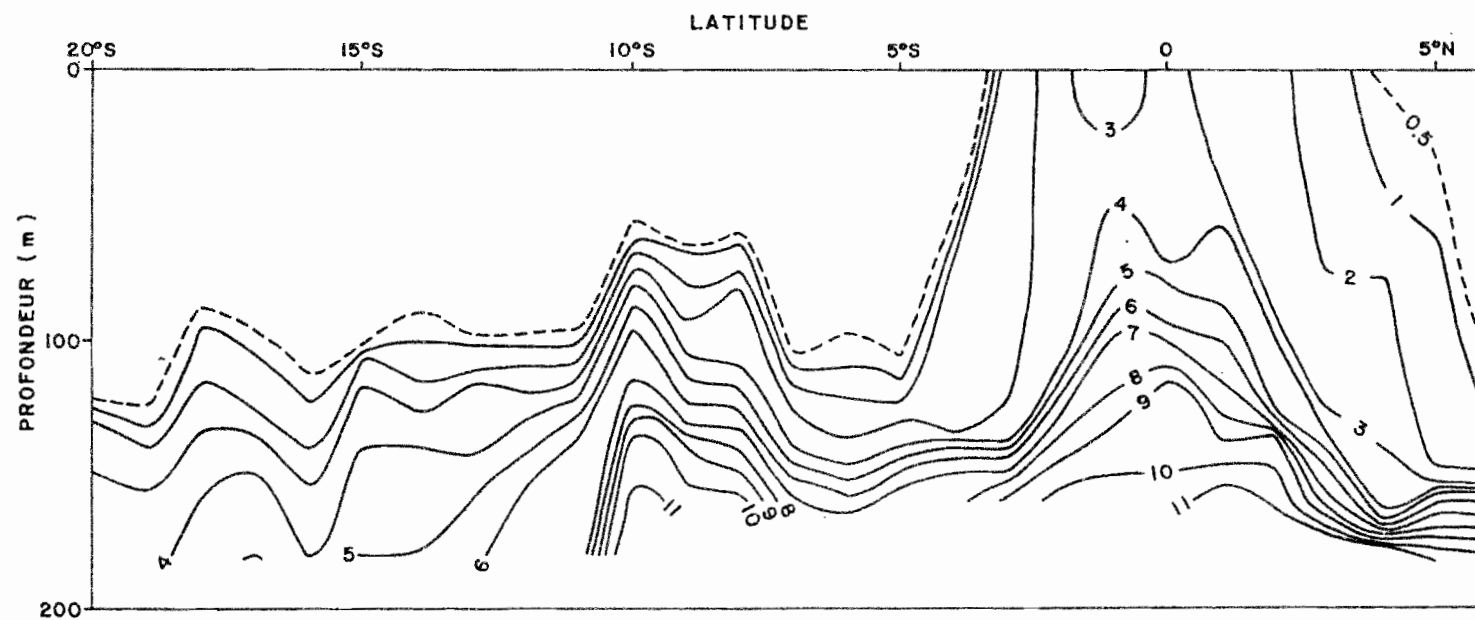


Fig. 9 - Profil de concentration en $N-NO_3$ et $N-NO_2$ ($\mu\text{mole.l}^{-1}$) le long de la radiale de PROPPAC 2 (165°E)

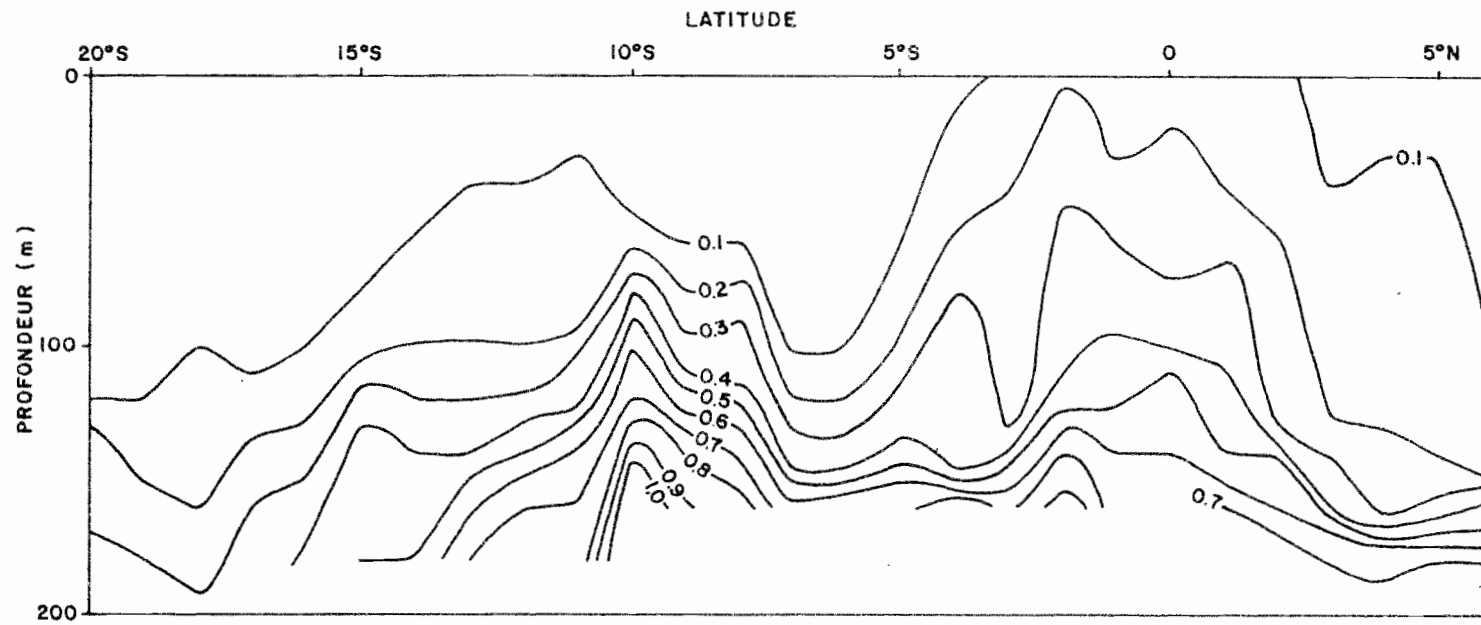


Fig. 10 - Profil de concentration de P-PO₄ ($\mu\text{mole.l}^{-1}$) le long de la radiale de PROPPAC 2 (165°E)

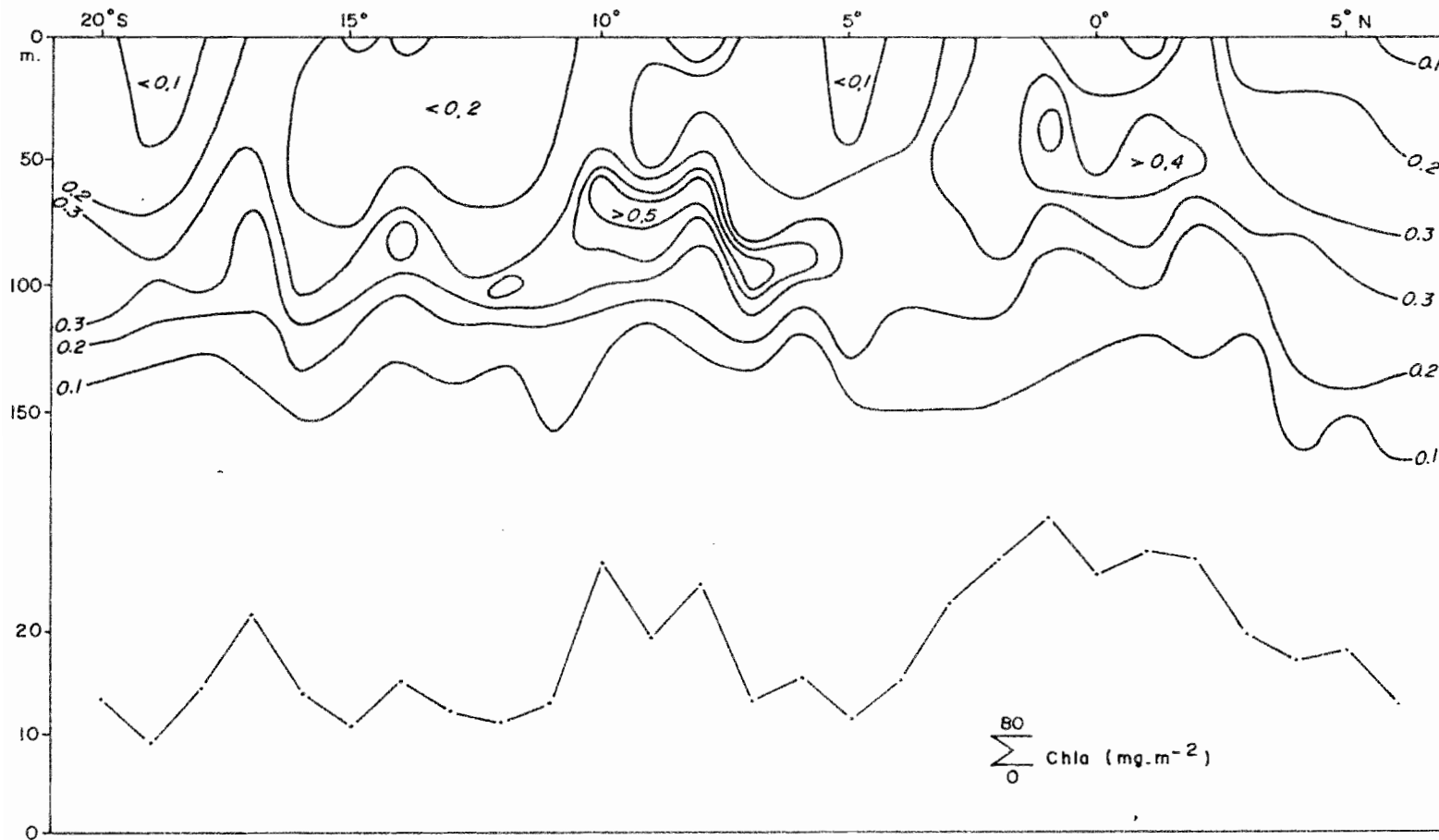


Fig. 11 - Distribution de la chlorophylle a (mg.m^{-3}) le long de la radiale 165.E.
Valeurs intégrées de la surface à 80m.

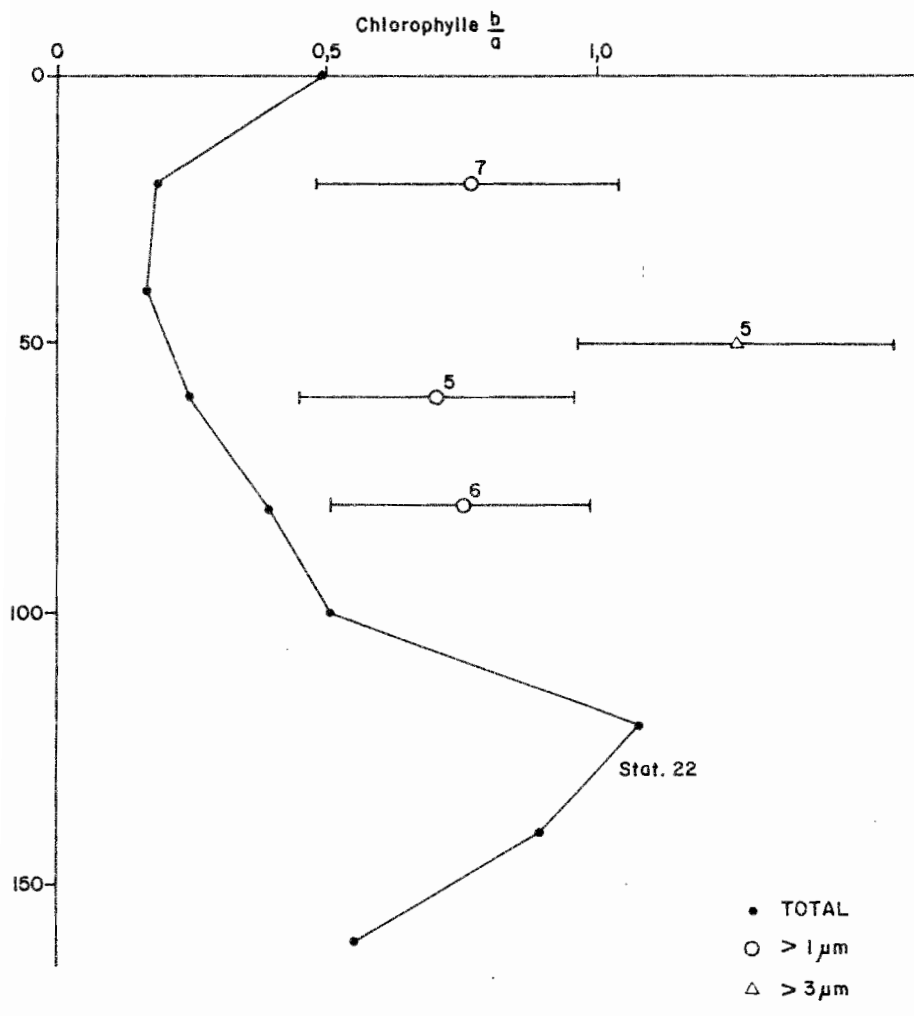


Fig. 12 - Distribution du rapport chlorophylle $\frac{b}{a}$ dans la fraction totale à la station 22, typique. Valeurs moyennes de ce rapport dans les fractions > 1µm et > 3µm (les chiffres indiquent le nombre de mesures).

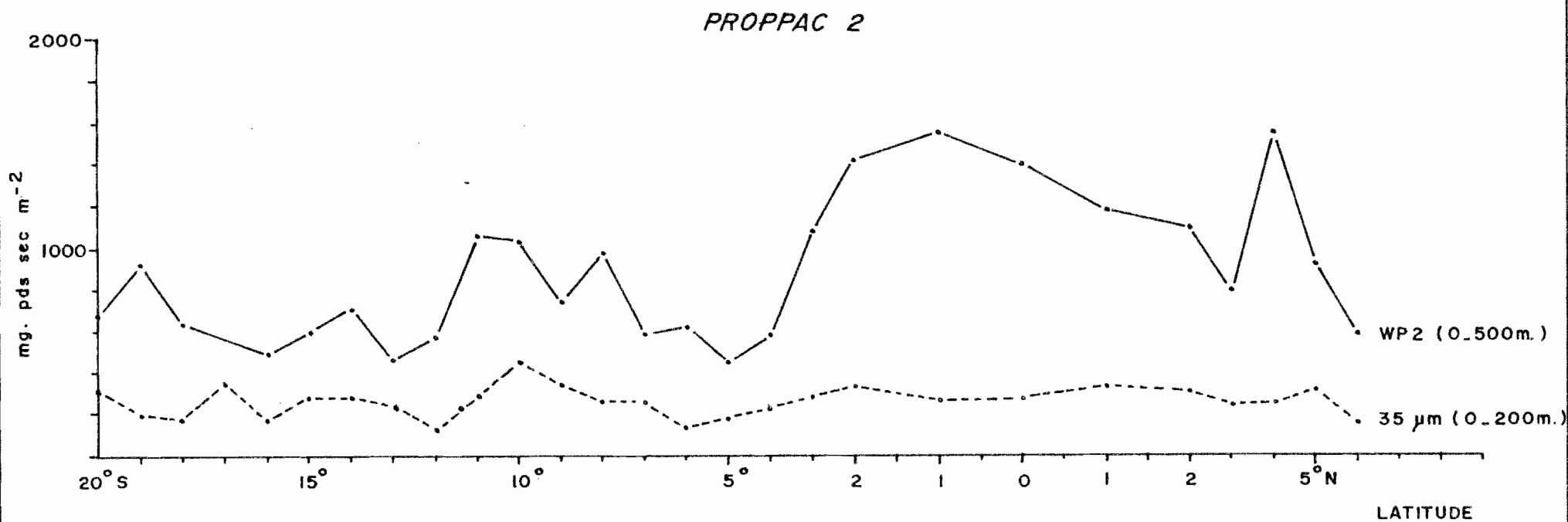
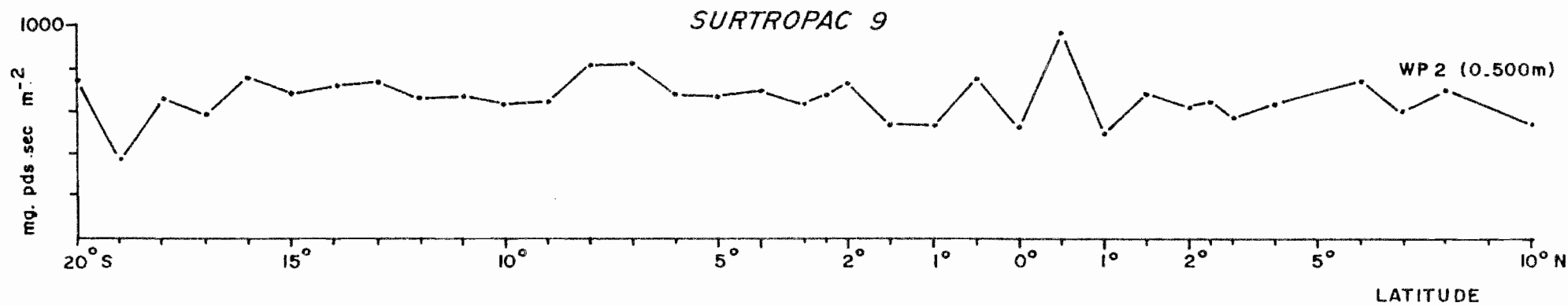


Fig. 13 - Distribution du poids sec de zooplancton le long de la radiale 165°E de SURTROPAC 09 (janvier 1988) et de PROPPAC 02 (avril 1988) (WP-2 : plancton de la classe 200-2000 μm. 35μm : classe 35-200μm).

PROPPAC 2

station en derive - 12 au 20 avril 1988

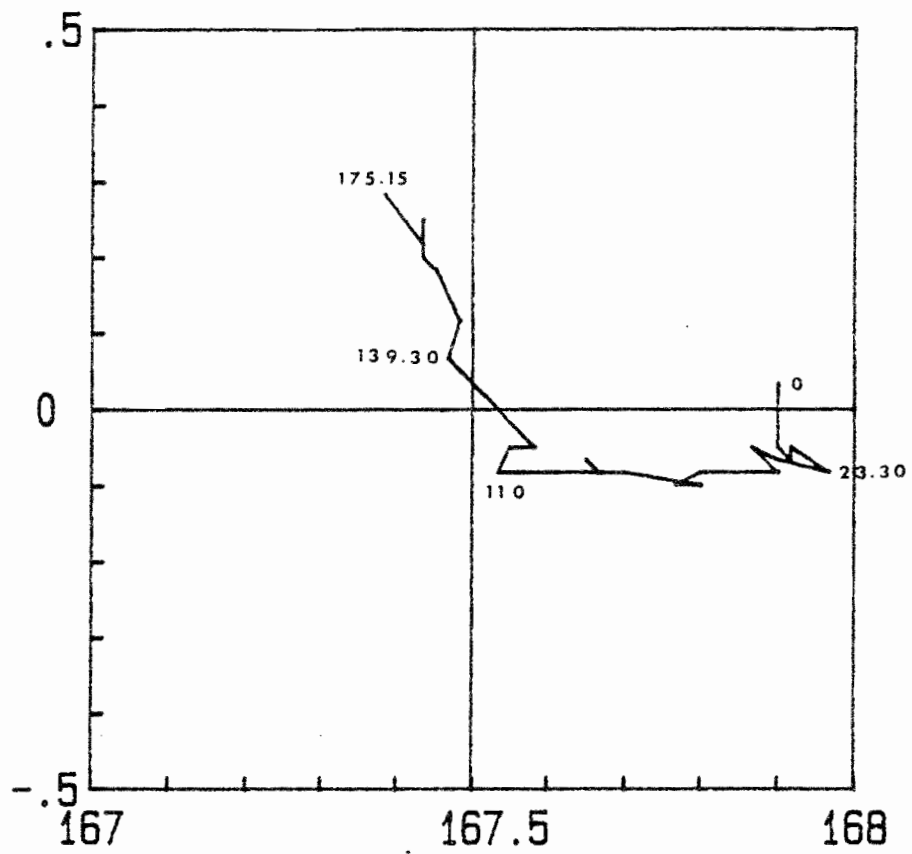


Fig. 14

PROPPAC 2 - station en derive - 12 au 20 avril 1988

evolution du vent

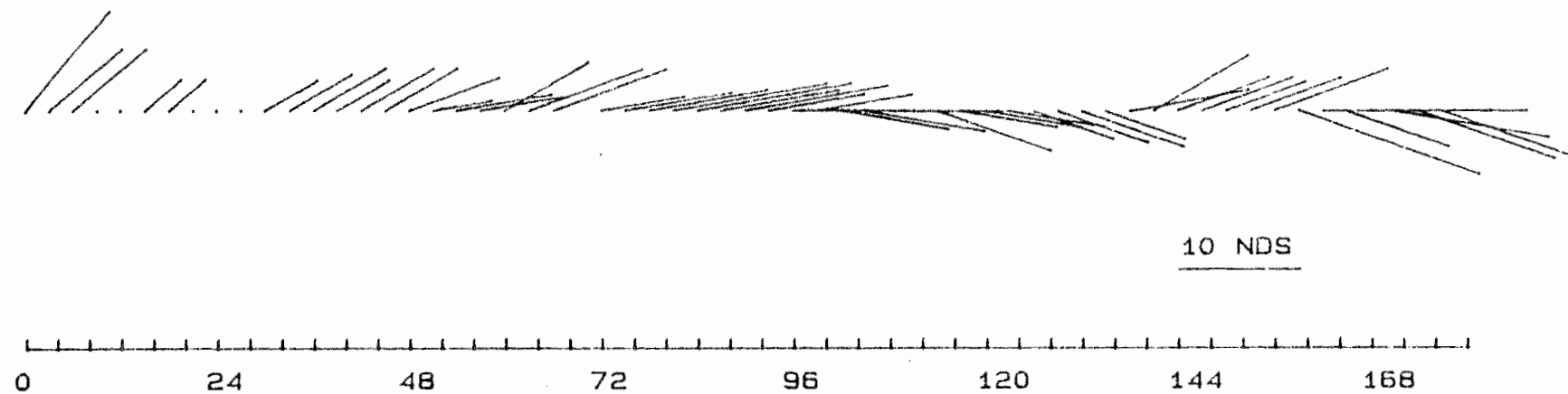
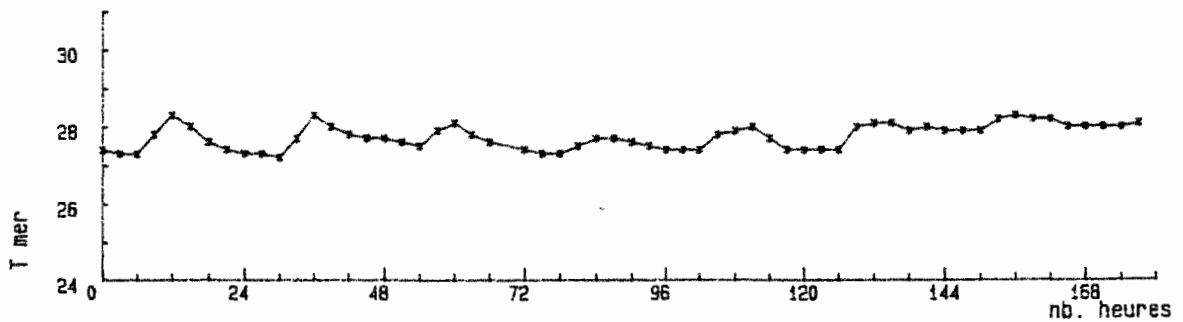
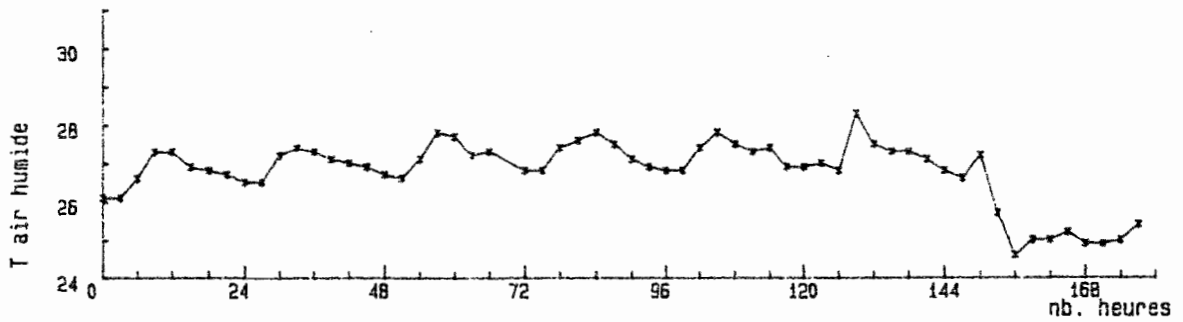
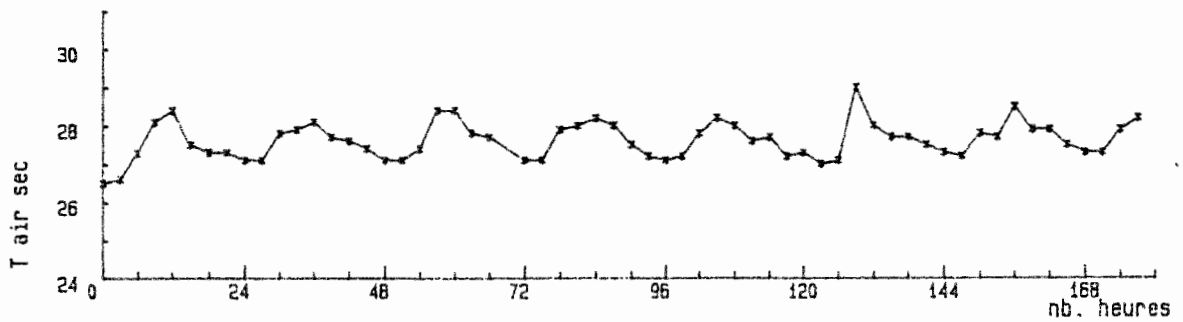
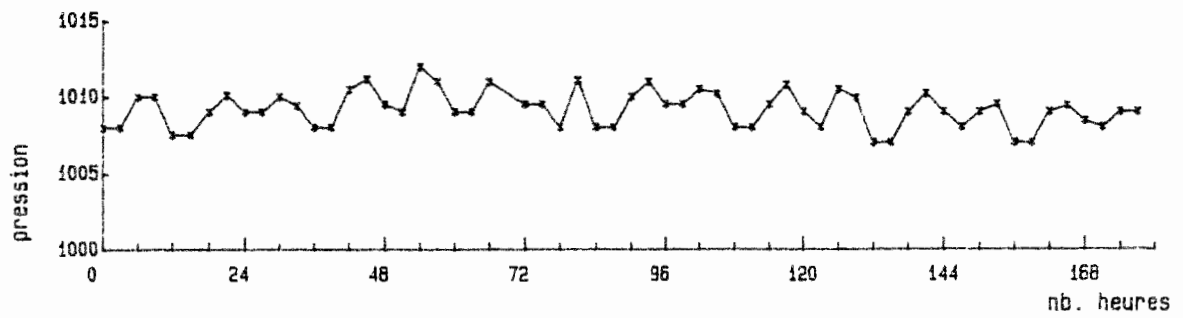
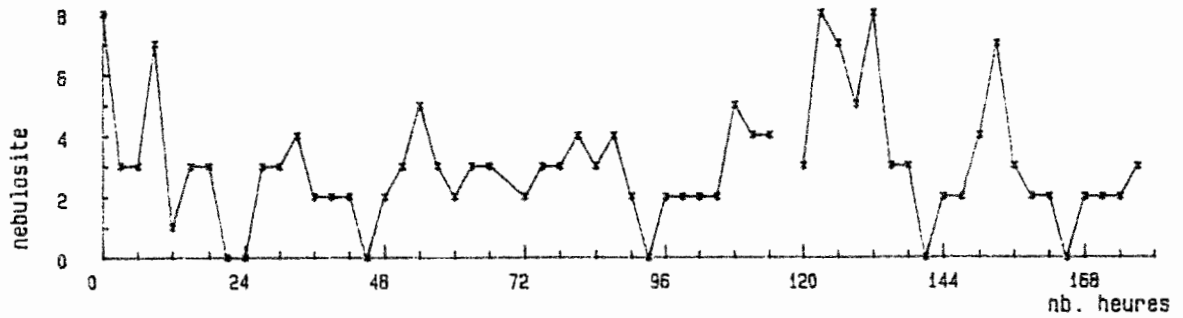


Fig. 15

Fig. 16 METEO proppac 2
12 au 20 avril 1988



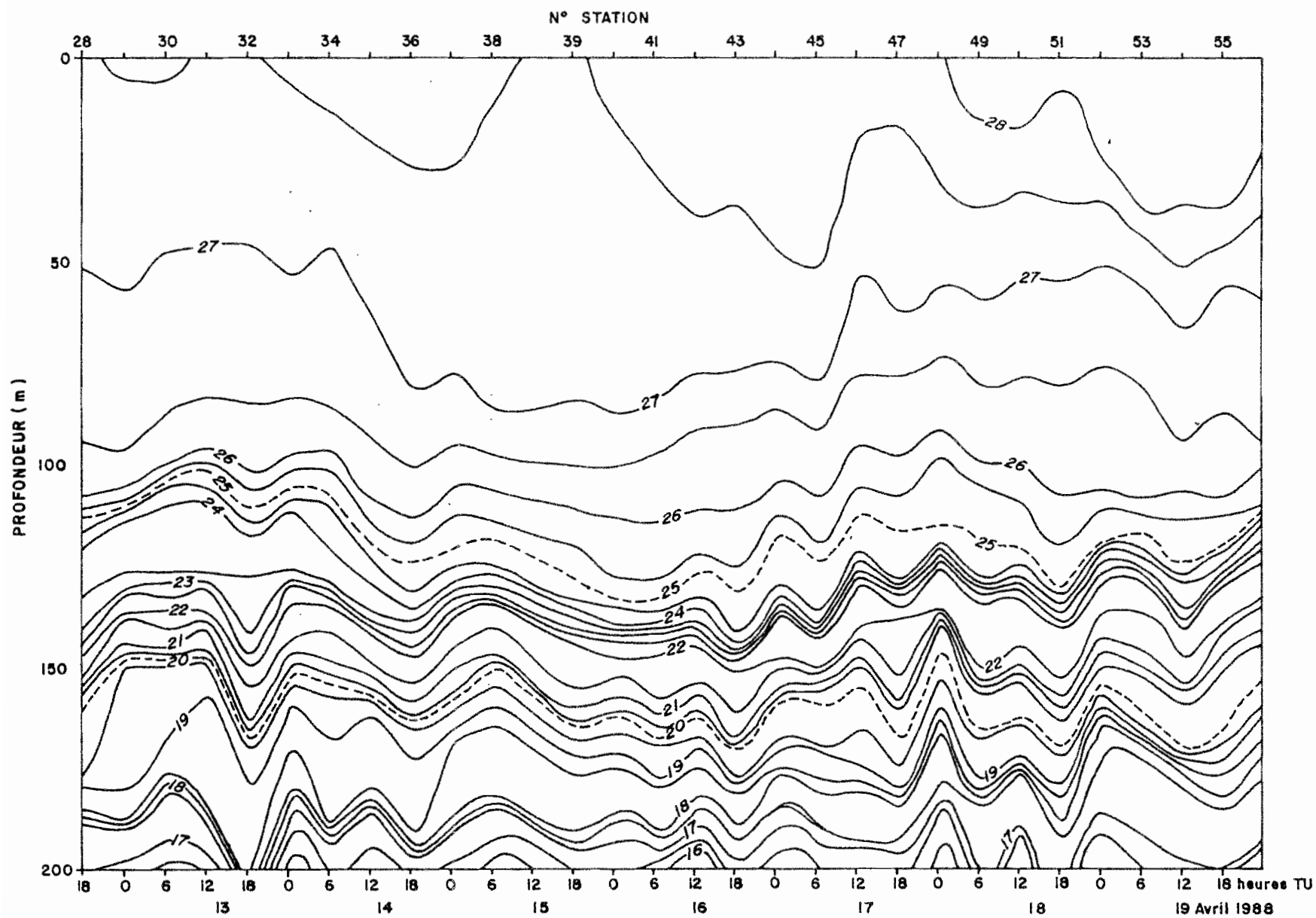


Fig. 17 - Evolution de la température (données de la sonde CTDO) lors de la station en dérive (PROPPAC 2)

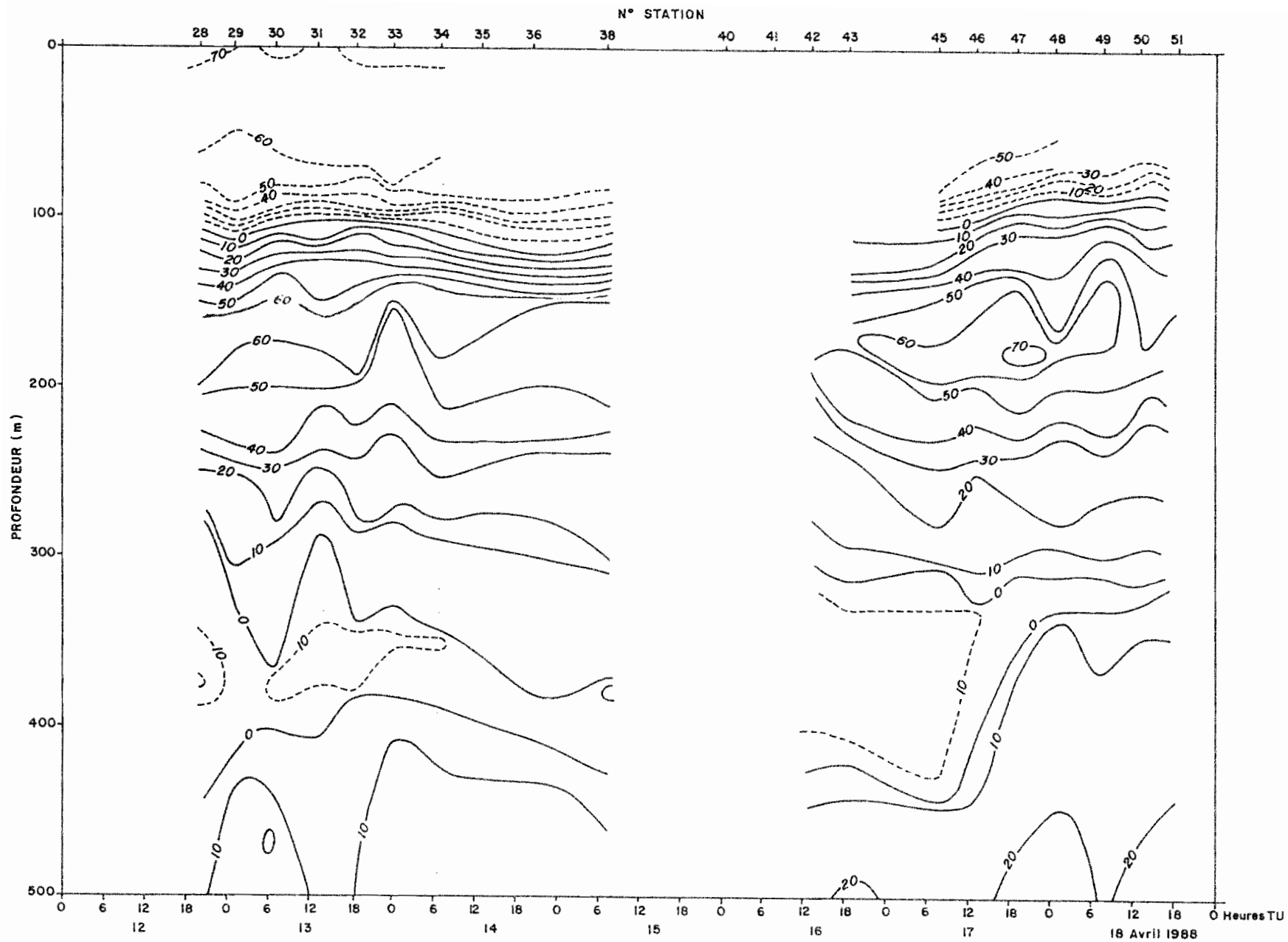


Fig. 18 - Composante méridienne du courant lors de la station en dérive (PROPPAC 2). Vitesse en cm.S^{-1}

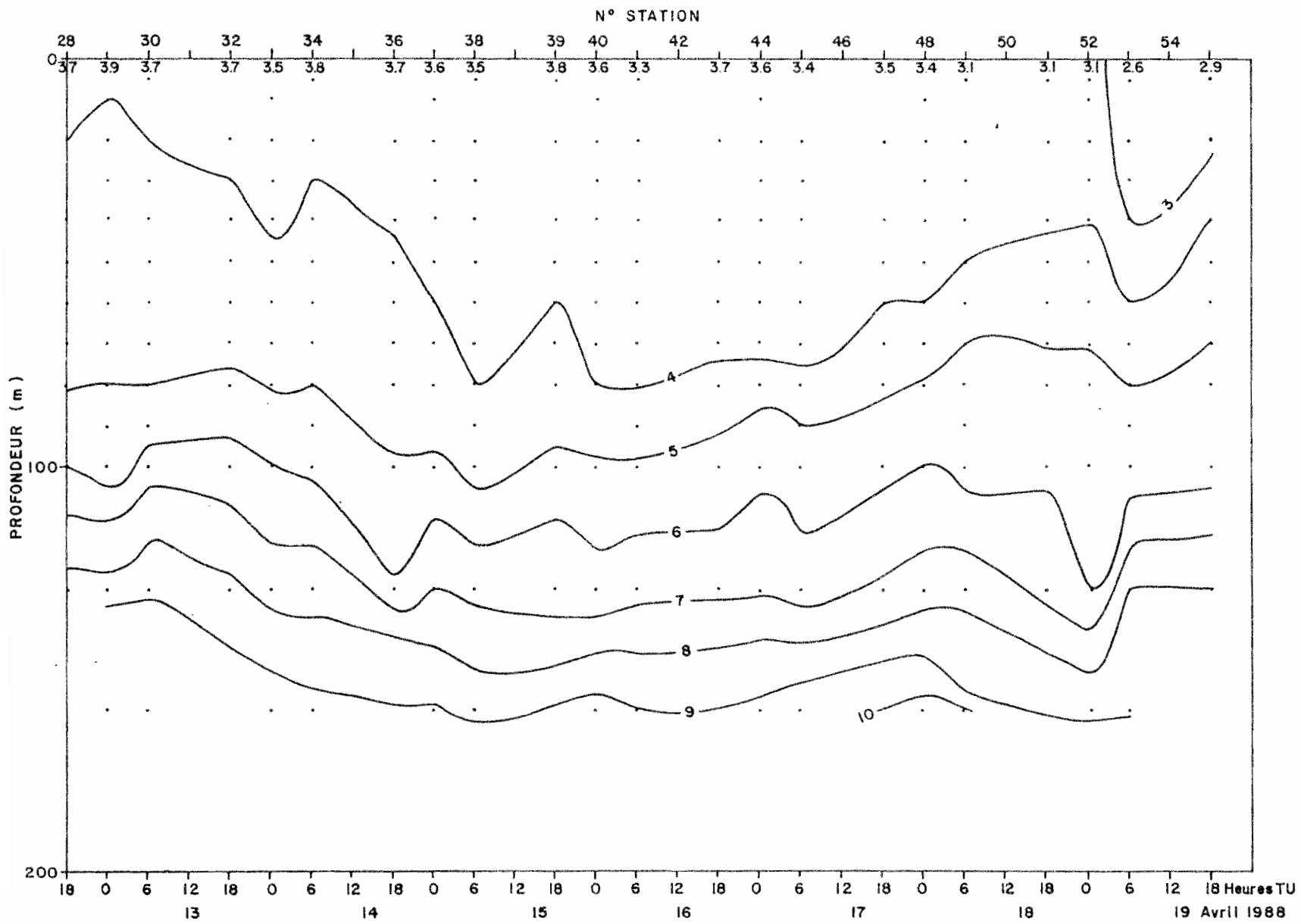


Fig. 19 - Evolution du nitrate et nitrite ($\mu\text{mole. l}^{-1}$) lors de la station en dérive (PROPPAC 2)

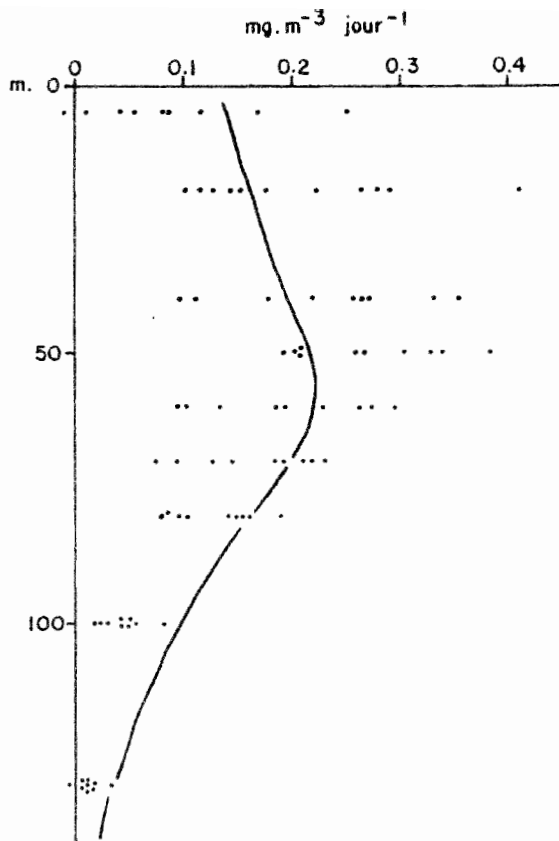


Fig. 21 - Production de chlorophylle dans les flacons au cours de la journée. Valeurs correspondant à 8 jours de mesure. La courbe représente le profil moyen de chlorophylle (mg.m^{-3}) en début de journée.

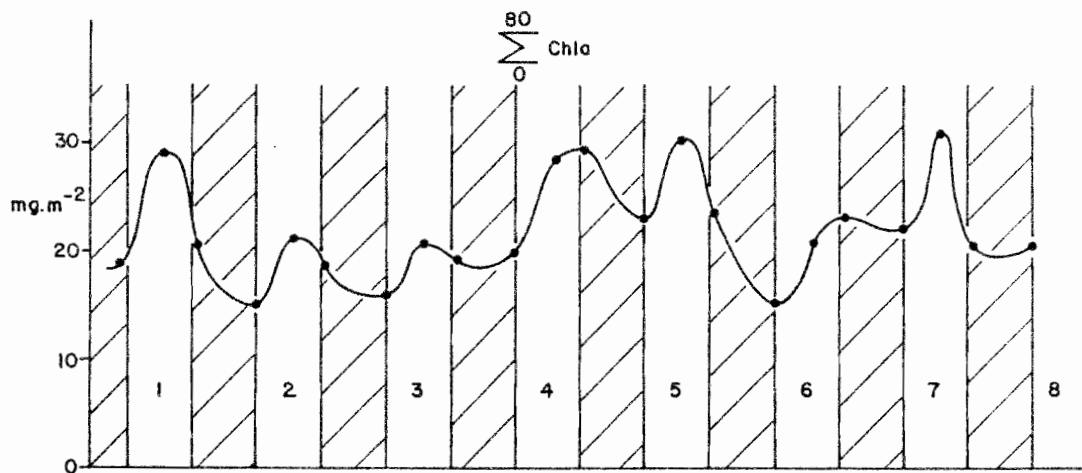


Fig. 20 - Variations de la chlorophylle contenue dans les 80 premiers mètres au cours des 8 jours de station en dérive.

PROPPAC 2

STATION 39

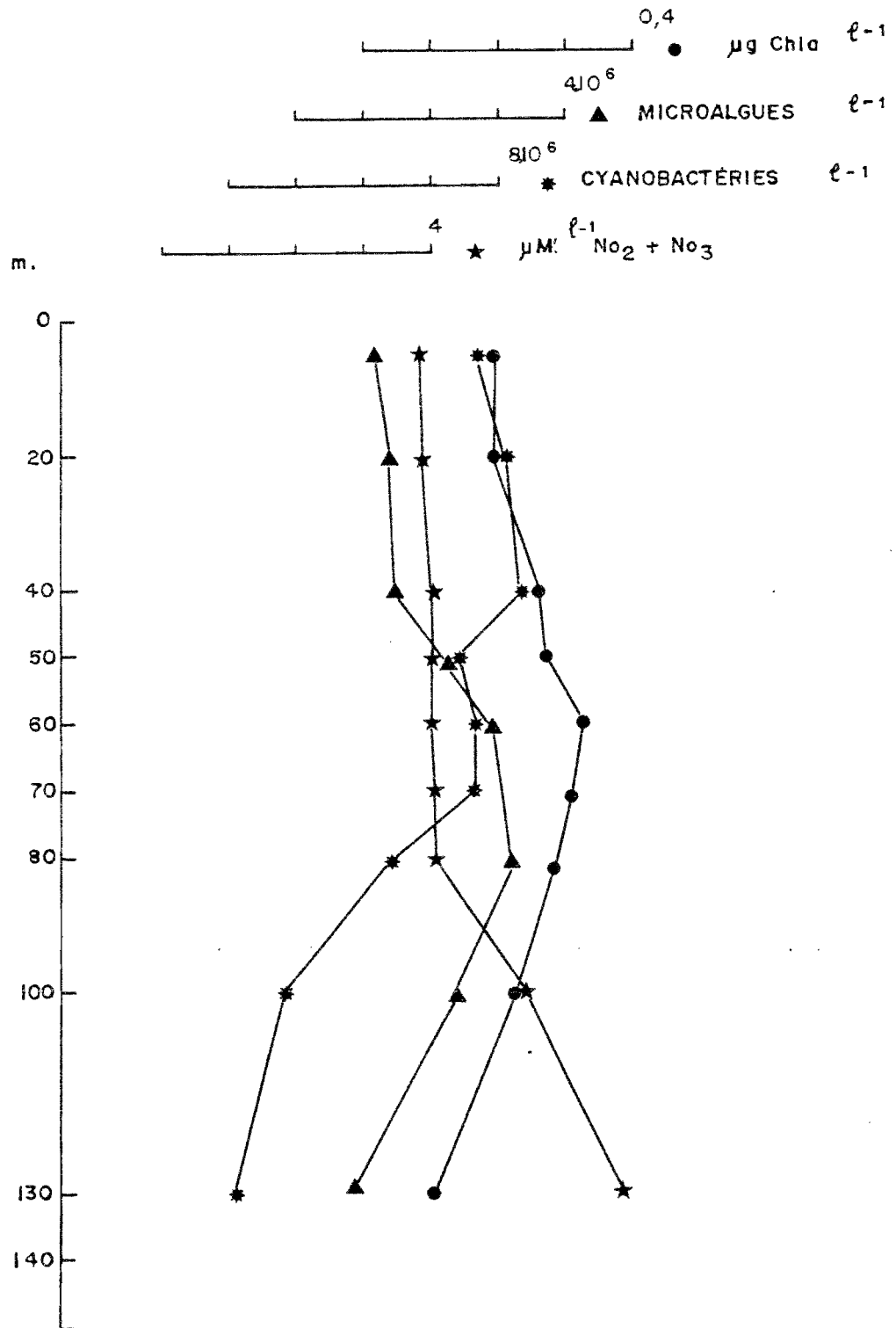


Fig. 22 - Profils verticaux des concentrations de sels nutritifs, chlorophylle a, cyanobactéries et microalgues lors de la station en dérive.

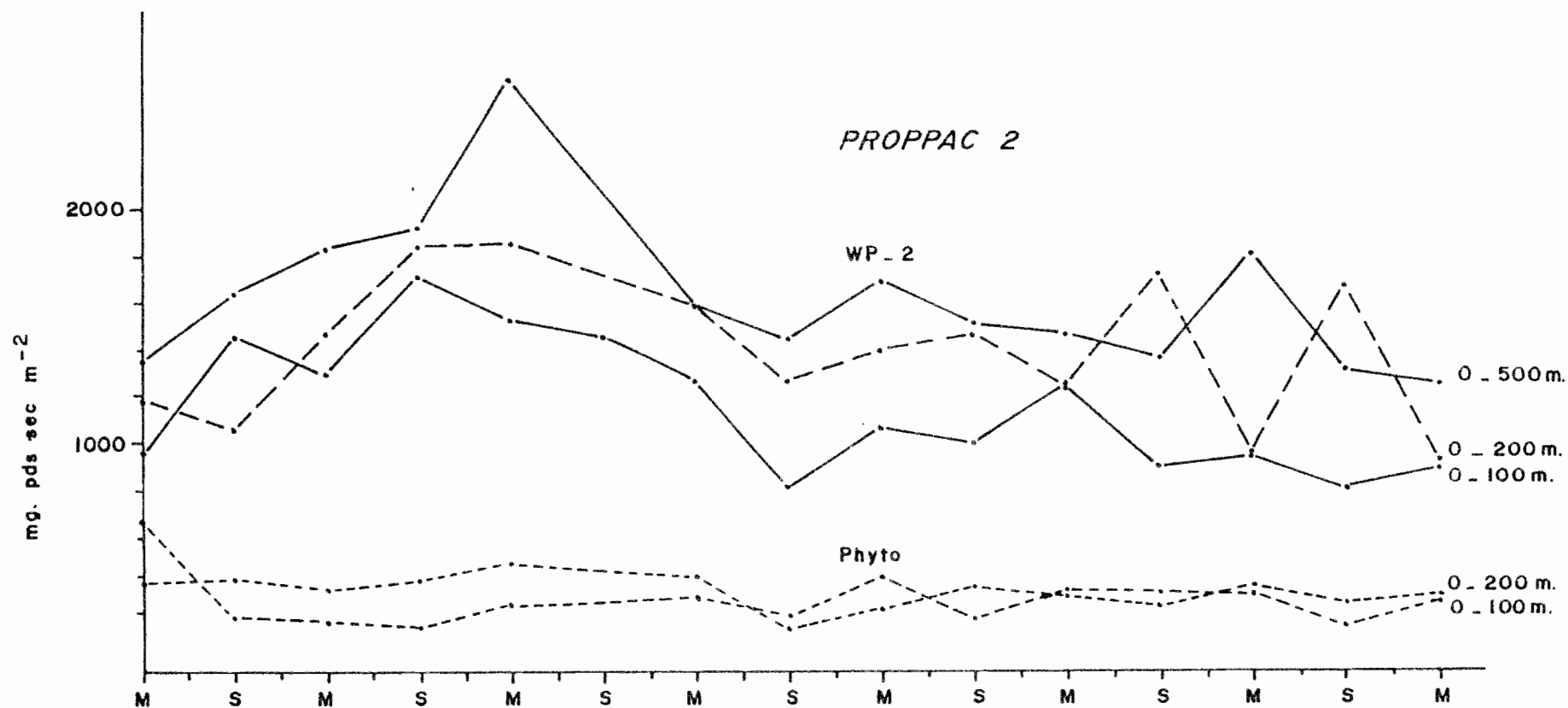


Fig. 23 - Evolution du poids sec de mésozooplancton (>200 μ m) et de microzooplancton (35-200 μ m) capturé avec les filets WP-2 et "Phyto" dans les couches 0-100, 0-200, 0-500m lors de la station en dérive.

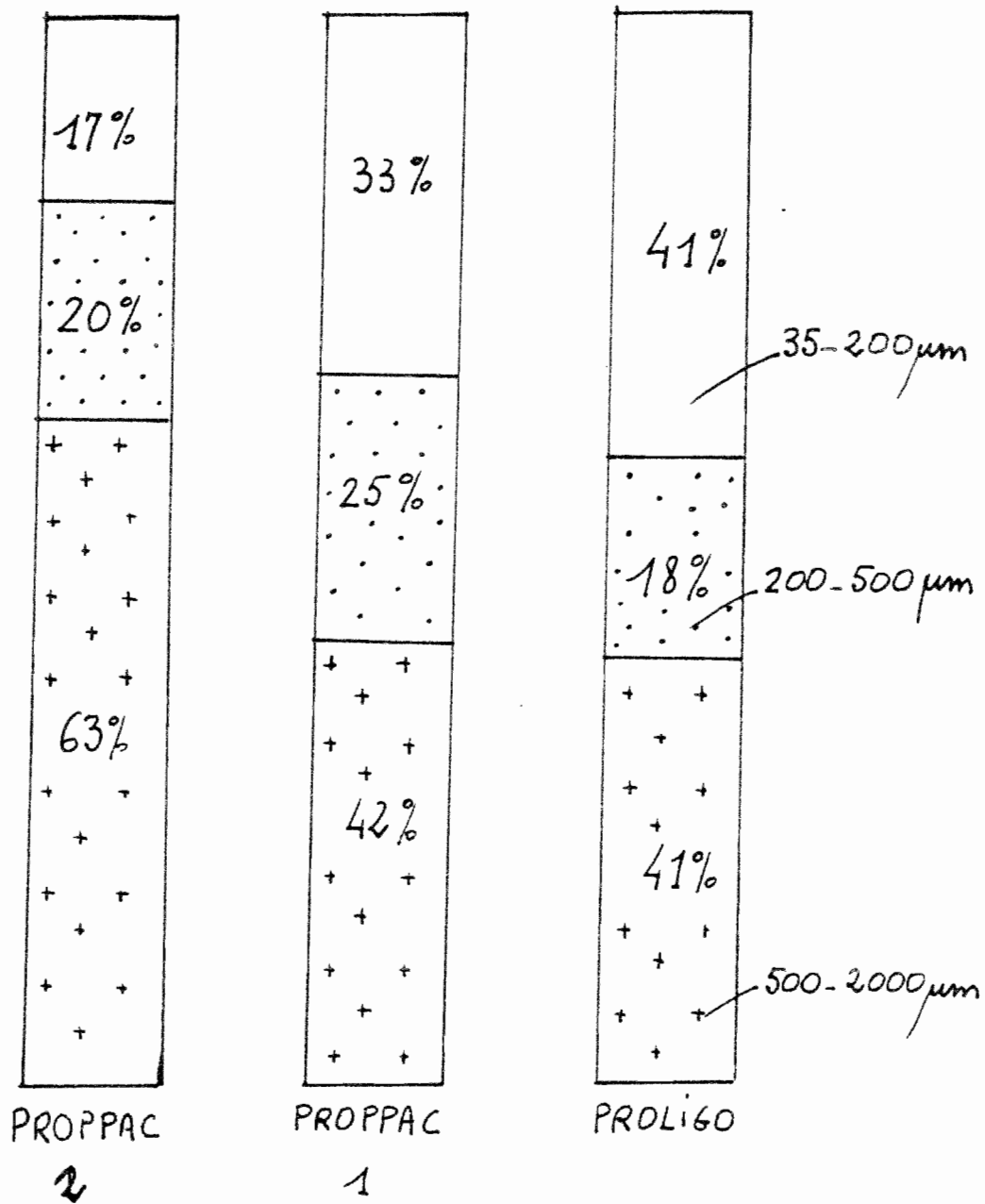


Fig. 24 - Importances respectives (en %) des différentes classes de tailles du zooplancton 35-200 μm lors des points fixes de PROPPAC 1 et 2 et PROLIGO.

RAPPORT DE LA CAMPAGNE PROPPAC 03 DU N.O. CORIOLIS

(11 septembre - 11 octobre 1988)

J. BLANCHOT, R. LE BORGNE, A. LE BOUTEILLER,
M.H. RADENAC & M. RODIER
Centre ORSTOM de Nouméa B.P. A5 Nouméa cédex -
Nouvelle-Calédonie

I OBJECTIF DES CAMPAGNES PROPPAC.

La campagne PROPPAC 03 du N.O. CORIOLIS est la troisième des quatre campagnes prévues dans le programme PROPPAC, dont le thème général est l'étude des relations liant l'hydrologie et la biomasse/production planctonique dans le Pacifique occidental. PROPPAC comprend deux types de campagnes à la mer : une participation aux deux campagnes annuelles SURTROPAC (du Groupe SURTROPAC de l'ORSTOM/Nouméa) avec des stations de courte durée, d'une part et la réalisation de campagnes PROPPAC, d'autre part, consistant en une radiale et un point fixe. La position de ce dernier est choisie à la fin de la radiale, chaque point fixe représentant une situation "type" et permettant les mesures de paramètres qui ne peuvent être faites au cours des stations de 3 h des radiales. Les thèmes suivants sont considérés aux points fixes :

- étude de la variabilité à court-terme des paramètres hydrologiques et biologiques, du type ondes internes ou migrations nycthémerales du zooplancton.
- description de la distribution verticale de ces mêmes paramètres et étude de leurs relations. Un cas particulier de cette rubrique est celui de la relation existant entre les valeurs de surface et les valeurs intégrées.
- mesures ou évaluations des productions primaire et zooplanctonique, nécessitant l'immobilisation du navire et l'acquisition de nombreux paramètres. L'objectif est de déterminer les rapport P/B et de déterminer leurs facteurs

de variation, en particulier d'origine hydrologique (advection, mélanges).

- description de la structure dimensionnelle des réseaux trophiques pélagiques, qui conditionne à la fois la valeur des taux de production et le rendement écologique du système.

II PLAN DE LA CAMPAGNE PROPPAC 03 (fig. 1)

La campagne a comporté trois phases :

1. La radiale préliminaire (12 - 22 septembre) a permis de décrire la situation océanographique le long du méridien 165° E, de 20° S à 6° N, à une période intermédiaire, entre celles de juillet 1988 (SURTROPAC 10) et janvier 1989 (SURTROPAC 11). Elle a permis aussi de choisir la position de la station de 8 jours, représentative d'une structure hydrologique caractéristique. A PROPPAC 3, il s'est agi d'une situation en bordure de l'upwelling équatorial (4° N) avec des concentrations très faibles de nitrate dans la couche euphotique et un gradient thermique à 140-150 m. Les stations de la radiale comprenaient les opérations suivantes :

- météo complète
- un profil de courant 0-600 m avec un profileur mis au point par l'Université de Kiel et construit par l'Université de Bretagne Occidentale (UBO) et deux courantomètres Aanderaa
- un trait de sonde CTDO 0-1000 m
- des prélèvements à la rosette à 12 niveaux, avec mesures de : nitrate et nitrite (haute-sensibilité), phosphate, oxygène (pour calibration de la sonde), azote et phosphore organique dissous, examens du pico- et du nanoplancton autotrophes, (cyanobactéries et microalgues) et du nanoplancton hétérotrophe (Ciliés, Flagellés) à certaines stations seulement, chlorophylle a, b et c (de différentes classes de taille), carbone, azote et phosphore particuliers. La distribution par taille du phytoplancton a été étudiée en détail à 3 stations (12° S, 2° S et 5° N). A chacun des 12 niveaux d'échantillonnage, la teneur en chlorophylle et le nombre de cellules procaryotes et eucaryotes ont été déterminés dans les fractions < 1 µm, > 1 µm et totale. De plus, des répliquats ont été récoltés et expédiés pour analyse pigmentaire détaillée sur spectrofluorimètre à J. Neveux à Banyuls.
- un profil de pénétration de la lumière (aux stations ayant lieu de jour)
- des mesures de production primaire en "in-situ" simulé
- des mesures de poids sec, matière organique, carbone, azote et phosphore zooplanctoniques, prélèvements pour identifications, à partir de traits de filet WP-2 (0-500 m) et 35 µm (0-200 m).

2. La station en dérive de 8 jours (26/9 au 3/10) a débuté à 4° N sur 165° E et a consisté en un suivi de la bouée de la chaîne à thermistances. Ces dernières espacées de 5 m étaient placées le long d'une ligne de 250 m de long, entre 147 m de profondeur et 192 m, donc dans la partie supérieure de la thermocline. Les mesures étaient enregistrées toutes les 2 mn et n'ont porté que sur les quatre premiers jours. En effet, la deuxième série de mesures, consécutive au changement des piles, n'a pas marché en raison, semble-t-il, de piles défectueuses. Le trajet suivi par le mouillage de la chaîne à thermistances est représenté Fig. 15.

Chaque jour, les opérations suivantes étaient faites à proximité du mouillage de la chaîne à thermistances (à moins de 3 milles environ) :

- météo, toutes les 3 h.
- sonde 0-1000 m et profil de courants de 0 à 600 m toutes les 4 h.
- prélèvements à la rosette de bouteilles de 5 l. à 5.30 h, 12.30 h et 16.30 h (heure locale) pour les mesures de nitrate et nitrite (haute sensibilité), phosphate, carbone et azote particulaires*, ATP*, chlorophylle *a*, prélèvements* pour comptages de cyanobactéries et microalgues en microscopie en épifluorescence. Prélèvements de bactéries hétérotrophes à quelques stations le matin et tous les jours à midi.
(* matin, seulement)
- mise à l'eau de deux lignes de production primaire, vers 6.30 h, l'une étant relevée à midi, la seconde à 17.30 h avec mesures d'incorporation de ^{14}C , ^{15}N , variations des concentrations en pigments chlorophylliens et des effectifs de microalgues et cyanobactéries.
- un profil vertical de particules ($<35\ \mu\text{m}$) et de zooplancton ($35\text{-}200\ \mu\text{m}$ et $>200\ \mu\text{m}$) avec deux bouteilles Niskin de 30 l, associées. Ces prélèvements ont eu lieu le matin de 6.00 h à 8.00 h et le soir entre 21.30 h et 23.00 h. L'ATP était mesuré un matin sur deux sur les trois classes de taille, le phosphore l'étant en alternance également le matin et systématiquement la nuit. Carbone et azote particulaires n'ont été analysés que le matin.
- un profil d'atténuation de la lumière, en milieu de journée, avec enregistrement quotidien de la lumière incidente.
- des prélèvements de zooplancton le matin et la nuit dans les couches 0-500, 0-200, 0-150 et 0-100 m pour les fractions de tailles 200-500 μm , et 500-2000 et dans les couches 0-200 et 0-100 m pour la classe 35-200 μm . Mesures de poids sec, poids sec sans cendre, composition élémentaire, respiration, excrétion (NH_4 , PO_4 , azote et phosphore totaux).

3. Le retour (3-9 octobre) Tirs de XBT, chlorophylle, température, salinité de surface toutes les trois heures de 5° N à 5° S, puis toutes les 6 heures jusqu'à Nouméa. Intervention sur la bouée de 5° S, le 6 octobre (anémomètre remplacé).

Le tableau 1 récapitule le nombre d'analyses et de mesures effectuées sur la radiale et au point fixe.

III - METHODES

1. Hydrologie-courantologie.

Une sonde CTD Seabird est utilisée pour mesurer la température, salinité et oxygène dissous. La sonde effectue 24 cycles de mesure par seconde. Les résultats enregistrés correspondent à une moyenne de chaque paramètre sur 24 cycles. La vitesse de descente est un paramètre important pour la qualité des mesures. Elle doit être la plus constante possible et comprise entre 80 cm s⁻¹ et 1 m s⁻¹.

Les profils de courant (0-600 m) sont déduits des mesures d'un courantomètre Aanderaa gréé sur un profileur glissant librement le long d'un câble fixé sous une bouée dérivante. Il est lesté de façon à descendre à 6 m.mn⁻¹. Un cycle de mesure (direction + vitesse) est enregistré toutes les 30 secondes. La vitesse de référence à 600 m est déterminée à chaque cycle grâce à un courantomètre Aanderaa dit "de fond".

2. Sels nutritifs (nitrate, nitrite, phosphate), matière organique dissoute et particulaire.

2.1. L'analyse des sels nutritifs a été réalisée, à bord, à l'aide d'un Autoanalyseur II Technicon. Pour le nitrate de concentrations > 2 µmoles l⁻¹ et le phosphate, le dosage est réalisé selon les méthodes classiques (STRICKLAND et PARSONS, 1972) modifiées et décrites dans le manuel d'analyses chimiques BARRIER/ORSTOM. Pour des concentrations en nitrate < 2 µmoles l⁻¹ et pour le nitrite la méthode d'analyse "haute sensibilité" récemment décrite par OUDOT et MONTEL (1988) est utilisée.

2.2 L'azote et le phosphore organique total sont mesurés sous forme de nitrate et de phosphate (voir sels nutritifs), après irradiation UV et oxydation selon la méthode d'ARMSTRONG et TIBBITTS (1968). Les dosages sont effectués à bord.

2.3. Les échantillons pour la mesure du carbone et de l'azote particulaires (filtration sur filtres Whatman GF/F, 25 mm, prébrulés à 400° C pendant 12 h) ont été ramenés congelés au laboratoire, et seront analysés ultérieurement sur un analyseur élémentaire Perkin Elmer CHN 2400. Le volume filtré est de 1 l pour les échantillons prélevés à la rosette et de 2 l pour ceux des bouteilles de 30 l.

2.4. Le phosphore particulaire est analysé à bord sous forme de phosphate par la méthode de MENZEL et CORWIN (1965), après filtration de 2 l sur filtres Whatman GF/F (25 mm) grillés à 400° C ou de 54 l sur des soies de 35 et 200 µm pour le zooplancton.

3. Oxygène dissous L'oxygène dissous est déterminé par la méthode de titration de Winkler (STRICKLAND et PARSONS, 1972), utilisant le système de détection automatique suivant : titroprocesseur 686 connecté à une burette automatique de type Dosimat 665 (Metrohm).

4. Chlorophylle a

Méthode décrite par HERBLAND et al. (1985). Echantillons de 100 ml filtrés sur GF/F, extraits dans le méthanol à 95% pendant 15 à 90 minutes et analysés sur fluorimètre Turner modèle 112. Etalonnage avec de la chlorophylle a pure Sigma.

5. Production primaire (¹⁴ C)

Prélèvements à la rosette. Flacons en verre de 300 ml enrichis avec 1 ml de carbonate ¹⁴ C d'activité 8 microcuries. Solution de ¹⁴ C préparée dans de l'eau déminéralisée et bidistillée contenant 300 mg l⁻¹ de carbonate de sodium. Deux lignes d'incubation in situ sur 9 niveaux mises à l'eau vers 6 h 30, l'une relevée à midi, l'autre à 17 h 30. Filtrations sur GF/F rincés à l'eau de mer filtrée et aussitôt congelés. Au laboratoire, décongélation, addition immédiate de 250 µl de HCl 0,5 N, puis étuve à 60° C pendant 24 heures, et addition de 4,5 ml de liquide scintillant Packard. Comptages sur compteur en scintillation liquide Packard. Flacons d'incubation lavés tous les jours avec HCl 1 N et rincés deux fois à l'eau bidistillée.

6. Production azotée

Même protocole que pour la production primaire, mais flacons en verre de 1000 ml enrichis de 0,2 µmole (surface) à 2 µmoles (bas de la couche photique) de nitrate ¹⁵ N. Echantillons filtrés sur filtres GF/F grillés à 400° C et immédiatement congelés jusqu'à analyse.

7. Lumière

Profils de pénétration de la lumière obtenus à l'aide d'un quantamètre LI-COR monté sur le câble de la sonde STD0. Rayonnement global incident mesuré avec un pyranomètre Kipp and Zonen relié à un enregistreur et un intégrateur TSM. Lumière visible incidente mesurée avec un quantamètre LI-COR et un intégrateur LI-COR.

8. Traitement des échantillons destinés aux observations en épifluorescence

- Filtration : 50 à 100 ml d'eau de mer sont filtrés sur NUCLEPORE de 25 mm, 0,2 µm, colorés au noir d'Irgalan, avec une dépression de filtration inférieure à 125 mm de mercure; Conservation à -20° C

jusqu'au retour à terre.

- Observations avec un microscope WILD-LEITZ DIALUX 20 muni d'un dispositif PLOEMOPAK 2.4 pour la fluorescence. Brûleur HBO 50 et filtre I₂ (bande passante : 450 à 490 nm). Objectif ZEISS 100-125 à immersion.

- Nombre de cellules comptées : 200 à 800. Nombre de champs observés : 20 (C.V. = 8% pour n= 3, avec un même filtre et 12% avec deux filtres différents).

Le nombre des organismes par unité de volume est déterminé par la formule :

$$N = \frac{n \times ncf}{ncc \times v}$$

n = nombre d'organismes

ncf = nombre de champs sur la surface efficace du filtre

ncc = nombre de champs observés

v = volume d'eau filtré.

Les comptages sont faits dans les minutes qui suivent la décongélation et les filtres montés, entre lame et lamelle. Le liquide de montage est de marque SIGMA.

9. Protocole opératoire concernant les échantillons des bactéries hétérotrophes

Ces échantillons sont destinés à Harry HIGGINS du CSIRO (Hobart, Australie). Prélevés à 12 niveaux à la rosette, ils ont un volume de 10 ml et sont stockés dans des tubes à essai stériles de 12 ml, à 4° C à l'obscurité. Ils sont fixés au formol (1 ml dilué dans 10 ml d'eau filtrée sur 0.2 µm).

10. Zooplancton

- Prélèvements en traits verticaux avec des filets coniques de 35 µm (section d'ouverture : 0.09 m², longueur : 2.61 m) ou cylindro-coniques de 200 µm (filets WP-2, UNESCO, 1968). A la station de 8 jours, utilisation de deux bouteilles Niskin de 30 l accouplées, pour description de la distribution verticale.

- Biomasse, exprimée en poids sec, obtenue sur des échantillons récoltés par un, deux ou trois filets tamisés sur 200 ou 2000 µm selon le filet utilisé, rincés à l'eau douce et séchés à 60° C. Conservation à -20° C jusqu'au retour à terre; étuve 24 h à 60° C, dessiccateur et pesée (± 0.1 mg).

- Le poids sec sans cendre est obtenu par combustion à 550° C pendant 1 h ½, des échantillons pesés précédemment pour la mesure du poids sec.

- La composition élémentaire (C, N, P) est analysée sur des broyats de plancton réalisés à bord. Dilués dans de l'eau distillée, ces broyats sont mis dans des nacelles, séchés à 60° C, puis conservés à -20° C.

La teneur du poids sec en phosphore est déterminée à terre par la méthode de MENZEL et CORWIN (1965), celle du carbone et de l'azote, avec un analyseur "CHN".

- Les échantillons destinés à l'identification des principales entités taxonomiques sont fixés au formol à 10% neutralisé au borax.

- L'ATP (adénosine tri-phosphate) du plancton des bouteilles Niskin est extrait à bord et dosé à terre, avec un luminomètre LKB, les échantillons ayant été conservés à -20° C jusqu'au moment de l'analyse.

- La respiration et l'excrétion ont été déterminées sur des animaux mis en incubation pendant environ 20 heures, dans de l'eau tamisée sur 35 µm.

IV EQUIPE SCIENTIFIQUE

10 scientifiques de l'ORSTOM embarquaient :

- océanographie physique :

Philippe ARROYAS, électronicien
Yves DANDONNEAU, Chercheur
Jean-Yves PANCHE, électronicien

- chimie :

Sylvain BONNET, technicien
Philippe GERARD, technicien
Martine RODIER, Chercheur

- production primaire - matériel particulière :

Jean BLANCHOT, chercheur
Aubert LE BOUTEILLER, chercheur

- production secondaire :

Robert LE BORGNE, chercheur, Chef de mission.
Gwenaëlle MONTCOIFFE, stagiaire

- Collaborations nationales et internationales :

Alain DESSIER (ORSTOM/BREST : écologie des copépodes)
Harry HIGGINS (CSIRO/AUSTRALIE) : bactéries hétérotrophes
B. LAMBERT (CFP/BORDEAUX) coccolithophorides
Jaques NEVEUX (CNRS/BREST) : chlorophylle au spectrofluorimètre

V RESULTATS PRELIMINAIRES

Rédigé un mois et demi après le retour de campagne, ce rapport ne présente qu'une partie des résultats qui ont pu être

obtenus rapidement. De ce fait, certains peuvent apparaître sous-représentés, ce qui est le cas des mesures de production au point fixe.

1. RESULTATS DE LA RADIALE (12 - 22 septembre 1988)

1.1. Paramètres météorologiques (fig. 2, 3 et 4)

Nous présentons ici les relevés météorologiques effectués le long du méridien 165°E pendant la radiale (12 au 22 septembre 1988) et au retour (3 au 9 octobre 1988).

Les paramètres, autres que le vent, relevés à la passerelle toutes les 3 heures sont présentés figure 3 et 4.

Les vents (fig. 2) ont soufflé en moyenne de 10 à 15 noeuds pendant la radiale avec des pointes à 25 noeuds en début de campagne, ce qui explique l'absence de données sonde-rosette aux latitudes 17, 16 et 15°S. Au retour, ils ont légèrement faibli (environ 10 noeuds). Au cours de la radiale, on note la présence d'une bande de vent zonal d'est (10 à 18 noeuds) de 7°S à 3°N.

1.2. Hydrologie

1.2. 1. Températures (fig. 5)

La coupe est caractérisée par des eaux chaudes de surface (>29° C) peu abondantes. Elles ne sont présentes sur une épaisseur de 80 m que de 7S à 5S.

L'upwelling est resté intense depuis la campagne d'avril 1988. Les eaux de surface atteignent moins de 28° C de 1S à 2N.

1.2.2. Salinité (fig. 6)

L'upwelling est très bien marqué par la salinité dès 5S et jusqu'à 2N. La salinité est de 35.3 o/oo au voisinage de l'équateur. Cette valeur, comme celle de la campagne PROPPAC 2, est la plus élevée depuis que les radiales SURTROPAC et PROPPAC sont effectuées (janvier 1984). En effet, seules les mesures du mois d'août 1984 permettent de déceler un upwelling assez marqué. La salinité observée à PROPPAC 3 est par contre tout à fait comparable aux valeurs obtenues lors des campagnes BORA (1965-1966) et CYCLONE (1966-1968) décrivant presque toutes des situations d'upwelling à 170°E.

Notons enfin la présence quasi permanente d'eaux peu salées (<34.5o/oo) de 13°S à 8°S, liées au contre courant sud équatorial.

1.3. Courantométrie

1.3.1. Composante zonale (Fig. 7)

En surface :

De 20 S à 6 N, on trouve :

- Un courant portant à l'ouest assez souvent rencontré lors des campagnes précédentes. Il ne fait pas partie du courant sud équatorial;
- Un courant est qui peut correspondre à la branche sud de la grande circulation anticyclonique et que Merle, Rotschi et Voituriez (1969) préfèrent définir (à 170 E) comme le contre courant sud tropical;
- Une alternance de courants ouest et est de 14 S à 9 S, le courant ouest représentant la branche sud du courant sud équatorial et le courant est, le contre-courant sud équatorial. Leurs vitesses restent faibles ($|u| < 10 \text{ cm s}^{-1}$);
- De 9 S à 5 N s'étend le courant sud équatorial qui est très large et puissant depuis la fin du dernier El Niño. Sa vitesse atteint 70 cm s^{-1} en surface;
- La limite sud du contre courant nord équatorial est juste atteinte vers 6 N. C'est la position la plus au nord depuis le début des campagnes SURTROPAC et PROPPAC. Elle oscille en général entre 1 S et 4 N.

En subsurface :

Le noyau du sous courant équatorial est situé vers 160 m et sa vitesse est assez élevée ($u \approx 60 \text{ cm s}^{-1}$);
Sa branche nord, centrée à 3N de 250 à 320 m, a une vitesse faible ($u < 10 \text{ cm s}^{-1}$). La branche sud est probablement centrée à 3S de façon symétrique, par rapport à l'équateur.

1.3.2. Composante méridienne (Fig. 8)

Le long de la radiale, la circulation méridienne reste faible ($|v| < 20 \text{ cm s}^{-1}$), à l'exception d'une forte composante nord ($v \approx 60 \text{ cm s}^{-1}$) à 120 m de 3N à 5N.

1.4. Sels nutritifs

La distribution du nitrate (Fig. 9) le long de la radiale révèle dans ses grands traits une situation relativement semblable à celle rencontrée à PROPPAC 2 (avril 1988) et SURTROPAC 10 (juin 1988).

Elle montre, tout d'abord, un enrichissement superficiel en nitrate consécutif à l'upwelling équatorial entre 5° S et 2° N (soit sur une distance de 800 km), caractérisé par des concentrations en

surface supérieures à $0,1 \mu\text{mole l}^{-1}$ et dépassant $2 \mu\text{moles l}^{-1}$ entre 2°S et 1°N . L'upwelling est décentré par rapport à l'équateur, le maximum de nitrate ($2,29 \mu\text{moles l}^{-1}$) se situant à 1°S .

L'enrichissement de la couche équatoriale superficielle lié à l'upwelling, signalé dans le rapport précédent pour la période comprise entre novembre 65 et août 76, puis absente pour la période allant de janvier 85 (radiales SURTROPAC) à septembre 87 (PROPPAC 1) est donc redevenu permanent depuis avril 88 (PROPPAC 2). On notera toutefois que les valeurs de nitrate signalées en surface ainsi que l'étendue de la zone d'enrichissement varient au cours de l'année 1988 : elles sont plus faibles à PROPPAC 3 (septembre) que celles rencontrées lors de la radiale de PROPPAC 2 d'avril (l'isoline $3 \mu\text{moles l}^{-1}$ atteignant alors la surface, enrichissement superficiel sur 8 degrés de latitude), mais plus fortes au contraire que celles mesurées lors de la radiale SURTROPAC 10 en juin ($1,5 \mu\text{mole l}^{-1}$ en surface, enrichissement sur 6 degrés de latitude).

L'autre trait caractéristique de la radiale est l'enrichissement subsuperficiel consécutif à l'existence d'un dôme au voisinage de 9°S , la remontée de l'isoplethe $0,1 \mu\text{mole l}^{-1}$ se situant à 50 m. La position en latitude de ce dôme n'est pas fixe: elle a varié de 8°S lors de la campagne EPNITE, à 10°S lors des campagnes MINEPO et PROPPAC 1, à 12°S au cours de la radiale SURTROPAC 10, les variations étant liées à la position respective du contre courant sud équatorial et de la branche sud du courant sud équatorial.

Enfin on signalera entre 4°N et 6°N la présence d'eaux riches en nitrate (10 à $17 \mu\text{moles l}^{-1}$ mesurées) en dessous de 150 m.

La distribution verticale du nitrite (Fig. 10) et du phosphate (Fig. 11) est dans ses grandes lignes similaire à celle du nitrate; l'upwelling équatorial est caractérisé par des valeurs de surface supérieures à $0,3 \mu\text{mole l}^{-1}$ pour ces deux sels. Dans le cas des nitrites, on signalera, par ailleurs, l'existence de zones d'accumulation situées de part et d'autre de l'upwelling, entre 2°N et 6°N , d'une part et 8°S et 3°S , d'autre part. Déjà signalées par OUDOT et WAUTHY (1976), ces zones d'accumulation, ou "poches à nitrites", renferment des concentrations (jusqu'à $0,8 \mu\text{mole l}^{-1}$) plus faibles que celles rapportées par ces auteurs (jusqu'à $2 \mu\text{moles l}^{-1}$ lors de la campagne MINEPO).

1.5. Oxygène (Fig. 12)

La distribution de l'oxygène en profondeur en dessous de la couche homogène) suit de façon fidèle la répartition des sels nutritifs.

Dans la couche de surface, on notera l'existence d'un gradient négatif sud-nord des teneurs d'oxygène ($4,7 \text{ mlO}_2 \text{ l}^{-1}$ à 19°S ; $4,3 \text{ mlO}_2 \text{ l}^{-1}$ à 6°S), ainsi que la présence de maxima relatifs d'oxygène au niveau des zones frontales et de la zone centrale de l'upwelling, qu'il sera intéressant d'étudier en détail en relation avec les paramètres biologiques.

1.6. Distribution de la chlorophylle a (Fig. 13)

La distribution de la chlorophylle a le long de la radiale 165° E est exactement du même type que celle des deux missions précédentes, PROPPAC 2 (avril 1988) et SURTROPAC 10 (juin 1988). L'enrichissement lié à l'upwelling équatorial est évident de 5° S à 2° N (Fig. 13). La seule différence importante est l'absence de prolifération d'*Oscillatoria* en surface comme observé de manière plus ou moins continue de 8° S à 20° S lors des deux radiales précédentes.

La structure de taille de la chlorophylle a été trouvée rigoureusement identique aux résultats précédents (voir rapport PROPPAC 1). La relation chlorophylle/nombre de cellules montre une nouvelle fois un résultat paradoxal déjà obtenu à PROPPAC 1 et PROPPAC 2 : dans la couche de surface, les comptages indiquent que dans la fraction < 1 µm qui contient près de 90% des cyanobactéries et très peu de microalgues, la teneur en chlorophylle des cyanobactéries varierait de 100 fg par cellule dans les eaux les plus pauvres à 12 fg par cellule environ dans les eaux d'upwelling. Une variation dans le même sens et du même ordre de grandeur s'observe pour les microalgues dans la fraction > 1 µm. Comme ces mêmes tendances se retrouvent du haut en bas de la couche euphotique, il semble que les communautés phytoplanctoniques des eaux riches de type upwelling se distinguent très nettement de celles des eaux oligotrophes de type situation tropicale typique. Cette différence serait donc beaucoup plus importante qu'un simple changement de la taille moyenne des cellules mis en évidence par les mesures de chlorophylle.

1.7. Zooplancton (Fig. 14)

L'enrichissement dû à l'upwelling équatorial apparaît bien établi depuis avril 88 (PROPPAC 02) et les biomasses élevées concordent avec la présence en surface des sels nutritifs, entre 5° S et 2° N. Ainsi, contrairement à PROPPAC 02, l'upwelling n'apparaît pas axé sur l'équateur. La seconde zone de biomasse élevée est située à 11° S, comme d'habitude et correspond au dôme des nitrates à 9° S.

Le poids sec moyen par mètre-carré est de 828 mg, légèrement plus faible qu'à PROPPAC 02 (875 mg) et très inférieur à la valeur de 1159 mg de la radiale SURTROPAC 10 de juillet 88. Il se confirme d'ailleurs que les poids secs de zooplancton sont systématiquement plus élevés en juillet qu'en janvier, et peut-être aussi septembre et avril : les cinq valeurs les plus importantes des 13 radiales sont celles de juillet 87, 88, 85, 86 et 84.

2. STATION EN DERIVE (du 26 septembre au 3 octobre 1988)

2.1. Trajectoire

Les routes suivies par la chaîne à thermistances et le bateau sont présentées sur la figure 15. La chaîne à thermistances a été lâchée le 26 septembre à 3.56 HL (HL = TU + 11) par 4.00N et 165.24E,

relevée le 29 septembre à 15.30 HL par 4.22N et 164.21E puis remise à l'eau, pour être finalement récupérée le 3 octobre à 2.33 HL à 5.15N et 163.39E.

2.2. Paramètres météorologiques (Fig. 16 et 17)

La direction générale du vent est de sud est, soufflant en moyenne à 12 noeuds avec des maxima à 20 noeuds.

2.3. Hydrologie

2.3.1. Température (Fig. 18)

L'isotherme 28° C s'approfondit au cours de la station en dérive. Ceci est à relier au trajet suivi par la bouée dérivante (voir la coupe de température de la radiale) qui parcourt 1° vers le nord entre 4N et 5N.

2.3.2. Salinité (Fig. 19)

En surface, les valeurs rencontrées sont plus élevées que celles de la radiale à 4N.

2.4. Courantométrie

2.4.1. Composante zonale (Fig. 20)

Au début de la station, on retrouve bien les vitesses de 30 cm s⁻¹ à 40 cm s⁻¹ rencontrées au nord du courant sud équatorial au cours de la radiale. En fin de station, des vitesses faiblement positives sont mesurées ce qui indiquerait l'approche de la limite sud du contre-courant nord équatorial. On note le 4ème jour l'apparition vers 210 m d'une composante est ($u < 20$ cm s⁻¹) pendant une trentaine d'heures.

2.4.2. Composante méridienne (Fig. 21)

La composante nord, encore présente en surface, est plus forte qu'en fin de radiale. La forte composante nord qui était présente à 120 m n'apparaît jamais au cours de la station en dérive. Des vitesses négatives sont mesurées de 200 à 250 m après 100 heures de dérive.

2.5. Chaîne à thermistances (Fig. 22)

Seule la première partie (du 26/9/88 à 3.25 HL au 29/9/88 à 15.30 HL) des mesures de la chaîne sont exploitables, l'enregistreur de données étant tombé en panne après la remise à l'eau.

Le capteur de pression préalablement placé sur l'enregistreur de données (192 m) n'indique qu'une faible variation de la profondeur (± 2 m).

L'enregistrement des données met en évidence une très grande variabilité de la température à des échelles de temps inférieures à l'heure. Des ondes d'une amplitude voisine de 15 m sont présentes.

2.6. Sels nutritifs

Seule la distribution du nitrate (Fig. 23) au cours de la station en dérive a été représentée, les autres sels nutritifs suivant sensiblement la même évolution temporelle.

En huit jours d'observation, la distribution du nitrate a évolué de façon significative dans la couche 0-150 m avec un enfoncement du sommet de la nitracline (isoplèthe $0,1 \mu\text{mole l}^{-1}$) et des isoplèthes $0,5$ à $2 \mu\text{moles l}^{-1}$. En profondeur, on note par contre une relative stabilité des valeurs de nitrate. Dans le détail, il faut distinguer, au niveau de l'évolution des structures, deux phases :

- une première phase correspondant aux 5 premiers jours de station (stations 28 à 56) pour laquelle l'enfoncement des isolignes est faible et les valeurs de nitrate relativement stables au cours du temps. Cette relative stabilité temporelle permet de mettre en évidence l'existence de variations journalières, déjà mentionnées dans le rapport de mission PROPPAC 02, et dont l'amplitude verticale peut atteindre 25 m.

- une seconde phase (station 56 à 73) correspondant aux 3 derniers jours de station, caractérisée par une diminution brutale des concentrations en nitrate dans la couche 50-140 m avec un enfoncement marqué du sommet de la nitracline qui passe de 45 m à 125 m en moins de 70 h. On notera par contre une remontée brutale en surface de l'isoplèthe $0,02 \mu\text{mole l}^{-1}$ dès la station 56.

2.7. Oxygène (Fig. 24)

L'évolution temporelle de l'oxygène présente dans ses grandes lignes une similitude avec celle du nitrate. Au cours des 5 premiers jours on observe en dessous de la couche homogène une relative stabilité des valeurs, bien que "parasitée" par de fortes variations diurnes. Au delà du 5ème jour, les isoplèthes de subsurface s'enfoncent de façon significative.

Le tracé de l'isoligne $4,45 \text{ ml l}^{-1}$ révèle dans la couche de surface l'existence de zones de maximum d'oxygène. Ces maxima très nets au cours des 3 premiers jours de station et répartis selon un cycle diurne, perdent de leur périodicité et s'étendent dans le sens vertical au fur et à mesure de l'approfondissement de la couche homogène.

2.8. Production primaire et chlorophylle

La biomasse chlorophyllienne est plutôt élevée : 37 mg. m⁻² en moyenne et 0,16 à 0,20 mg m⁻² en surface. Le maximum de chlorophylle est bien marqué à 50 ou 60 m les 5 premiers jours puis s'affaiblit et s'enfonce vers 80, 100 et même 120 m les 3 jours suivants (Fig. 25).

Des variations diurnes très nettes de la chlorophylle sont mises en évidence grâce à 3 profils par jour. Ces variations sont donc observées pour la 4ème fois de manière statistiquement significative : 13 jours en Atlantique équatorial (CIPREA 4) et 3 fois 8 jours en Pacifique équatorial (PROPPAC 1, 2 et 3). Elle doivent donc désormais être considérées comme une propriété spécifique importante de la chlorophylle en milieu océanique équatorial. En outre, la comparaison des différentes croisières montre dans le tableau présenté à la fin de ce paragraphe, que l'amplitude des variations nyctémérales est directement reliée à la productivité des masses d'eau.

La production primaire totale moyenne s'élève à 836 mg C m⁻² jour⁻¹. La gamme de valeurs s'étend de 580 (3ème jour très nuageux) à 1060 mg C m⁻² jour⁻¹ (4ème jour très ensoleillé). Un premier pic de production apparaît systématiquement à 20 m. Un second pic se forme au niveau du maximum de chlorophylle si celui-ci est bien marqué et peu profond (Fig. 30).

Pour déterminer quel type de relation existe entre production et biomasse, on considère les valeurs correspondant à des échantillons ayant tous reçu quasiment le même éclairage au cours de l'incubation in situ; La gamme de 28 à 44 $\mu\text{E. m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ a été choisie de manière à regrouper la gamme la plus large possible de concentrations de chlorophylle (Fig. 31). Ces échantillons ont été prélevés et incubés soit à 30 m., soit à 50 m. On montre ainsi une relation linéaire parfaite entre production photosynthétique et biomasse chlorophyllienne, puisque 83 % de la variance de la production est expliquée par la seule chlorophylle.

Les points qui correspondent à des échantillons dépourvus de nitrate ne se distinguent pas sur la droite de la Fig. 31 de ceux qui en contiennent.

La production par unité de chlorophylle présente un maximum à 20 ou 30 m et décroît ensuite régulièrement vers le bas (Fig. 30). Les courbes sont toutes identiques quelle que soit la profondeur du maximum de chlorophylle ou du sommet de la nitracline. L'équation de la courbe a donc été calculée en fonction de la quantité de lumière reçue par les échantillons.

$$P/B = 0,80 \overline{\text{PAR}}^{0,573} \quad (n=47, r = 0,979)$$

P = mg C. m⁻². h⁻¹ entre 6 h et 17 h.

B = mg Chla. m⁻² mesuré à 6 h

$\overline{\text{PAR}}$ = $\mu\text{E. m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ entre 6 h et 17 h ($\overline{\text{PAR}} < 150 \mu\text{E. m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ de manière à éviter l'excès de lumière observé à 5 et 10 m).

La production a d'autre part été mesurée en terme de chlorophylle, entre 6 h et midi d'abord, entre 6 h et 17 h (flacons clairs et flacons sombres) ensuite. La chlorophylle augmente de 14 % le matin (couche 0-150 m) et de 25 % du matin au soir dans les flacons clairs tandis qu'elle baisse de 7 % en moyenne dans les flacons incubés in situ à l'obscurité. Le tableau ci-dessous permet une comparaison rapide de la production primaire en différentes situations de la zone équatoriale :

- Production primaire et chlorophylle en 4 stations de longue durée.

Croisière	Latitude	Chla (to)	Chla milieu	Chla flacons	Production primaire
CIPREA 4 *	0°	23,0	+ 46 %	+ 77 %	148
PROPPAC 1	3° N	17,9	+ 21 %	+ 36 %	59
PROPPAC 2	0°	22,6	+ 38 %	+ 79 %	150
PROPPAC 3	4°-5° N	24,7	+ 14 %	+ 25 %	77

* Point fixe à 4° W (Atlantique).

Avec :

Chla (to) = chlorophylle a (mg. m⁻²). Moyenne entre 0 et 100 m à 6 h (to).

Chla milieu = variations moyennes de la chlorophylle dans le milieu naturel entre 6 h et 13 h (couche 0-100 m).

Chla flacons = synthèse de chlorophylle dans les flacons d'incubation entre 6 h et 18 h (couche 0-100 m).

Production primaire = fixation moyenne de carbone (mg.m⁻². h⁻¹) mesurée in situ de 6 h à 18 h (couche 0-100 m).

Conclusions sommaires :

- PROPPAC 1 : situation la plus pauvre en chlorophylle et en production.
- PROPPAC 2 et CIPREA 4 : situations les plus productives, variations nyctémérales les plus amples, production primaire et synthèse de chlorophylle les plus élevées.
- PROPPAC 3 : situation assez riche en chlorophylle mais la moins productive (faible synthèse de chlorophylle et faible production par unité de chlorophylle).

2.9. Distribution verticale du picoplancton et du nanoplancton autotrophes des sels nutritifs et de la chlorophylle "a" aux stations 34 et 52. (Fig. 26 et 27).

Les deux profils présentent les caractéristiques suivantes :

- des effectifs importants de cyanobactéries, (10^7 cellules l^{-1}), dans la zone 0-600 m.
- des effectifs importants de microalgues ($3 \cdot 10^6$ cellules l^{-1}) dans la zone 50-100 m.
- un nombre faible de cyanobactéries ($< 10^5$ cellules l^{-1}) en dessous de 100 m.
- une diminution plus lente du nombre des microalgues avec la profondeur.
- le nombre des cyanobactéries dans les 150 premiers mètres varie d'un facteur 100, celui des microalgues d'un facteur 5 à 10.
- l'augmentation du nombre des microalgues se situe aux profondeurs où les nitrates et nitrites ont une concentration de 0,1 à 0,5 $\mu\text{mole } l^{-1}$.
- les profils de la concentration de la chlorophylle ont la même allure que ceux des effectifs de microalgues.

L'abondance des cyanobactéries dans les couches superficielles et leur aspect (grosses, rondes, lumineuses) rappellent les résultats obtenus à PROPPAC 2 à l'équateur et à PROPPAC 1 entre $11^\circ S$ et $7^\circ S$. Ces deux informations - abondance et aspect - suggèrent que, malgré l'absence de sels nutritifs en surface, les cyanobactéries ne sont pas carencées en azote et phosphore.

2.10 Evolution des effectifs des cyanobactéries et des microalgues au cours des incubations in situ.

Les différents profils (Fig. 28 et 29) correspondent aux dénombrements effectués aux temps d'incubation suivants :

- . T_0 = début d'incubation
- . T_1 = $T_0 + 5$ h en présence de lumière
- . T_2 , T_2 obscur = $T_0 + 10$ h en présence et en absence de lumière

Aucune tendance nette ne se dégage des comptages alors que les concentrations de chlorophylle mesurées varient en fonction des conditions expérimentales : $(T_2 \text{ obscur}) < (T_0) < (T_1) < (T_2)$. Ces résultats sont en contradiction avec ceux obtenus à PROPPAC 2 où les augmentations des effectifs étaient concomitantes des augmentations de pigments.

2.11 Zooplancton (Fig 30).

Le schéma présentant les variations des biomasses lors de la station en dérive, montre une tendance à l'augmentation du mésozooplancton entre le début et la fin, pour les couches 0-200 et 0-500 m, et des variations nyctémérales modestes. Le rapport entre les poids secs de mésozooplancton de jour et ceux de nuit est de 0.9 pour

les couches 0-100, 0-150 et 0-200 m et il est possible que cela soit, comme dans le cas de la station en dérive de PROPPAC 02, une caractéristique de zone riche. L'autre explication a trait à l'hétérogénéité spatiale importante, qui n'est pas due à un échantillonnage défectueux comme c'était le cas à PROPPAC 02 avec le cisaillement de courants équatoriaux.

La biomasse de mésozooplancton se situe entre celles des stations en dérive des deux premières campagnes PROPPAC, ainsi que l'atteste le tableau ci-dessous.

- Valeurs de poids secs par mètre-carré aux stations en dérive de PROLIGO (15° S, 173° E), PROPPAC 1, 2 et 3.

CAMPAGNE	0-100 m	0-200 m	0-500 m
CIPREA 1 *	4249	-	5341
PROPPAC 2	1110	1384	1600
PROPPAC 3	733	1017	1296
PROPPAC 1	530	708	938
PROLIGO	339	584	680

* 4° W - 2° 30 S (Atlantique)

D'autres caractéristiques situent cette station entre les deux autres. Ainsi en est-il de la distribution verticale :

- Pourcentages du poids sec sans cendre présent dans les différentes couches par rapport à 0-500 m (filet WP-2) ou 0-200 m (35 µm).

WP-2	P1	P3	P2	35 µm	P1	P3	P2
0-100 m	56.5	60.5	69.8		62.5	66.3	93.5
0-150 m	-	69.2	-		-	-	-
0-200 m	75.5	80.8	88.4		-	-	-

La double bouteille de 30 l permet de préciser la distribution verticale des particules, du micro et du mésozooplancton (tableau ci-dessous), qui sont régulièrement répartis et encore présents de façon très significative jusqu'à 120 m au moins.

- Pourcentages moyens des biomasses, exprimées en phosphore, présentes dans les différentes couches de la colonne 0-100 m lors de PROPPAC 03.

Taille	0-35 μm	35-200 μm	> 200 μm	n
0-20 m	16.2	15.6	17.2	8
0-40 m	38.3	36.8	41.5	8
0-50 m	50.5	46.4	54.9	4
0-60 m	61.2	60.3	64.2	8
0-80 m	82.1	82.3	85.3	8
100-120 m*	15.8	16.4	15.9	3

* par rapport à 0-100 m

La répartition des différentes classes de tailles observée à PROPPAC 3 est, elle aussi, intermédiaire entre les deux précédentes (Fig. 31). On peut calculer l'équation de la relation inverse liant le pourcentage de microzooplancton (Y) au poids sec par mètre carré de la couche 0-100 m pour les quatre stations de 8 jours de la Fig. 31 :

$$Y = - 0.030 X + 50 \quad r = - 0.994 \quad n = 4$$

Des relations analogues existent aussi lorsque X concerne la couche 0-200 ou 0-500 m. Cette relation inverse entre l'importance des organismes de petite taille et la richesse de la zone explique peut-être l'absence d'enrichissement équatorial que l'on note pour le microzooplancton le long de la radiale.

VI CONCLUSIONS

PROPPAC 03 est la sixième des sept campagnes trimestrielles menées pendant la période 1987-1989, par les programmes SURTROPAC et PROPPAC du Centre ORSTOM de Nouméa. Les résultats de la radiale confirment l'existence de l'upwelling équatorial observé depuis avril 1988 (PROPPAC 2) seulement, mais son extension en latitude et les valeurs des paramètres de surface fluctuent d'une campagne à l'autre.

L'upwelling et le dôme de 10°S (environ) représentent les traits majeurs de la radiale de 165° E et leurs sont associées des augmentations des biomasses phyto et zooplanctoniques. Il apparaît aussi des différences qualitatives entre le phytoplancton des eaux riches (avec du nitrate en surface) et celui des eaux pauvres (sans nitrate) au niveau de la structure dimensionnelle et de la teneur en chlorophylle des cellules (cyanobactéries et microalgues).

La position de la station en dérive avait été choisie initialement à 4° N car présentant une nitracline profonde (85 m) et marquée, lors de la radiale. Or, cinq jours plus tard, la salinité de surface avait augmenté à 4° N et l'on observait du nitrate dans la couche euphotique, indices montrant un déplacement du bord nord de l'upwelling équatorial vers le nord d'au moins 1 degré de sa position antérieure (radiale). En dépit du changement de structure, la décision a été prise de rester à 4° N et d'étudier un système avec traces de nitrate. La question suivante est de considérer la signification des 8 jours de station, la structure hydrologique (température, salinité, nitrate, oxygène dissous, position du maximum de chlorophylle) étant restée stable les cinq premiers jours puis s'étant approfondie ensuite. Si l'on se trouvait bien dans le courant sud-équatorial au début, il n'est pas démontré pour autant que l'on soit passé dans le contre-courant équatorial nord, à la fin, au vu de la salinité de surface et des nitrates à 160-180 m, malgré une modification du courant. Dans ces conditions, l'évolution observée vers la fin, correspond vraisemblablement à la sortie de l'upwelling équatorial.

Les données de production primaire collectées lors des 3 premières missions PROPPAC montrent que les distributions verticales de l'indice de productivité ($\text{mg C. mg Chla}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) ont toutes la même allure caractéristique, avec un maximum situé vers 20 m et une décroissance exponentielle vers le bas de la couche euphotique, que le nitrate apparaisse en surface, à 50 m ou même à 100 m. Lors de chaque station en dérive, les profils sont tous exactement superposables pourvu que l'ensoleillement soit proche de la moyenne et ceci même à PROPPAC 03 où le sommet de la nitracline a varié de 50 à plus de 100 m (Fig. 23). En revanche, d'un point fixe à l'autre, les profils diffèrent nettement pour de mêmes quantités de lumière reçues par les échantillons. L'indice de productivité est par exemple significativement plus élevé à PROPPAC 2 qu'à PROPPAC 3, et cette différence ne peut être attribuée ni à la lumière ni aux méthodes mises en oeuvre qui sont rigoureusement identiques. Le point important sur lequel il faut insister, c'est que cette productivité est plus forte à PROPPAC 2 du haut en bas de la couche euphotique. Par conséquent, les propriétés hydrologiques et chimiques passées ou présentes d'une masse d'eau peuvent entraîner des modifications de la distribution non seulement, bien sûr, de la chlorophylle, mais encore de la production et surtout de la productivité, et ces modifications affecteraient toute la colonne d'eau, sans qu'il soit possible à ce jour d'avancer une interprétation satisfaisante.

Il est clair cependant que seules les mesures répétitives réalisées lors de stations en dérive d'au moins 8 jours permettent d'obtenir des lots de données suffisants pour montrer que la production primaire dans une situation hydrologique précise ne varie finalement que dans une gamme très étroite. Des lois empiriques simples devraient dès lors pouvoir être établies pour chaque situation type de manière à calculer la production primaire potentielle de toute une région océanique.

Enfin, il se confirme que les caractéristiques de distribution verticale et, de structure de tailles observés aux trois "points fixes" sont fonction de la biomasse du zooplancton. Mais celle-ci apparaît beaucoup moins élevée (4 fois moins) dans le Pacifique ouest que dans l'Atlantique est, pour des valeurs intégrées de chlorophylle voisines au contraire.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES CITEES

- ARMSTRONG F.A.J. et TIBBITTS S., 1968 -Photochemical combustion of organic matter in sea-water, for nitrogen, phosphorus and carbon determination. Journal Marine Biological Association of United Kingdom. 48 : 143-152.
- HERBLAND A., LE BOUTEILLER A. et RAIMBAULT P., 1985 - Size distribution of phytoplankton biomass in the Equatorial Atlantic Ocean. Deep-Sea Research 32 : 819-836.
- MENZEL D.W. et CORWIN N., 1965 - The measurement of total phosphorus in sea-water based on the liberation of organically bound fractions by persulfate oxidation. Limnology and Oceanography, 10 : 280-282.
- MERLE J., ROTSCI H. et VOITURIEZ B., 1969 - Zonal circulation in the tropical western south Pacific. Perspectives in Fisheries Oceanography, Jap. Soc. Oceanogr. : 91-98.
- OUDOT C. et WAUTHY B., 1976 - Upwelling et dôme dans le Pacifique tropical occidental : distributions physico-chimiques et biomasse végétale. Cah. ORSTOM,; sér. Océanogr., 14 (1) : 27-48.
- OUDOT C. et MONTEL Y., 1988 - A high sensitivity method for the determination of nanomolar concentrations of nitrate and nitrite in sea-water with a Technicon Autoanalyzer II. Marine Chemistry, 24 : 239-252.
- STRICKLAND J. et PARSONS T., 1972 - A practical handbook of seawater analysis. Fisheries Research Board Canada Bulletin 167 : 310 pp.
- UNESCO, 1968 - Zooplankton sampling. Monographs on oceanographic methodology 2 : 174 pp.

Sonde 0-1000 m (Salinité, Température, Oxygène)	69
Tirs de sondes XBT (0 - 450 m)	46
Température et salinité de surface	46
Chlorophylle de surface	46
Profils de courant 0-600 m (profileur UBO et courantomètre Aanderaa)	72
Chaîne à thermistances (10 niveaux)	4j
Oxygène (méthode de Winkler)	648
NO ₃ (Haute sensibilité)	552
NO ₂ (Haute sensibilité)	552
PO ₄	552
Carbone particulaire	157
Azote particulaire	157
Phosphore particulaire	234
Adénosine tri-phosphate (ATP)	113
Echantillons pour comptages de cyanobactéries et microalgues	625
Echantillons pour comptages de bactéries hétérotrophes	150
Chlorophylle <u>a</u>	1045
Mesures de production primaire (variations de chlorophylle <u>a</u>)	250
Mesures de production primaire (méthode au ¹⁴ C)	310
Mesures de production primaire (méthode à ¹⁵ N)	94
Profils d'atténuation de la lumière	9
Poids sec de zooplancton (35-200 µm)	54
Teneur en matière organique du plancton (35-200 µm)	54
Teneur en carbone, azote, phosphore " (35-200 µm)	19
Echantillons pour identification " (35-200 µm)	35
Taux de respiration et d'excrétion (NH ₄ , PO ₄ , N et P total)	32
Poids secs de zooplancton (> 200 µm)	84
Teneur en matière organique du zooplancton (> 200 µm)	84
Teneur en carbone, azote, phosphore " (")	48
Echantillons pour identification " (")	43
Taux de respiration et d'excrétion (NH ₄ , PO ₄ , N et P total)	42
Comptages et biomasse (phosphore) par niveau (plancton > 35 µm) ..	55
Comptages et biomasse (phosphore) par niveau (plancton >200 µm) ..	55
Biomasse (ATP) par niveau (plancton > 35 µm)	30
Biomasse (ATP) par niveau (plancton >200 µm)	30

Tableau 1 - Récapitulatif du nombre de mesures réalisées lors de la campagne PROPPAC 03 du N.O. CORIOLIS.

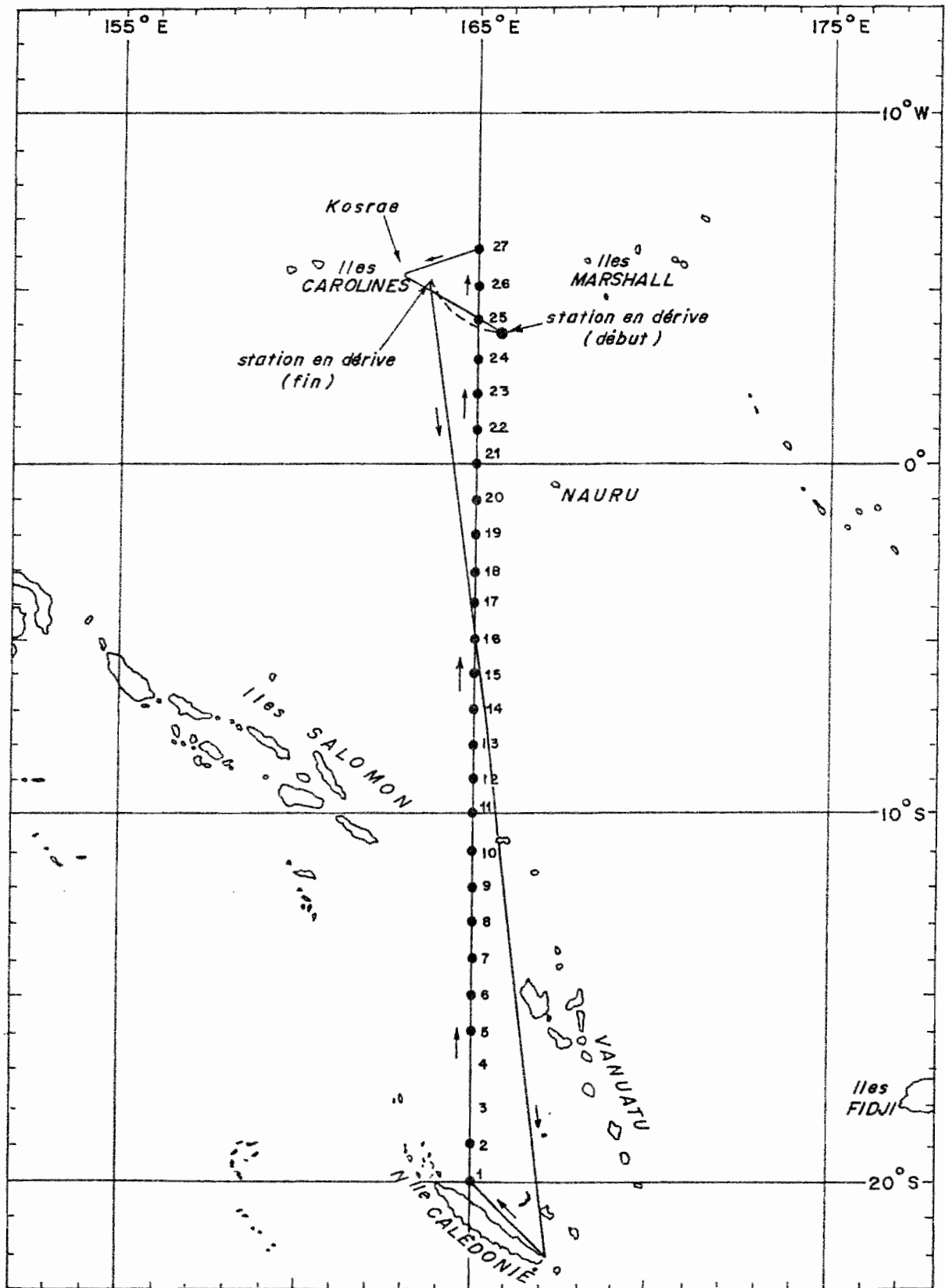


Fig. 1 - Plan de la campagne PROPPAC 3 (11 septembre-11 octobre 1988)

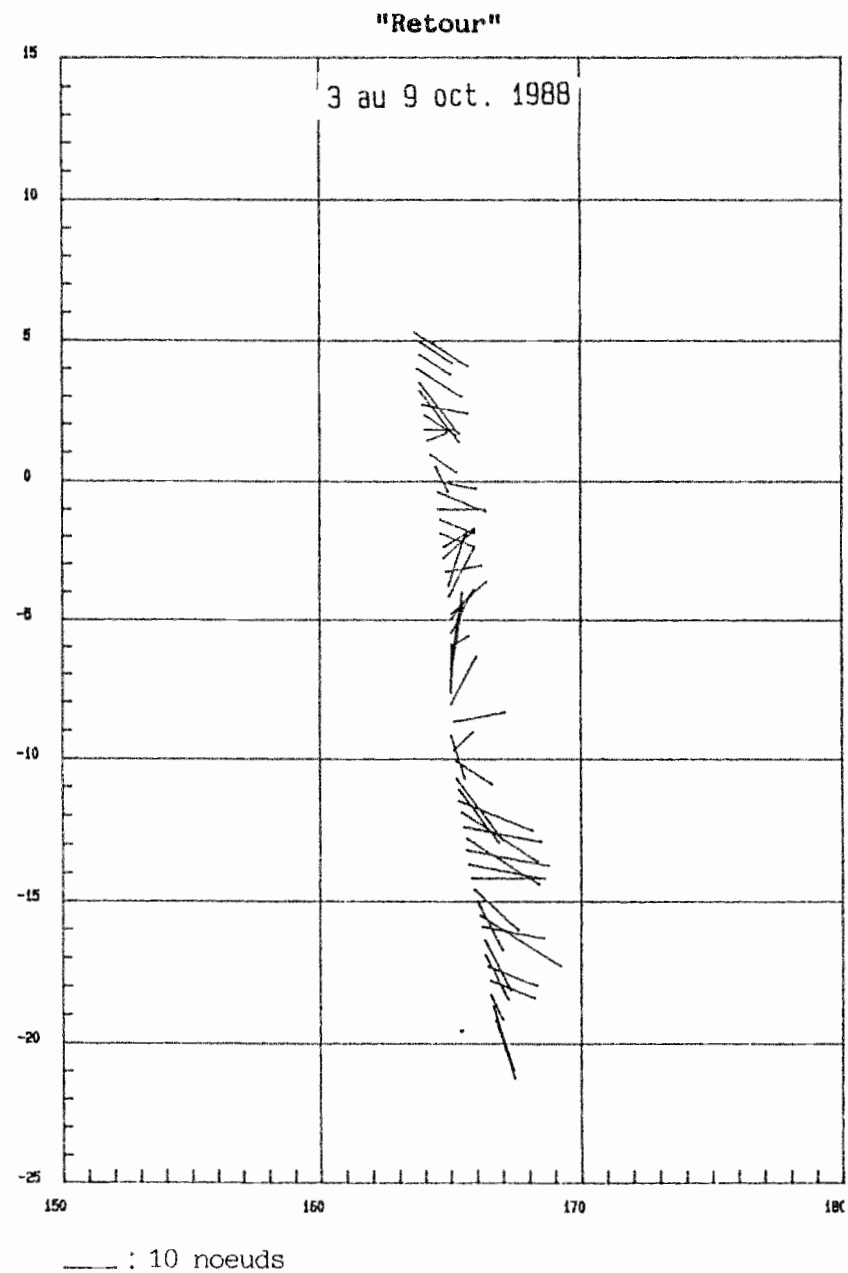
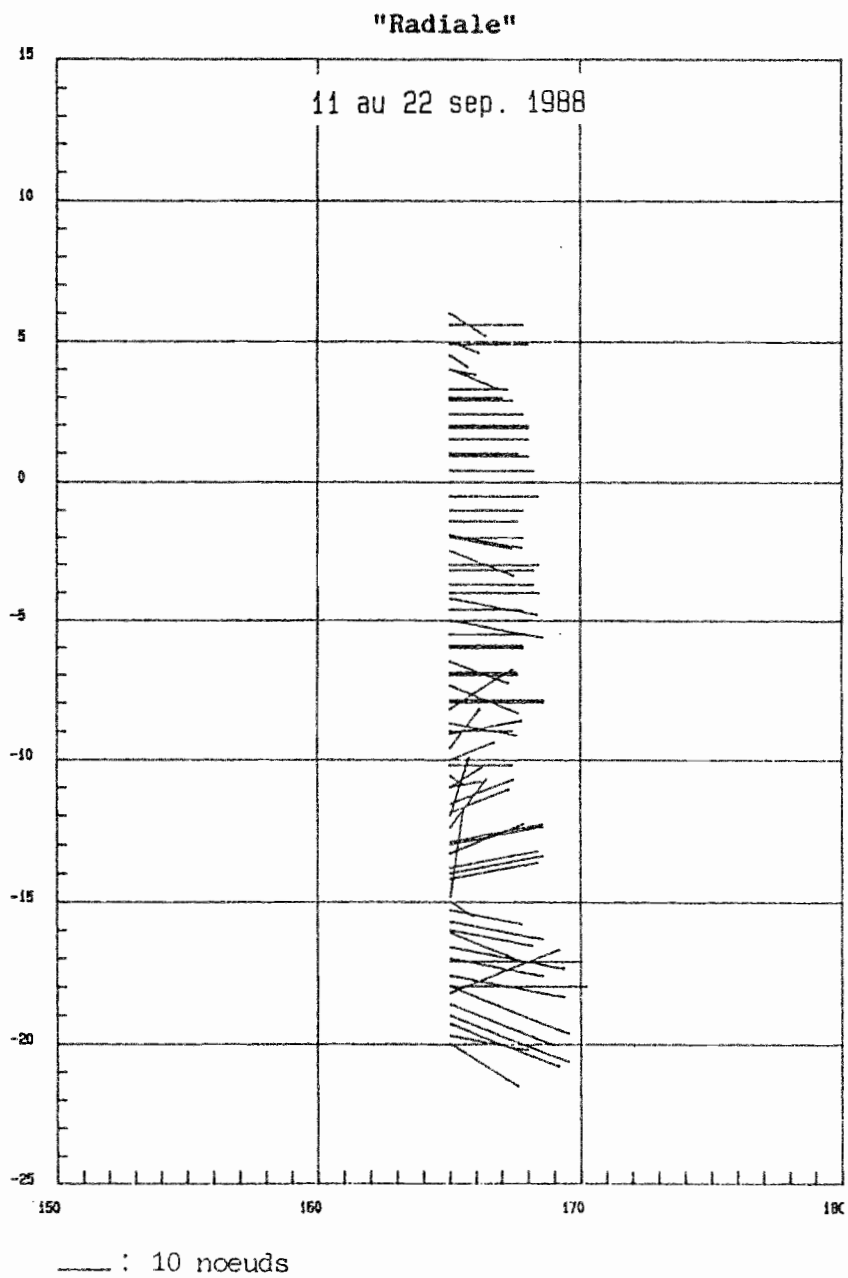


Fig. 2 - PROPPAC 3 : vents lors de la radiale et au retour de 5°N

Fig. 3 - METEO proppac 3
 radiale - 11 au 22 sep. 88

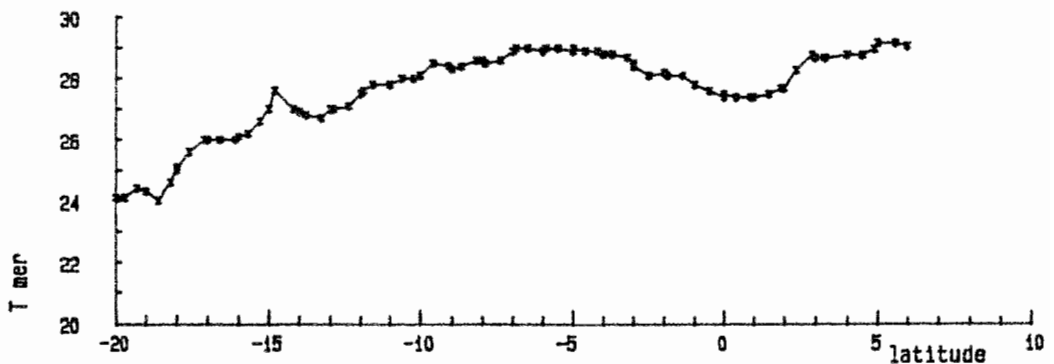
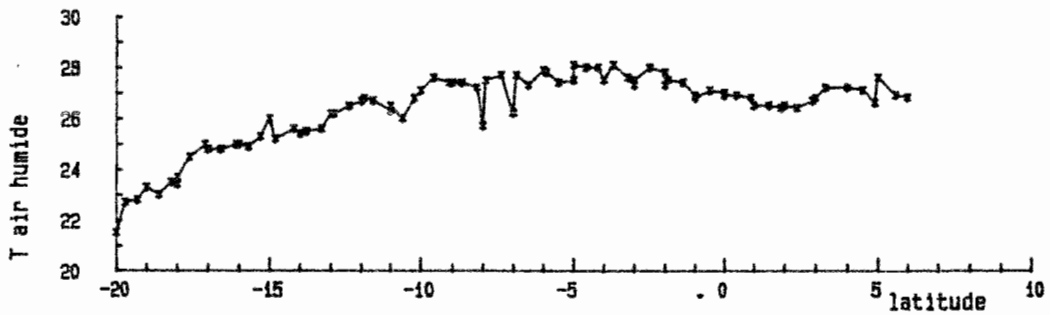
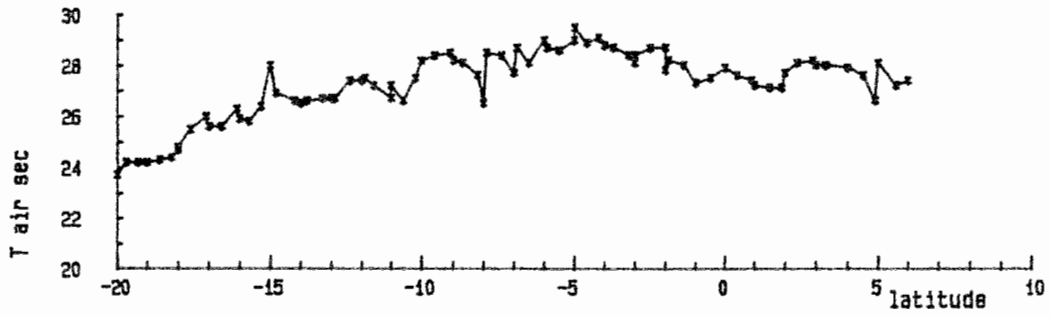
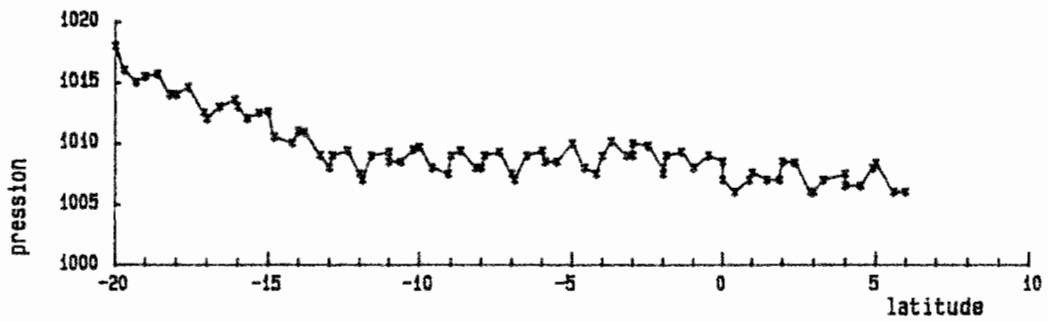
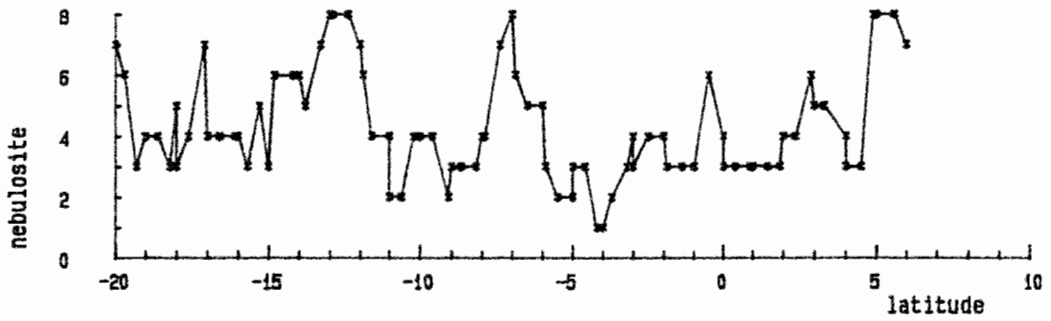
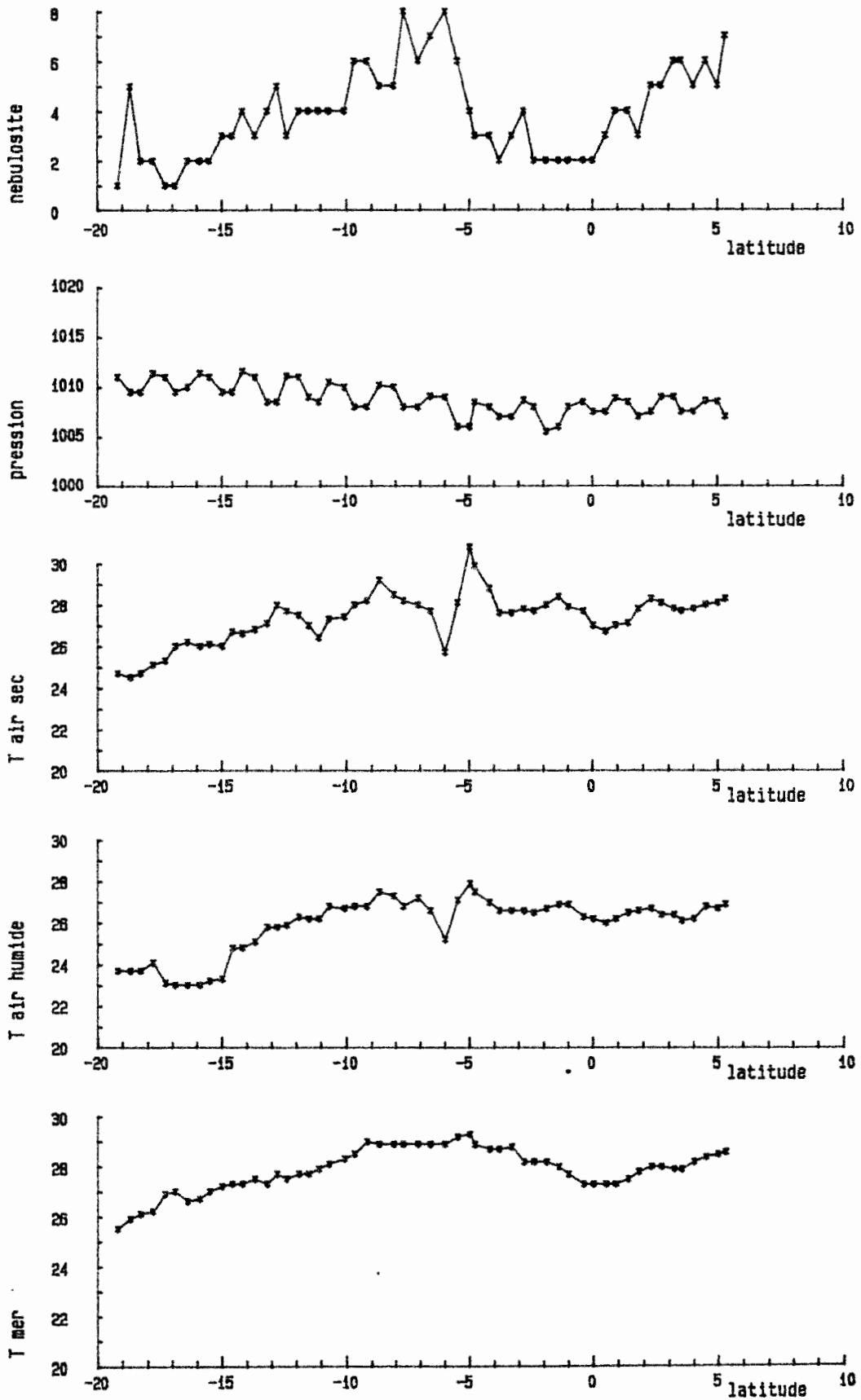


Fig. 4 - METEO proppac 3
 retour - 3 au 9 oct. 88



- PROPPAC3 165E 11-22/9/1988 Temperature (C)

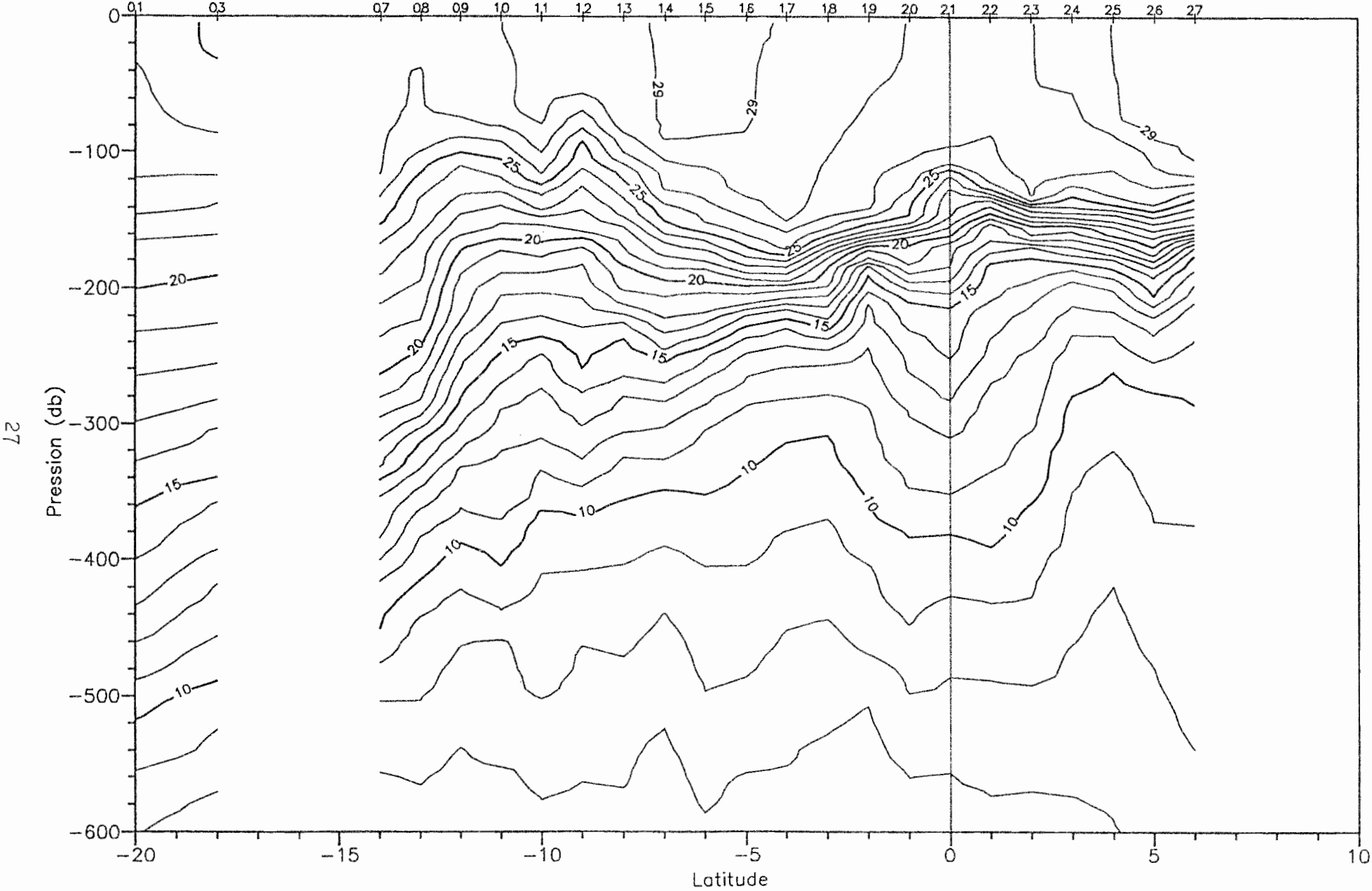


Fig. 5 - Profil de température le long de la radiale

PROPPAC3 165E 11-22/9/1988 Salinite (o/oo)

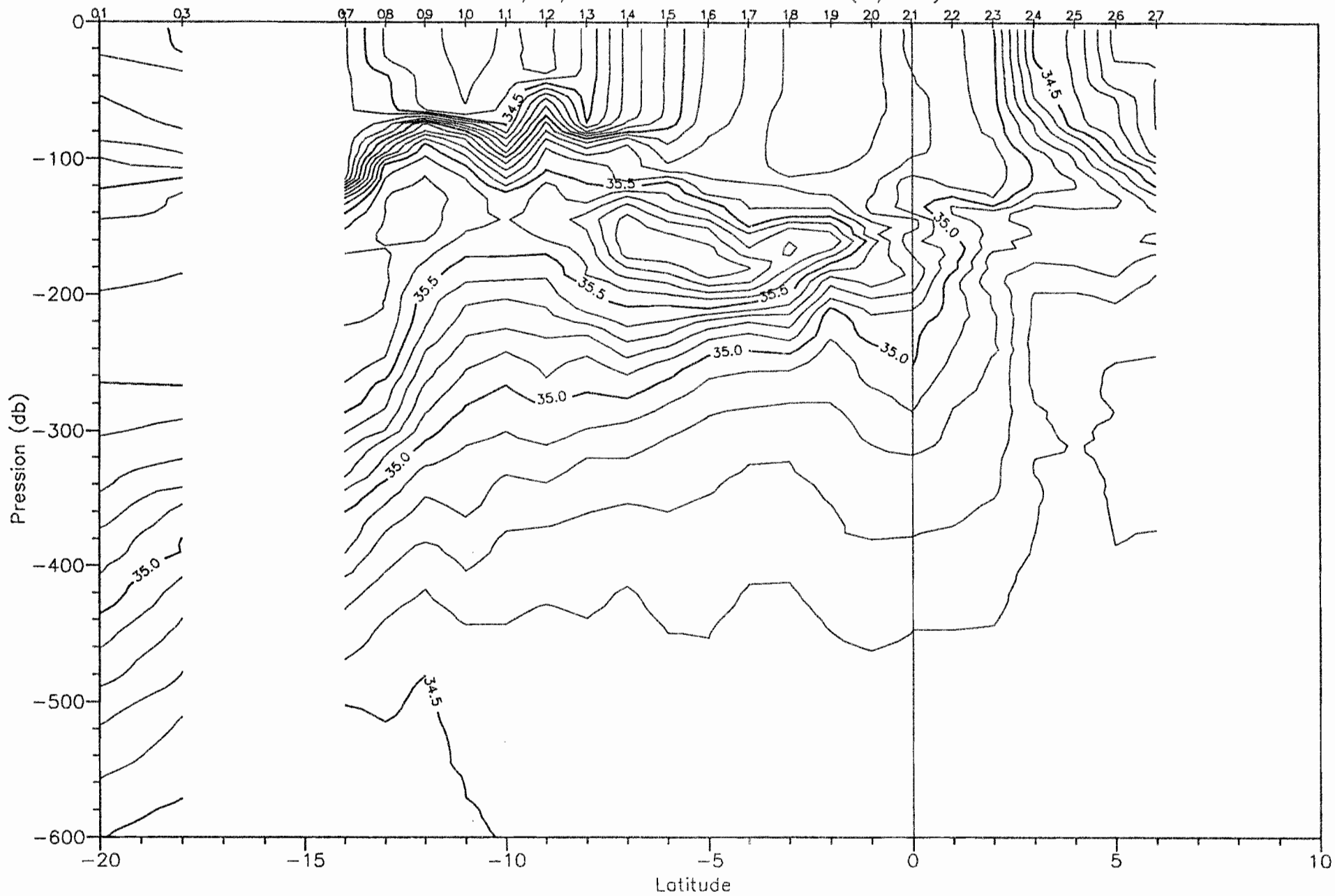


Fig. 6 - Profil de salinité le long de la radiale

PROPPAC3 165E 11-22/9/1988

Composante zonale (cm/s)

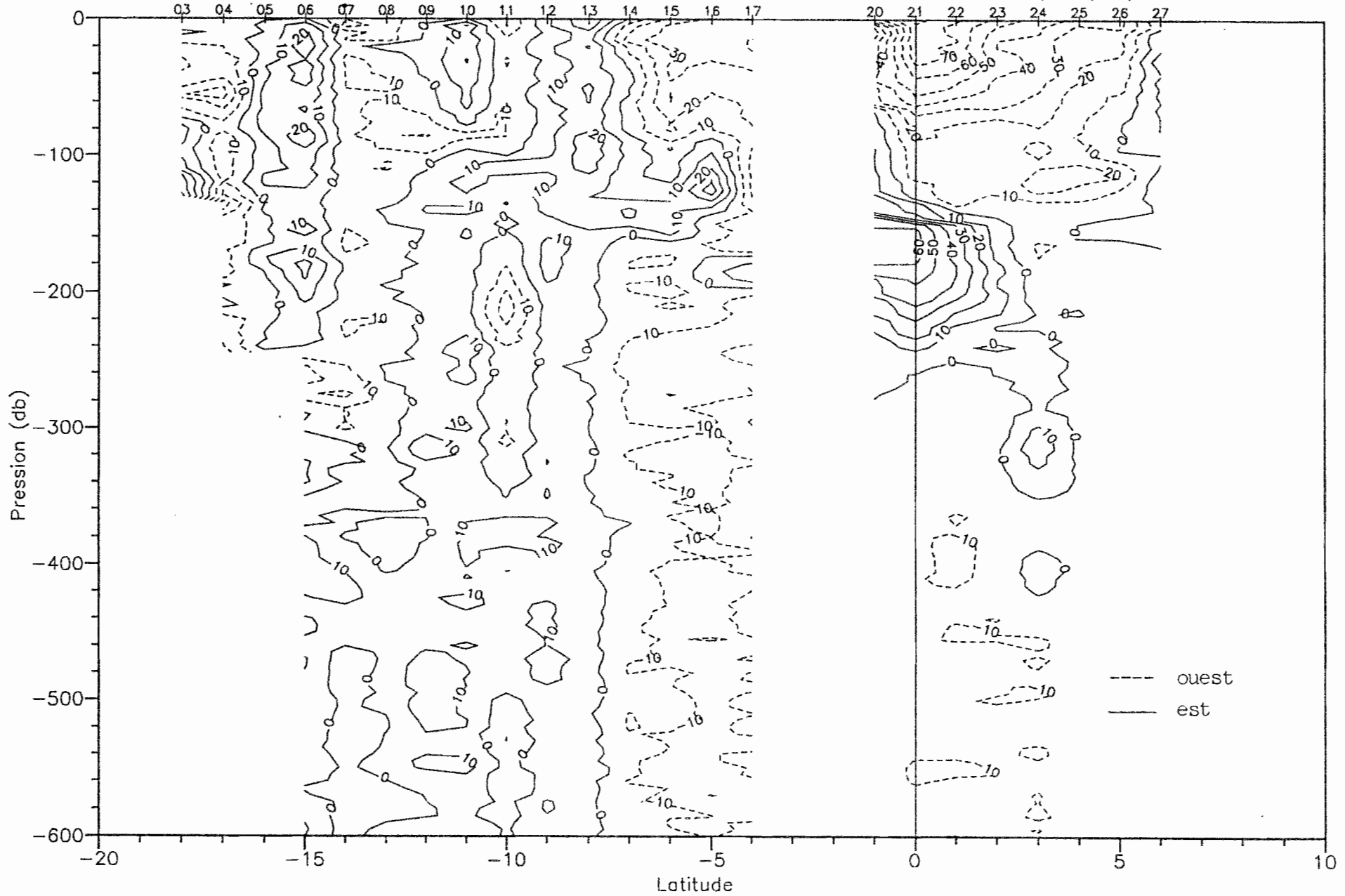


Fig. 7 - Composante zonale de courants le long de la radiale

PROPPAC3 165E 11-22/9/1988

Composante meridienne (cm/s)

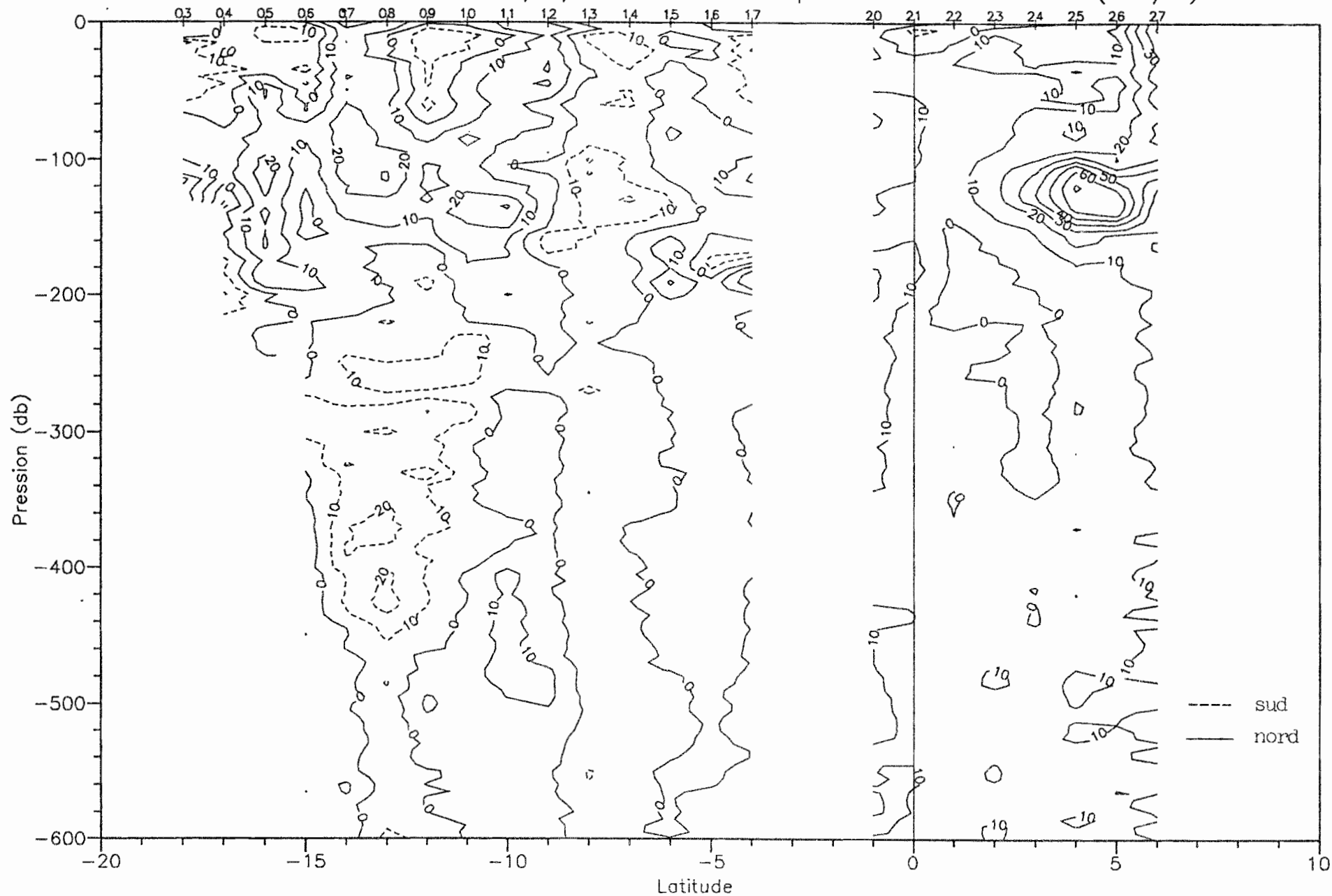


Fig. 8 - Composante méridienne des courants le long de la radiale

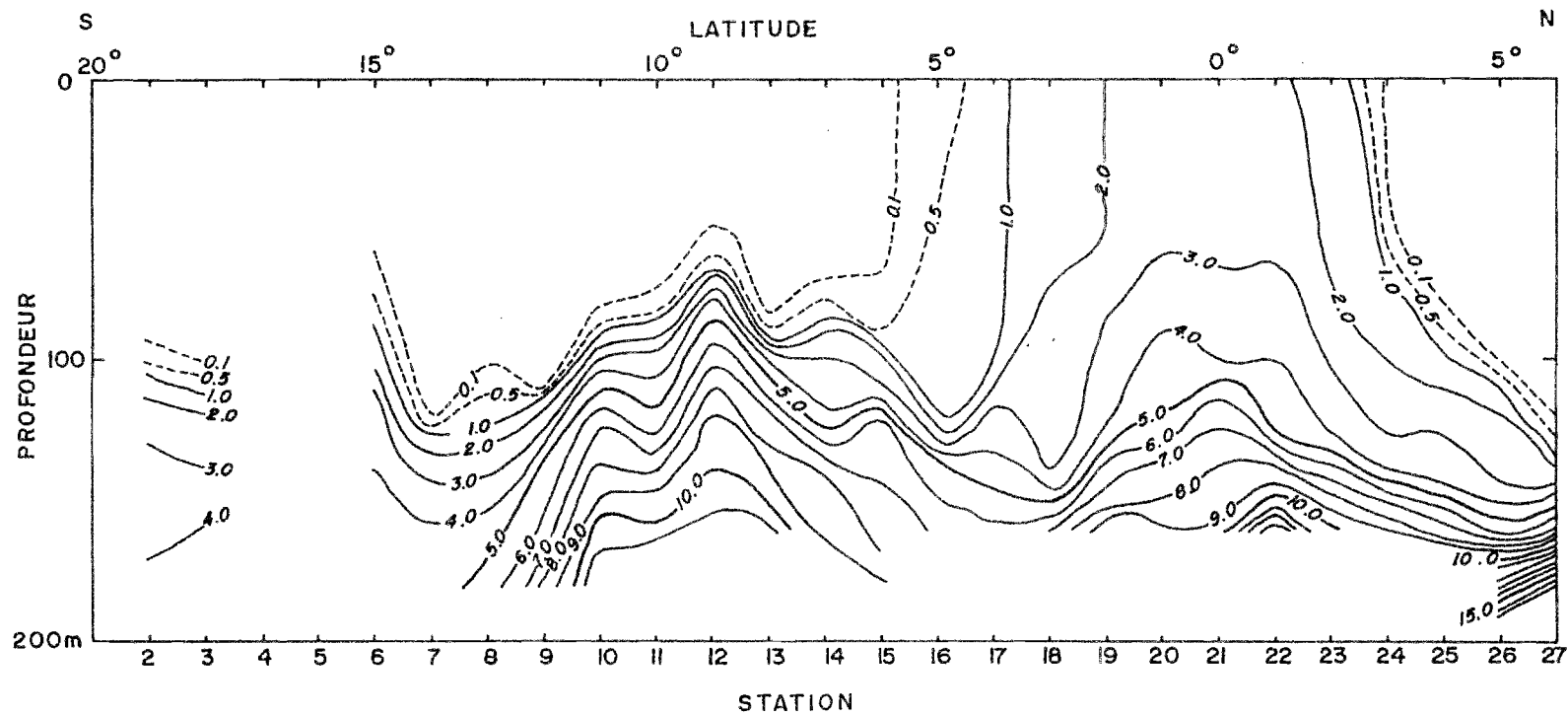


Fig. 9 - Profil de concentration en N-NO_3 et N-NO_2 ($\mu\text{mole.l}^{-1}$) le long de la radiale de PROPPAC 3 (165°E)

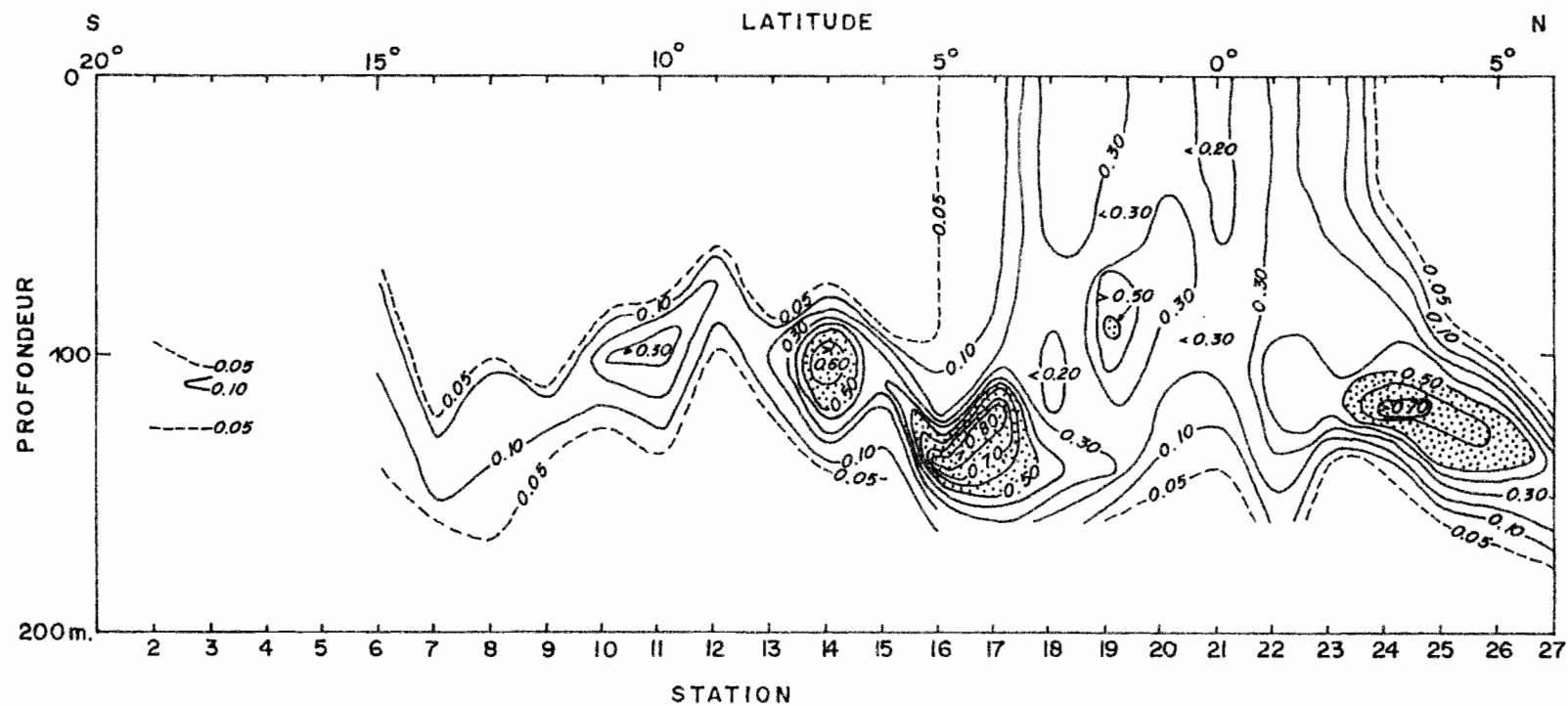


Fig. 10 - Profil de concentration en N-NO₂ (μmole.l⁻¹) le long de la radiale de PROPPAC 3 (165°E)

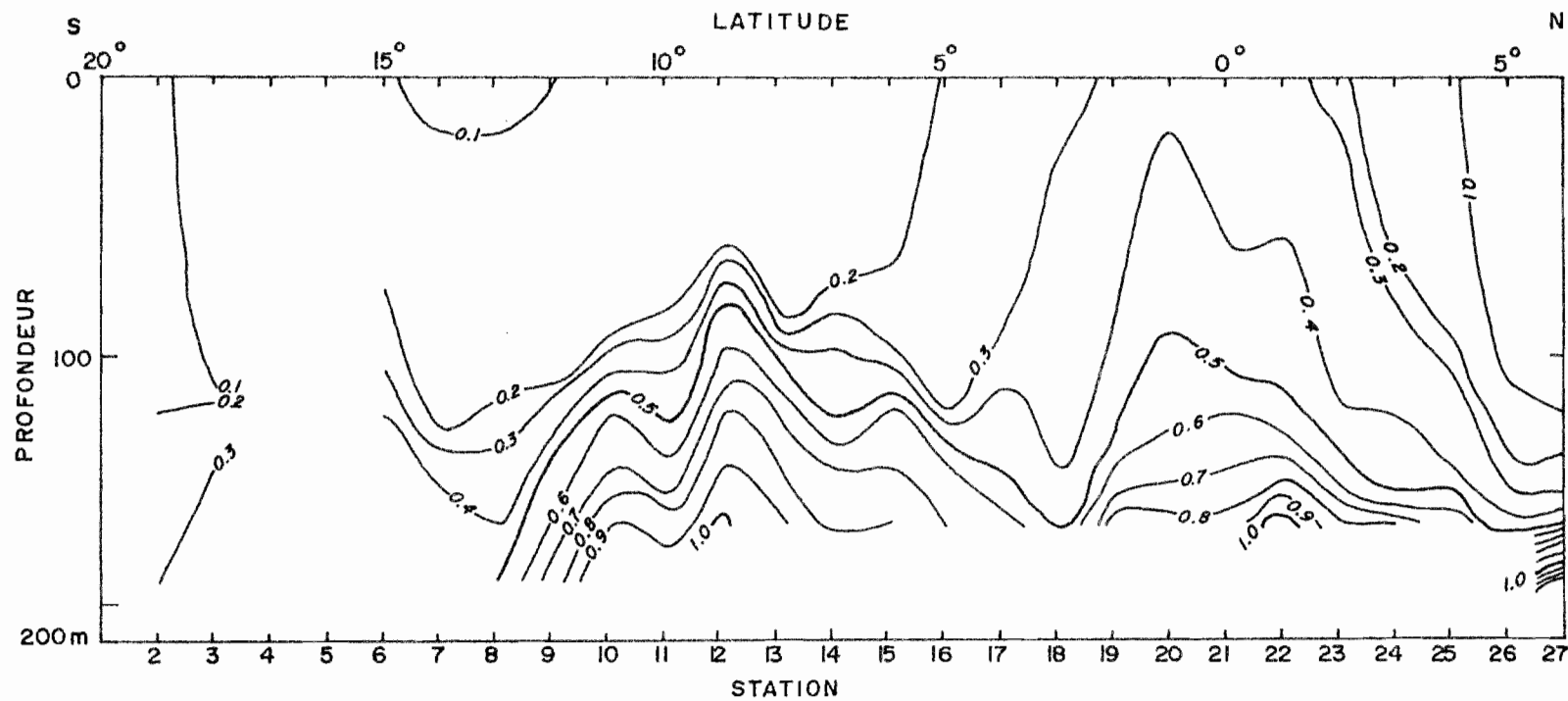


Fig. 11 - Profil de concentration en $P-PO_4$ ($\mu\text{mole.l}^{-1}$) le long de la radiale de PROPPAC 3 (165°E)

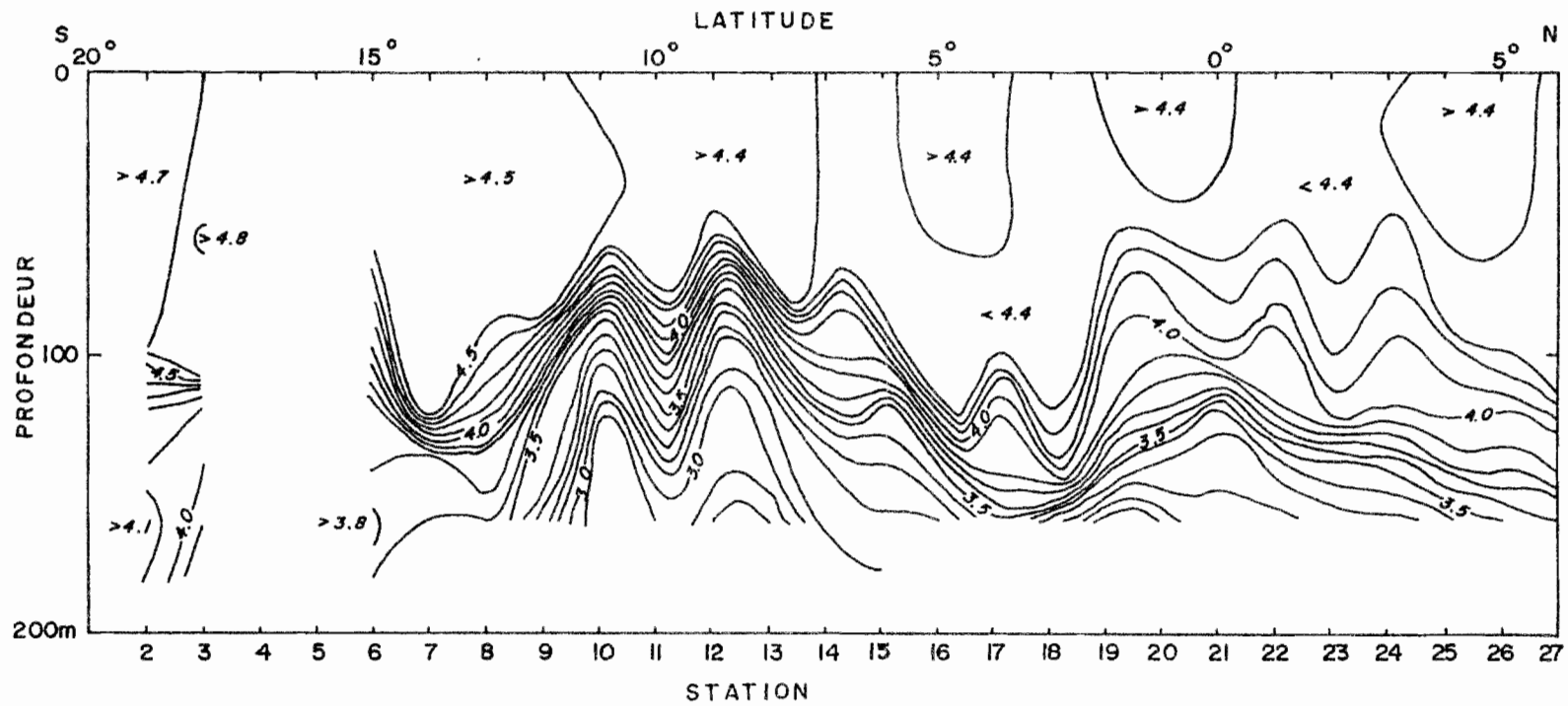


Fig. 12 - Profil de concentration en oxygène dissous (ml O₂.l⁻¹) le long de la radiale de PROPPAC 3 (165°E)

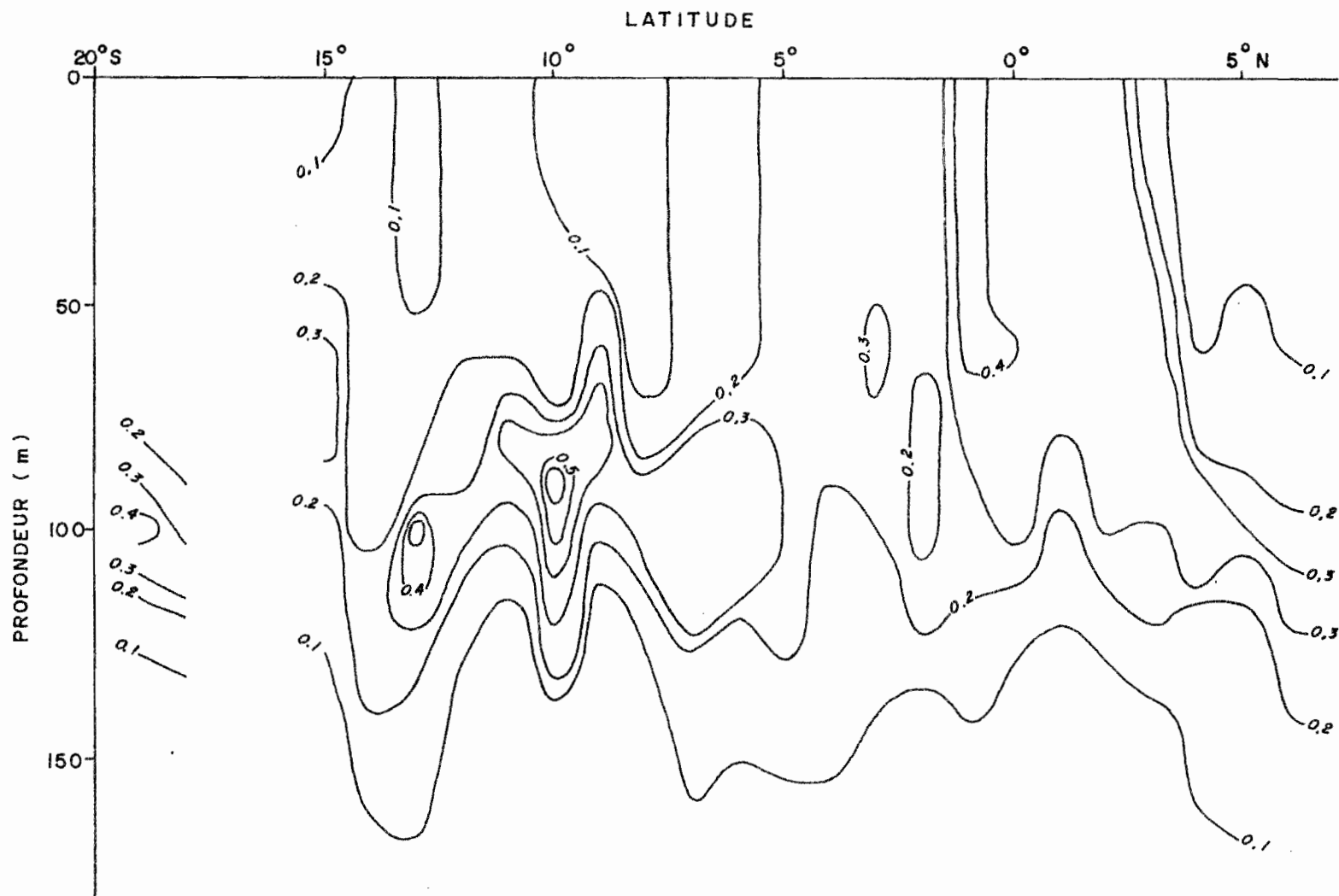


Fig. 13 - Profil de concentration en chlorophylle "a" ($\mu\text{g.l}^{-1}$) le long de la radiale de PROPPAC 3 (165°E)

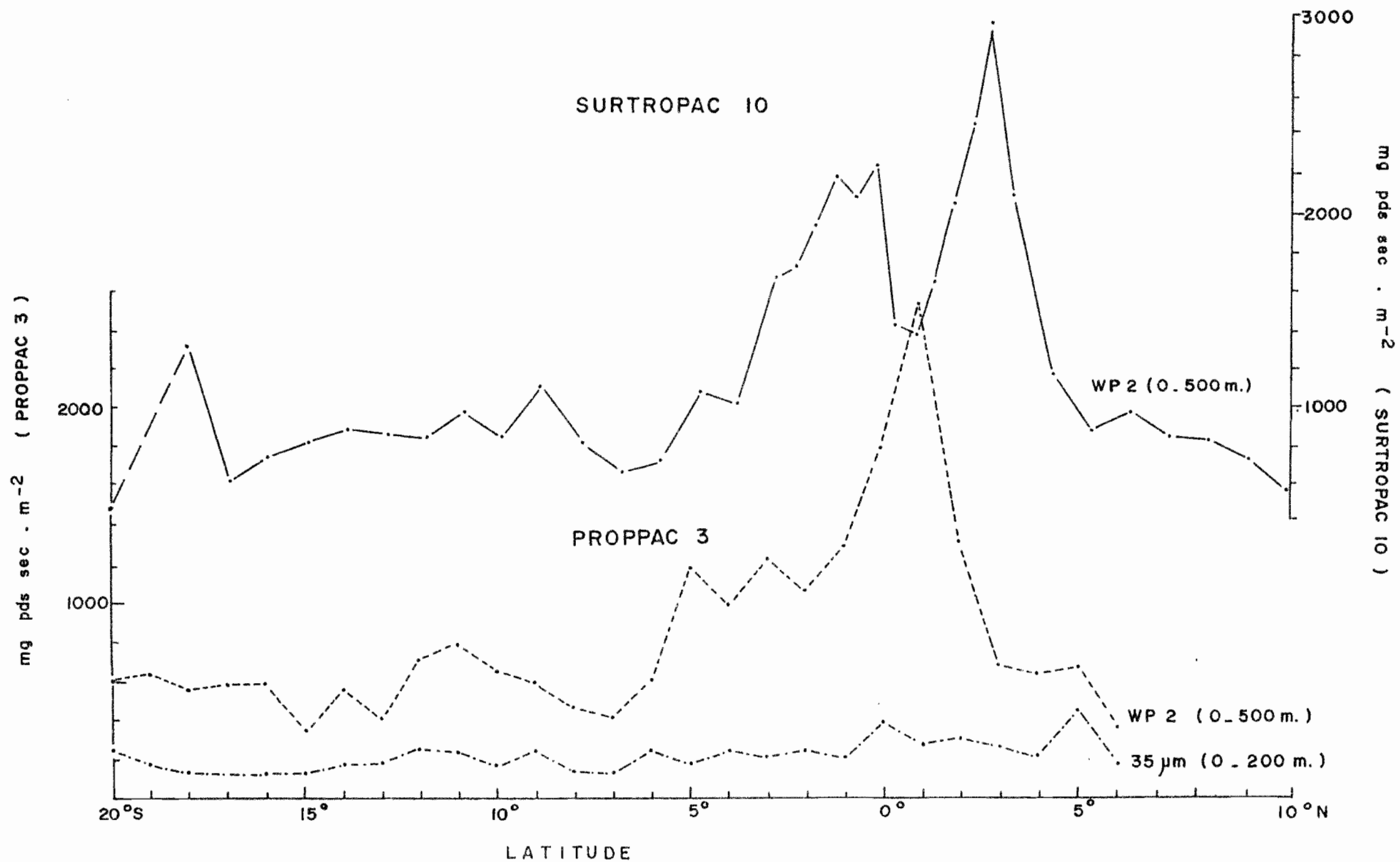


Fig. 14 - Profils des poids secs de zooplancton ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$) lors des radiales de juillet (SURTROPAC 10) et septembre 1988 (PROPPAC 3). (WP-2 : plancton de la classe 200-2000 μm . 35 μm : classe 35-200 μm)

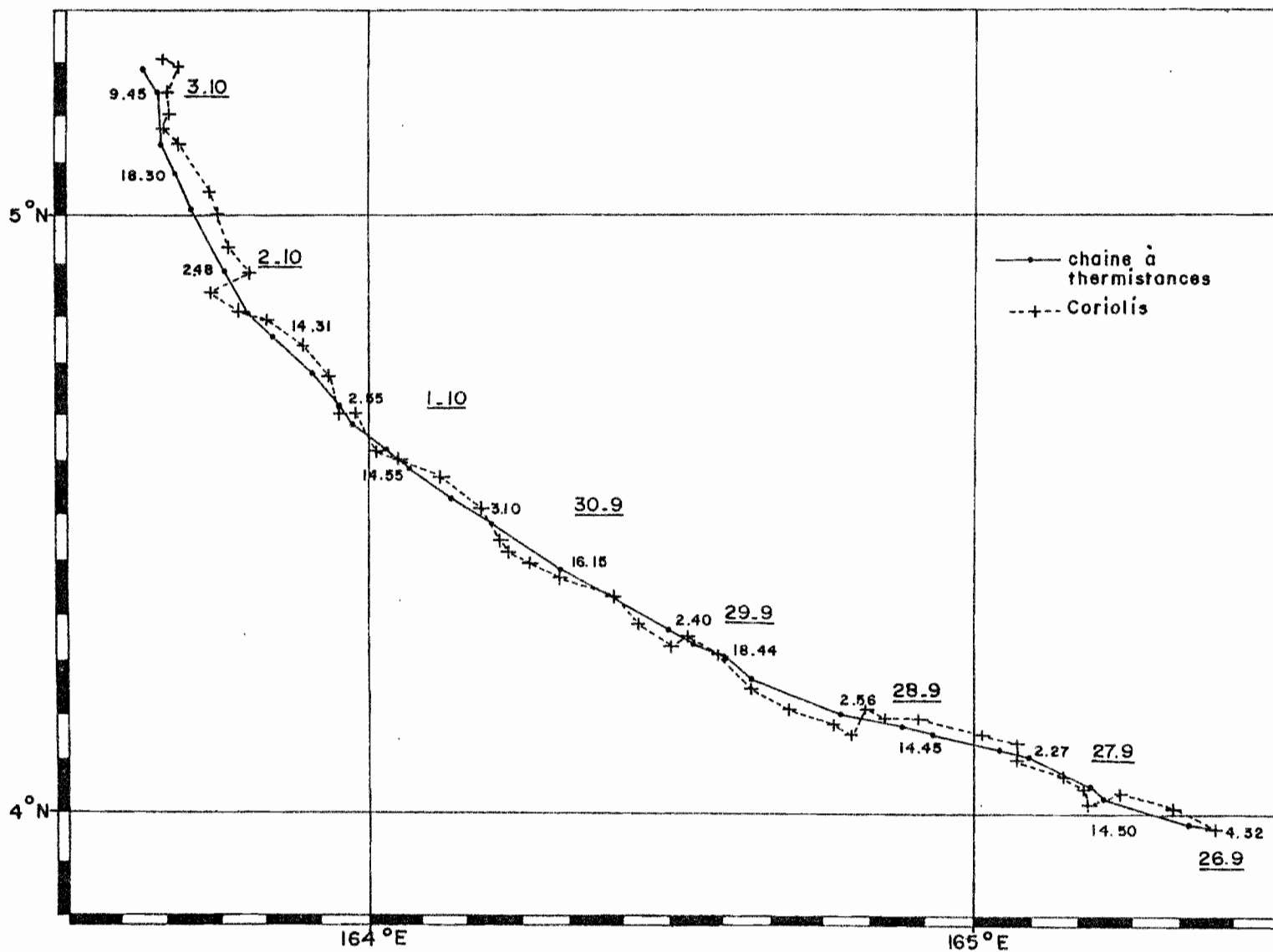


Fig. 15 - Trajectoires du N.O. Coriolis et du mouillage de la chaîne à thermistances pendant la station en dérive (heures et jour en temps local)

VENTS proppac 3

station en derive - 25 sep. au 3 oct. 1988

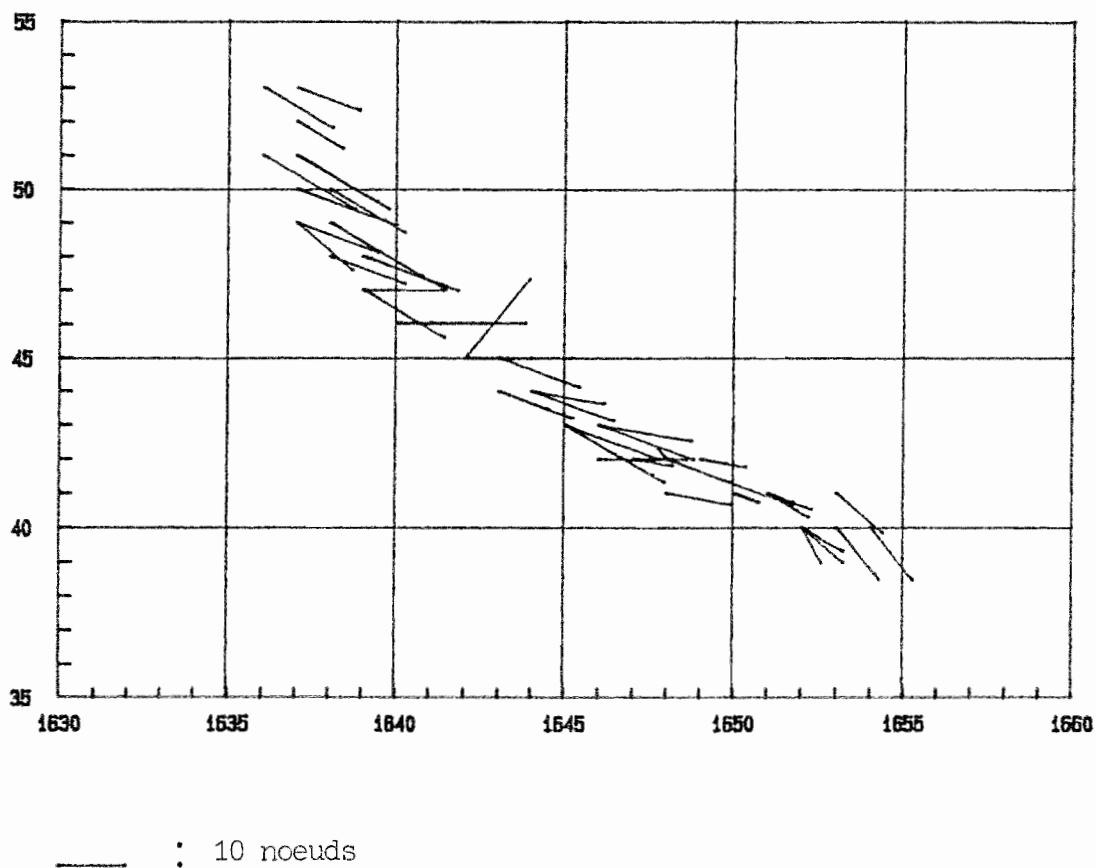


Fig. 16a - Vecteur vent au cours de la dérive

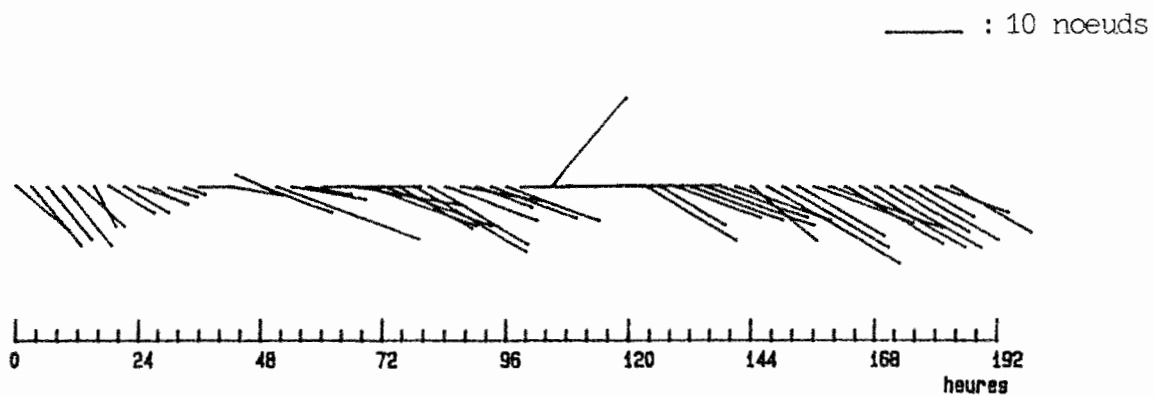
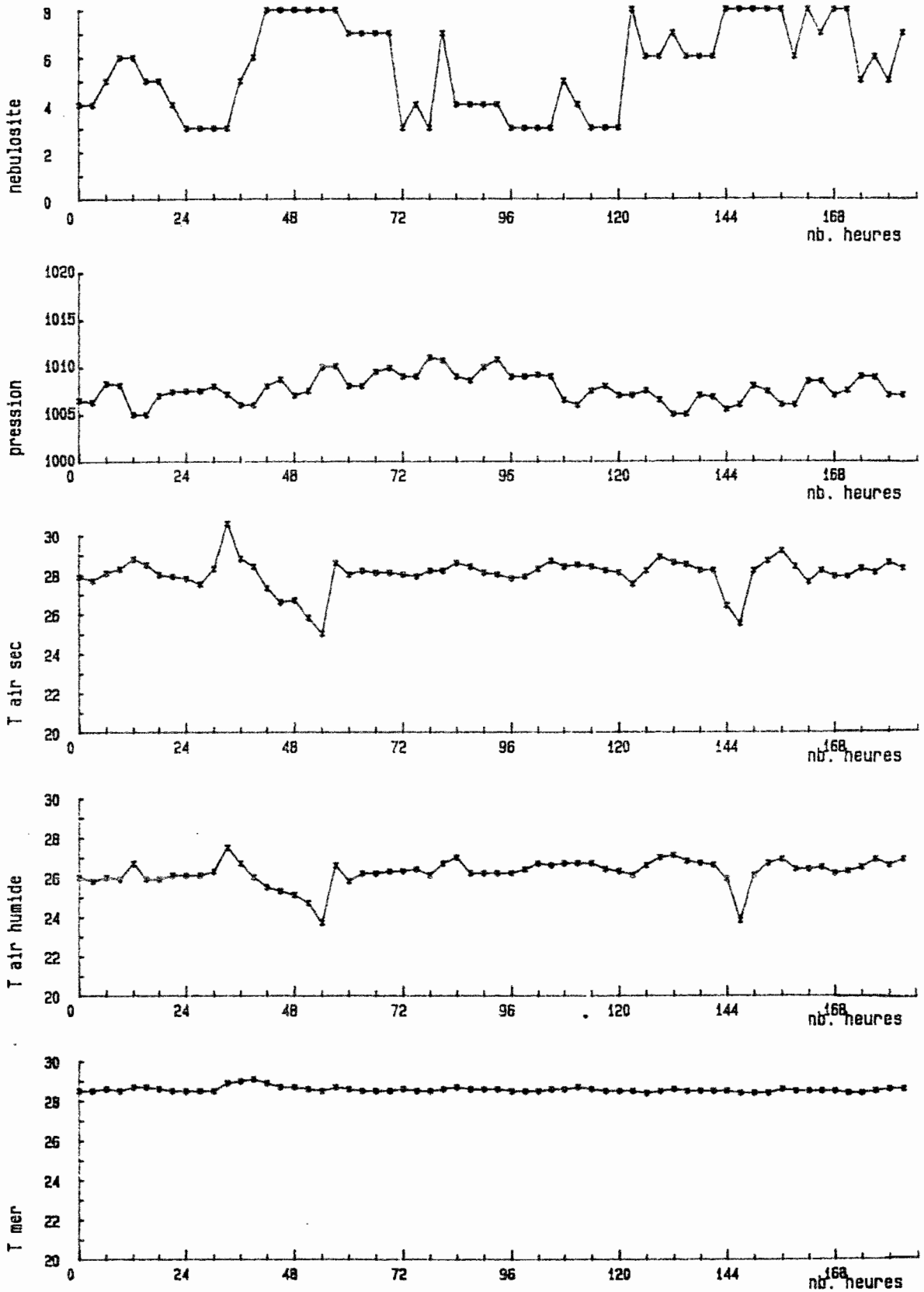


Fig. 16b - Vecteur vent en fonction du temps

Fig. 17 - METEO proppac 3
24 sep. au 3 oct. 1988



PROPPAC3 25/9- 3/10/1988

Temperature (C)

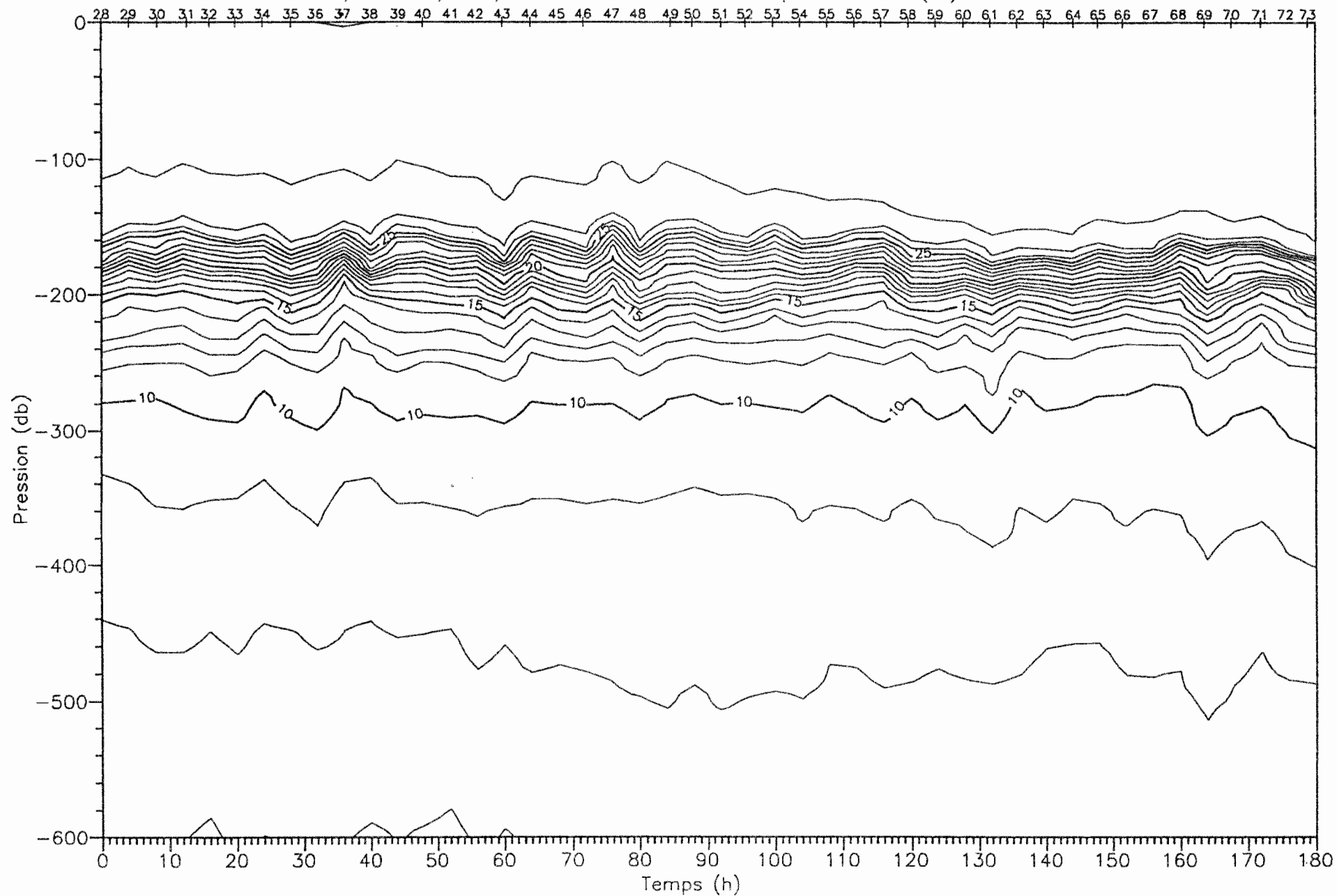


Fig. 18 - Evolution de la température lors de la station en dérive.

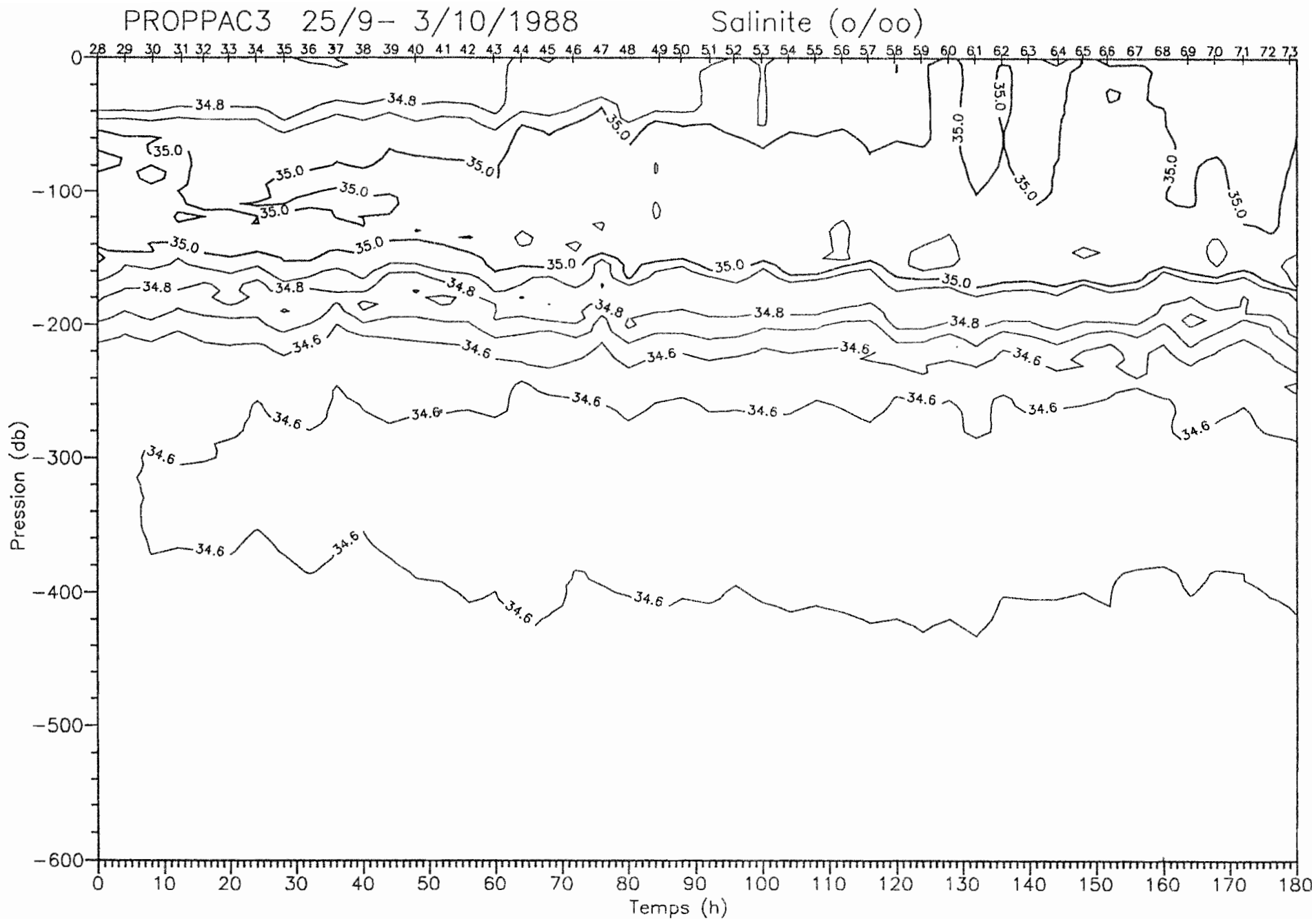


Fig. 19 - Evolution de la salinité lors de la station en dérive.

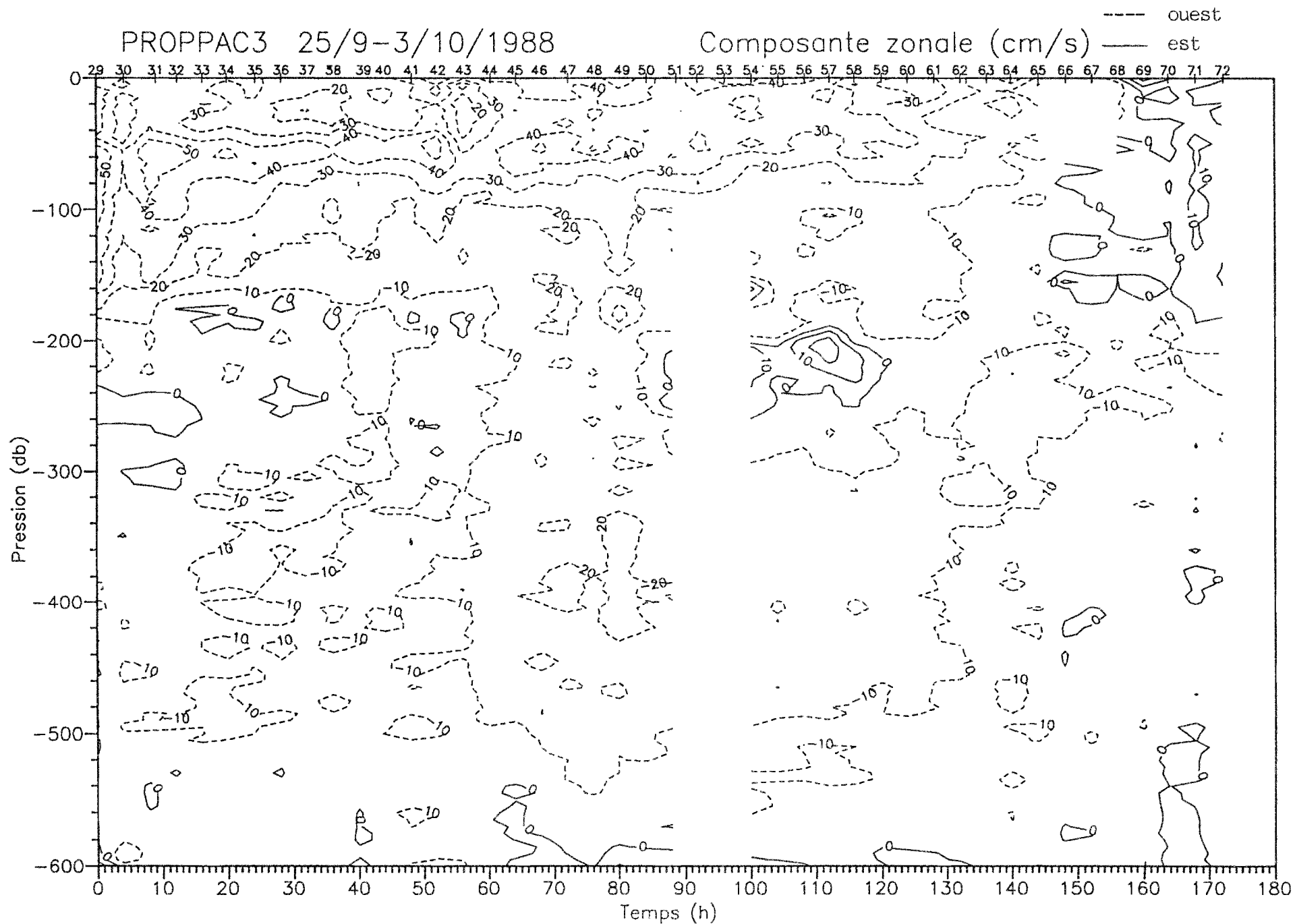


Fig. 20 - Evolution de la composante zonale du courant lors de la station en dérive.

PROPPAC3 25/9-3/10/1988

Composante meridienne (cm/s)

--- sud
— nord

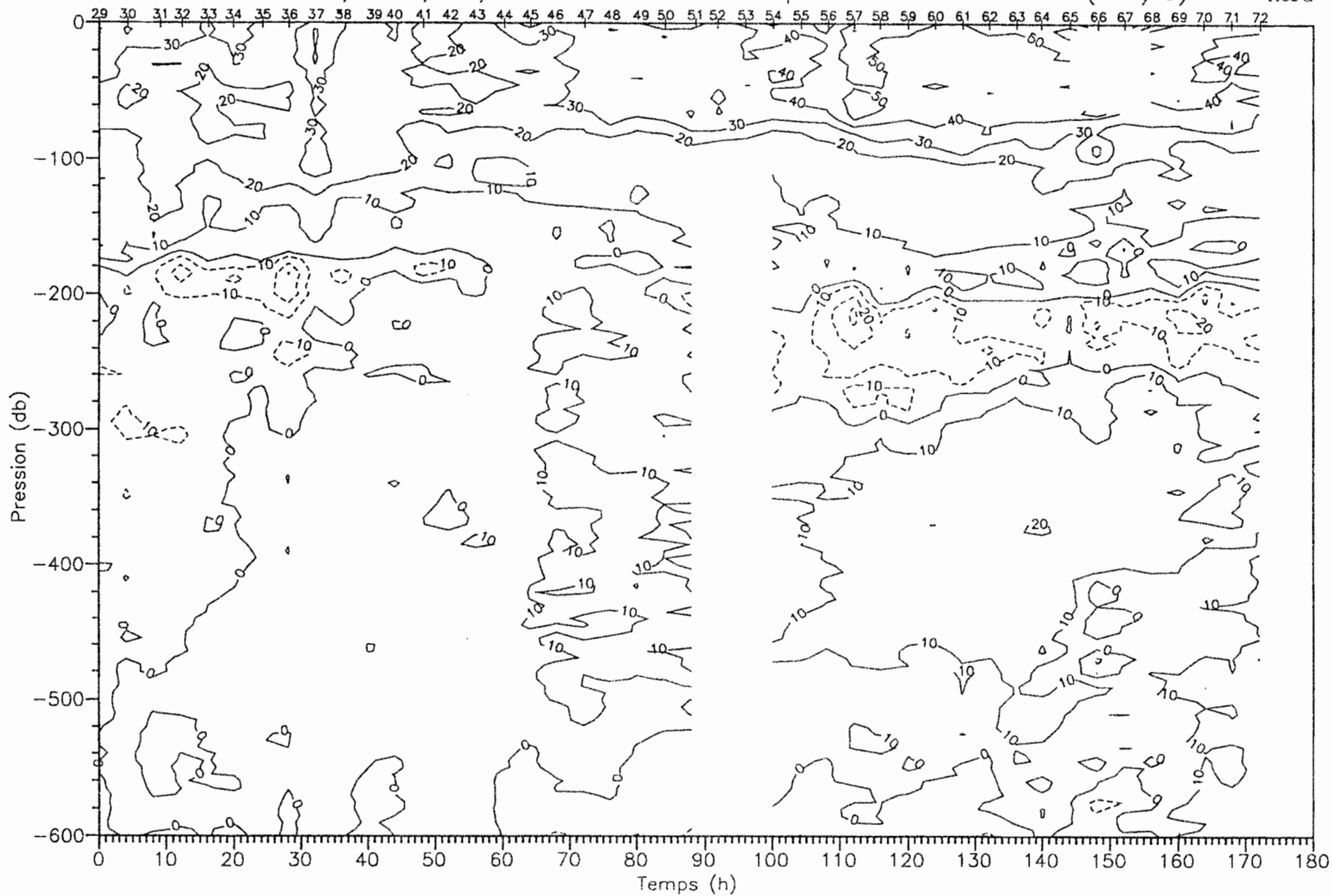
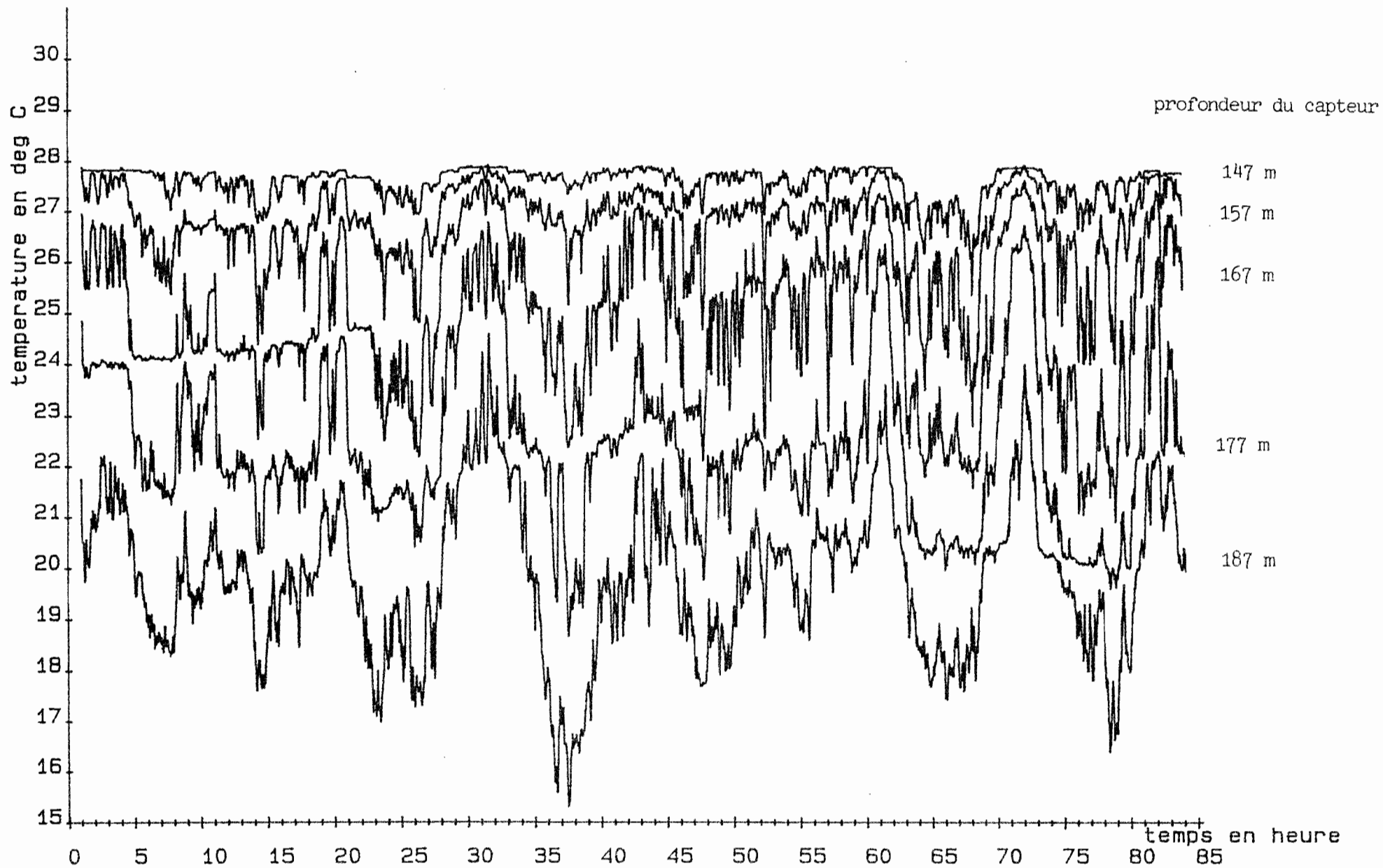


Fig. 21 - Evolution de la composante méridienne du courant lors de la station en dérive.

Fig. 22 - CHAINE à THERMISTANCES : du 26 - 9 - 1988 à 4h00 (H.L.)
au 29 - 9 - 1988 à 15h30 (H.L.)



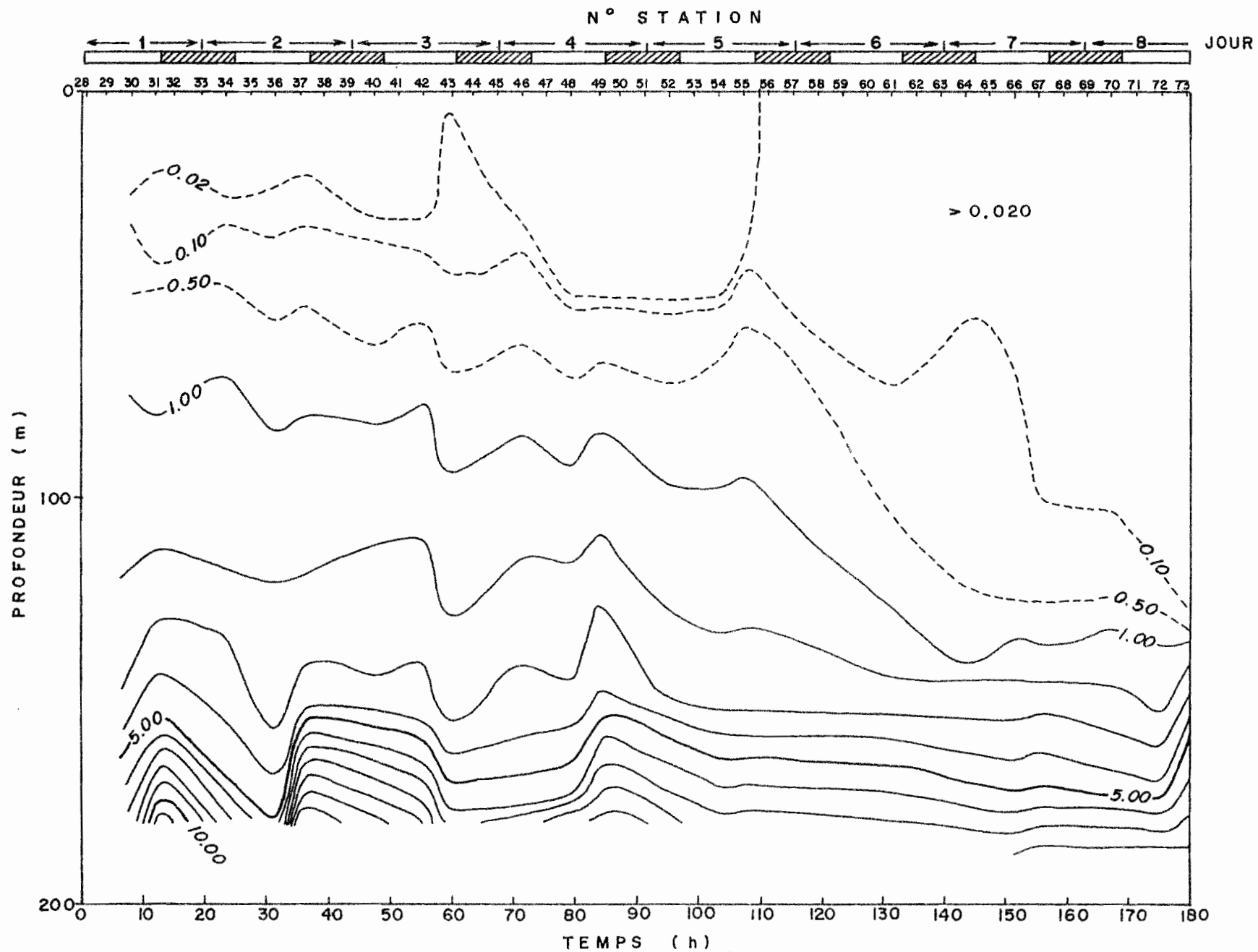


Fig. 23 - Evolution de la concentration en nitrate ($\mu\text{mole.l}^{-1}$) lors de la station en dérive de PROPPAC 3.

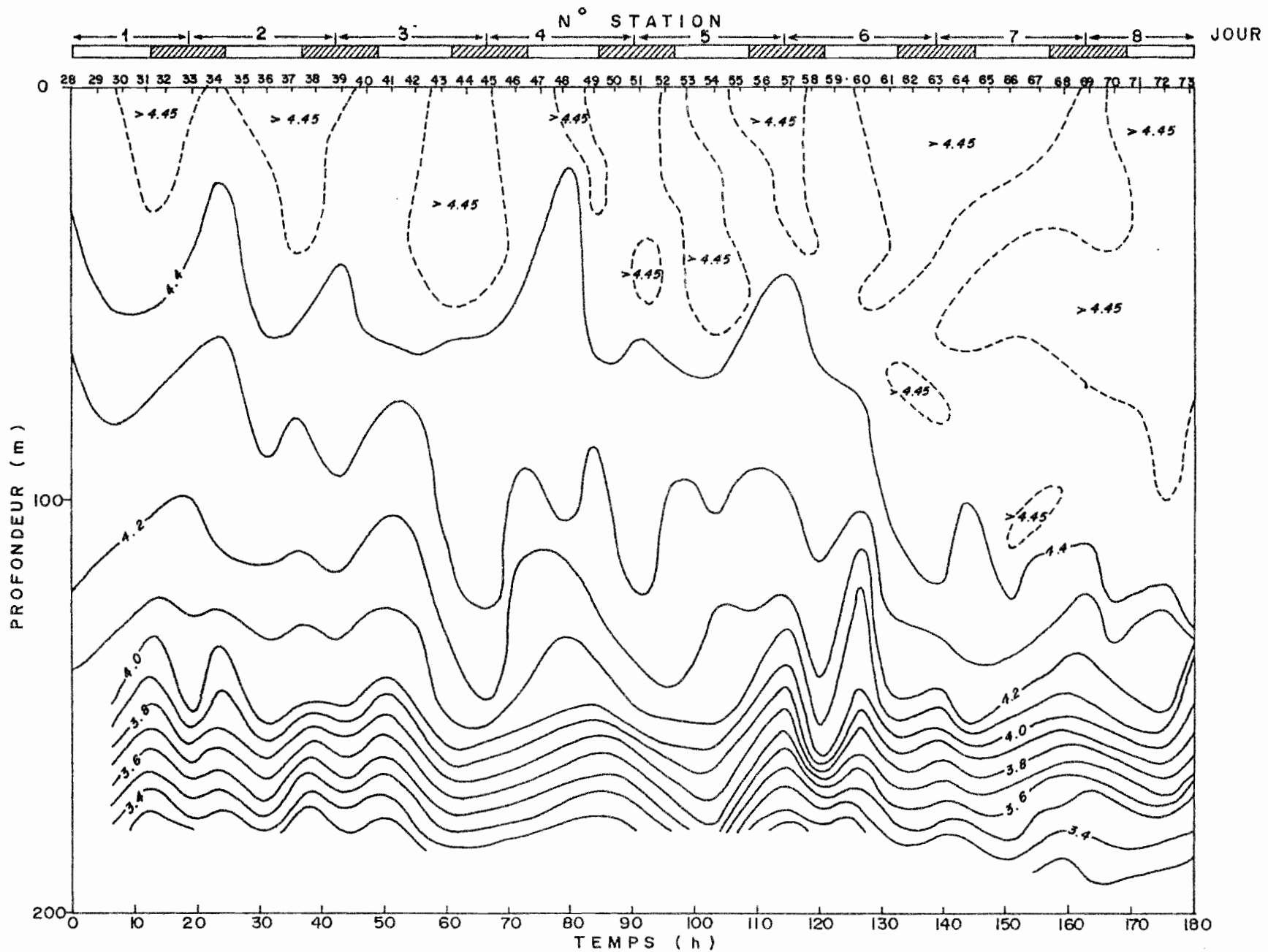


Fig. 24 - Evolution de la concentration en oxygène (ml.l^{-1}) lors de la station en dérive de PROPPAC 3.

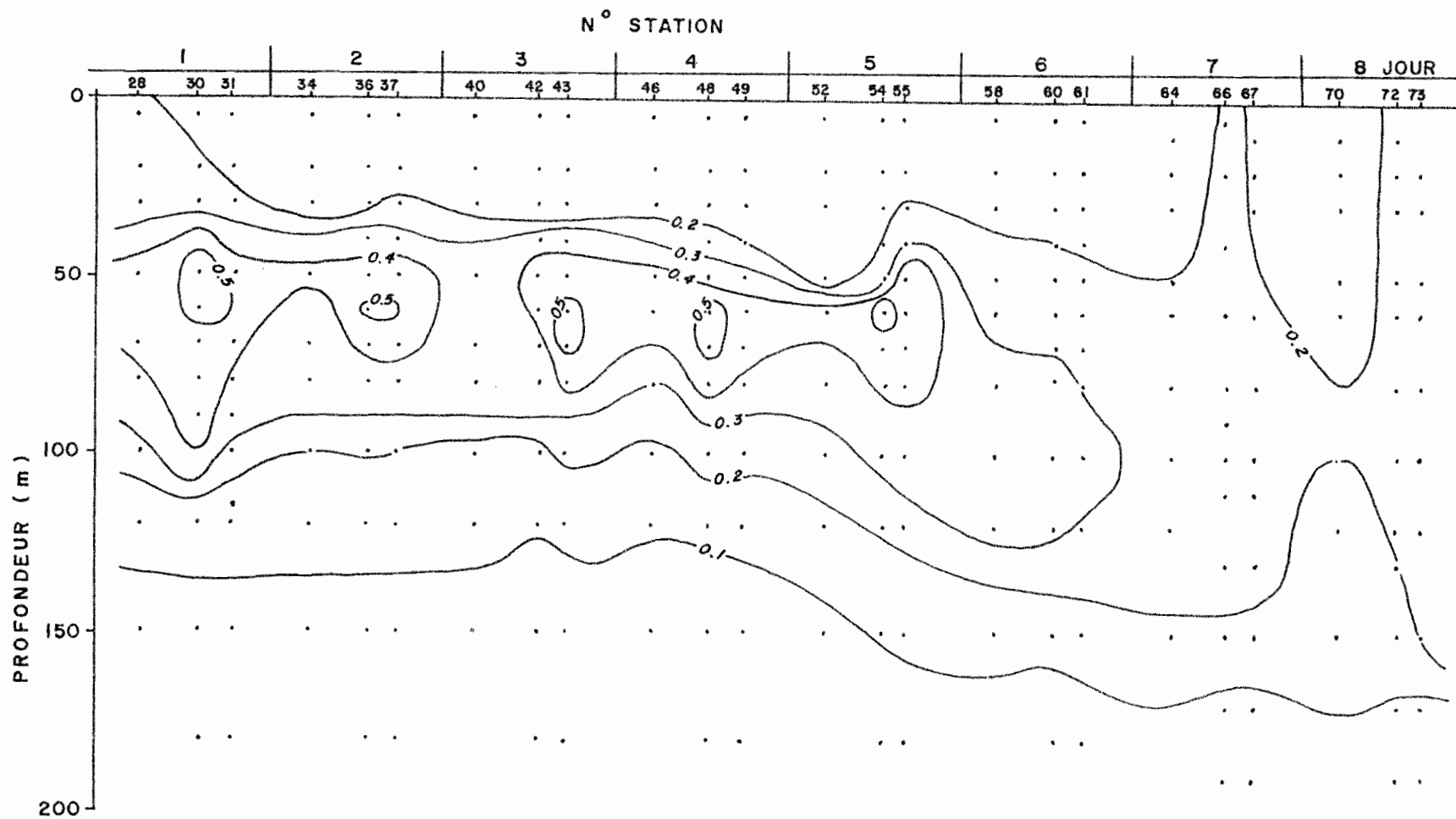


Fig. 25 - Evolution de la concentration en chlorophylle "a" ($\mu\text{g.l}^{-1}$) lors de la station en dérivation de PROPPAC 3.

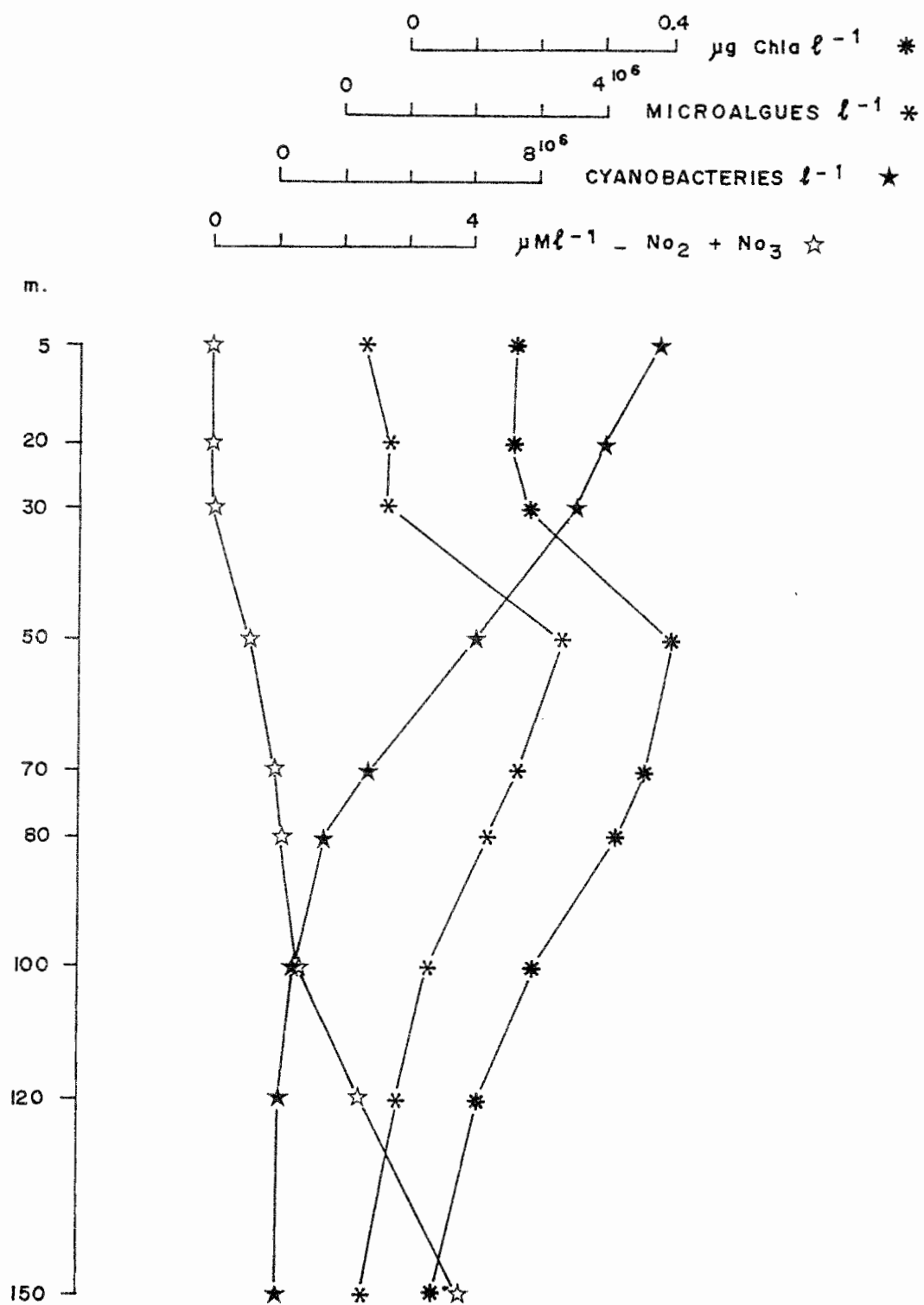


Fig. 26 - Profils verticaux à la station 34
(2ème jour de la station en dérive de PROPPAC 3)

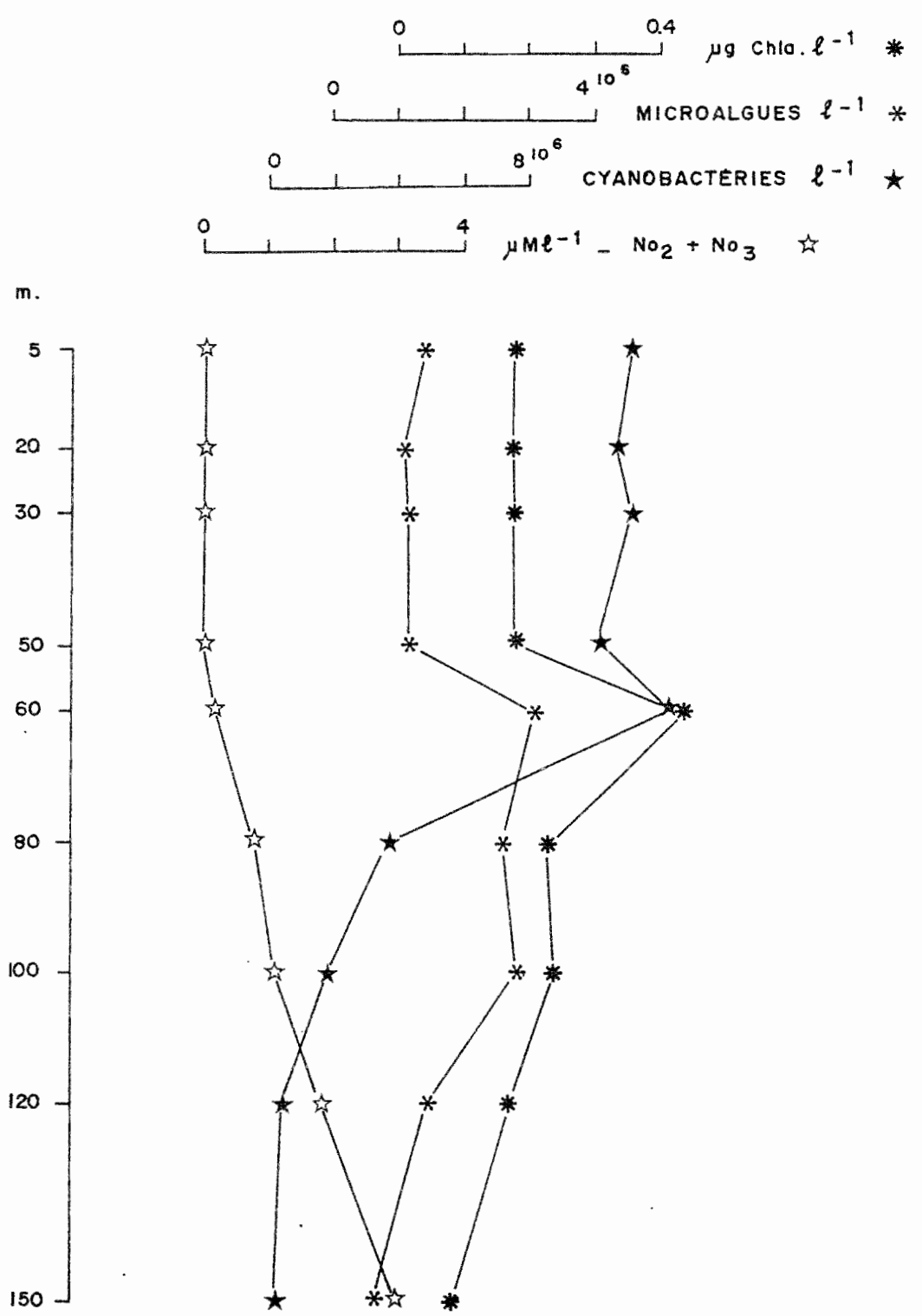


Fig. 27 - Profils verticaux à la station 52
(5ème jour de la station en dérive de PROPPAC 3)

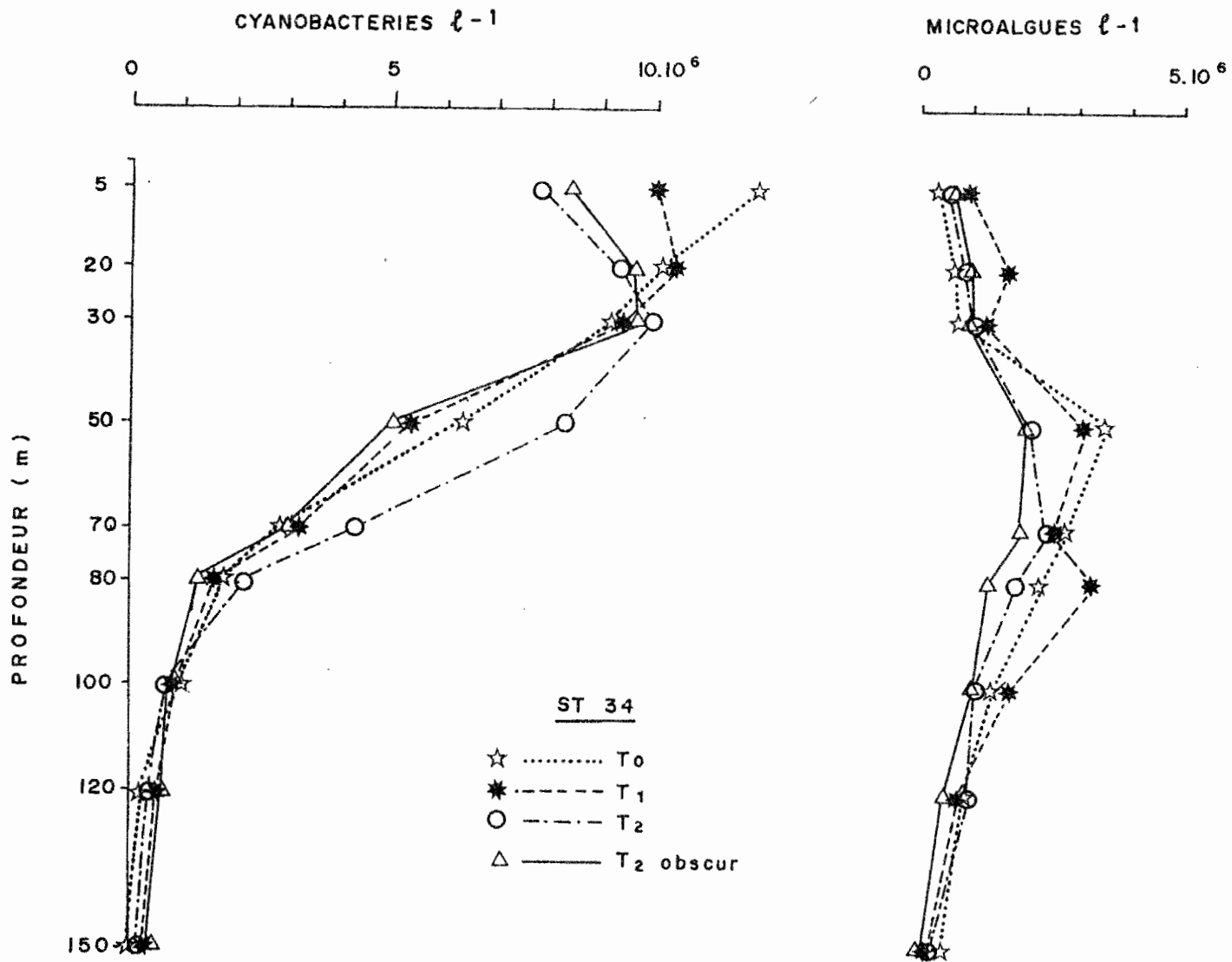


Fig. 28 - Profils verticaux des effectifs de phytoplancton en fonction des conditions expérimentales (durée et profondeurs) à la station 34.

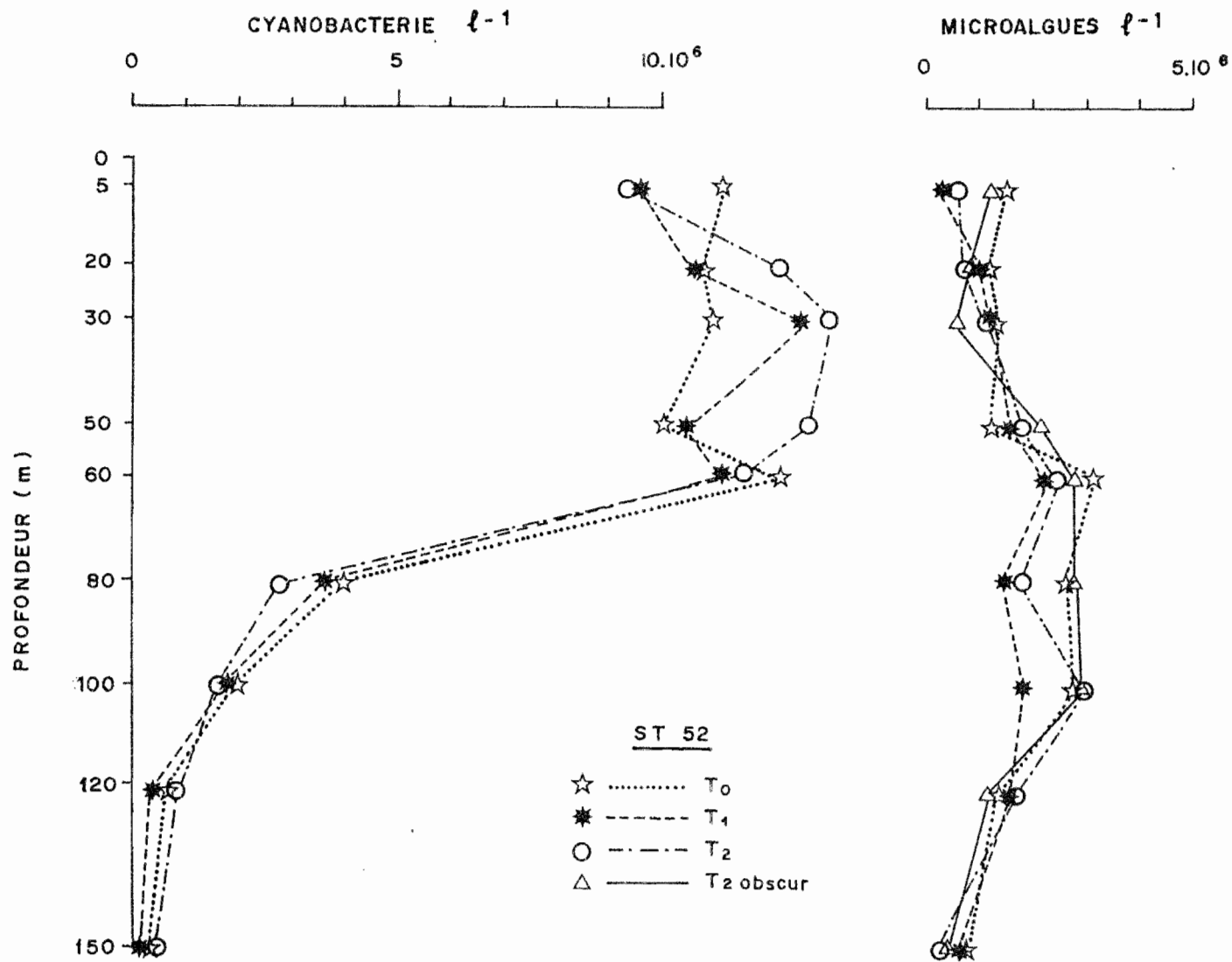


Fig. 29 - Profils verticaux des effectifs de phytoplancton en fonction des conditions expérimentales (durée et profondeurs) à la station 52.

51

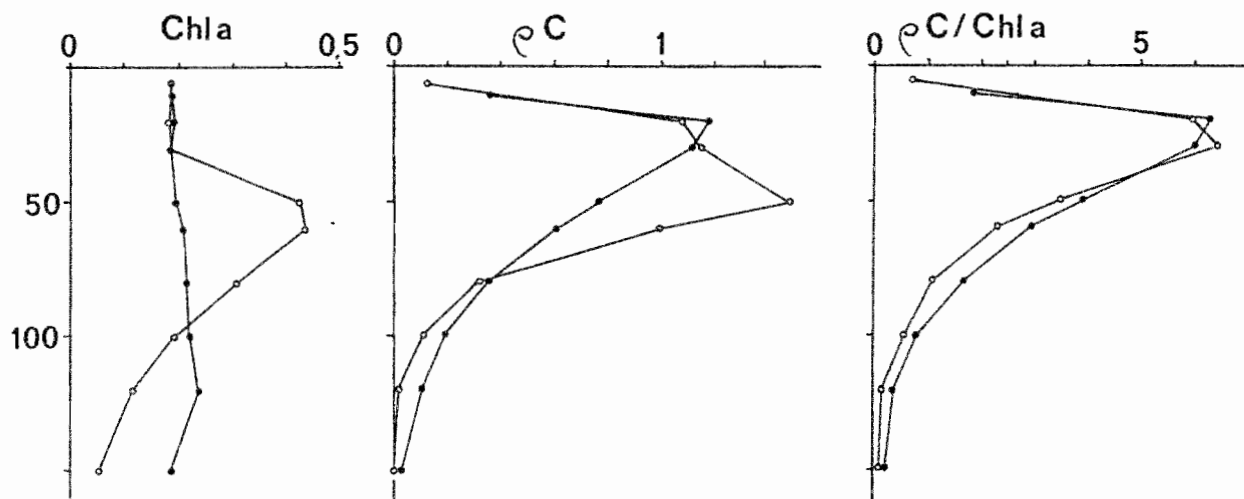


Fig. 30 - Chla = chlorophylle a ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) à 6h.
 Cercles vides : jour 4. Cercles pleins : jour 7.
 - pC = production primaire ($\text{mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$) de 6h. à midi.
 lumière incidente : jour 4 = 1170 et jour 7 = 920 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$
 - pC/Chla = indice de productivité ($\text{mgC}\cdot\text{mgChla}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$).

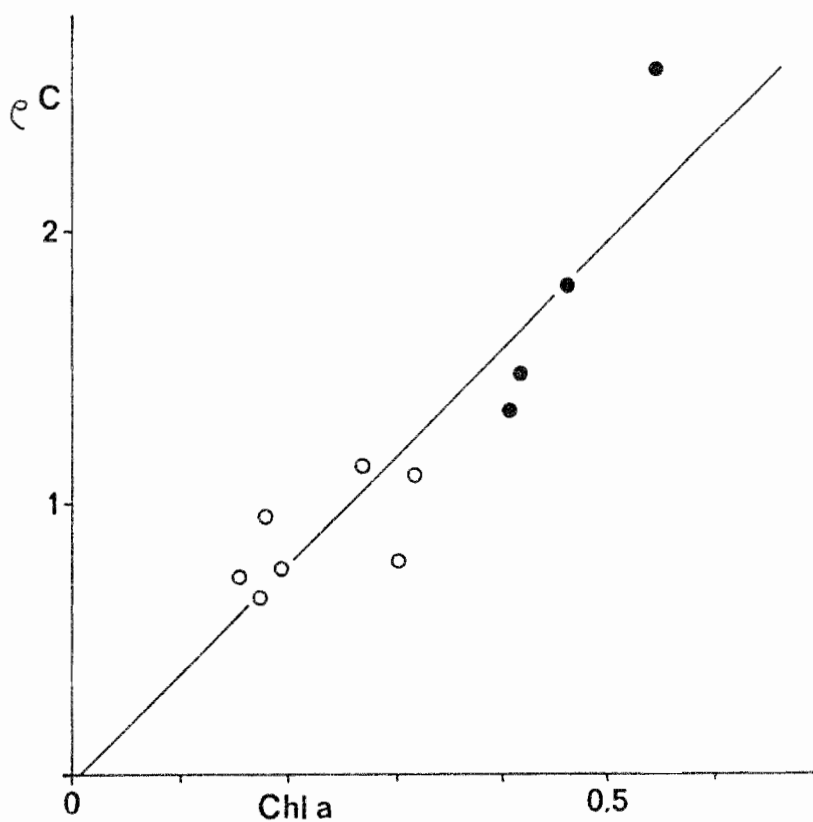


Fig. 31 - Production primaire ($\text{mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$) en fonction de la chlorophylle présente en début d'incubation ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$). Données provenant de mesures du 2è au 8è jour. Cercles vides : $\text{NO}_3 < 0,1 \mu\text{mole}$. Cercles pleins : $\text{NO}_3 > 0,1 \mu\text{mole}$. Lumière disponible : 28 à 44 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

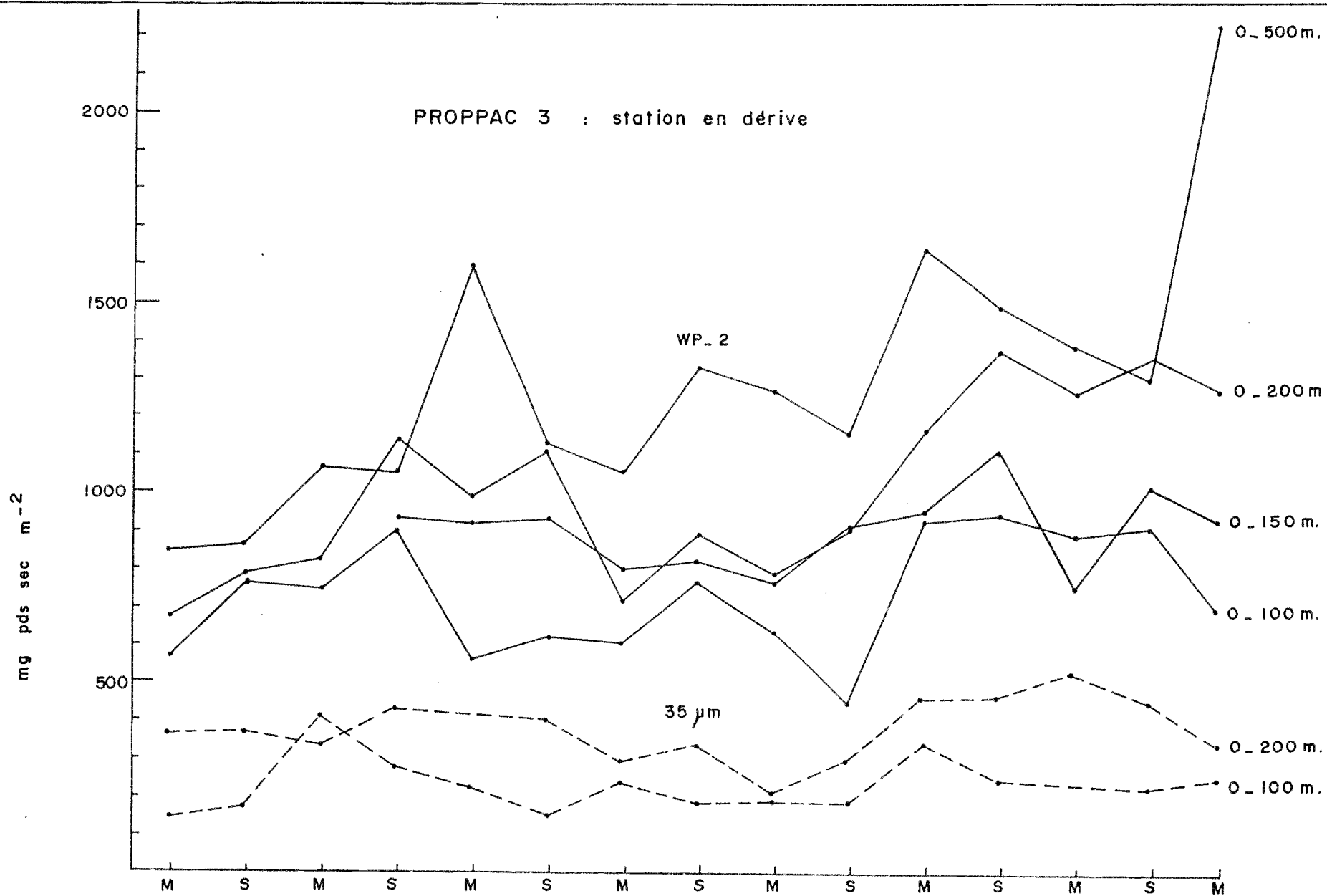


Fig. 32 - Evolution des poids secs de zooplancton ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-2}$) des fractions 35-200 μm et 200-2000 μm (WP-2) lors de la station en dérive de PROPPAC 3

53

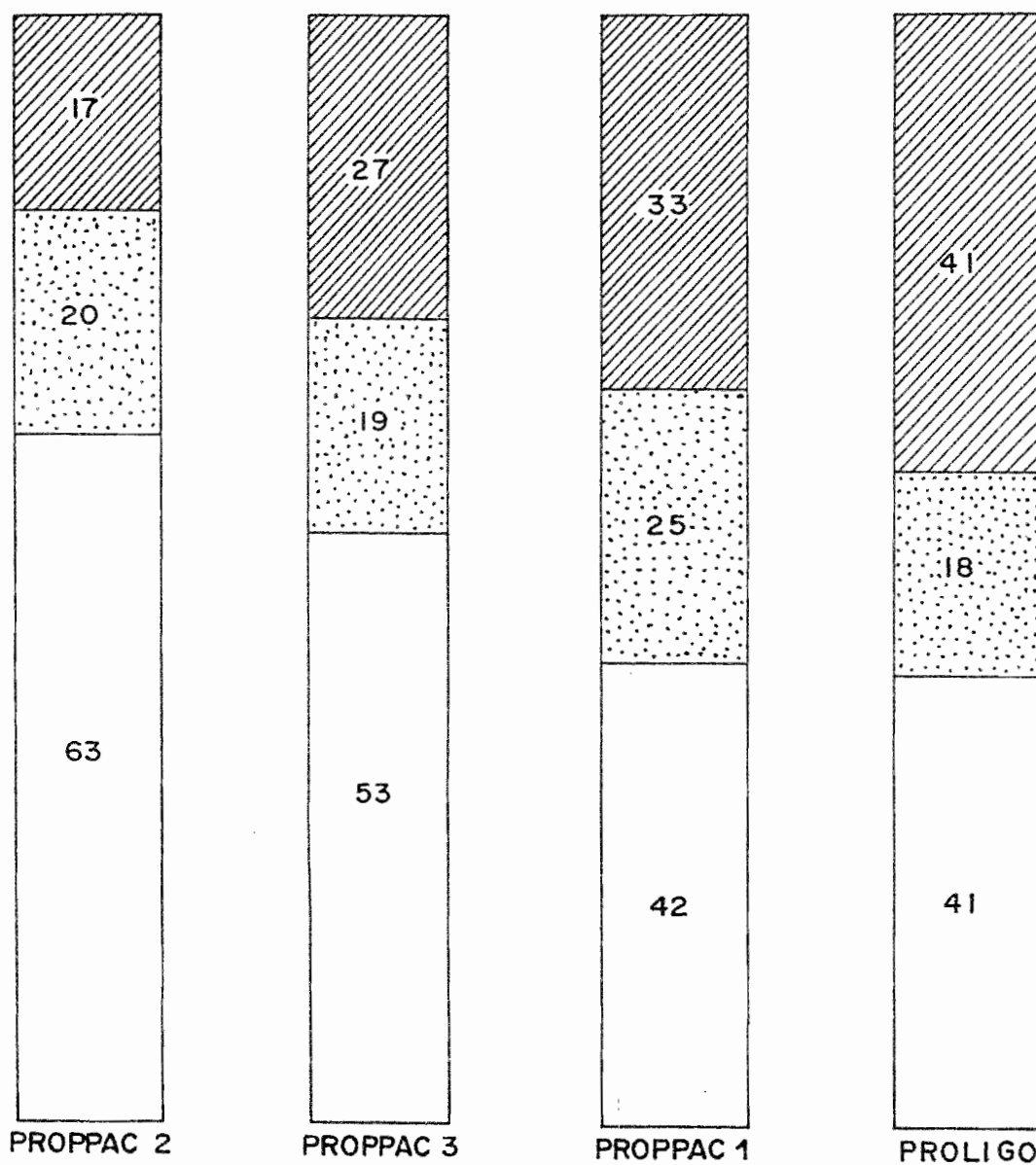
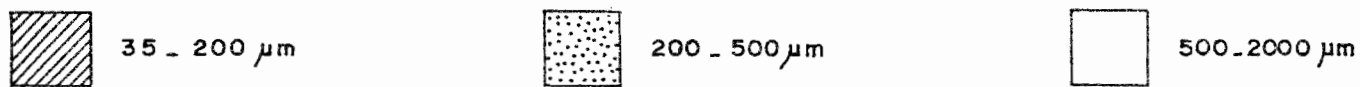


Fig. 33 - Importances respectives (en %) des différentes classes de tailles de zooplancton lors des points fixes de PROLIGO et PROPPAC 1, 2 et 3.

Enso Events and Consequences on Nutrient, Planktonic Biomass, and Production in the Western Tropical Pacific Ocean

Jean BLANCHOT, Robert LE BORGNE, Aubert LE BOUTELLER
and Martine RODIER

*Groupe PROPPAC, Centre ORSTOM BP A5,
Nouméa, New Caledonia*

ABSTRACT

ENSO events change the hydrographical structures and the planktonic biomass and production particularly in the low latitude region of the Pacific Ocean. We compare here the consequences of these variations at 165°E, in two opposite situations, i.e. during an ENSO event in September 1987 and during a non ENSO event in September 1988.

Preliminary conclusions show: (i) for the nutrients in September 1987, a thick nutrient-depleted mixed layer (under detectable limits) along the transect, except at 10°S and 9°S and in September 1988, a wide upwelling between 5°S and 2°N with surface nitrate concentrations ranging between 0.3 and 2 mM; (ii) for phytoplankton, the abundance of cyanobacteria (procaryotes) and microalgae (eucaryotes) shows large changes both in cells abundance and depth distribution between the two periods. Overall, there is a close relationship between upwelling and increase of phytoplankton abundance and chlorophyll biomass. The integrated values over 0-120m are higher in September 1988 than in September 1987: 5 times for cyanobacteria cells, 3 times for microalgae and 1.4 times for chlorophyll between 6-5°S and 2°N; (iii) primary production maximum is deeper during ENSO event whereas it is shallow in the upwelling situation. The level of production increased during the upwelling: the integrated value in the 0-120 m averaged (n=7), about 150 versus 59 mgCm⁻²h⁻¹; (iv) for zooplankton (200-2000 mm), there is a significant increase due to the equatorial upwelling in non-ENSO period and none in ENSO event, although a biomass peak appears around 10°S together with the nutrient enrichment.

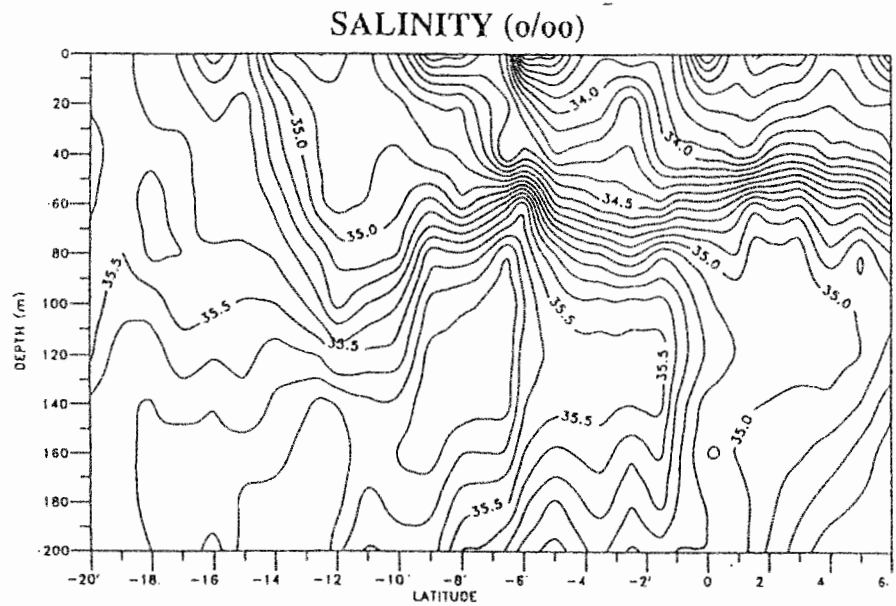
1. Introduction

14 transects were undertaken on the 165°E meridian between 20°S and 6°-10°N, from 1984 to 1989, within time frames of 3 to 6 months, under 2 ORSTOM programs PROPPAC and SURTROPAC. These cruises occurred during the El Niño/Southern Oscillation (ENSO) event and non-El Niño periods. Data collected in the 200m upper layer provide an important basis for the study of effects of long-term hydroclimatic variations on the chemical and biological structures in the open western tropical Pacific Ocean. We restrict our study here, to the comparison of two opposite situations, the first in September 1987 (PROPPAC 1 cruise) during an ENSO event, the second in September 1988 (PROPPAC 3 cruise) during a non-ENSO event.

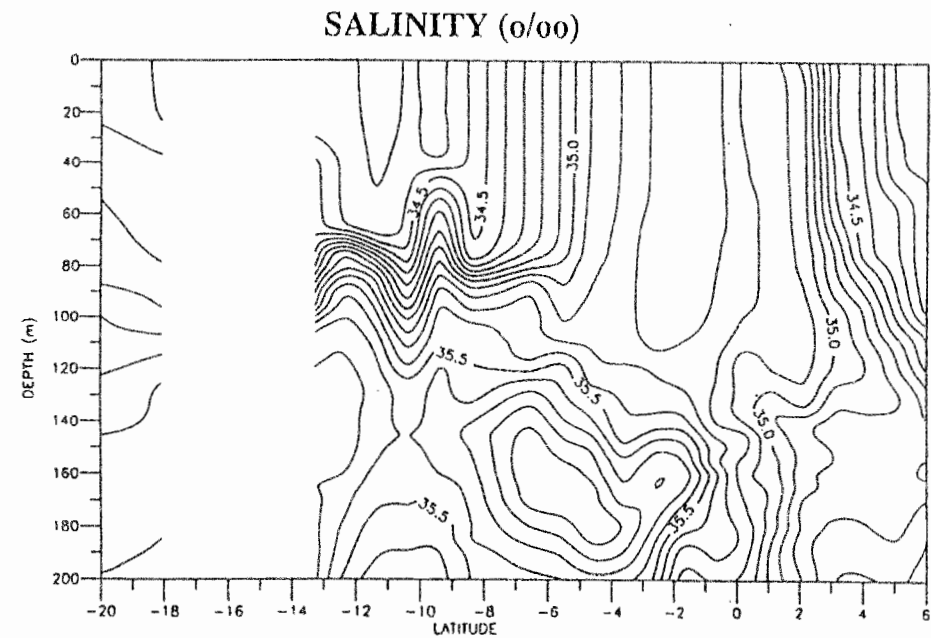
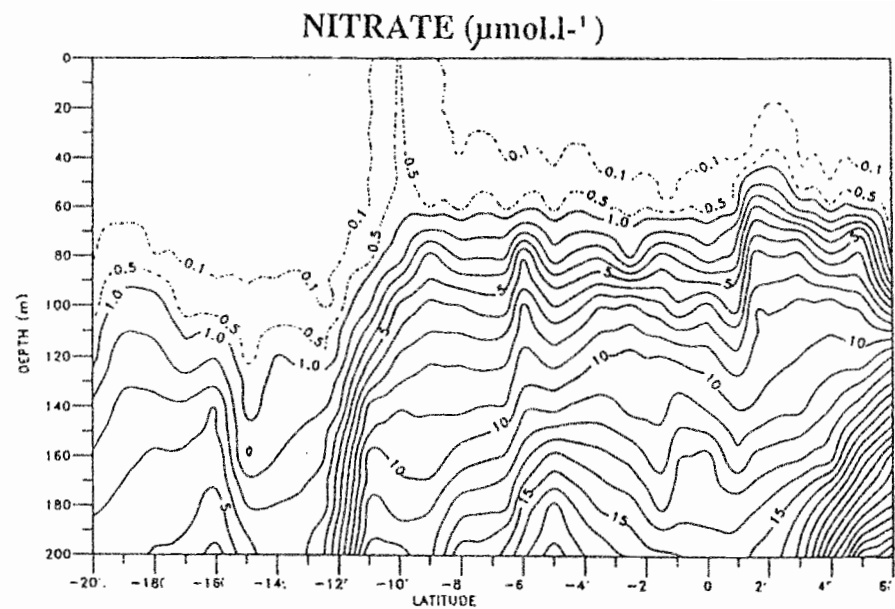
2. Results

a. Physical and chemical environment

The main physical and chemical features during the two periods are presented Figure 1. In September 1987, low salinity waters (<35.0) originating from the north of New Guinea and the Solomon islands were at the surface north of 14°S, associated with an eastward current. Deeper water originating from the south central Pacific between Tahiti and Easter island formed a tongue of high salinity (>35.5) between 20°S and 2°S. The core (>35.5) was located at 120 m at 8°S. The nutrients were absent at the surface along the



1987



1988

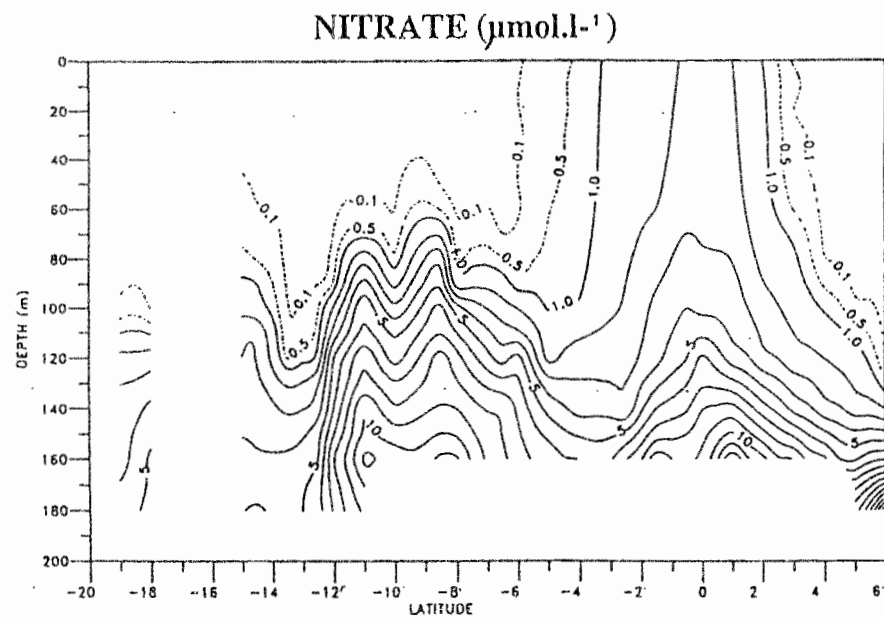
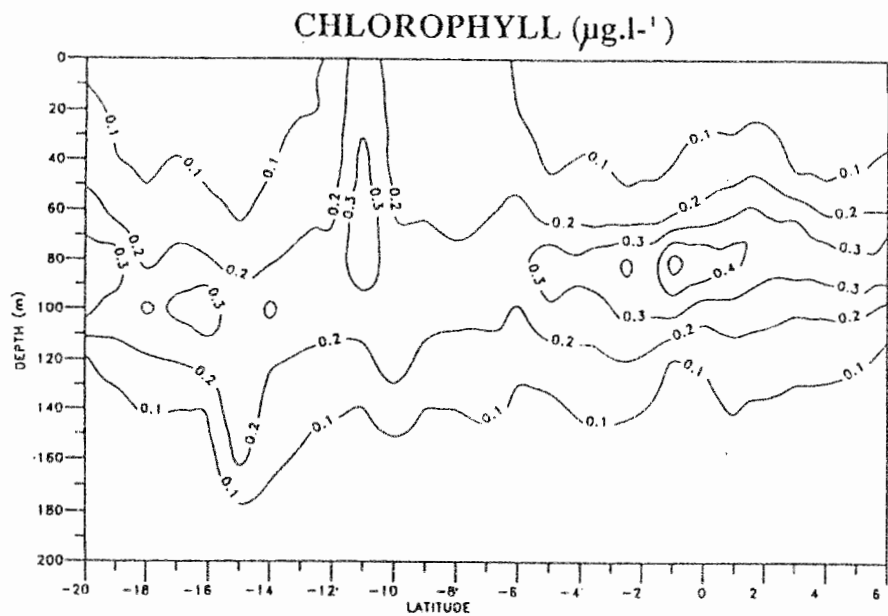
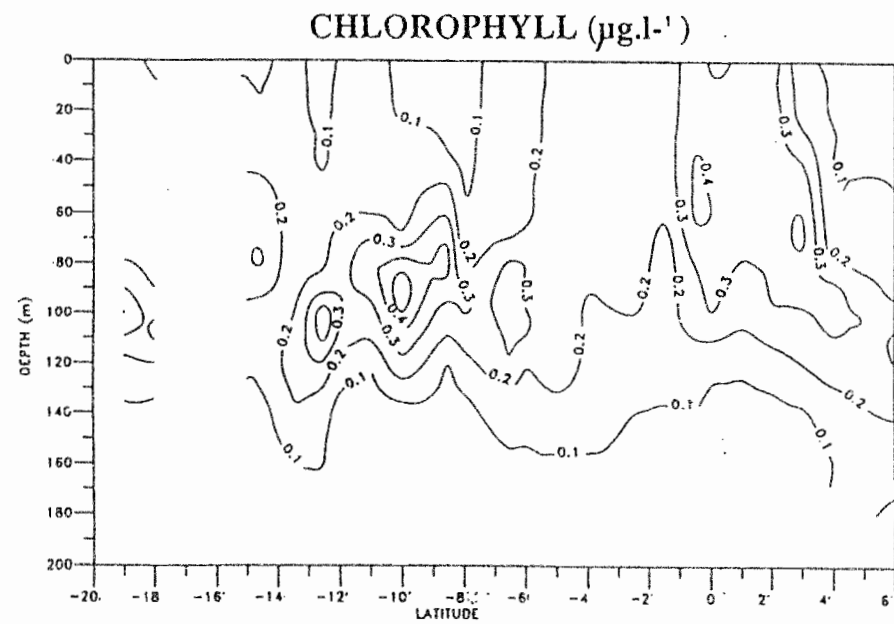
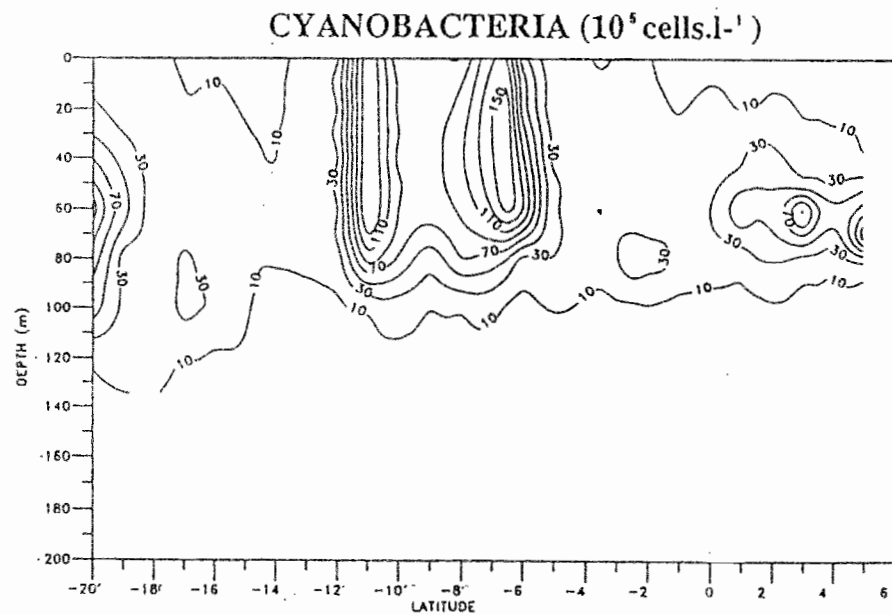


FIG.1. Meridional profiles of salinity and nitrate along 165°E from 20°S to 6°N in September 1987 (top) and September 1988 (bottom).



1987



1988

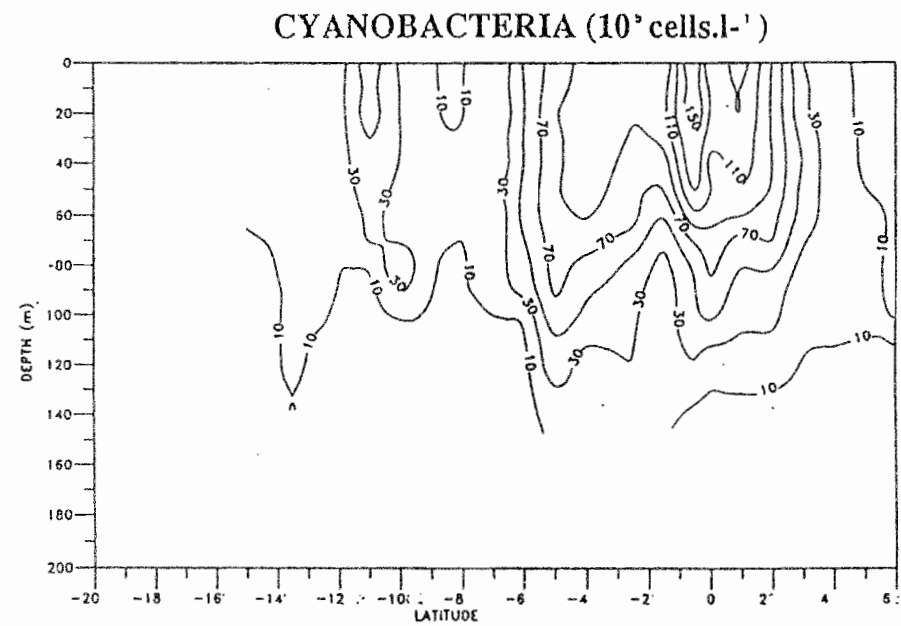


FIG.2. Meridional profiles of chlorophyll and cyanobacteria along 165°E from 20°S to 6°N in September 1987 (top) and September 1988 (bottom).

whole transect except at 10°-9°S where a slight enrichment, a consequence of the divergence between the South Equatorial Current (SEC) and the South Equatorial Counter-Current (SECC), could be observed.

In opposition with the above situation, high salinity surface waters (>35) were present between 5°S and 2°N in September 1988. This drastic change in sea surface salinity was the direct consequence of the equatorial upwelling. However below 100 m, high salinity waters from the central Pacific (S>35.8), were observed as in the opposite situation. The 35.5 isohaline crossed 2°S as previously. Linked with high surface salinity, the nutrients concentration were important from 5°S to 2°N, with values up to 2.29 mM at 1°S.

b. Biological consequences

* Chlorophyll concentrations

In September 87, surface values >0.2 µg l⁻¹ were observed in the divergence zone around 12°S-10°S. A deep chlorophyll maximum >0.3 µg l⁻¹ near 90m, occurred from 6°S to 6°N. In September 88, maximum chlorophyll concentrations were found in the equatorial upwelling, with concentrations higher than 0.2 µg l⁻¹ in the whole photic zone (Fig.2).

* Distribution and abundances of procaryotic chroococoid cyanobacteria and eucaryotic microalgae.

The maximum abundance of phytoplankton cells always occurred at the same location as the maximum biomass of chlorophyll *a*. In September 87, the maximum cell abundances of cyanobacteria (>7 10⁶ cells l⁻¹) occurred from the surface to 80-90m, between 11°S and 6°S (Fig.2). The eucaryotes abundances were weak and located at several stations only at the bottom of the euphotic zone (Fig.3). In September 88, the maximum occurrence of cyanobacteria was observed in the equatorial area from 5°S to 2°N (Fig.2) coincident with increase of cyanobacteria abundances, one important zone of great abundance of microalgae occurred from the surface to the bottom of the euphotic zone in the equatorial upwelling (Fig.3).

* Primary production in the equatorial zone

Vertical profiles of dawn-to-dusk rates of in situ primary production showed that in the equatorial area, during EL NINO events, the maximum rate was observed at 60 m. Observations made in the equatorial upwelling in April 1988 (PROPPAC 2 cruise) showed that the maximum rate of primary production was just below the surface at 20 m (Fig.4)

* Zooplankton biomasses

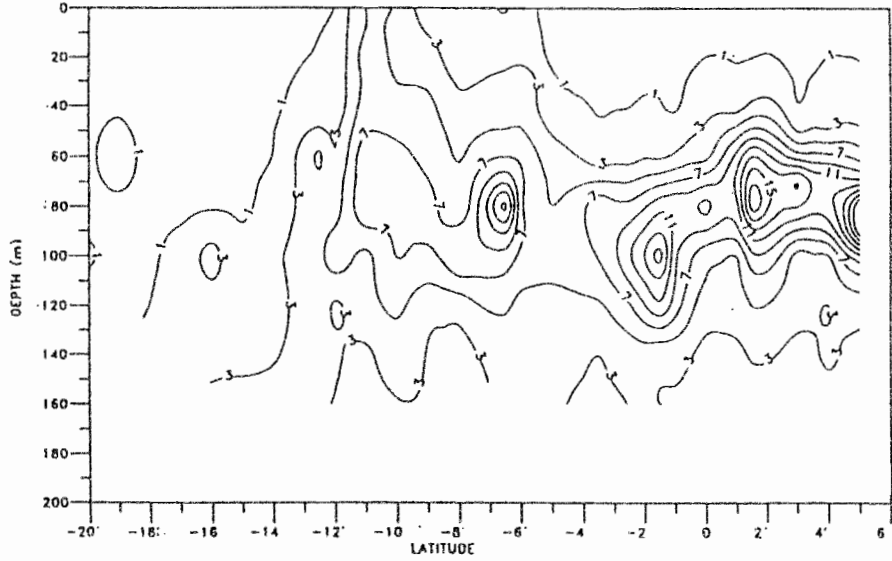
In September 87, the zooplankton biomasses were weak and rather uniform (less than 1000 mg.m⁻²) except at 12°S where a slight enrichment was measured (Fig.3). A year later, a strong increase was measured between 5°S to 2°N. The maximum zooplankton biomass was 2500 mg.m⁻² at 1°N (Fig.3).

3. Discussion

Looking at all transects, a slight enrichment is often observed around 10°S in the SEC-SECC divergence zone. However, temporary surface nutrients are unusual and are observed only once in September 1987. This enrichment seems to be higher during ENSO events, and has a direct consequence on the increase of phytoplankton abundance.

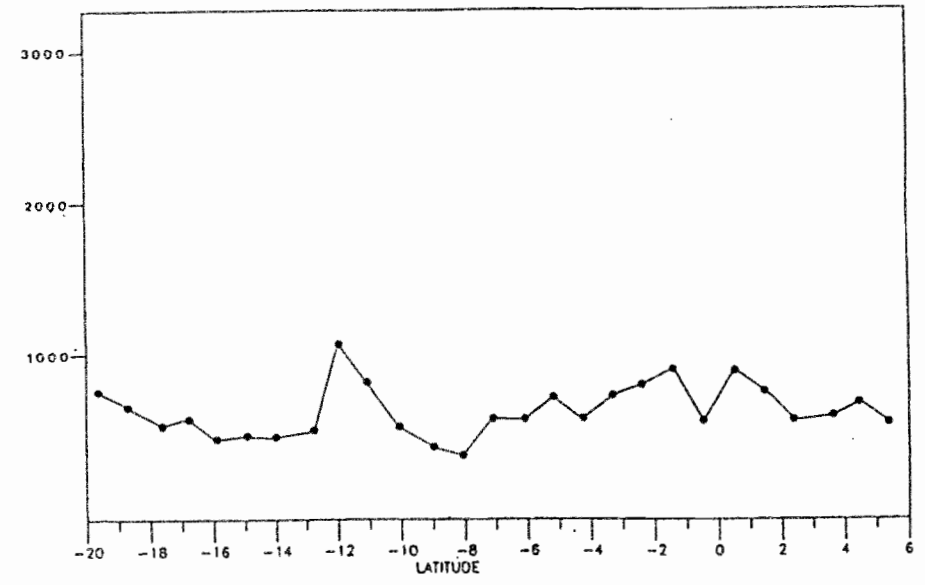
During PROPPAC 3 (September 1988), when nitrates were present from the surface to the bottom of the photic zone, maximum chlorophyll concentrations were in this case at the same level than the maximum cell counts. Inputs of nutrients in the photic layer allow higher vegetal production and biomass-increases in upper levels of the food-web (here, zooplankton). Such inputs are very important during the NON-ENSO period, when the equatorial upwelling is present. No such a phenomenon, which may be seen on surface salinity nitrate or chlorophyll occurs during ENSO at the equator.

MICROALGAE (10^5 cells.l⁻¹)

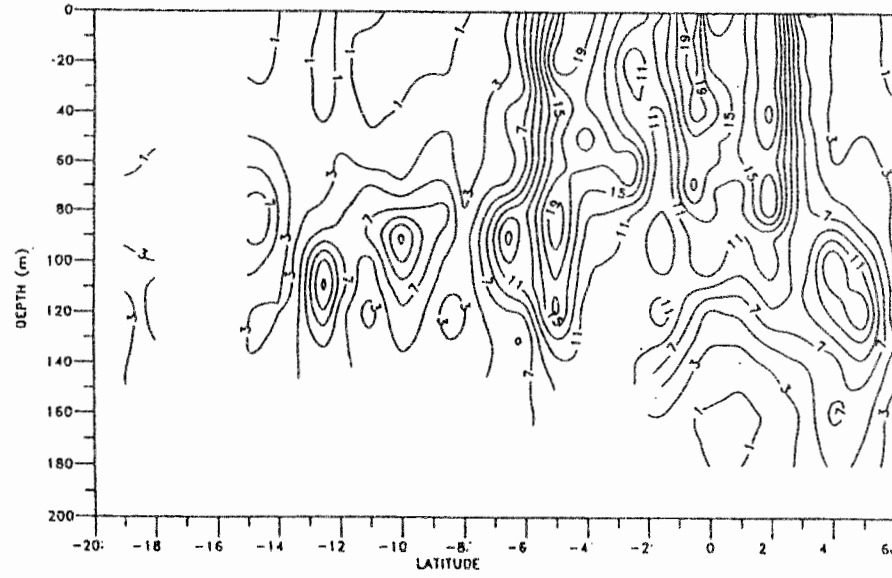


ZOOPLANKTON (mg.m⁻²)

1987



MICROALGAE (10^5 cells.l⁻¹)



ZOOPLANKTON (mg.m⁻²)

1988

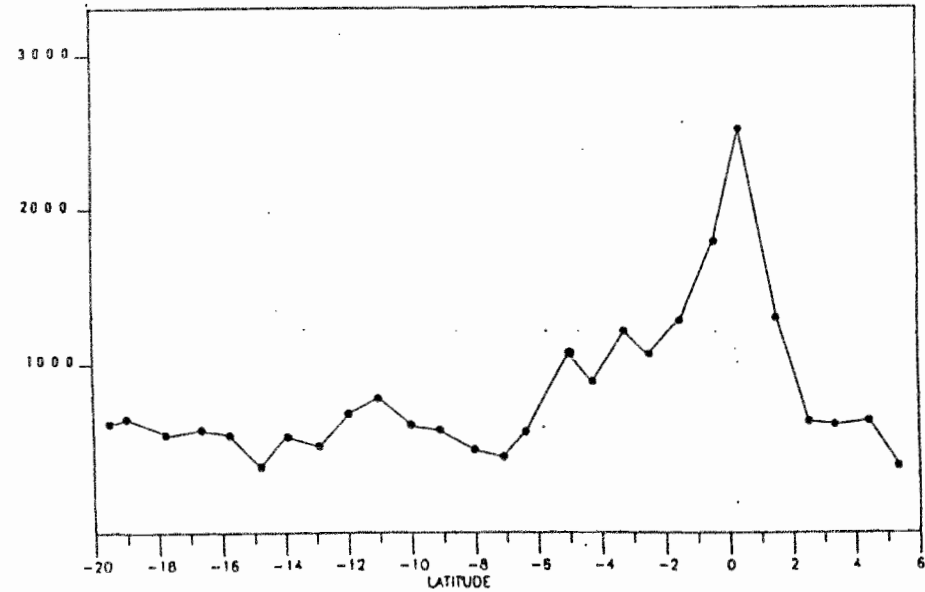


FIG.3. Meridional profiles of microalgae and zooplankton along 165°E from 20°S to 6°N in September 1987 (top) and September 1988 (bottom).

PHYTOPLANKTON PRODUCTION (mgC.m-3.h-1)

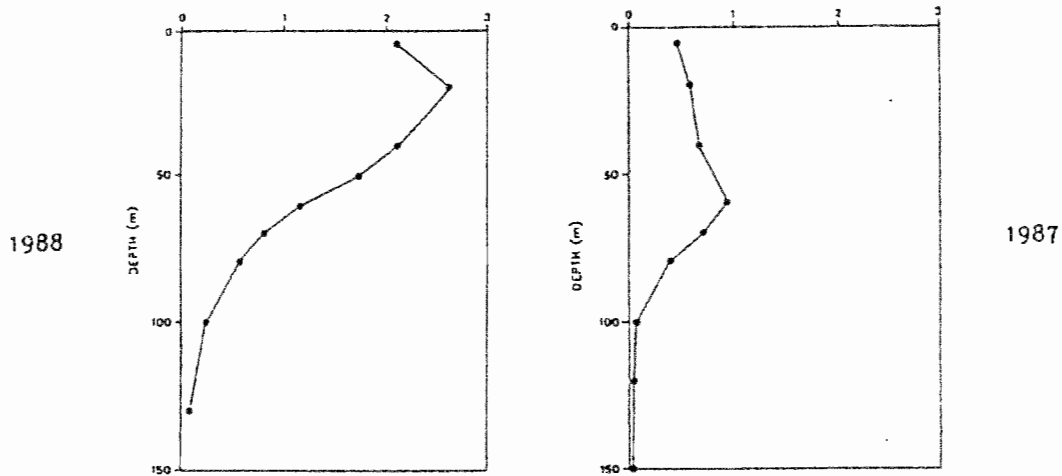


FIG.4. Depth distribution of in situ rates of carbon fixation at the equator in September 1988 and 1989.

The upwelling consequences are between 5°S and 2°N to 5°N:

- an increase of integrated chlorophyll (1.4 times), numbers of phytoplankton cells (5 times increase for cyanobacteria and 3 times for microalgae) and zooplankton biomass (2.5 times);

- a change of vertical profile of in situ primary production (most of phytoplankton production is achieved in upper layers);

- an increase of integrated primary production (2.5 times).

Nevertheless, equatorial upwelling in the western Pacific is not a general feature of NON-ENSO periods. Since SURTROPAC and PROPPAC transects started in January 1984, it has only been observed for the different parameters in April, July, September 1988 (Blanchot et al. 1988a,b) and January 1989. However in January and August 1984 a change of the salinity structure was reported (Delcroix et al., 1987; Eldin, 1989) and in February 1986 a chlorophyll signature was described by Barber and Kogelschatz, 1989. Intermediate situations during NON-ENSO periods are characterized by different increases of planktonic biomasses. The increases are directly dependent on the depth of the nutricline.

REFERENCES

- Barber, R.T. and J.E. Kogelschatz, 1989: Nutrients and productivity during the 1982/83 El Nino. In: Global ecological consequences of the 1982-1983 El Nino - southern oscillation, ed. P.W. Glynn. Elsevier, Amsterdam. (In press.)
- Blanchot, J., R. Le Borgne, A. Le Bouteiller and M.-H. Radenac, 1988a: Rapport de la campagne PROPPAC 03 du N.O. "CORIOLIS" 27 mars - 27 avril 1988. Rapports de mission, Sciences de la mer, Océanographie, Centre de Nouméa, 13 pp.
- Blanchot, J., R. Le Borgne, A. Le Bouteiller, M.-H. Radenac, and M. Rodier, 1988b: Rapport de la campagne PROPPAC 03 du N.O. "CORIOLIS" 11 septembre - 11 octobre 1988. Rapports de missions, Sciences de la mer, Océanographie, Centre de Nouméa, 54 pp.
- Delcroix, T., G. Eldin and C. Hénin, 1987: Upper ocean water masses and transports in the western tropical Pacific (165°E). *J. Phys. Oceanogr.*, **17**, 2248-2262.
- Eldin, G., 1989: Coupes verticales des structures océaniques physiques à 165°E observées au cours de dix campagnes SURTROPAC, 1984 - 1988. Rapports scientifiques et techniques, Sciences de la mer, Océanographie physique, 1, 130 pp.

Fine structure variability in the equatorial Western Pacific Ocean

Marie-Hélène RADENAC

*Groupe PROPPAC, ORSTOM - BP A5,
Nouméa - New Calédonia*

ABSTRACT

CTD and velocity measurements were carried out in the western equatorial Pacific ocean at 165°E in April 1988. Large-scale structures along this meridian are first described. Then, preliminary results of an 8-day long station at the equator are used to locate layers of high variability.

1. Presentation and data

The specific goals and scientific objectives of PROPPAC (PROduction Pélagique dans le PACifique) program are to study relations between physical processes and biological production. Main physical interest is to locate possible areas of vertical mixing. We will then establish how this local mixing interacts with large-scale hydrographic and velocity structures.

In the framework of this program, three cruises have been carried out along 165°E (20°S-6°N). Along the transect, every degree of latitude, a velocity profile is made down to 600 db and, at the same time, a CTD cast is done to 1000 db (Delcroix et al, 1987). Afterward, position for an eight-day long station is chosen in order to study variability of a specific situation.

We present here preliminary results of the cruise undertaken in April 1988:

1. Large-scale structures encountered from 5°S to 5°N along 165°E track (from April 3rd to 7th) are described using temperature, salinity, and velocity sections. Mean and standard deviation profiles are constructed from density data of the 8-day station (April 12th to 19th) in order to locate strong variability layers at the equator.

2. Then, a fine-scale variability study in the upper 400 m is initiated at the equator from the 8-day time series. Väisälä frequency, zonal vertical shear and zonal Richardson number are contour-plotted as functions of depth and time. The 29 profiles of zonal velocity, Väisälä frequency, zonal vertical shear, and zonal Richardson number measured during the 8-day long station have been averaged and are also presented. A mean "activity index" profile is compared to the averaged zonal Richardson number profile.

2. Large scale structures

As potential density section and temperature section look similar, only temperature section is presented here. However, salinity effect on the density field must be taken into account in areas where vertical temperature gradients are weak and vertical salinity gradients are strong (North Subsurface Countercurrent : 2°N-3°N).

A structure evidenced by the three sections shown in Figures 1a to 1c is an unusually strong equatorial upwelling. Delcroix et al (1987) only mentioned weak upwellings detected on temperature and salinity sections of the SURTROPAC cruises of January and August 1984.

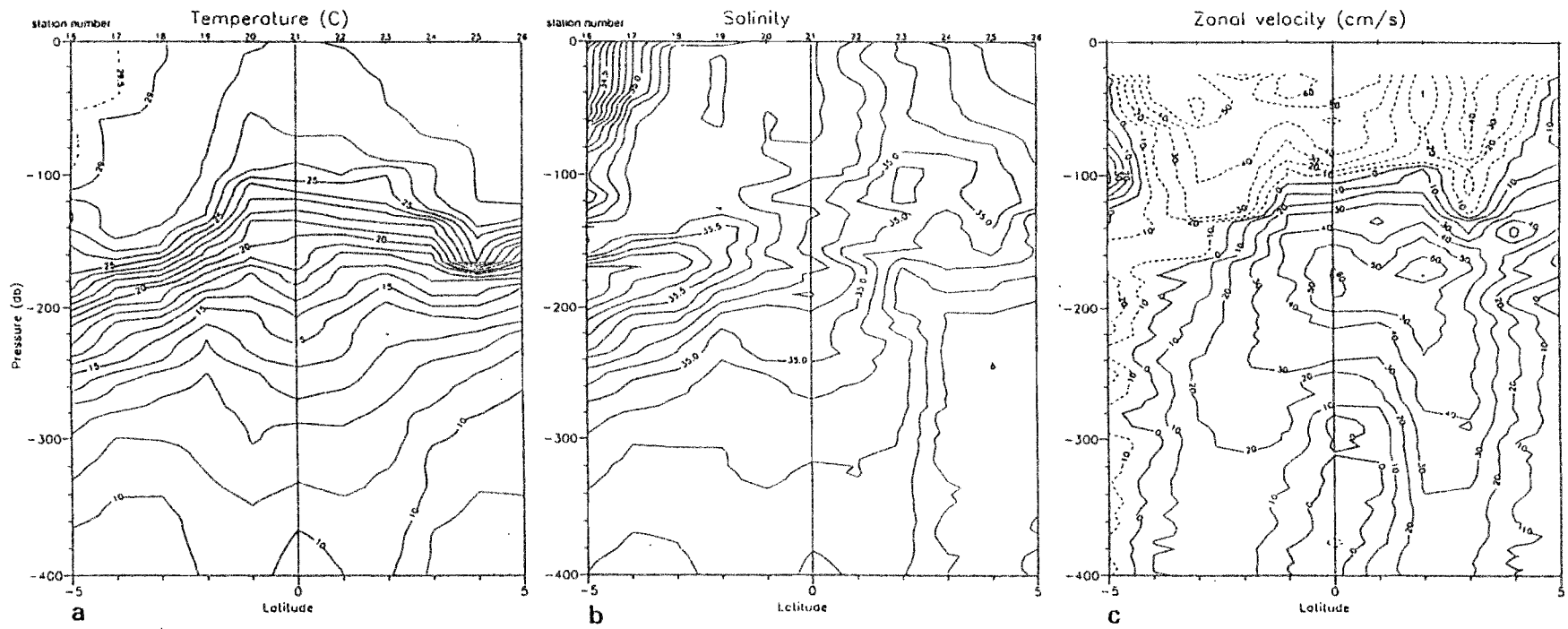


FIG.1. Large-scale structures of (a) temperature, (b) salinity, and (c) measured zonal current (ref. 600db) along 165°E.

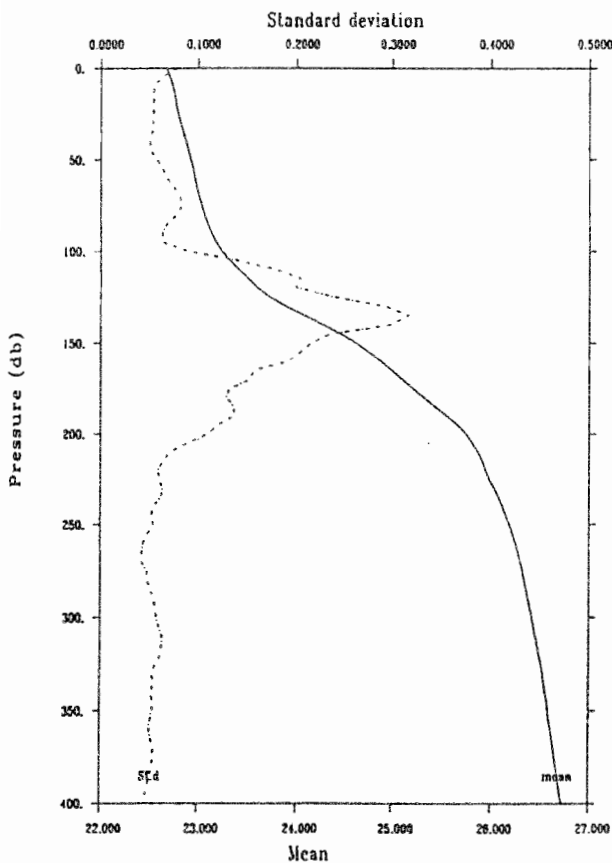
In April 1988, we observe:

- a decrease in sea surface temperature (SST) from 28.6°C at 2°N and 2°N to 27.7°C at the equator;
- a strong meridional salinity gradient from the surface down to 100 m limiting the southern boundary of the upwelling at 4°S: | 0.5 (ppt) per degree of latitude;
- a strong South Equatorial Current (SEC) ($U_{max} > 50 \text{ cm.s}^{-1}$) from 5°S to 5°N and down to 100 m. This strong westward flow has also been observed during the SURTROPAC cruise in January 1988 (Eldin, 1989) but it was not associated with an equatorial upwelling. SST between January and April cruises is measured by equatorial mooring (McPhaden and Freitag, 1988). It indicates a sharp fall in March 1988 and SST reaches value as low as 1°C below climatology at the end of the month.

Other main features have been observed during most cruises:

- isotherm spreading associated with Equatorial Undercurrent (EUC);
- vertical temperature gradient weakens under 300 m depth;
- EUC core is located in the area of maximum meridional salinity gradient (| 0.4 per degree of latitude at 170 m) situated at the northern edge of the high salinity tongue;
- under 300 m, westward Equatorial Intermediate Current (EIC) is hardly detected because of weak zonal velocity (5 to 10 cm.s^{-1}) and narrow meridional extension.

Layers of strong variations (in a statistical sense) are deduced from standard deviation profile of potential density (Fig. 2).



- The mixed layer down to 100 m is associated with small variations except a low maximum at 70 m.

- Strong variations are observed in the thermocline.

- Under the thermocline, there are small variations in the weakly stratified layer but a slight peak around 300 m.

This variability is not caused only by vertical displacements or shear instabilities.

Lateral advection of nearby water masses (which is not studied here) should be taken into account too.

FIG.2. Mean and standard deviation profiles of potential density.

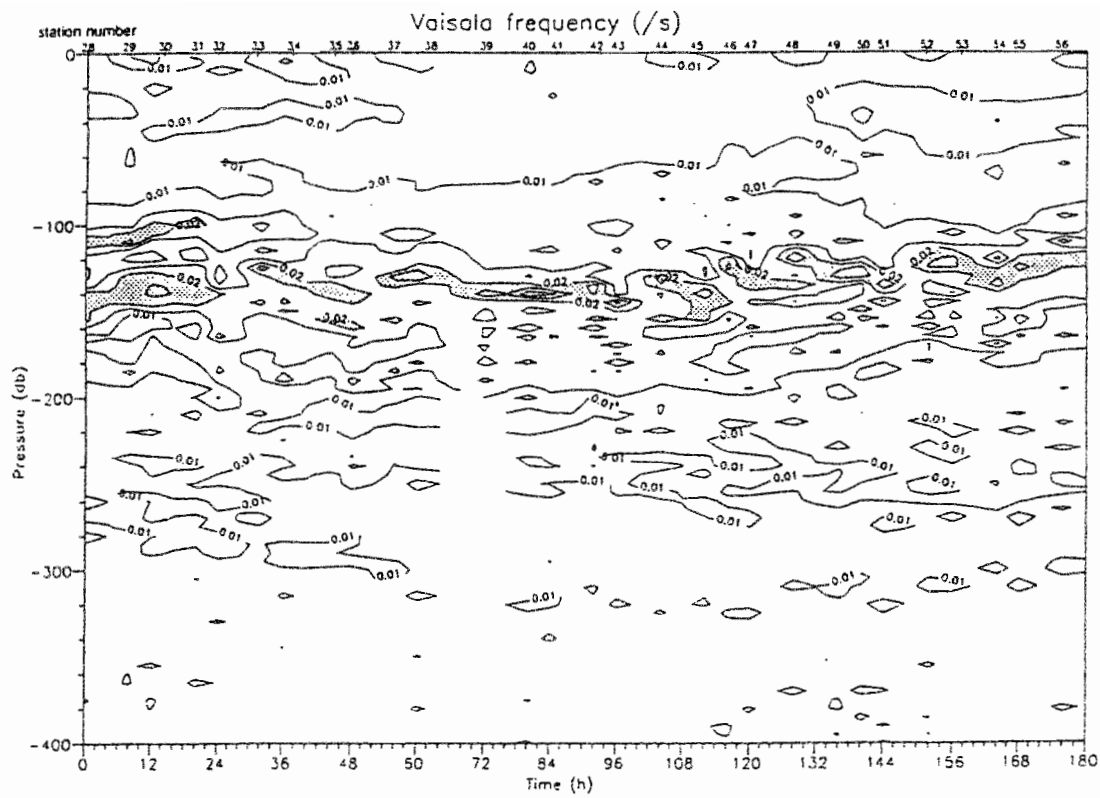


FIG.3a. Evolution of Vaisala frequency during the equatorial 8-day station.

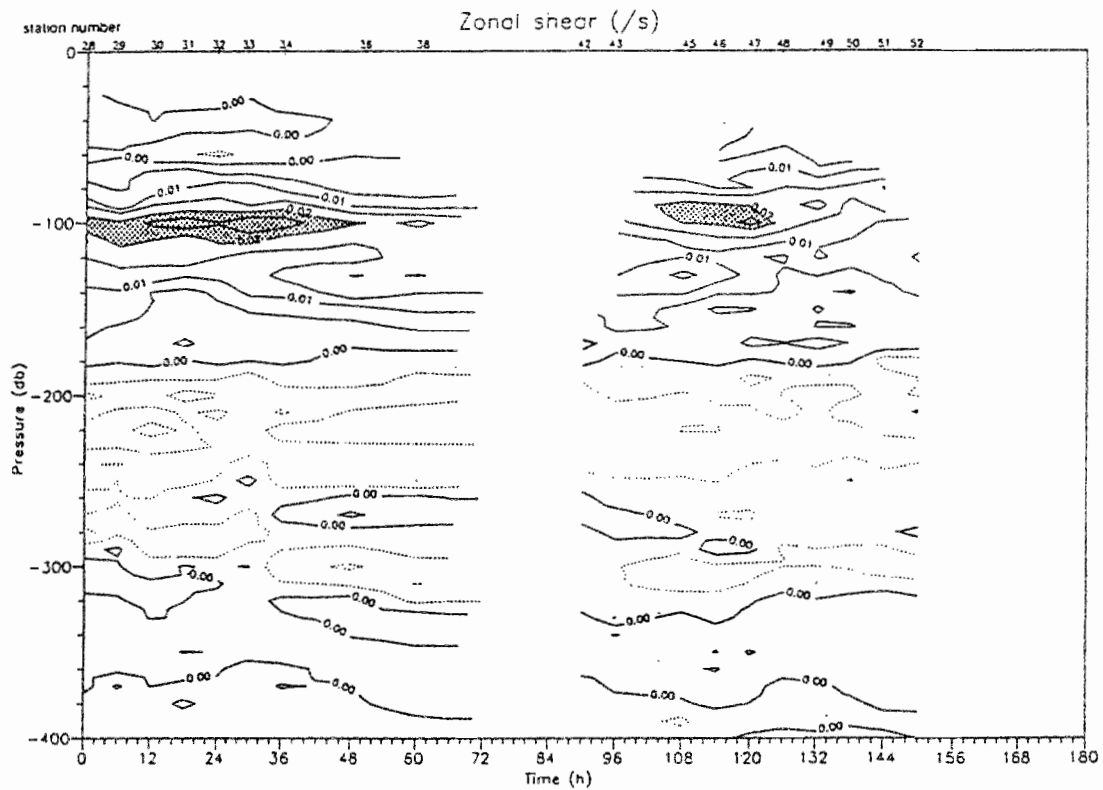


FIG.3b. Evolution of zonal vertical shear during the equatorial 8-day station.

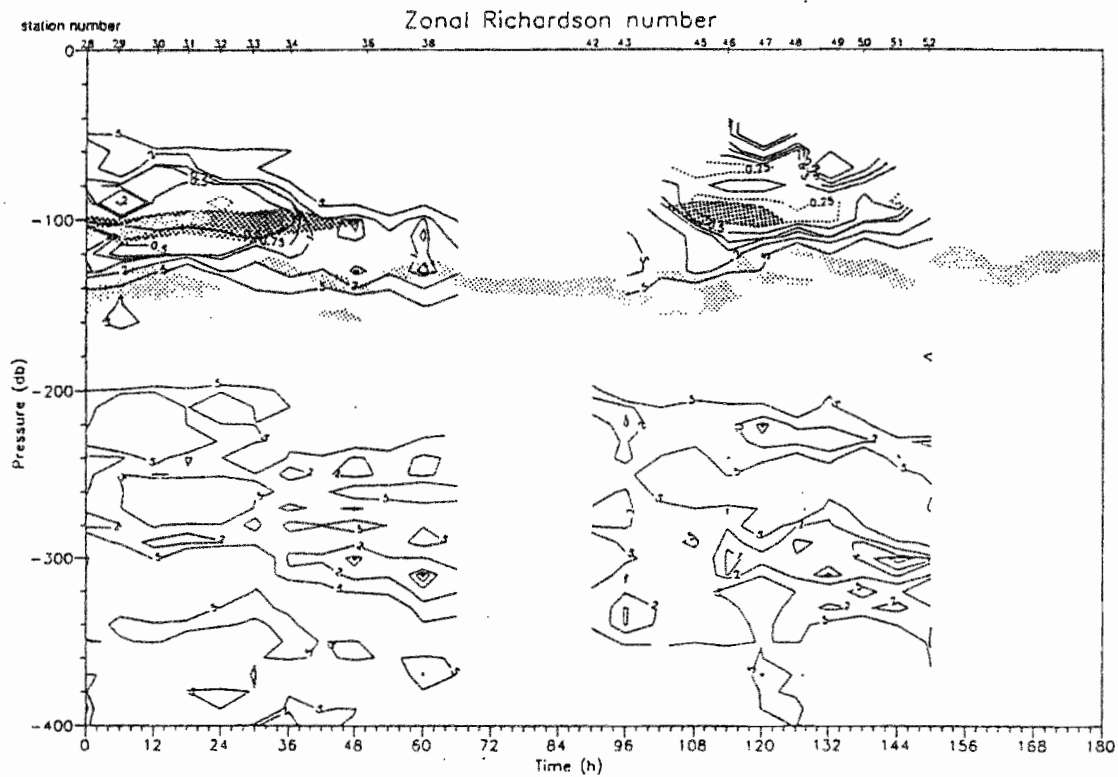


FIG.3c. Evolution of zonal Richardson number during the equatorial 8-day station.

Vaisala frequency > 0.02 s-1
 Zonal shear > 0.02 s-1

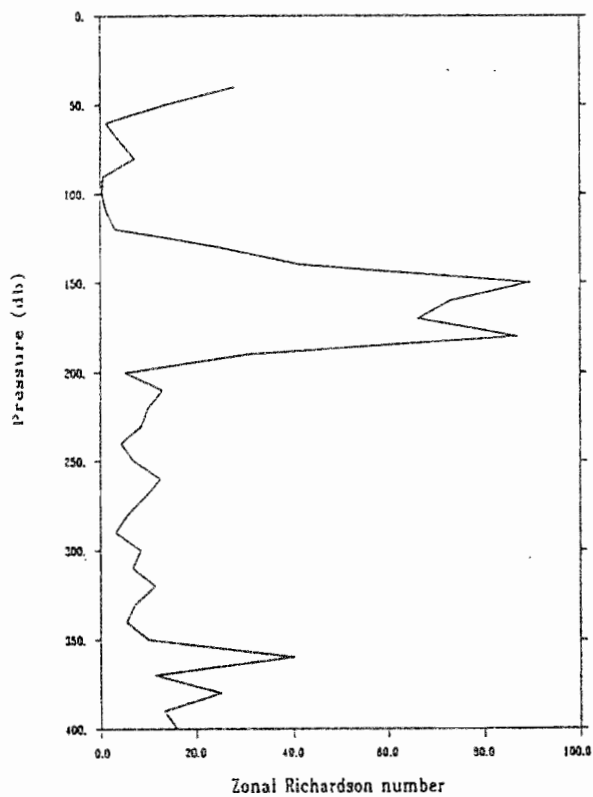


FIG.4a. Mean zonal Richardson number during the equatorial 8-day station.

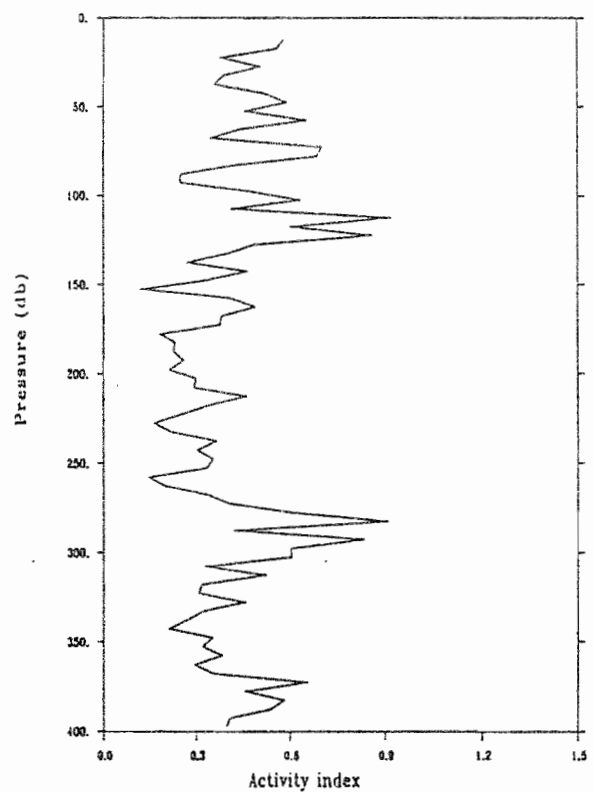


FIG.4b. Activity index computed from the potential density profiles of the equatorial 8-day station.

3. Fine scale variability

In this section, we identify layers of strong static stability and layers of large vertical shear of zonal current component and compare them to a statistical activity index. We also calculate Richardson numbers. Richardson numbers greater than 1. indicate a high stability regime in contrast to values smaller than 1. which represent destabilized system. If it is smaller than .25, the regime is considered as turbulent.

During all the 8-day station, the upper part of the thermocline constitutes the layer of strongest static stability (Fig. 3a).

The EUC core (evidenced in Figure 3b as the zero zonal shear value) is associated with a high Richardson number band (Fig. 3c).

Above the core, lowest Richardson numbers are confined in a layer closely linked to the highest shear region between 60 and 80 m. The critical value of 0.25 is reached during about 24 hours (it matches an intensive shear period) at the end of the station in a 15 m thick layer.

Around 300 m, between EUC and EIC, we find a layer where, although being bigger than 1., Richardson number is significantly lower than in the surrounding layers.

An activity index has been calculated from the potential density data of the 8-day station. It is defined as:

$$A = \text{Var} (|\sigma/z|) / (\langle |\sigma/z| \rangle)^2$$

where the sign $\langle \rangle$ indicates mean value. It is equal to the square of activity index used in McPhaden (1985).

Comparing the profile of averaged Richardson numbers (Fig. 4a) and the profile of activity index (Fig. 4b), two different regimes are detected.

- Around 100 m, high activity index is associated with low Richardson number ($< 1.$). In this layer, part of the variability observed from the mean density profile may be caused by shear instabilities between SEC and EUC.

- At 300 m, there is also a high activity index peak (as well as a small standard deviation maximum in potential density) which lies in a layer where Richardson number remains high ($> 1.$). It is not clear that this variability only results from vertical shear because of the weakness of the shear between EUC and EIC. We still have to remember that, even if it is weak, this layer lies in a discontinuity zone for temperature or salinity gradients, as well as for velocity. Mechanisms other than shear instabilities are probably related to this high activity. They may be associated with this weak discontinuity property.

REFERENCES

- Chereskin, T.K., J.N. Moum, P.J. Stabenon, D.R. Caldwell, C.A. Paulson, L.A. Regier, and D. Halpern, 1986: Fine-scale variability at 140°W in the Equatorial Pacific, *J. Geophys. Res.*, 91, 12887-13091.
- Delcroix, T., G. Eldin, and C. Hénin, 1987: Upper ocean water masses and transports in the Western Tropical Pacific (165°E), *J. Phys. Oceanogr.*, 17, 2248-2262.
- Eldin, G., 1989: Coupes verticales des structures océaniques à 165°E observées au cours de dix campagnes SURTROPAC, 1984-1988, *Rapports Scientifiques et Techniques, Océanographie Physique* 1, ORSTOM, 130 pages.
- McPhaden, M.J., 1985: Fine-structure variability observed in CTD measurements from the Central Equatorial Pacific, *J. Geophys. Res.*, 90, 11726-11740.
- McPhaden, M.J. and H.P. Freitag, 1988: November-December Equatorial SST, surface wind and current, Climate Diagnostics Bulletin, Delayed mode analyses ocean/atmosphere.
- Toole, J.M., H. Peters, and M. Gregg, 1987: Upper ocean shear and density variability at the Equator during TROPIC HEAT, *J. Phys. Oceanogr.*, 17, 1397-1406.

Imprimé par le Centre ORSTOM
de Nouméa
Novembre 1989

ORSTOM ADLMEI
INSTITUT Océanographique

