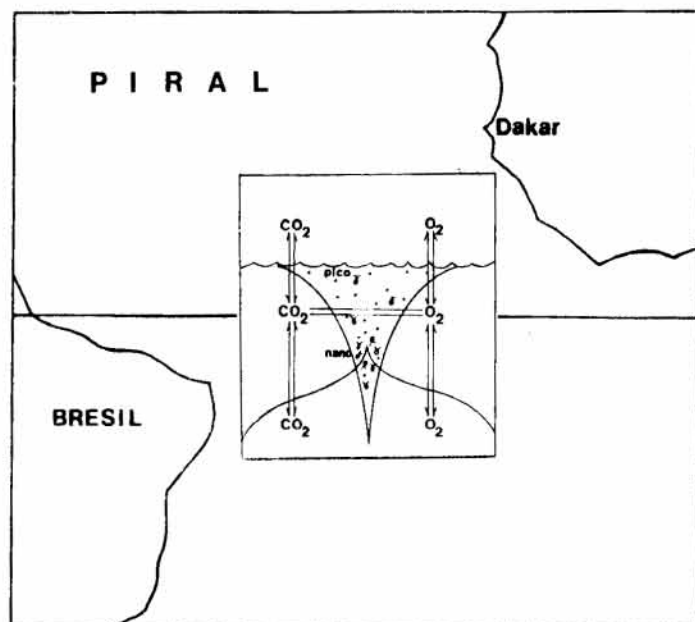


C. OUDOT
E. FUKAÏ

OBSERVATIONS
PHYSICO-CIMIQUES ET
BIOMASSE VEGETALE
DANS
L'OCEAN ATLANTIQUE TROPICAL

Campagne PIRAL
(17 Juin - 9 Août 1986)



DECEMBRE 1988

INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE

POUR LE DEVELOPPEMENT EN COOPERATION

— CENTRE DE DAKAR-HANN —



O R S T O M

Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération

DEPARTEMENT

Terre Ocean Atmosphère

Centre ORSTOM

de DAKAR

P R O G R A M M E P I R A L

(PIRen Atlantique tropical)

OBSERVATIONS PHYSICO-CHIMIQUES ET BIOMASSE VEGETALE
DANS L'OCEAN ATLANTIQUE TROPICAL

Campagne PIRAL
(17 juin - 9 août 1986)

Recueil de coupes

préparé par C. OUDOT et E. FUKAI

R E S U M E

L'activité industrielle et plus particulièrement l'utilisation des combustibles fossiles a produit du CO_2 en quantité non négligeable par rapport au stock contenu dans l'atmosphère et le taux de CO_2 dans l'air a augmenté de plus de 20 % depuis l'aube de la révolution industrielle. Cette augmentation s'est accélérée au cours des dernières décades, et la communauté scientifique se préoccupe aujourd'hui de prévoir l'évolution future de la composition de l'atmosphère qui conditionne le climat de la planète. Fort heureusement, une partie du CO_2 libéré dans l'atmosphère a été absorbée par d'autres réservoirs (biosphère terrestre - océan). Mais les échanges de carbone entre les divers réservoirs sont encore mal cernés. La campagne PIRAL représente la contribution de l'ORSTOM à l'effort national entrepris ces dernières années pour l'amélioration des connaissances sur les échanges de CO_2 entre l'atmosphère et l'océan.

La campagne PIRAL s'est déroulée à bord du N.O. NOROIT du 17 juin au 9 août 1986 dans la zone tropicale de l'Atlantique nord. Elle a réuni 16 participants qui ont travaillé tour à tour dans deux zones hydrologiquement très différentes où les positions extrêmes de la thermocline (qui joue un rôle capital en zone tropicale) modifient considérablement la réserve nutritive et par là-même la production primaire de la couche euphotique.

Les premiers résultats scientifiques ont confirmé l'alternance suivant la latitude des zones sources et des zones puits de CO_2 constituées par l'océan vis à vis de l'atmosphère. En outre les mesures biologiques ont révélé une très forte biomasse végétale cantonnée en subsurface, même dans la zone de convergence nord-équatoriale réputée peu productive. A noter enfin l'observation d'un très fort courant de surface dans la région du Contre Courant Equatorial Nord.

S O M M A I R E

	Page
INTRODUCTION	4
PLAN DE LA CAMPAGNE	5
PARTICIPANTS	6
STRATEGIE DES PRELEVEMENTS ET DES MESURES	7
METHODOLOGIES	8
REMERCIEMENTS	13
BIBLIOGRAPHIE	15
ILLUSTRATIONS	
Température, salinité, oxygène, carbone minéral total, pression partielle de CO ₂ , pH, phosphate, nitrate, nitrite, chlorophylle et phaeophytine pour :	
- Radiale 20°W de 14°N à 4°N	18
- "Point fixe" dans convergence nord-équatoriale	24
- Radiale 20°W-18°W de 5°N à 12°N	35
- Radiale Dôme de Guinée 18°W, 14°N à 25°W, 10°N	39
- Radiale Dôme de Guinée 25°W, 10°N à 24°W, 14°N	43
- Radiale Dôme de Guinée 24°W, 14°N à 19°W, 10°N	47
- "Point fixe" Dôme de Guinée 11°50 N, 22°W	51
- "Point fixe" Dôme de Guinée 12°N, 21°W	62

INTRODUCTION

Le programme PIRAL (PIRen Atlantique tropical), associé au programme FOCAL, a été proposé par l'ORSTOM en réponse au lancement d'une Action Incitative sur le Cycle du Carbone par le Programme Interdisciplinaire de Recherche sur l'Environnement (PIREN) du CNRS. Le but de cette Action était de fournir les informations nécessaires à la prévision de l'évolution de la teneur atmosphérique en CO_2 consécutive à l'utilisation croissante des combustibles fossiles. Le rôle de l'océan comme piège à CO_2 est reconnu depuis longtemps, sans que les mécanismes océaniques d'absorption de l'excès de CO_2 atmosphérique aient été parfaitement élucidés. Le problème est de savoir comment et en quelles proportions cet excès sera fixé par l'océan qui présente un certain pouvoir tampon et qui de plus n'est pas homogène contrairement à l'atmosphère. Il s'ensuit que toutes les régions océaniques de surface n'ont pas le même comportement vis à vis du CO_2 atmosphérique, certaines agissant comme un puits, d'autres comme une source, et que cette fonction peut varier avec la saison.

La campagne PIRAL réalisée à bord du N.O. NOROIT du 17 juin au 9 août 1986, constitue la deuxième phase des activités hauturières du Programme PIRAL dont le thème est l'étude de la régulation du CO_2 atmosphérique par l'océan à travers les échanges physiques et la production primaire dans l'Atlantique tropical. Elle fait suite aux campagnes FOCAL au cours desquelles nous étions attachés à décrire dans toute la zone tropicale Atlantique les champs de pression partielle de CO_2 dans l'air et dans l'eau de surface pour évaluer le flux de CO_2 à l'interface océan/atmosphère (variations spatio-temporelles). Cette campagne s'attache plus particulièrement à la compréhension des mécanismes (physiques et biologiques) à une échelle géographique plus réduite. Elle est marquée notamment par trois séries d'observations en points fixes dans deux systèmes hydrologiques typiques de l'océan tropical :

- la zone de convergence nord-équatoriale (4°N - 6°N), où la thermocline relativement profonde est surmontée d'une épaisse couche homogène à faible réserve nutritive et où le phytoplancton croît dans des conditions limitantes de lumière et de sels nutritifs

- la zone du dôme de Guinée (12°N), où la thermocline plus proche de la surface maintient un taux élevé de sels nutritifs dans la couche euphotique et stimule le développement du phytoplancton.

Pour accéder à la compréhension des mécanismes responsables de la distribution du gaz carbonique à la surface de l'océan, il était indispensable d'y adjoindre l'observation des paramètres qui lui sont associés directement (carbone minéral total - pH) ou indirectement (oxygène - sels nutritifs - biomasse végétale photosynthétique).

Ce recueil de coupes, outre celles de température et salinité, est l'aboutissement du travail d'analyses accompli au cours de la campagne PIRAL sur les paramètres suivants :

- oxygène O_2 ($ml.l^{-1}$)
- carbone minéral total ΣCO_2 ($mmol.l^{-1}$)
- pression partielle de gaz carbonique PCO_2 (μatm)
- pH
- phosphate PO_4 ($\mu mol.l^{-1}$)
- nitrate NO_3 ($\mu mol.l^{-1}$)
- nitrite NO_2 ($\mu mol.l^{-1}$)
- chlorophylle ($\mu g.l^{-1}$)
- phaeophytine ($\mu g.l^{-1}$)

Les données brutes sont archivées au Bureau Calcul du Centre ORSTOM auprès du Centre IFREMER de Brest sous le numéro de code CA 8601.

Des premiers résultats, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

- existence d'un léger puits de CO_2 dans la zone de convergence nord-équatoriale et d'une source importante dans la région du dôme de Guinée
- vitesse très élevée en surface (2 à 3 noeuds) du Contre Courant Equatorial Nord, confirmée par l'importante dérive journalière de la bouée de production primaire au cours du premier point fixe à $4^\circ N$
- très forte biomasse végétale relevée en subsurface tout au long de la campagne, même dans la zone de convergence nord-équatoriale.

PLAN DE LA CAMPAGNE

Le trajet suivi par le N.O. CAPRICORNE et les points de travail en station sont reportés sur la carte représentée en page 17.

La campagne se décompose en 3 parties :

- une radiale hydrologique le long du méridien $20^\circ W$ entre $14^\circ N$ et $4^\circ N$

- (19 au 22 juin), un "point fixe" de 12 jours (22 juin au 3 juillet) dans la convergence nord-équatoriale (4°- 6°N, 17°20 - 20°W) et une radiale hydrologique de 5°N, 20°W à 12°N, 18°W (3 au 5 juillet)
- une reconnaissance hydrologique de la situation du Dôme de Guinée (11 au 14 juillet) entre 14°N et 10°N, 18°W et 25°W et un "point fixe" de 8 jours (15 au 22 juillet) au centre du dôme (11°50 N, 22°W)
 - un "point fixe" de 10 jours (29 juillet au 7 août) à une certaine distance du centre du dôme (12°N, 21°W).

Le nombre des stations ayant donné lieu à des analyses chimiques sur des échantillons d'eau de mer est de 155.

PARTICIPANTS

				Parties de la campagne		
				1	2	3
ANDRIE	C.	(4)	Chargé de Recherches ORSTOM	X	X	X
CITEAU	J.	(2)	Chargé de Recherches ORSTOM	X		
CREMOUX	J.L.	(3)	Technicien Chimiste ORSTOM	X	X	X
DEMARCO	H.	(2)	Chargé de Recherches ORSTOM	X		
FUKAI	E.	(1)	Allocataire de Recherches ORSTOM	X	X	X
GNINGUE	I.	(2)	Chercheur CRODT/ISRA			X
GRELET	J.	(1)	Technicien Electronicien ORSTOM	X	X	X
HERBLAND	A.	(7)	Chargé de Recherches IFREMER			X
LE BOUTEILLER	A.	(1)	Ingénieur de Recherches ORSTOM	X	X	X
LEFRANC	G.	(6)	Vacataire UBO		X	
MONTEL	Y.	(1)	Technicien Chimiste ORSTOM	X	X	X
MORIN	P.	(6)	Chargé de Recherches C N R S	X		
OUDOT	C.	(1)	Chargé de Recherches ORSTOM Chef de Mission	X	X	X
PAGES	J.	(2)	Chargé de Recherches ORSTOM	X	X	X
TORRETON	J.P.	(5)	Chargé de Recherches ORSTOM	X	X	X
TOURRE	D.	(2)	Chercheur CRODT/ISRA		X	

(1) Centre ORSTOM B.P. 1386 DAKAR Sénégal

(2) Centre de Recherches Océanographiques de Thiaroye B.P. 2241 DAKAR Sénégal

(3) Centre ORSTOM B.P. 529 PAPEETE Tahiti

(4) Laboratoire de Géochimie Isotopique CEN de Saclay 91191 GIF SUR YVETTE France

- (5) Centre de Recherches Océanographiques B.P. V18 ABIDJAN Côte d'Ivoire
- (6) Laboratoire d'Océanographie Chimique Université de Bretagne Occidentale (UBO) 6, Avenue Le Gorgeu 29287 BREST CEDEX France
- (7) Centre IFREMER B.P. 1049 NANTES France

STRATEGIE DES PRELEVEMENTS ET DES MESURES

Les prélèvements d'échantillons d'eau de mer en vue de la détermination des paramètres énumérés précédemment furent exécutés avec une rosette General Oceanics de 12 bouteilles en PVC Niskin d'une capacité de 5 litres. La rosette était couplée à une bathysonde Neil Brown CTDO qui fournissait un profil continu de température, salinité, oxygène en fonction de la profondeur.

Les observations nécessaires pour satisfaire les objectifs généraux du programme couvraient la tranche d'eau comprise entre 0 et 500 m de profondeur. Afin de décrire au mieux la couche euphotique ainsi que les gradients des propriétés associés à la thermocline, les niveaux de prélèvements pour les analyses chimiques ont été reserrés entre 0 et 150 m de profondeur (généralement 10 niveaux entre ces deux limites), les niveaux de prélèvements les plus profonds étant le plus souvent choisis à 250 et 500 m. Les niveaux de prélèvements entre 0 et 150 m effectués lors de la remontée du système bathysonde-rosette ont été choisis en fonction de l'enregistrement des profils verticaux de température, salinité et oxygène recueillis à la descente. C'est ainsi que dans les zones où la thermocline était particulièrement marquée, les niveaux de prélèvements furent espacés de 5 m seulement.

L'acquisition des données de température et de salinité était assurée également à la remontée de la bathysonde au moment de la fermeture des bouteilles, pour s'affranchir des ondes internes qui auraient pu modifier la température et la salinité au niveau choisi de prélèvement entre le moment de la descente et celui de la remontée du système. Un cycle de 10 mesures de température et de salinité était enregistré immédiatement avant et après l'envoi du signal de déclenchement pour la fermeture des bouteilles et les valeurs moyennes étaient retenues comme mesures de température et de salinité au niveau de prélèvement.

Ce sont ces données qui ont servi de base à l'établissement des coupes de température et de salinité présentées dans ce recueil.

Le profil vertical d'oxygène enregistré par la bathysonde lors de sa descente était corrigé pour chaque station en tenant compte des résultats des analyses d'oxygène dissous par la méthode de Winkler (voir ci-après).

Les données de température, de salinité et d'oxygène acquises avec la bathysonde NEIL BROWN ainsi que celles de courants obtenues avec un courantomètre AANDERAA monté en profileur sont déposées également au Bureau Calcul du Centre ORSTOM auprès du Centre IFREMER de Brest sous les numéros de code suivants : HA 8601 (hydrologie) et KA 8601 (courantométrie).

Lors des périodes de "points fixes" (convergence nord-équatoriale et dôme de Guinée), les mesures de toutes les propriétés chimiques ont eu lieu chaque jour à 7h 30 et 18h 30 (heure locale). Des observations supplémentaires d'oxygène dissous et de pigments chlorophylliens (chlorophylle a et phaeophytine) eurent lieu à 13h30 et 23h30 (entre 0 et 150 m).

Durant le premier "point fixe", dans la zone de convergence équatoriale, en raison du fort courant de surface, le navire qui suivait la ligne de production primaire en dérive, a parcouru une distance considérable (voir carte page 17). Durant les deux autres "points fixes", dans le Dôme de Guinée, la dérive est restée très faible (< 5 milles).

PARAMETRES : METHODOLOGIES ET UNITES

Les échantillons soutirés des bouteilles Niskin dès leur remontée sur le pont du navire ont été analysés immédiatement suivant les techniques classiques rappelées ci-dessous.

Pour tous les paramètres, il n'est procédé qu'à une seule détermination sur chaque échantillon. La précision des méthodes d'analyses reportées ci-après a été établie sur la base de déterminations répétées au laboratoire sur des échantillons d'eau de mer prélevés à la côte.

Oxygène dissous O_2

L'oxygène dissous est mesuré par voie chimique suivant la méthode classique de Winkler revue par CARRITT et CARPENTER (1966). Les échantillons soutirés en premier à partir des bouteilles Niskin dans des flacons en verre ambré (125 ml) sont fixés immédiatement et analysés après un délai minimum de 2 heures (pendant ce temps les flacons sont immergés sous l'eau pour prévenir toute rentrée d'air consécutive à une contraction de volume pour les échantillons de surface). L'iode libéré est dosé potentiométriquement avec un Combi-Titreur Metrohm équipé d'une burette de 5 ml avec incrément de 0.001 ml. L'étalonnage est assuré avec des solutions de iodate de potassium fraîchement préparées et contrôlées par une solution étalon CSK de iodate de potassium 0.01 N garantie par le Sagami Chemical Research Center (Japon). L'écart-type sur 5 déterminations d'iode libéré au cours d'un étalonnage est de 0.02 ml et la précision du dosage d'un échantillon est de $\pm 0.004 \text{ ml.l}^{-1}$ au niveau de probabilité 95 %, soit un coefficient de variation de $\pm 0.1 \%$ pour une concentration de $4 \text{ ml } O_2.\text{l}^{-1}$ (OUDOT et al., 1988).

Les résultats d'oxygène dissous sont exprimés en millilitres O_2 par litre (ml.l^{-1}).

Les pourcentages de saturation d'oxygène et l'utilisation apparente d'oxygène (U.A.O), non reproduits dans ce recueil, sont calculés à partir de l'équation de solubilité de l'oxygène définie par WEISS (1970).

Carbone minéral total ΣCO_2

Le carbone minéral total est dosé par chromatographie en phase gazeuse suivant la technique décrite par OUDOT et WAUTHY (1978). Dans une chambre de dégazage, un courant d'hélium entraîne les gaz libérés par un échantillon d'eau de mer acidifié sur une colonne de séparation chromatographique puis un détecteur à conductibilité thermique. Le signal fourni par le détecteur est enregistré sous la forme d'un pic dont la surface est mesurée par un intégrateur électronique. La réponse de l'intégrateur est étalonnée en routine en mer au moyen d'un mélange étalon renfermant de l'oxygène, de l'azote et du gaz carbonique fourni par l'Air Liquide. Le facteur d'étalonnage établi à partir de l'étalon gazeux est contrôlé de temps à autre avec des solutions étalons de carbonate de sodium préparées dans l'eau de mer.

La précision des mesures de carbonate minéral total est de ± 0.004 mmol.l⁻¹, soit un coefficient de variation de ± 0.2 %.

Les résultats de carbone minéral total sont exprimés en millimoles CO₂ par litre (mmol.l⁻¹).

Pression partielle de gaz carbonique PCO₂

La mesure de la pression partielle de CO₂ dans l'eau de mer est réalisée par absorption infra-rouge dans un analyseur de gaz carbonique ADC 225 Mark III fonctionnant en mode différentiel suivant un procédé dérivé de celui de TAKAHASHI et al. (1976). Un courant d'air fourni par une bouteille d'air comprimé est équilibré avec l'échantillon d'eau de mer dans le flacon même de prélèvement d'eau de mer (500 ml) après déplacement d'un certain volume d'eau grâce à un plongeur en téflon pour permettre l'introduction d'un tube à dispersion de gaz. L'air entraîné par une pompe à membrane se disperse en fines bulles dans l'échantillon d'eau thermostaté et circule en circuit fermé traversant une boucle d'échantillonnage. L'air ainsi équilibré contenu dans la boucle est injecté au moyen d'une vanne dans le courant d'air qui balaye en permanence la cellule ANALYSE de l'analyseur infra-rouge. Le signal de l'analyseur est enregistré et comparé avec ceux produits par une série de trois mélanges étalons de CO₂ dans l'air fourni par l'Air Liquide, et injecté dans les mêmes conditions que l'air équilibré avec l'échantillon. De la concentration en CO₂ de l'air équilibré ainsi déterminée, on déduit la pression partielle de CO₂ dans l'échantillon d'eau de mer, qu'on ramène ensuite à la température "in situ" de l'échantillon. La pression partielle de CO₂ dans l'eau de mer est exprimée en microatmosphère (μ atm).

La précision des déterminations de pressions partielles de CO₂ au laboratoire à terre est de $\pm 1,7$ μ atm, soit un coefficient de variation de $\pm 0,5$ % pour les mesures de pressions partielles de CO₂ à la surface de la mer. Mais en mer, en raison des vibrations communiquées à l'appareil infra-rouge par le navire suivant le régime des moteurs et l'état de la mer, qui accroissent le bruit de fond du signal en raison du principe même de construction de l'appareil, la sensibilité doit être réduite et la précision n'est plus que de $\pm 3,0$ μ atm et le coefficient de variation de ± 1 %.

pH

La mesure du pH est réalisée avec un pHmètre Orion modèle 701 A équipé d'une électrode à pH combiné type Ross.

L'étalonnage de l'électrode est faite sur l'échelle NBS au moyen des tampons classiques à pH = 6,9 (phosphate) et 9,2 (borate) et la dérive de l'électrode pendant la durée des mesures des échantillons d'une station est appréciée sur un tampon Tris dans l'eau de mer naturelle.

Les échantillons (flacons de 100 ml) et les solutions tampons sont thermostatés à 25°C au bain marie, et la mesure du pH a lieu dans le flacon de prélèvement plongé dans le bain marie et agité manuellement en tournant le flacon.

Les mesures de pH lu sont corrigées pour les ramener aux conditions "in situ" de température et de pression à l'aide des relations polynomiales de MILLERO (1979) sur l'échelle NBS.

L'expérience de 5 campagnes de mesure a montré que l'électrode combinée Orion type Ross est très stable (dérive très faible - généralement 0,001 à 0,002 unités pH - pendant la durée d'une station) et qu'elle réagit rapidement aux variations de force ionique (passage d'un tampon dans l'eau distillée à un échantillon d'eau de mer).

La précision des mesures de pH est estimée à $\pm 0,001$ unités pH (σ).

Phosphate, nitrate et nitrite

Ces trois sels nutritifs sont déterminés simultanément par les méthodes désormais classiques de MURPHY et RILEY (1962) pour le phosphate, WOOD et al. (1967) pour le nitrate et BENDSCHNEIDER et ROBINSON (1952) pour le nitrite, automatisées sur un Auto-Analyseur Technicon II à 3 voies.

Les facteurs d'étalonnage, établis à intervalles réguliers (entre chaque radiale) en construisant la droite de Beer avec des solutions étalons préparées dans l'eau de mer naturelle à partir de produits prépesés et comparées avec des solutions standard CSK (Sagami Chemical Research Center, Japon), étaient contrôlés au début de chaque station avec deux solutions étalons de travail. La dérive de l'appareil au cours de l'analyse des étalons et des échantillons était appréciée sur l'eau de mer naturelle (eau de mer de surface pauvre en sels nutritifs) qui

servait pour le rinçage interéchantillons. Le zéro de l'appareil était réglé sur de l'eau déminéralisée et une correction d'effet de sel était appliquée aux hauteurs de pic, en même temps que la correction de dérive, pour le calcul des concentrations.

Les résultats de sels nutritifs sont exprimés en micromoles par litre ($\mu\text{mol.l}^{-1}$).

Les précisions (écart-type entre les doubles) sont respectivement de $\pm 0,02 \mu\text{mol.l}^{-1}$ pour le phosphate, de $\pm 0,02$ et $\pm 0,1 \mu\text{mol.l}^{-1}$ pour les valeurs de nitrate inférieures à 1,00 et celles supérieures à 10,0 $\mu\text{mol.l}^{-1}$, et de $\pm 0,10 \mu\text{mol.l}^{-1}$ pour les valeurs de nitrite.

Chlorophylle a et Phaeophytine a

La chlorophylle a a été mesurée par la méthode fluorimétrique classique après extraction dans un solvant (HOLM-HANSEN et al., 1965). 250 ml d'eau de mer ont été filtrés sur des filtres en fibre de verre Whatman GF/F ; la dépression de filtration n'a jamais excédé 75 mm de mercure. Le solvant était du méthanol à 100 %, qui après vérification, se révèle être un extracteur de la chlorophylle bien plus efficace que l'acétone à 90 % (HOLM-HANSEN et RIEMANN, 1978) ; ce solvant permet la lecture de la fluorescence directement dans le tube contenant le filtre entier à son extrémité inférieure. Le fluorimètre était un Sequoia-Turner, modèle 112, équipé d'une lampe F4T5 (maximum d'émission entre 405 et 436 nm), d'un filtre Corning CS 5-60 (maximum de transmission à 420 nm) à l'excitation et d'un filtre Corning CS 2-64 (moins de 0.01 % de transmission au dessous de 630 nm) à l'émission. L'ensemble présentait un rapport d'acidification de 2,0 - 2,2 avec de la chlorophylle a pure (Sigma).

L'extrait était acidifié avec 50 μl d'HCl 0,5 N ce qui, en fonction du volume de l'extrait, a fait varier la molarité de l'acide entre 3 et 3.6 mmol.l^{-1} .

Les concentrations de chlorophylle a et de phaeophytine a dans l'eau de mer ont été calculées en utilisant les formules dérivées de celles de LORENZEN (1966).

Les coefficients de variation obtenus lors de l'analyse de plusieurs séries de réplicats sont de 2 à 6 % pour la chlorophylle a et de 4 à 7 % pour la phaeophytine a.

Remarque importante concernant la phaeopytine

Différents auteurs ont signalé que la présence de chlorophylle b dans un échantillon conduisait avec la méthode fluorimétrique classique à une légère sous-estimation de la chlorophylle a et surtout à une très forte surestimation de la phaeophytine a (LOFTUS et CARPENTER, 1971 ; HOLM-HANSEN et RIEMANN, 1978 ; GIBBS, 1979 ; COVENEY, 1982).

Bien qu'à ce jour l'existence du maximum profond de phaeophytine a associé au maximum profond de chlorophylle a dans les océans tropicaux et subtropicaux n'ait pas été remise en cause, nous avons de sérieuses raisons de penser que ce maximum serait, pour l'essentiel, le résultat d'un artefact de calcul, dû à la présence de chlorophylle b, principalement contenue dans du picoplancton, c'est à dire dans des cellules dont le diamètre est inférieur à 2-3 μm (HERBLAND et LE BOUTELLER, en préparation).

Si cette hypothèse était confirmée par des mesures chromatographiques (HPLC) ou spectrofluorimétriques, c'est non seulement la validité des coupes de phaeophytine a (et dans une moindre mesure de chlorophylle a) présentées dans ce recueil qui en serait atteinte, mais toutes les mesures de chlorophylle a et de phaeophytine a réalisées dans les maximums profonds associés à la thermocline des océans tropicaux et subtropicaux. Plus fondamentalement encore, c'est la conception même de l'écosystème planctonique tropical qu'il faudrait modifier, car la présence d'un maximum de pigment dégradé par la digestion des herbivores a une signification écologique différente de celle d'un maximum de pigment accessoire contenu dans des cellules photosynthétiques de très petite taille.

REMERCIEMENTS

C'est à l'instigation du Programme Interdisciplinaire de Recherches sur l'Environnement (PIREN) du CNRS que l'ORSTOM a proposé le projet PIRAL. Les crédits mis à notre disposition par le CNRS dans le cadre de l'ATP "Cycle du Carbone", en complément de ceux fournis par l'ORSTOM, nous ont aidé à moderniser et à accroître notre potentiel analytique.

La disponibilité d'un équipement d'observation hydrologique moderne (bathysonde Neil Brown à rosette), grâce au concours financier de l'IFRE-

MER, nous a fourni une description de qualité de l'environnement physique, indispensable à l'échantillonnage et à l'interprétation des observations chimiques et biologiques.

La réalisation du programme PIRAL a été rendue possible par l'installation d'une base logistique au Centre ORSTOM de Dakar (Directeur : B. Dalmayrac) en collaboration étroite avec le Centre de Recherches Océanographiques de Dakar-Thiaroye/ISRA (Directeur : A. Fontana).

Durant la campagne PIRAL, le N.O. NOROIT fût commandé par M. MADFC pour les 1^{ère} et 2^{ème} parties et R. DEROUËT pour la 3^e partie. La compétence et l'efficacité des officiers et de l'équipage du navire ont été appréciées en maintes occasions.

Les coupes des propriétés hydrologiques, chimiques et biomasse végétale ont été réalisées par M. Cissé, cartographe du Centre ORSTOM de Dakar-Hann.

Pour tous ces concours, nous tenons à exprimer notre satisfaction et notre gratitude envers leurs artisans.

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

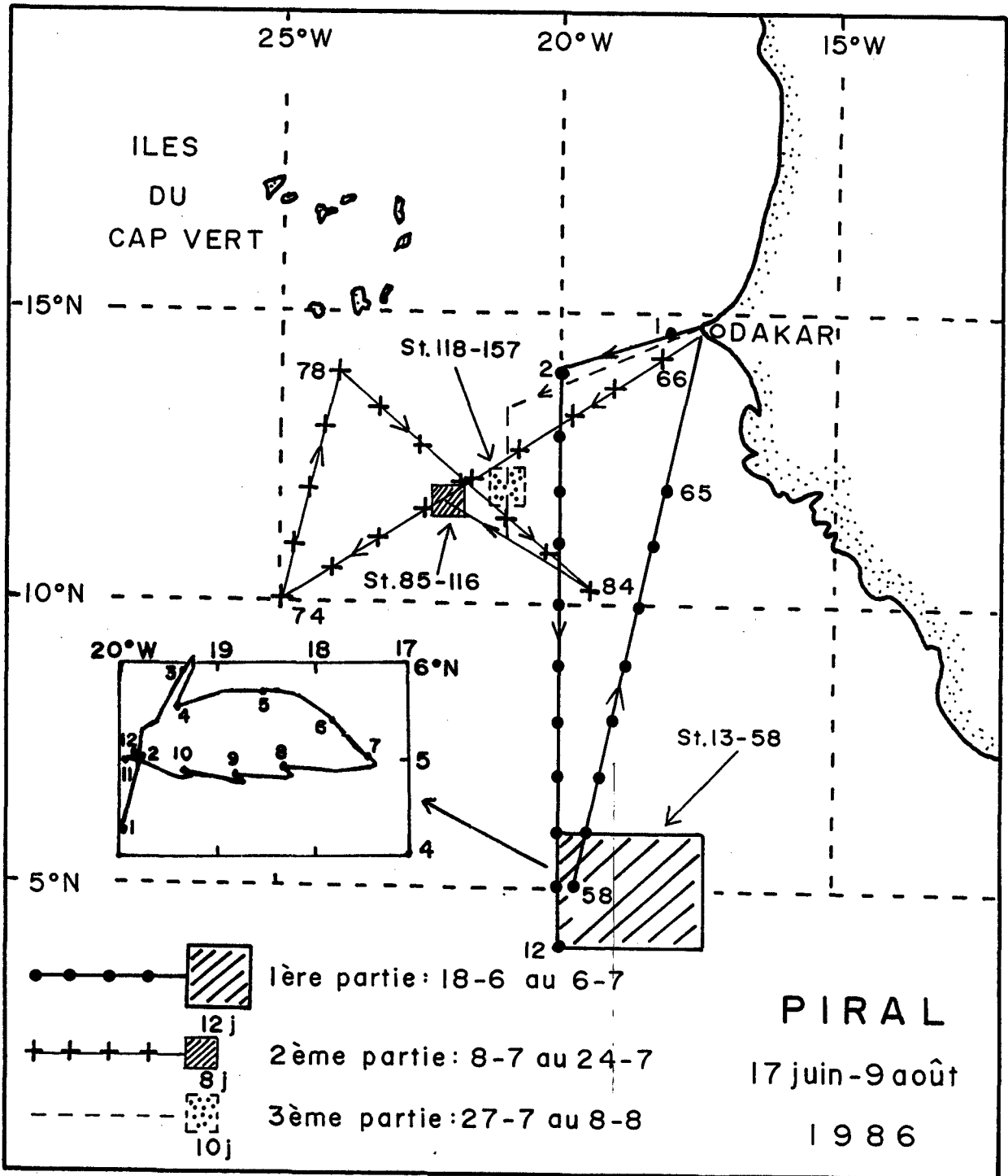
- BENDSCHNEIDER (K.) and ROBINSON (R.J.), 1952. - A new spectrophotometric method for the determination of nitrite in sea-water. J. Mar. Res., 11 : 87-96.
- CARRITT (D.E.) and CARPENTER (J.N.), 1966. - Comparisons and evaluation modifications of the Winkler method for determining dissolved oxygen in sea water ; a NASCO report. J. Mar. Res., 24 : 286-318.
- COVENEY(M.), 1982. - Elimination of chlorophyll b interference in the fluorometric determination of chlorophyll a and phaeopigment a. Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol., 16 : 77-90.
- HOLM-HANSEN (O.), LORENZEN (C.J.), HOLMES (R.W.) and STRICKLAND (J.D.H.), 1965. - Fluorometric determination of chlorophyll. J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer, 30 : 3-15.
- HOLM-HANSEN (O.) and RIEMANN (B.), 1978. - Chlorophyll a determination : improvements in methodology. Oikos, 30 : 238-447.
- LOFTUS (M.E.) and CARPENTER (J.H.), 1971. - A fluorometric method for determining chlorophylls a, b and c. J. Mar. Res., 29 : 319-338.
- LORENZEN (C.J.), 1966. - A method for the continuous measurement of in vivo chlorophyll concentration. Deep Sea Res., 13 : 223-227.
- MILLERO (F.J.), 1979. - The thermodynamics of the carbonate system in seawater. Geochim. Cosmochim. Acta, 43 : 1651-1661.
- MURPHY (J.) and RILEY (J.P.), 1962. - A modified simple solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal. Chim. Acta, 27 : 31-36.
- OU DOT (C.) et WAUTHY (B.), 1978. - Adaptation d'un chromatographe en phase gazeuse pour le dosage en mer des gaz dissous : azote, oxygène et gaz carbonique total. Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr., vol. XVI, n° 1 : 89-102.

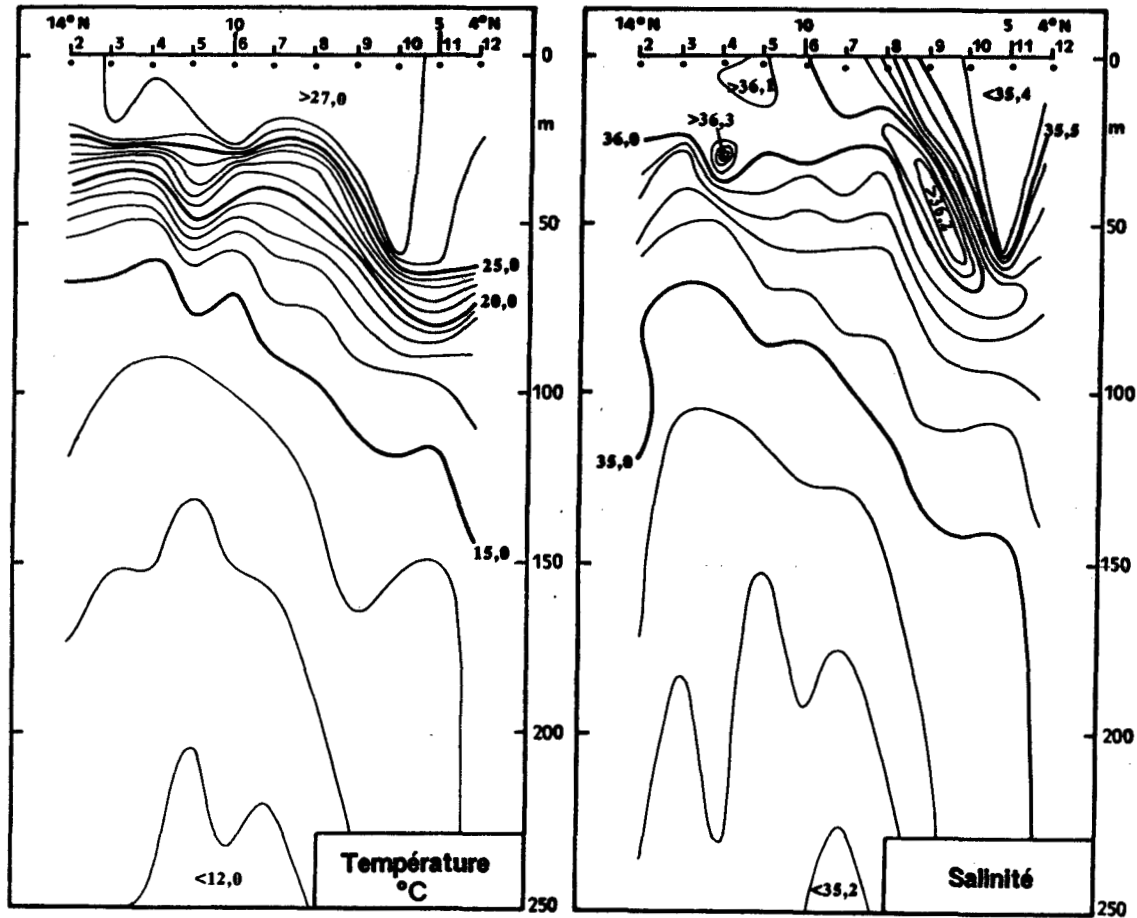
OU DOT (C.), GERARD (R.), MORIN (P.) and GNINGUE (I.), 1988. - Precise shipboard determination of dissolved oxygen (Winkler procedure) with a commercial system for productivity studies. *Limnol. Oceanogr.*, 33 : 146-150.

TAKAHASHI (T.), KAITERIS (P.) and BROECKER (W.S.), 1976. - A method for shipboard measurement of CO₂ partial pressure in sea water. *Earth Pl. Sci. Lett.*, 32 : 451-457.

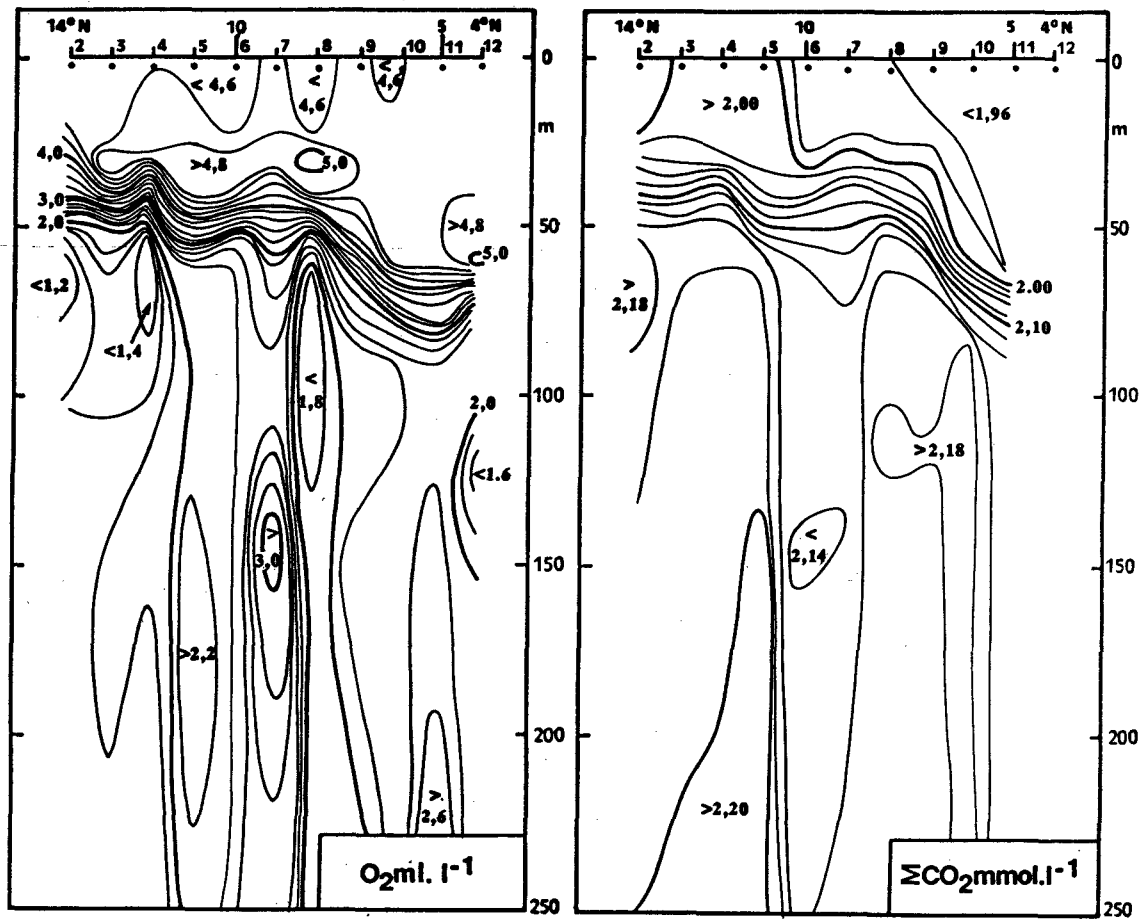
WEISS (R.F.), 1970. - The solubility of nitrogen, oxygen, and argon in water and sea water. *Deep Sea Res.*, 17 : 721-735.

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

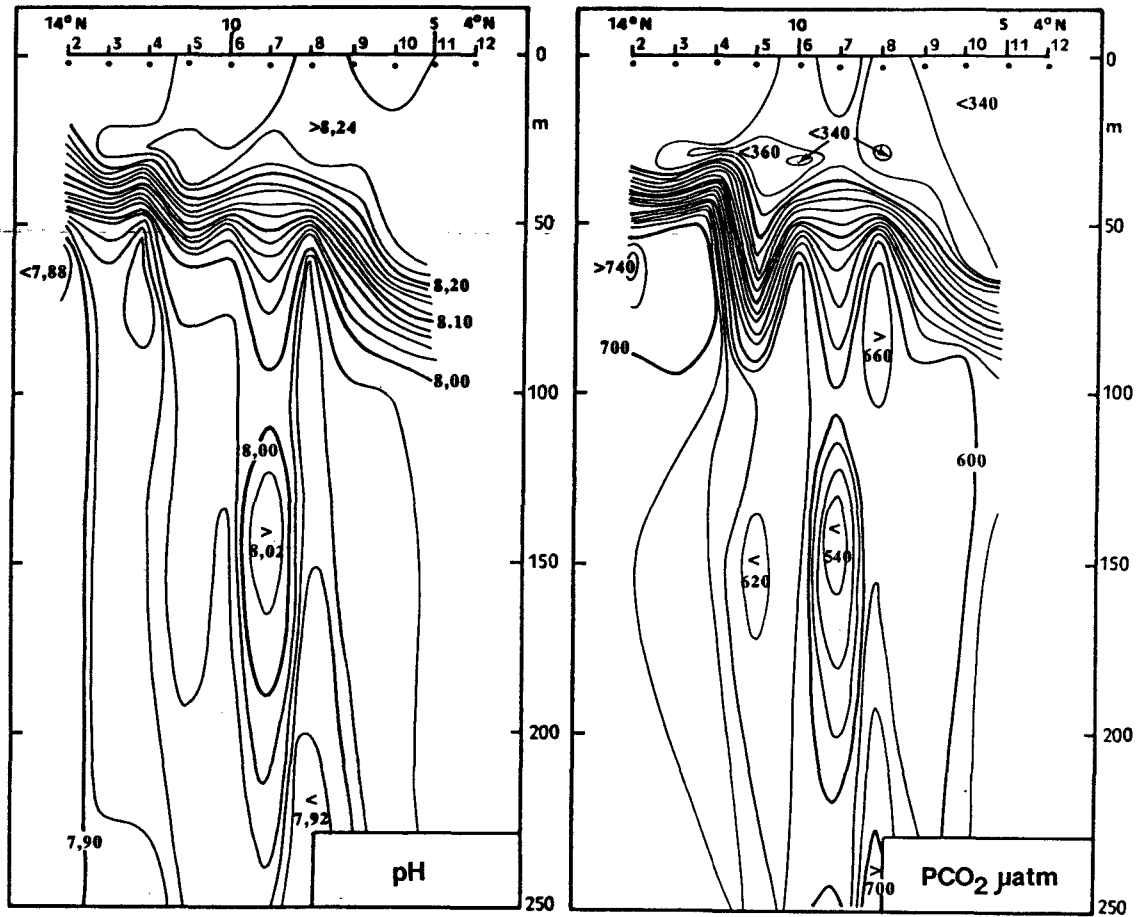




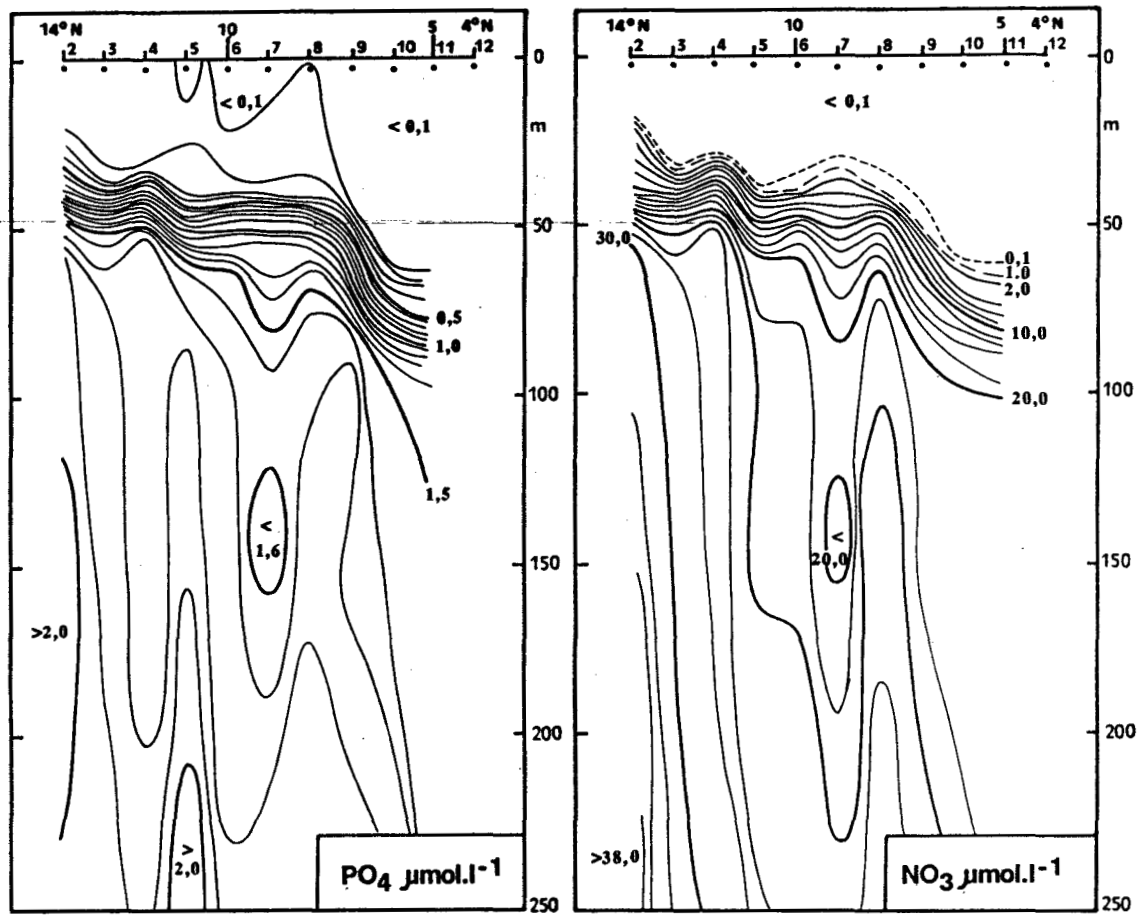
PIRAL Radiale 20°W Juin 1986



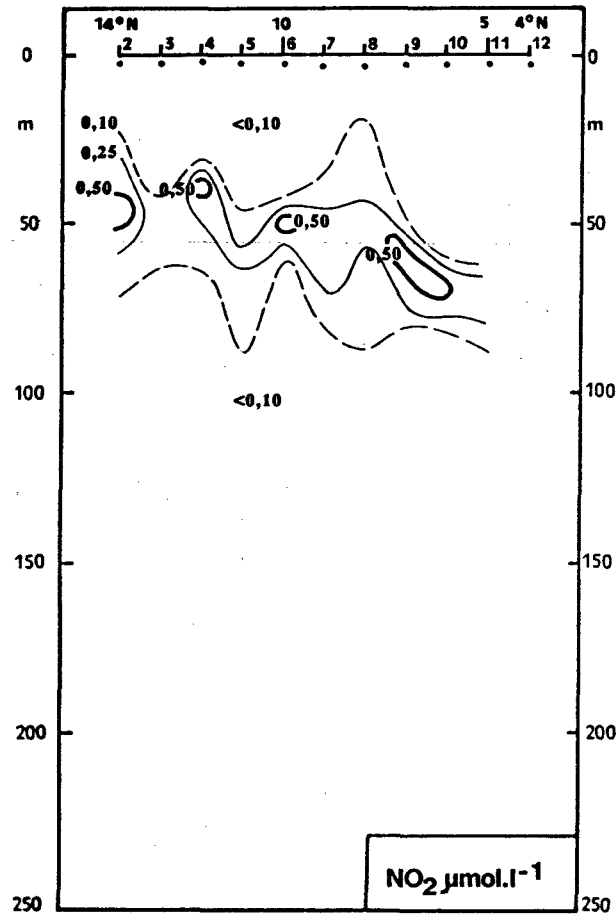
PIRAL Radiale 20°W Juin 1986



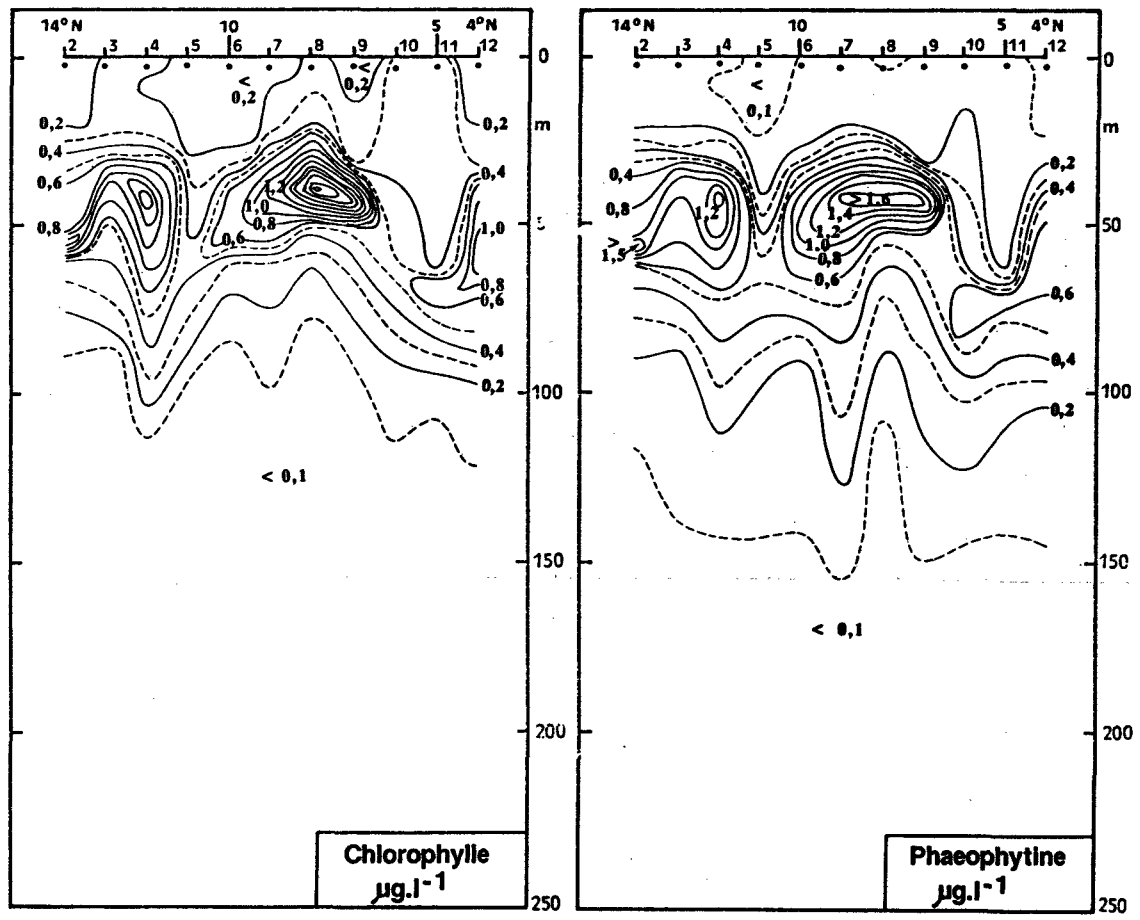
PIRAL Radiate 20°W Juin 1986



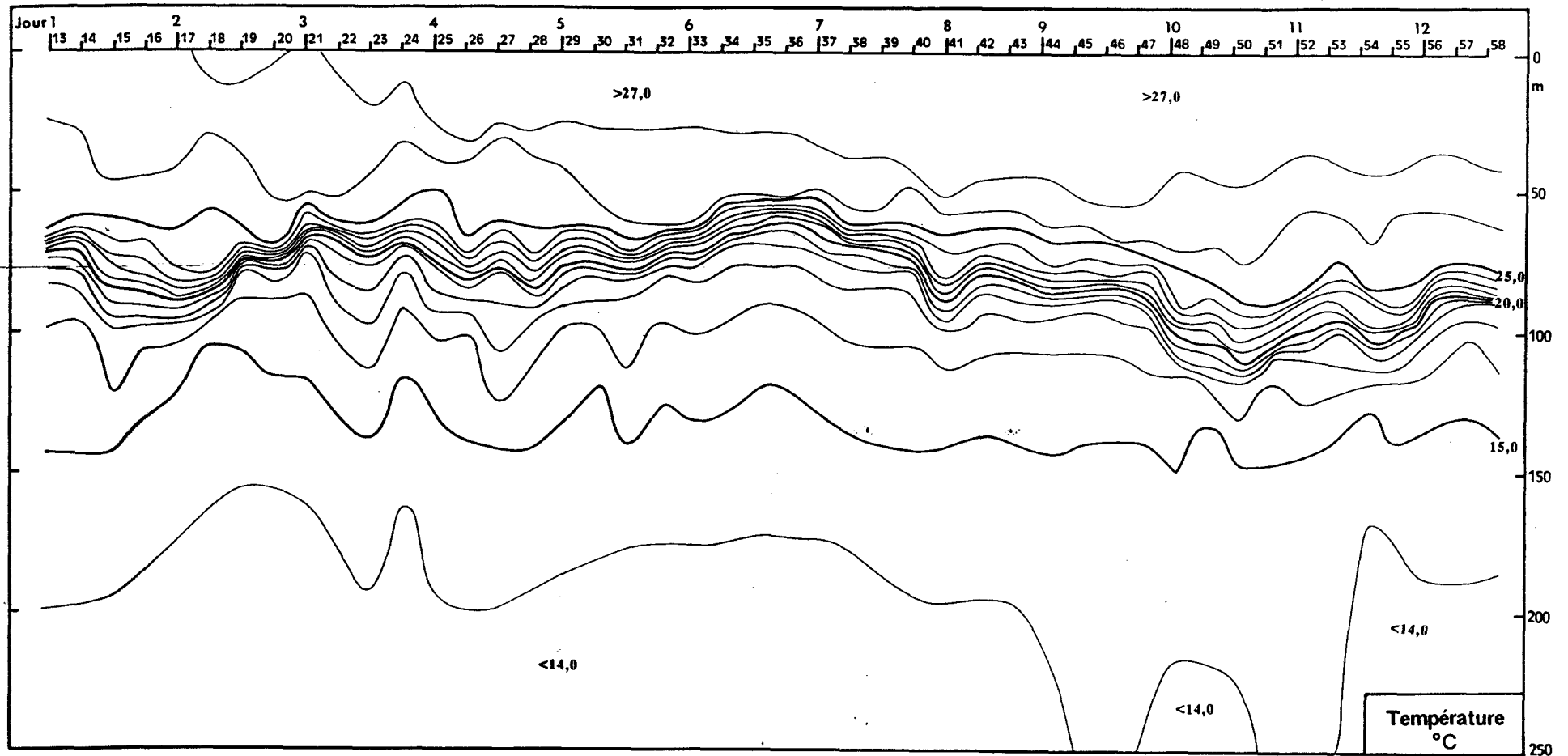
PIRAL Radiale 20°W Juin 1986



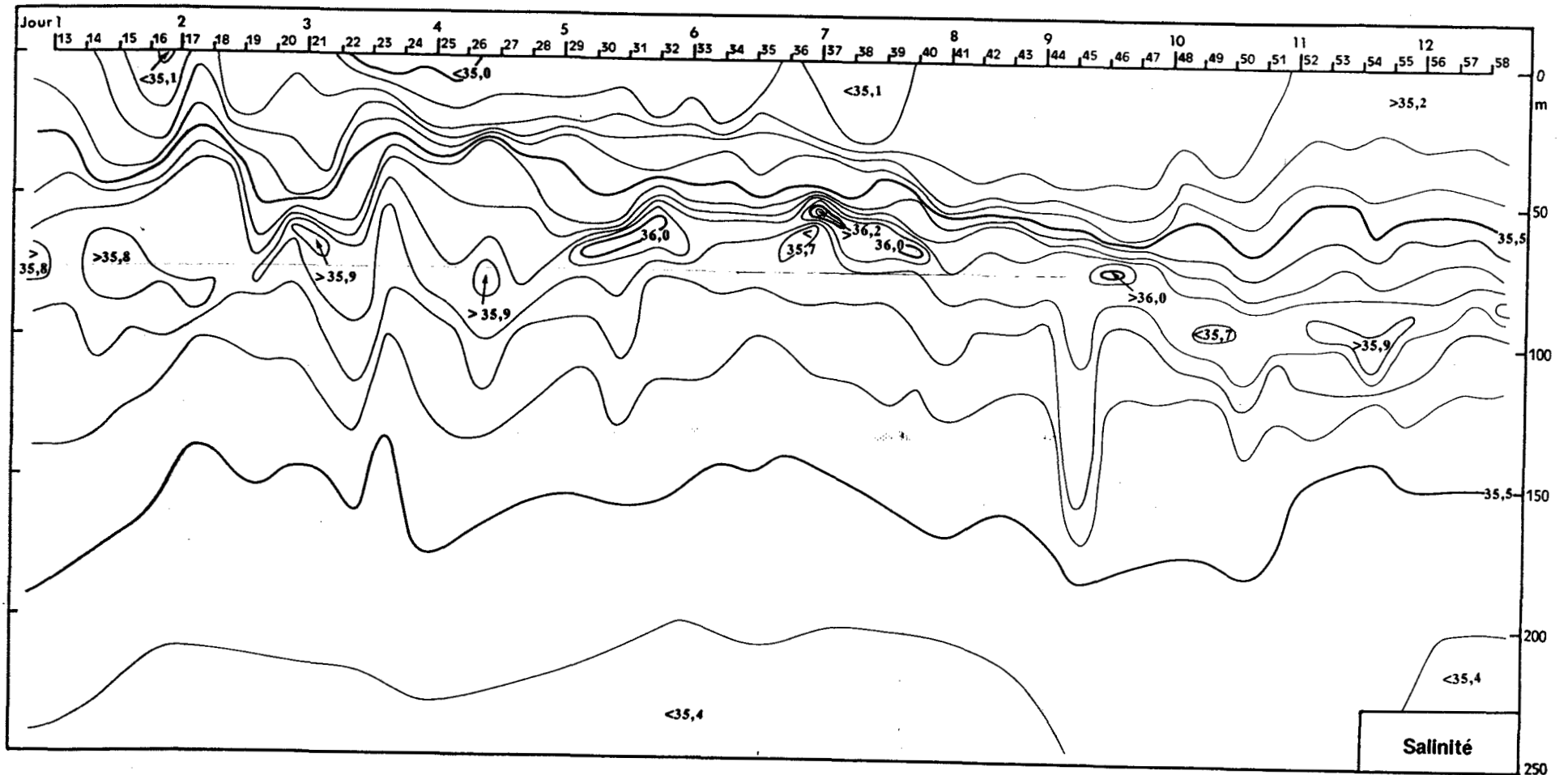
PIRAL Radiale 20°W Jun 1986



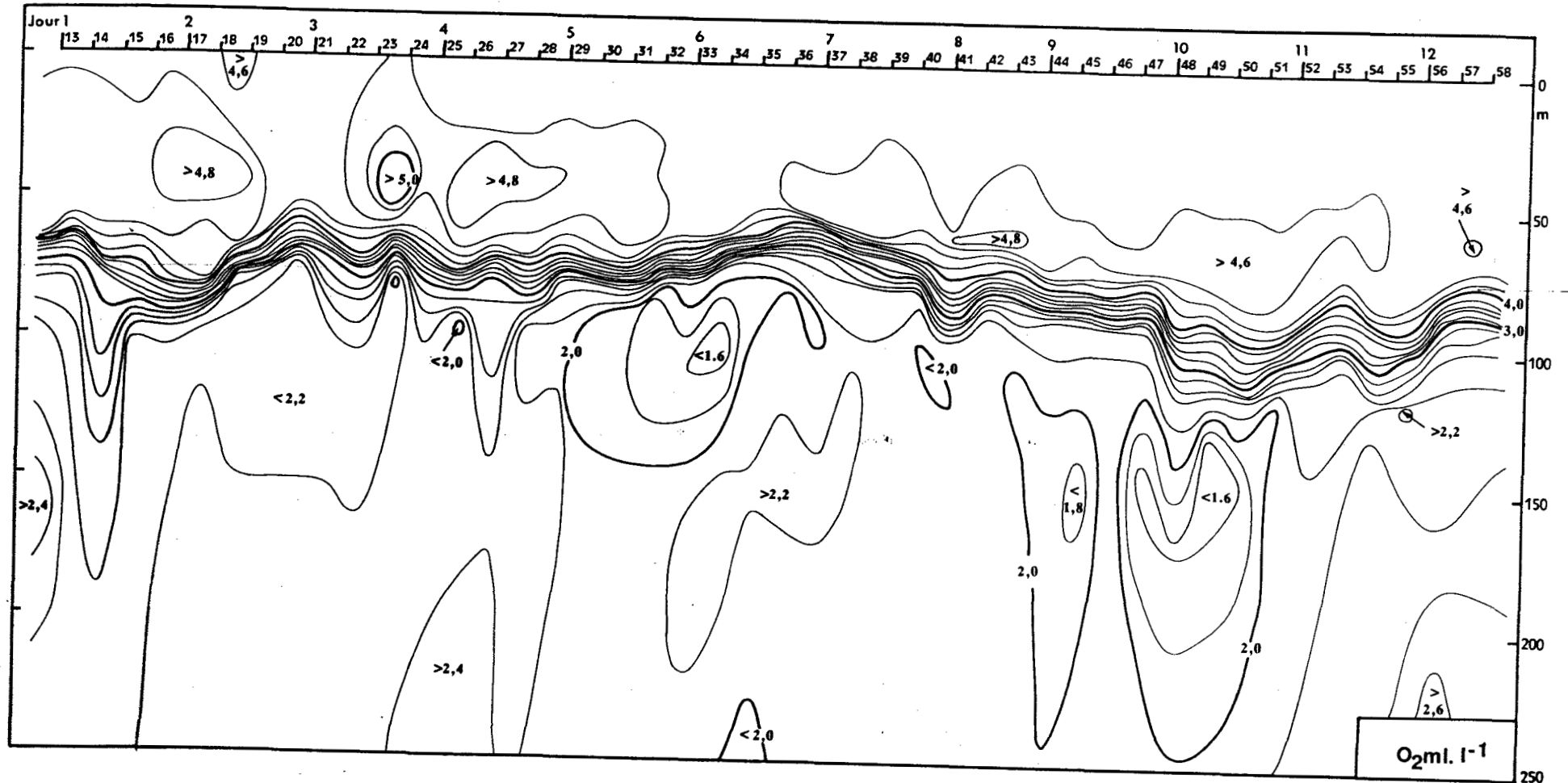
PIRAL Radiale 20°W Juin 1986



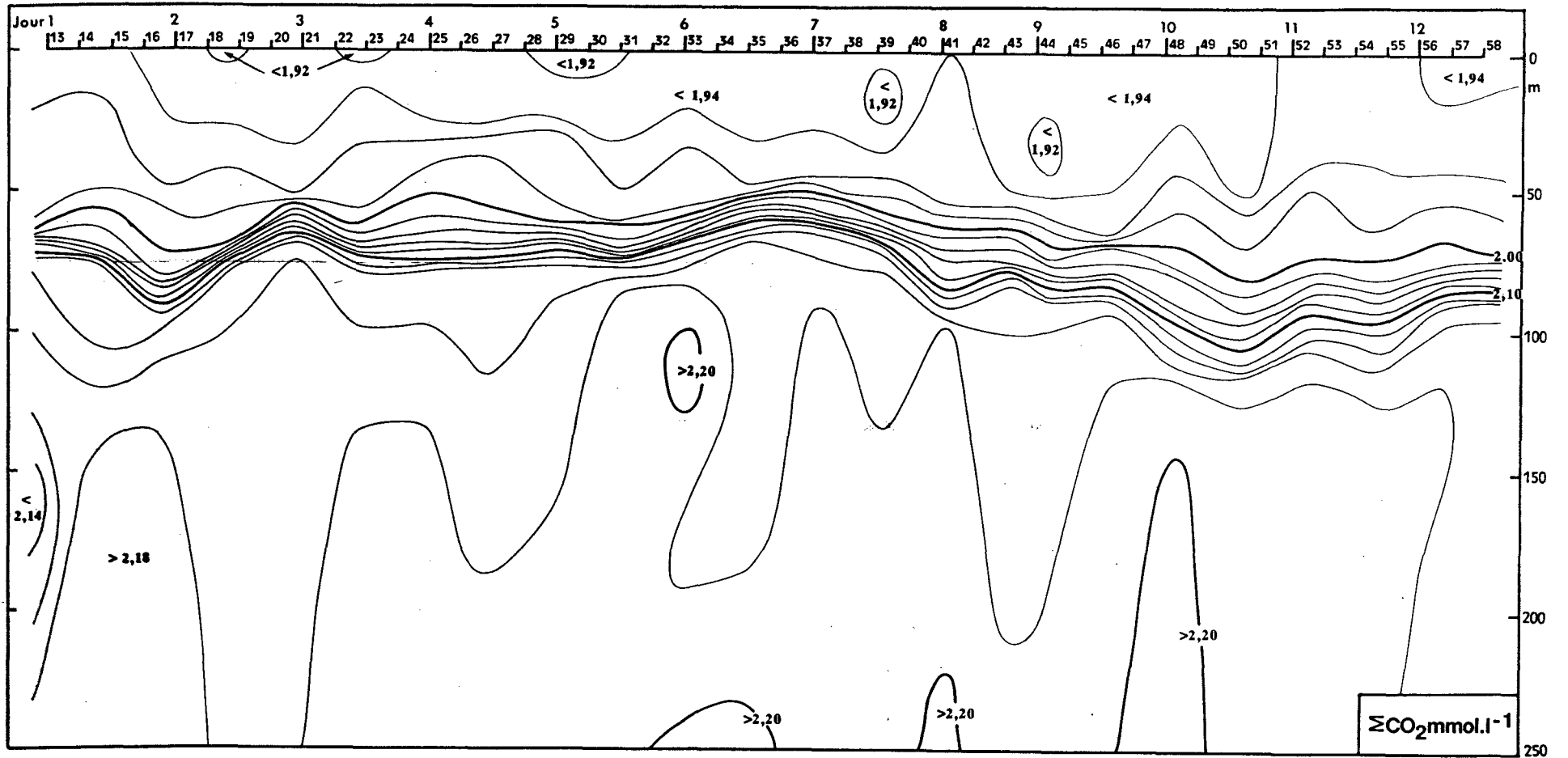
PIRAL Convergence Nord - Equatoriale (4 - 5°N) 22 Juin - 3 Juillet 1986



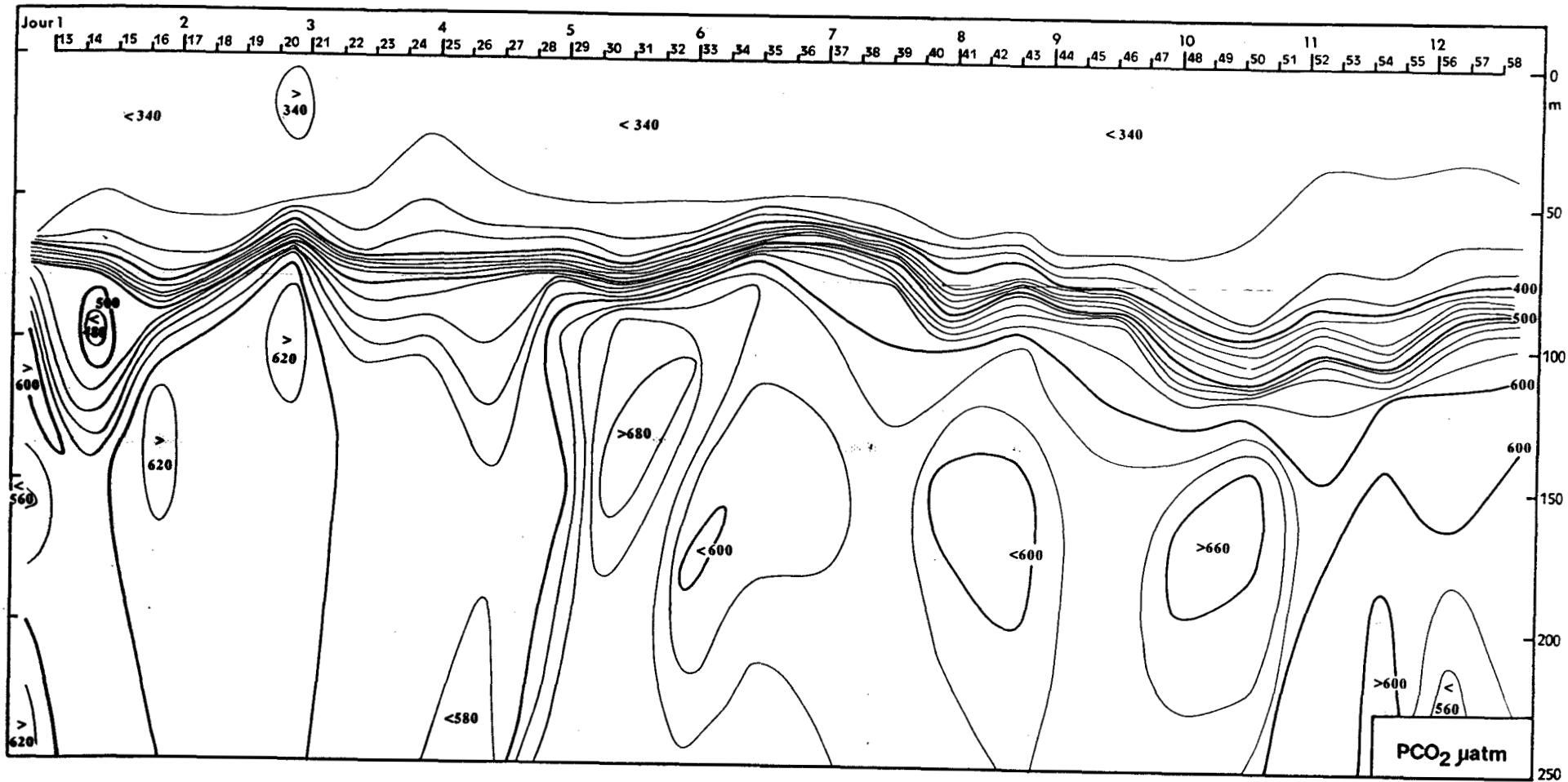
PIRAL Convergence Nord - Equatoriale (4 - 5°N) 22 Juin - 3 Juillet 1986



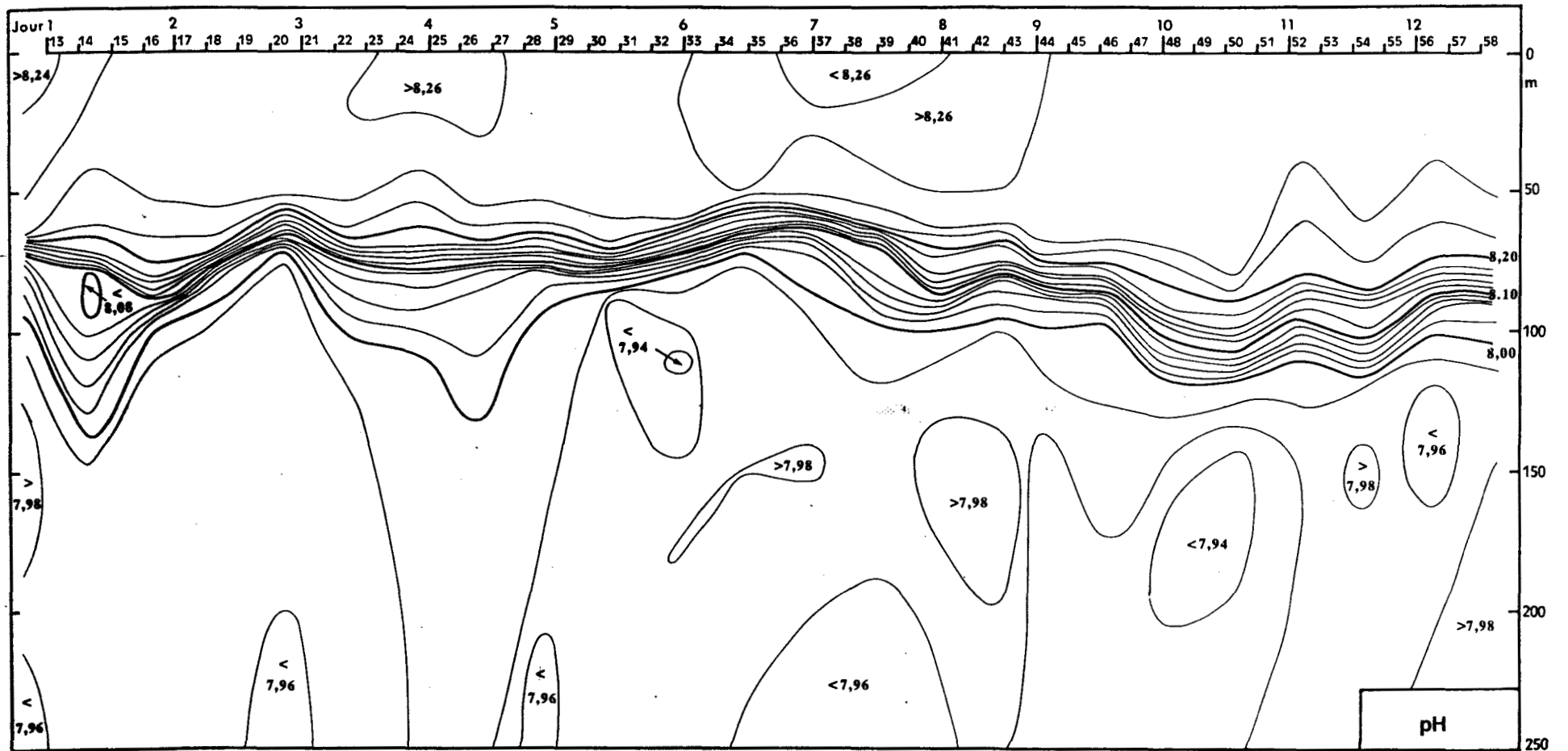
PIRAL Convergence Nord- Equatoriale (4 - 5°N) 22 Juin- 3 Juillet 1986



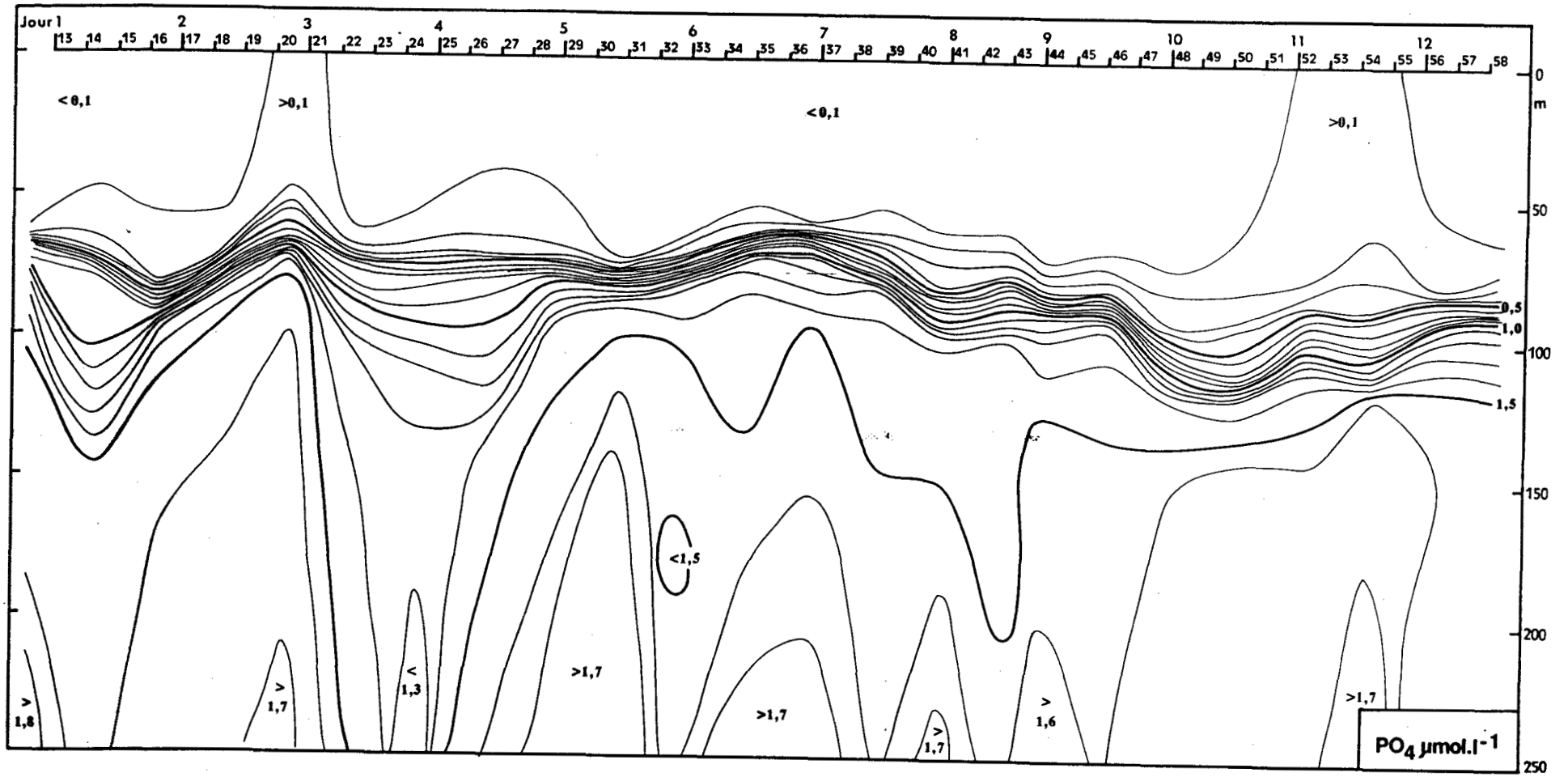
PIRAL Convergence Nord - Equatoriale (4 - 5°N) 22 Juin - 3 Juillet 1986



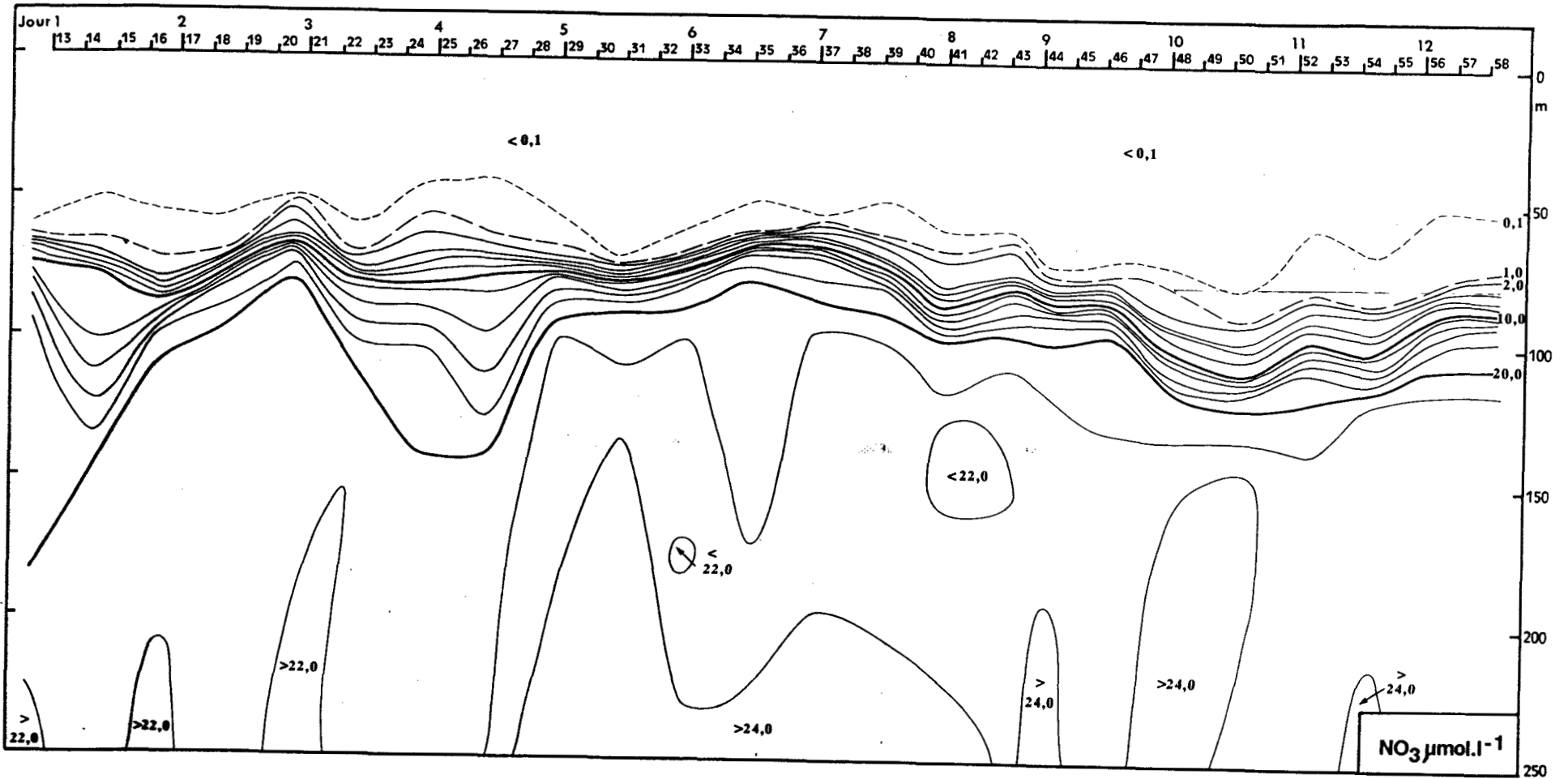
PIRAL Convergence Nord - Equatoriale (4 - 5°N) 22 Juin - 3 Juillet 1986



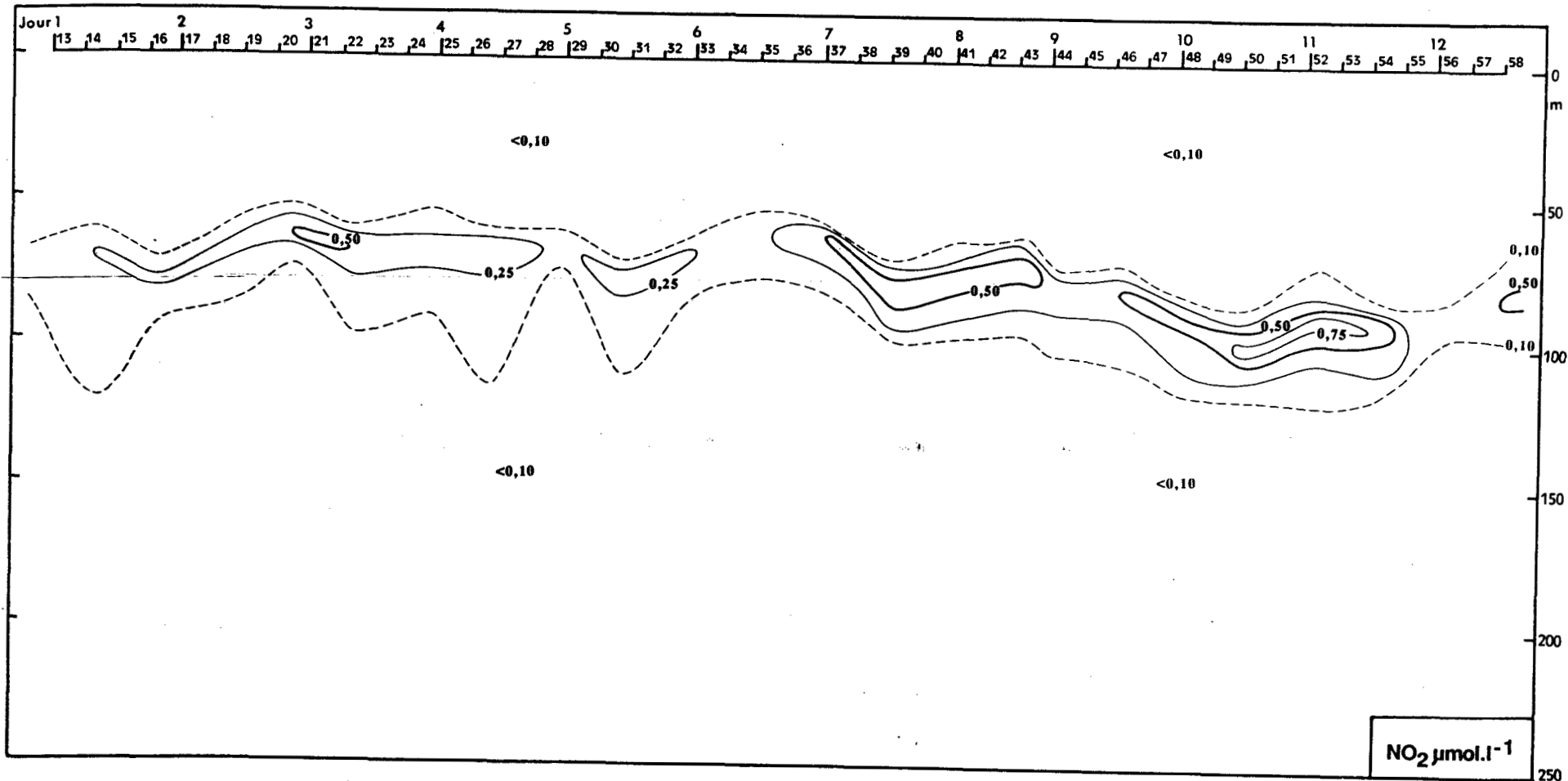
PIRAL Convergence Nord- Equatoriale (4 - 5°N) 22 Juin- 3 Juillet 1986



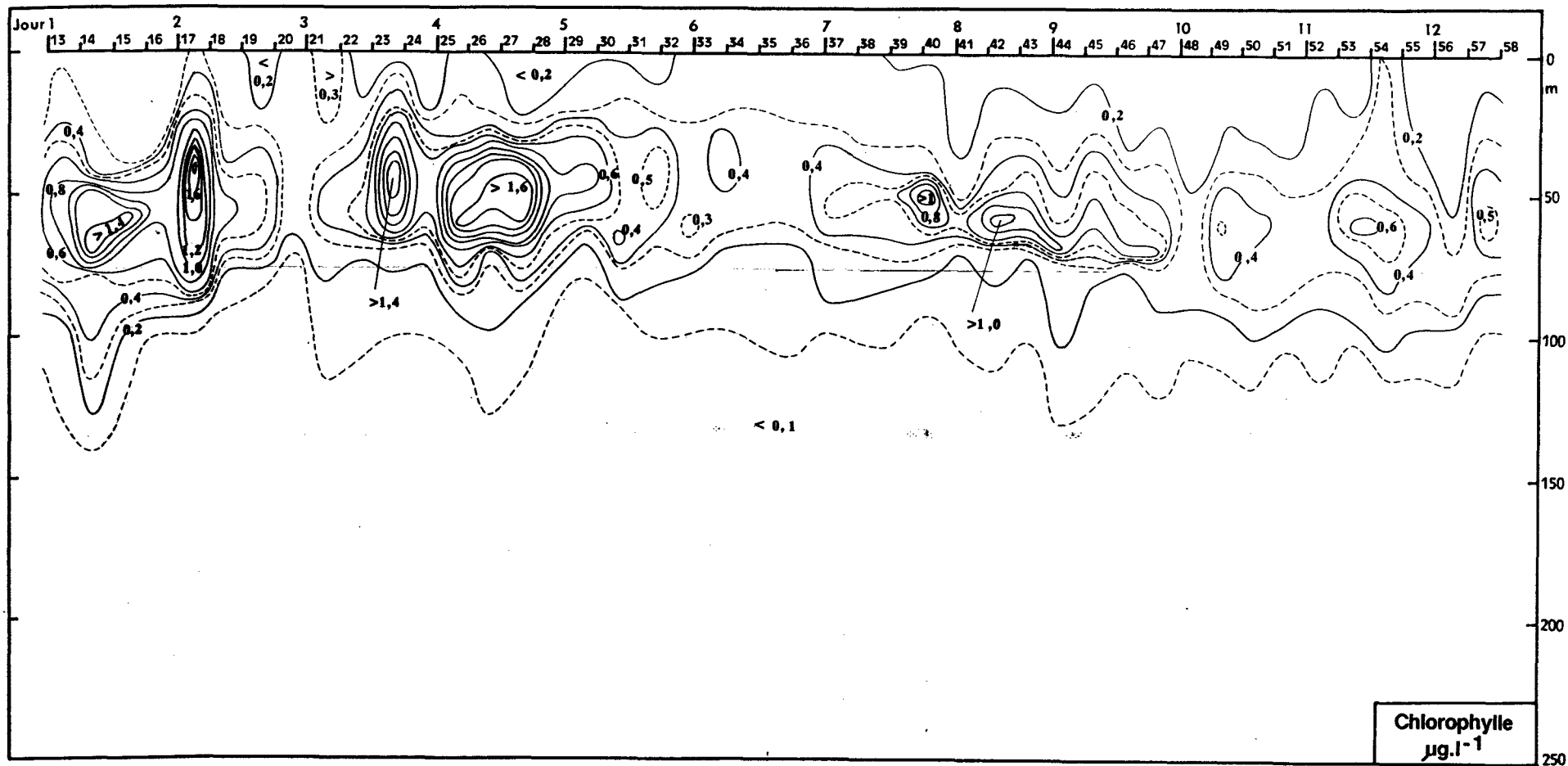
PIRAL Convergence Nord - Equatoriale (4 - 5°N) 22 Juin - 3 Juillet 1986



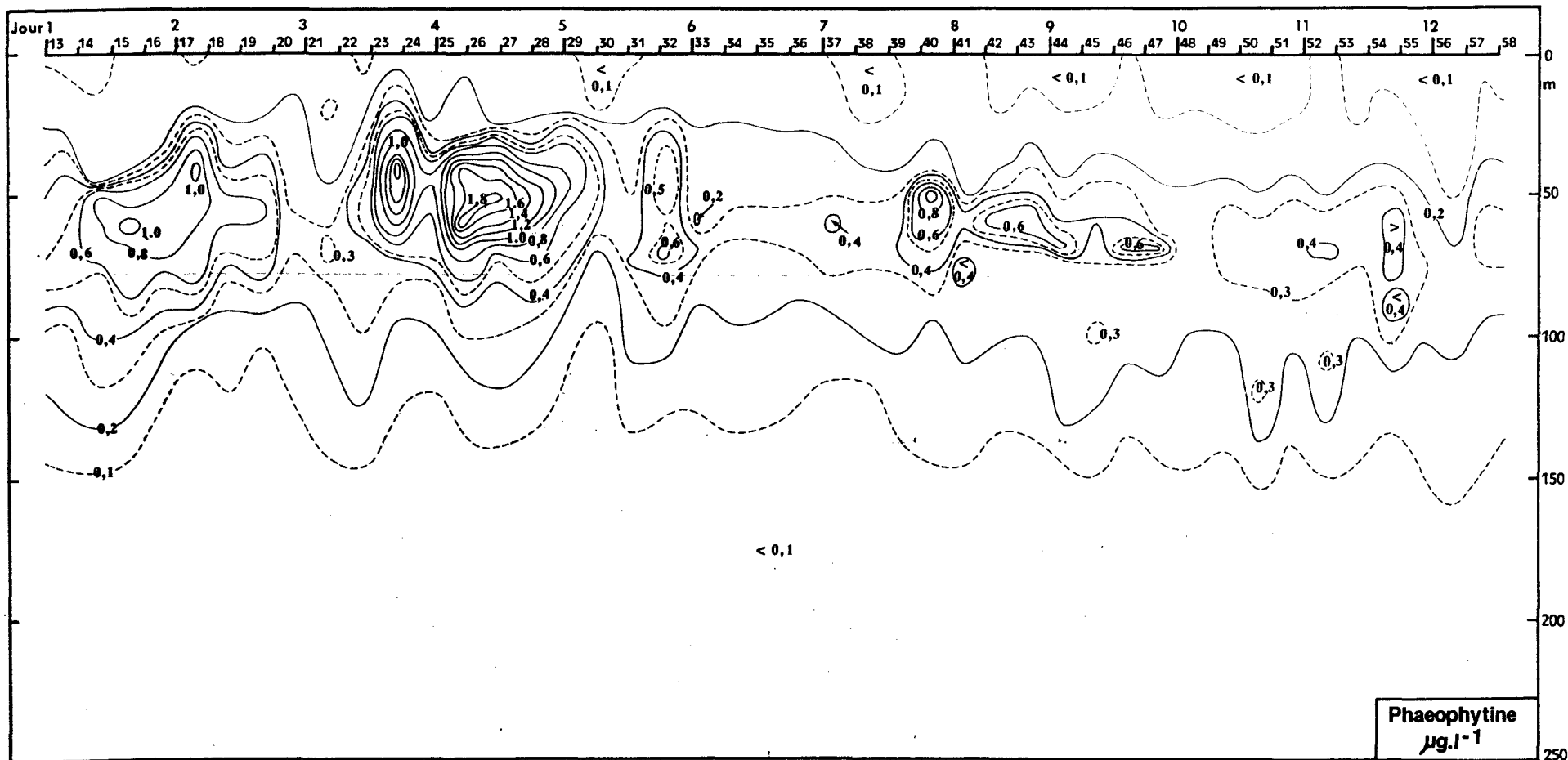
PIRAL Convergence Nord - Equatoriale (4 - 5°N) 22 Juin - 3 Juillet 1986



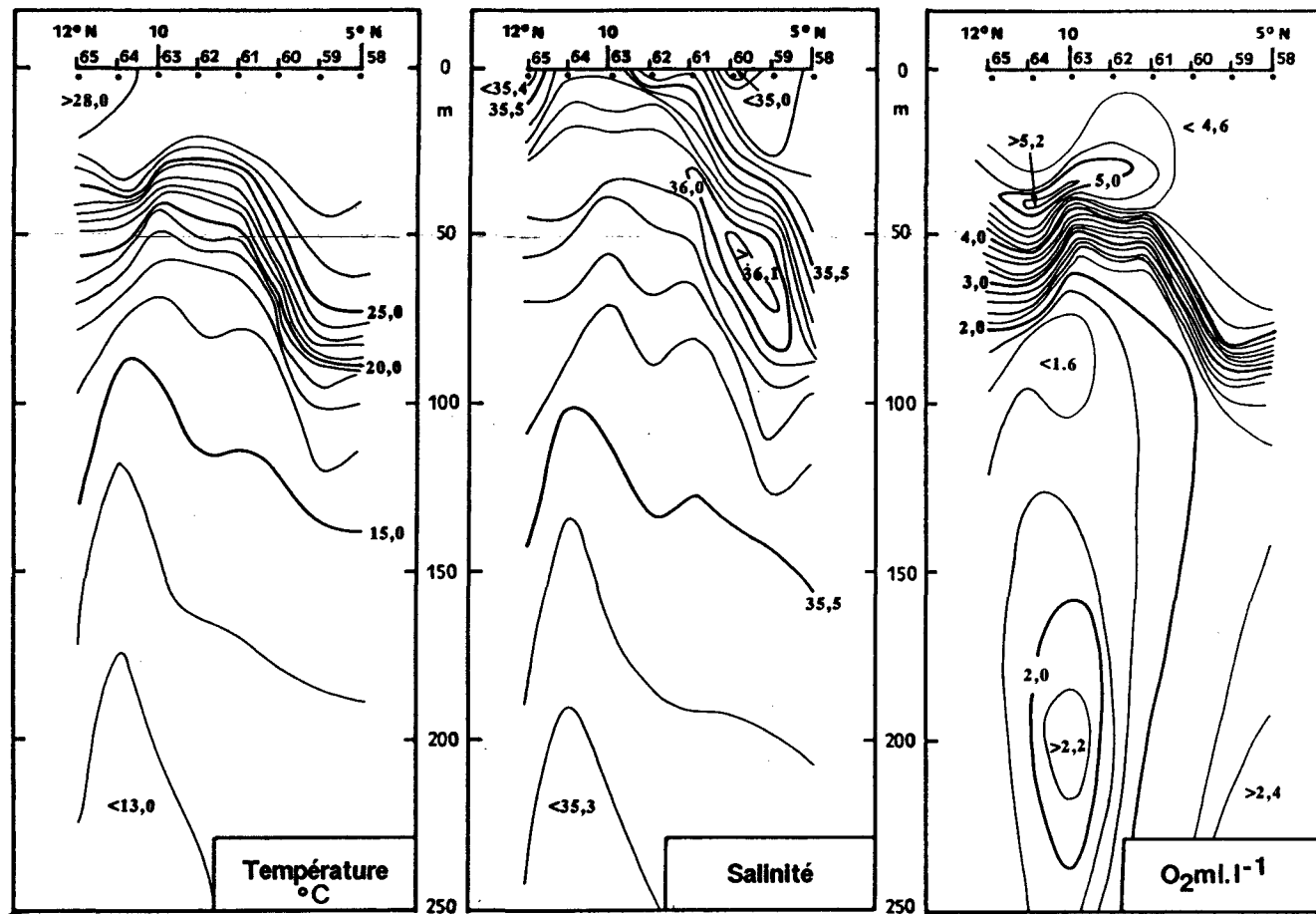
PIRAL Convergence Nord - Equatoriale (4 - 5°N) 22 Juin - 3 Juillet 1986



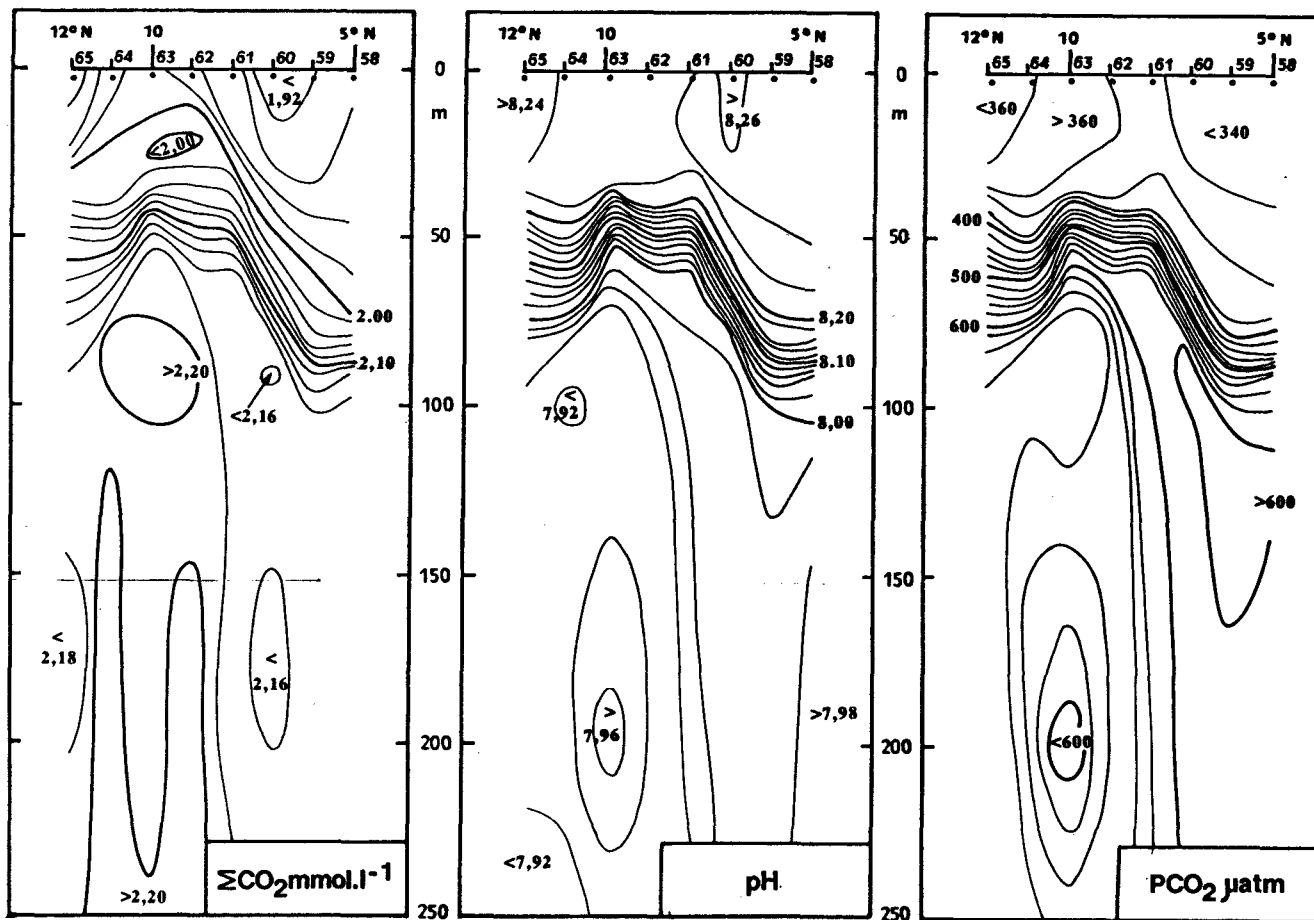
PIRAL Convergence Nord - Equatoriale ($4 - 5^{\circ}\text{N}$) 22 Juin - 3 Juillet 1986



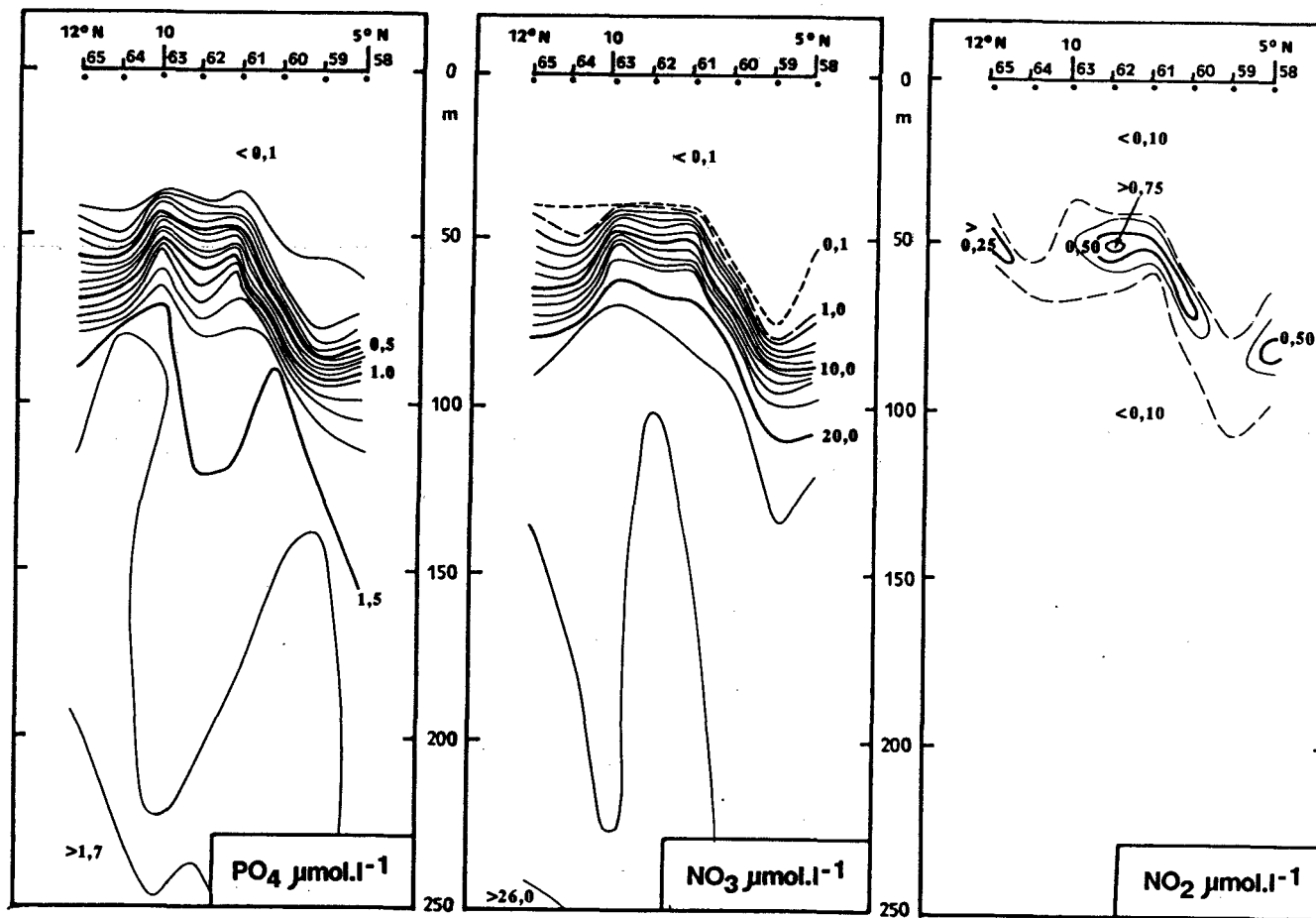
PIRAL Convergence Nord - Equatoriale (4 - 5°N) 22 Juin - 3 Juillet 1986



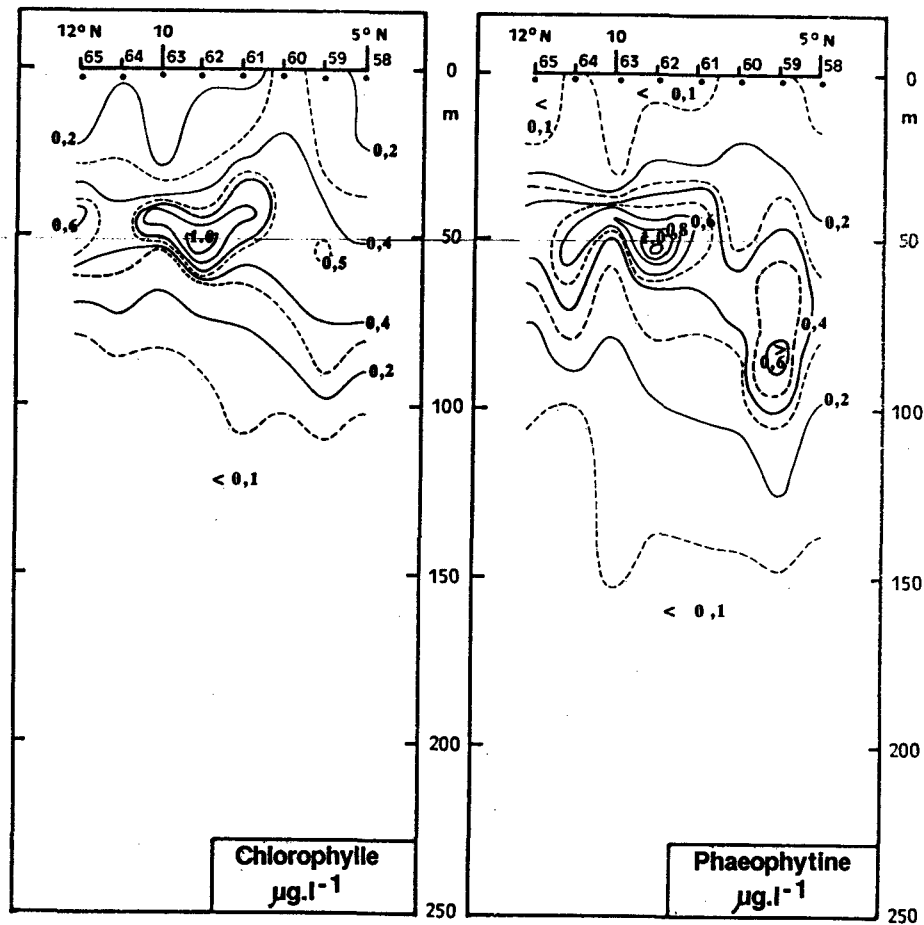
PIRAL Radiale 20°-18° W Juillet 1986



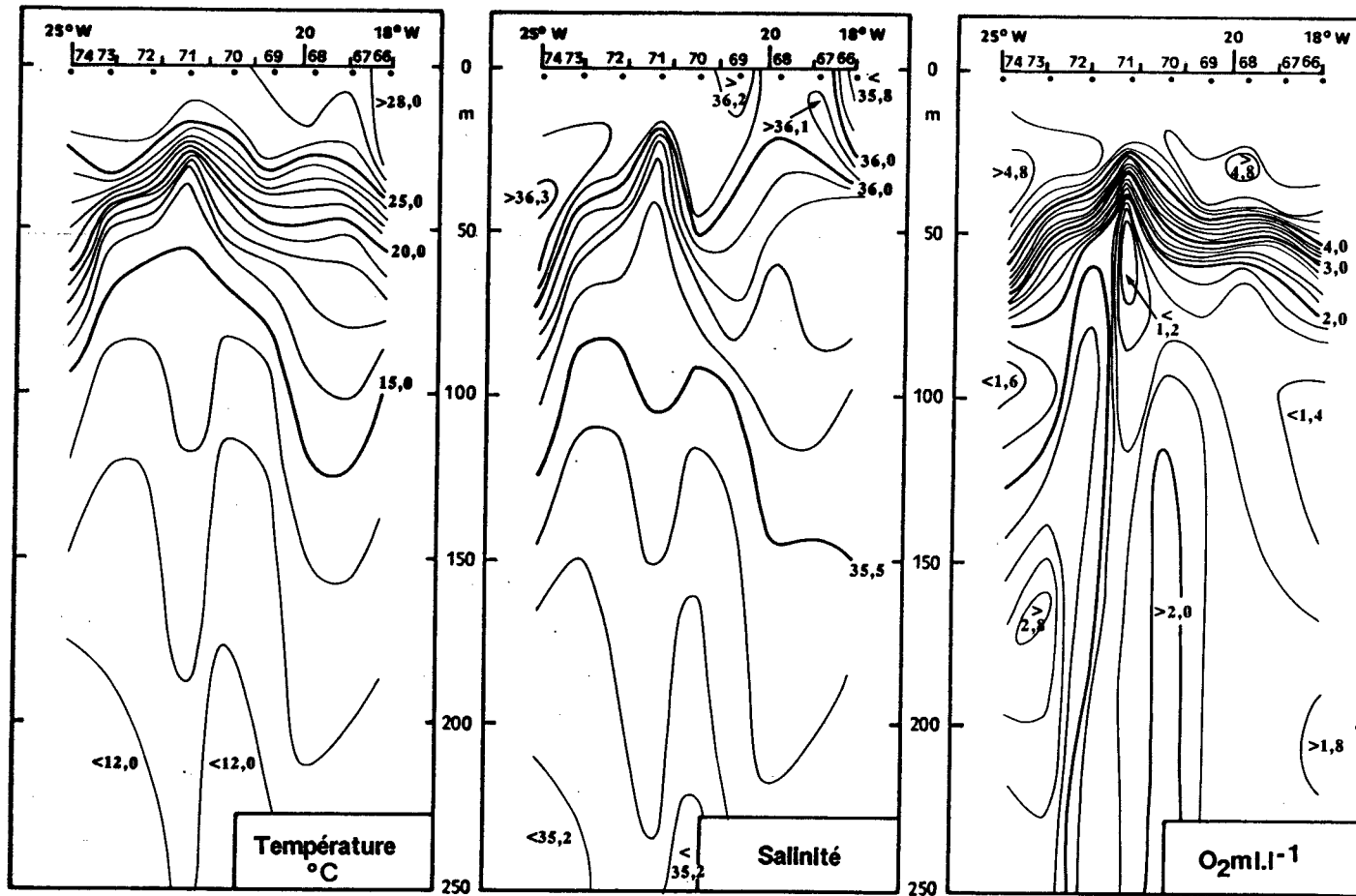
PIRAL Radiate 20°-10° W Juillet 1986



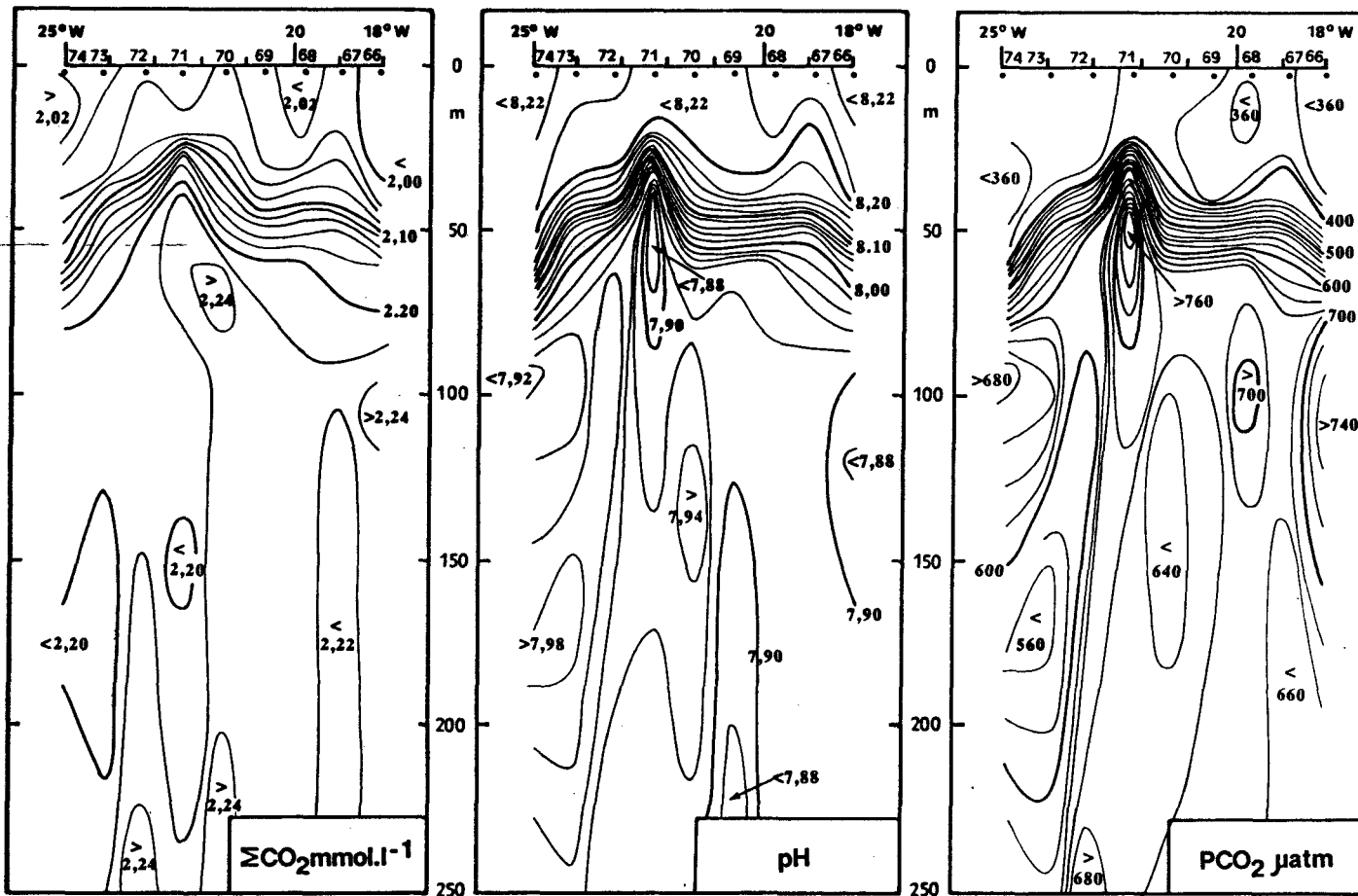
PIRAL Radiale 20°-18°W Juillet 1986



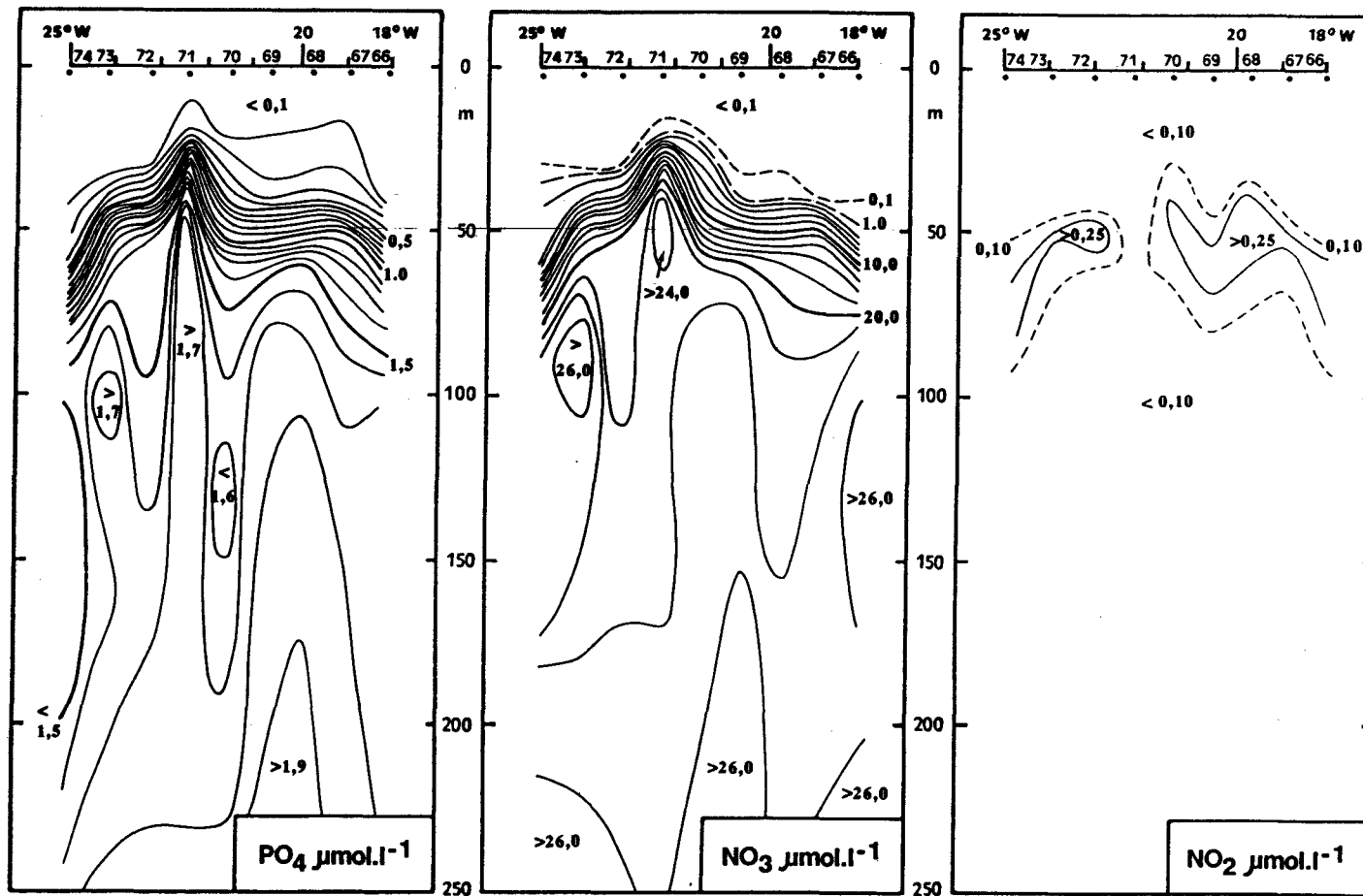
PIRAL Radiale 20°-18° W Juillet 1986



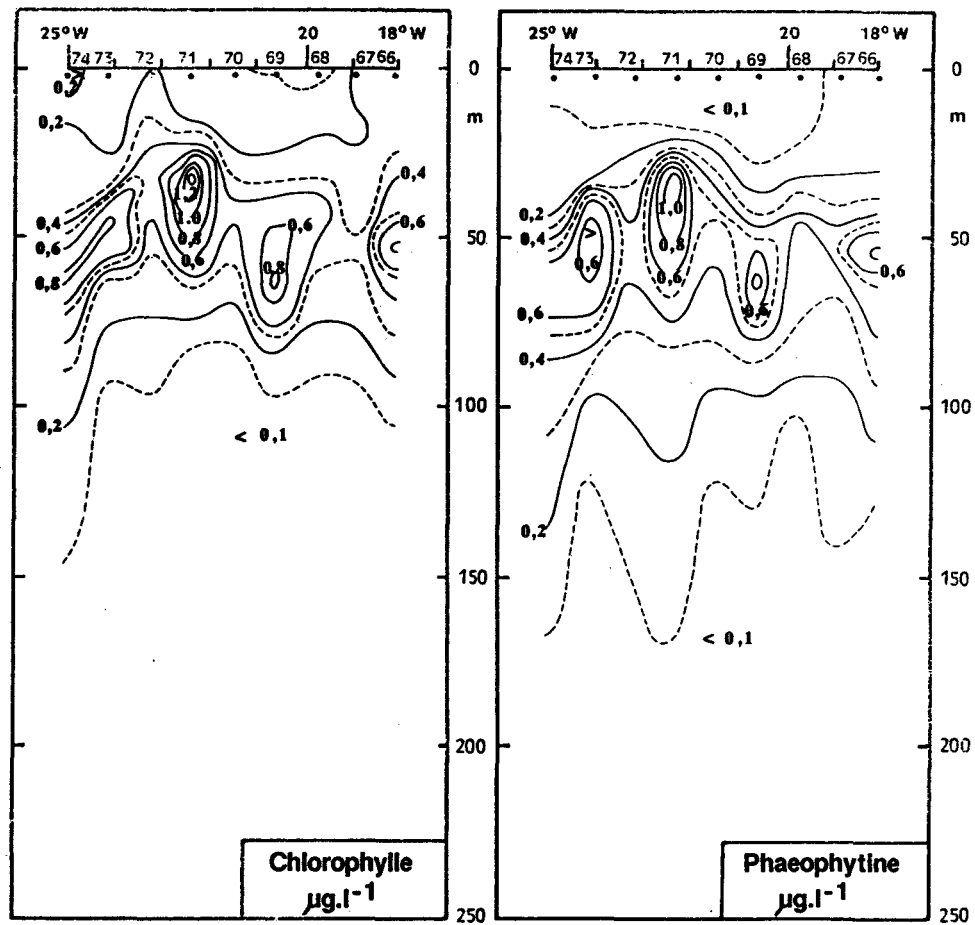
PIRAL Dôme de GUINEE (18°W, 14°N - 25°W, 10°N) Juillet 1986



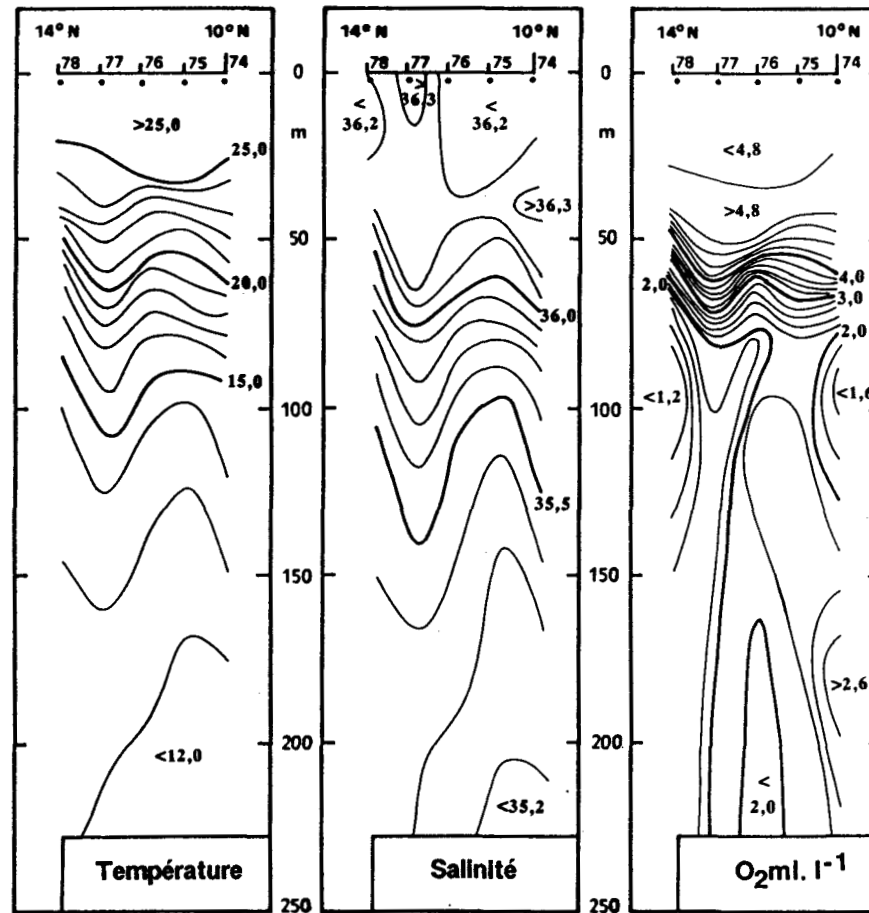
PIRAL Dôme de GUINEE (18°W, 14°N - 25°W, 10°N) Juillet 1986



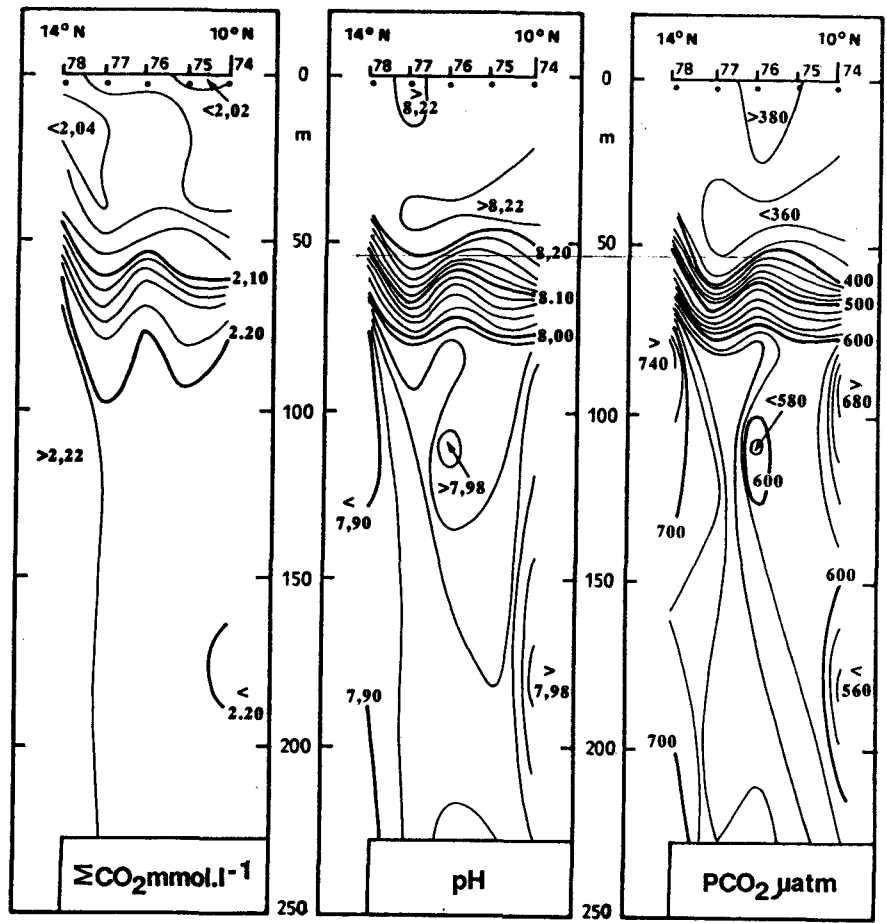
PIRAL Dôme de GUINEE (18°W,14°N - 25°W,10°N) Juillet 1986



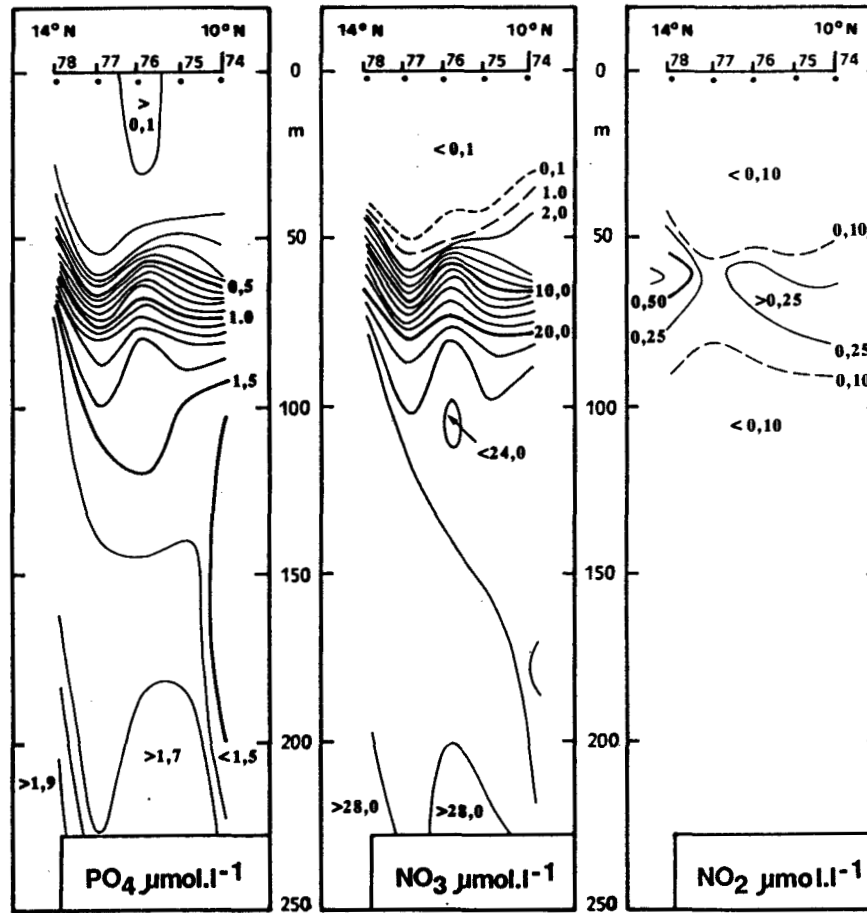
PIRAL Dôme de GUINEE (18°W, 14°N - 25°W, 10°N) Juillet 1986



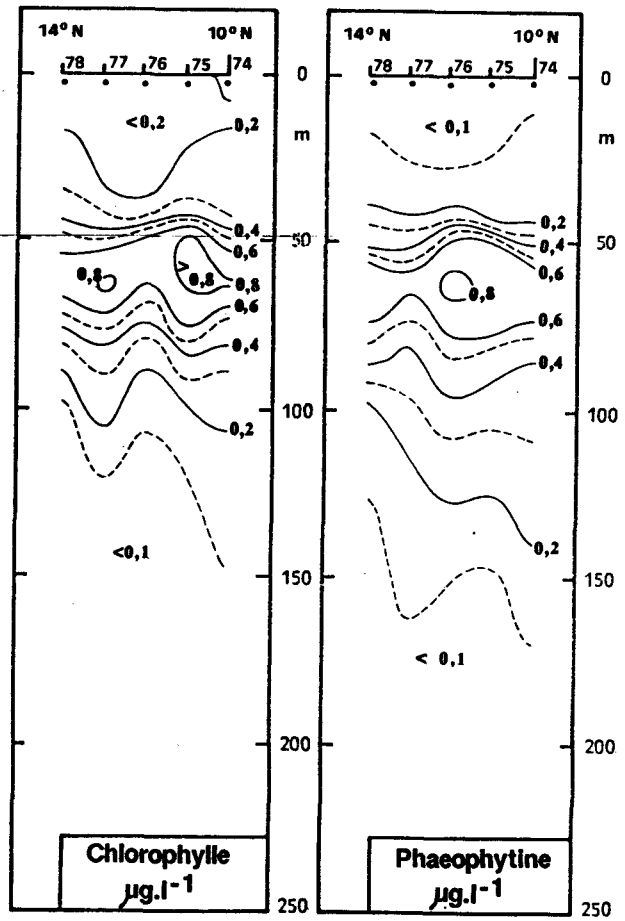
PIRAL Dôme de GUINEE (25°W, 10°N - 24°W, 14°N) Juillet 1986



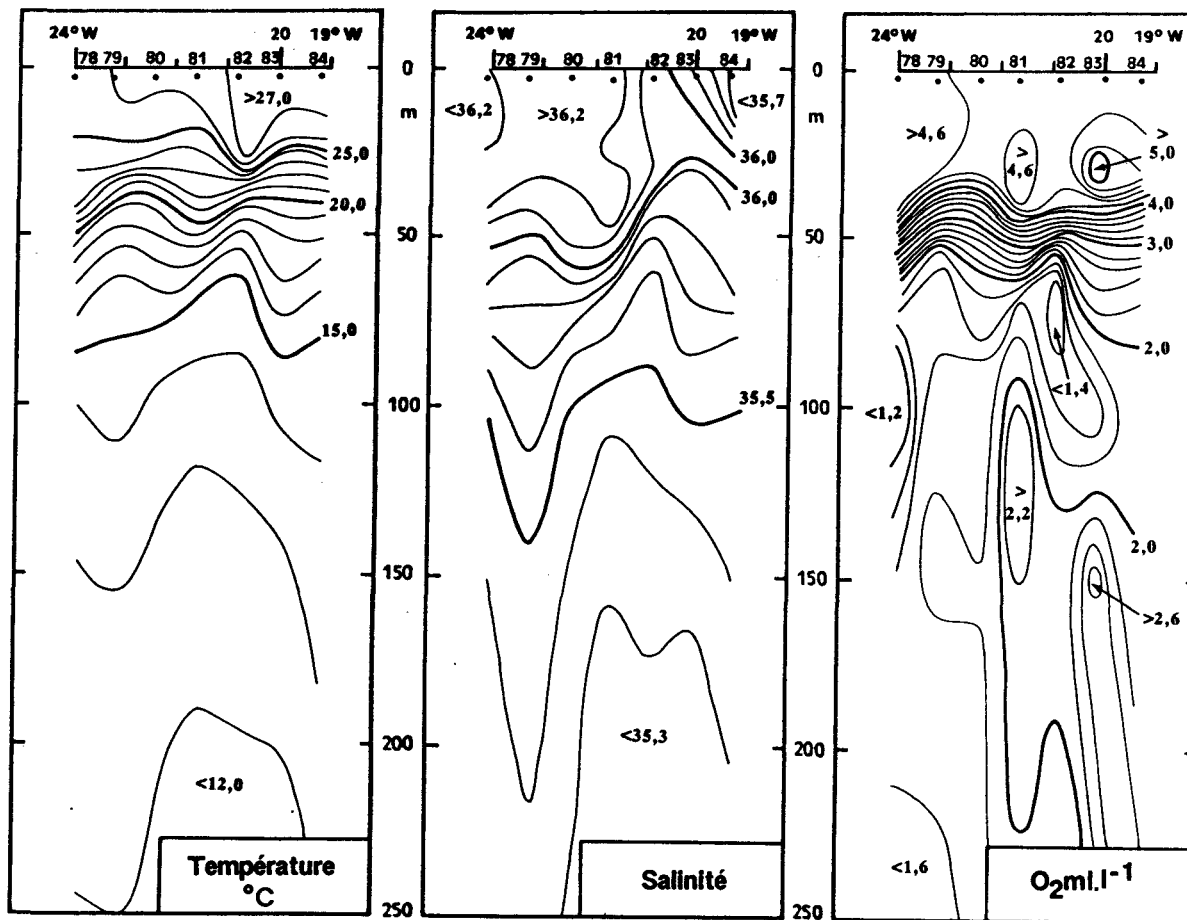
PIRAL Dôme de GUINEE (25°W, 10°N - 24°W, 14°N) Juillet 1986



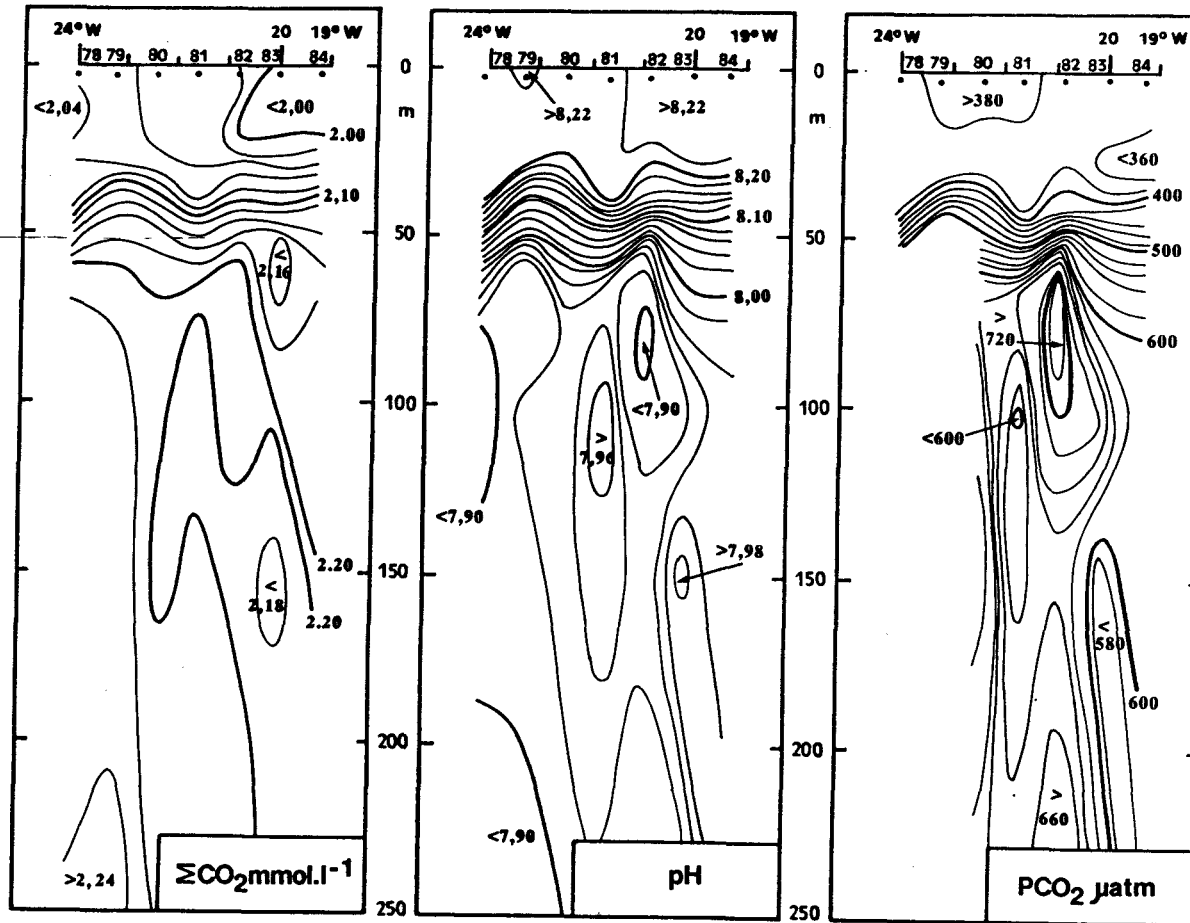
PIRAL Dôme de GUINEE (25°W, 10°N - 24°W, 14°N) Juillet 1986



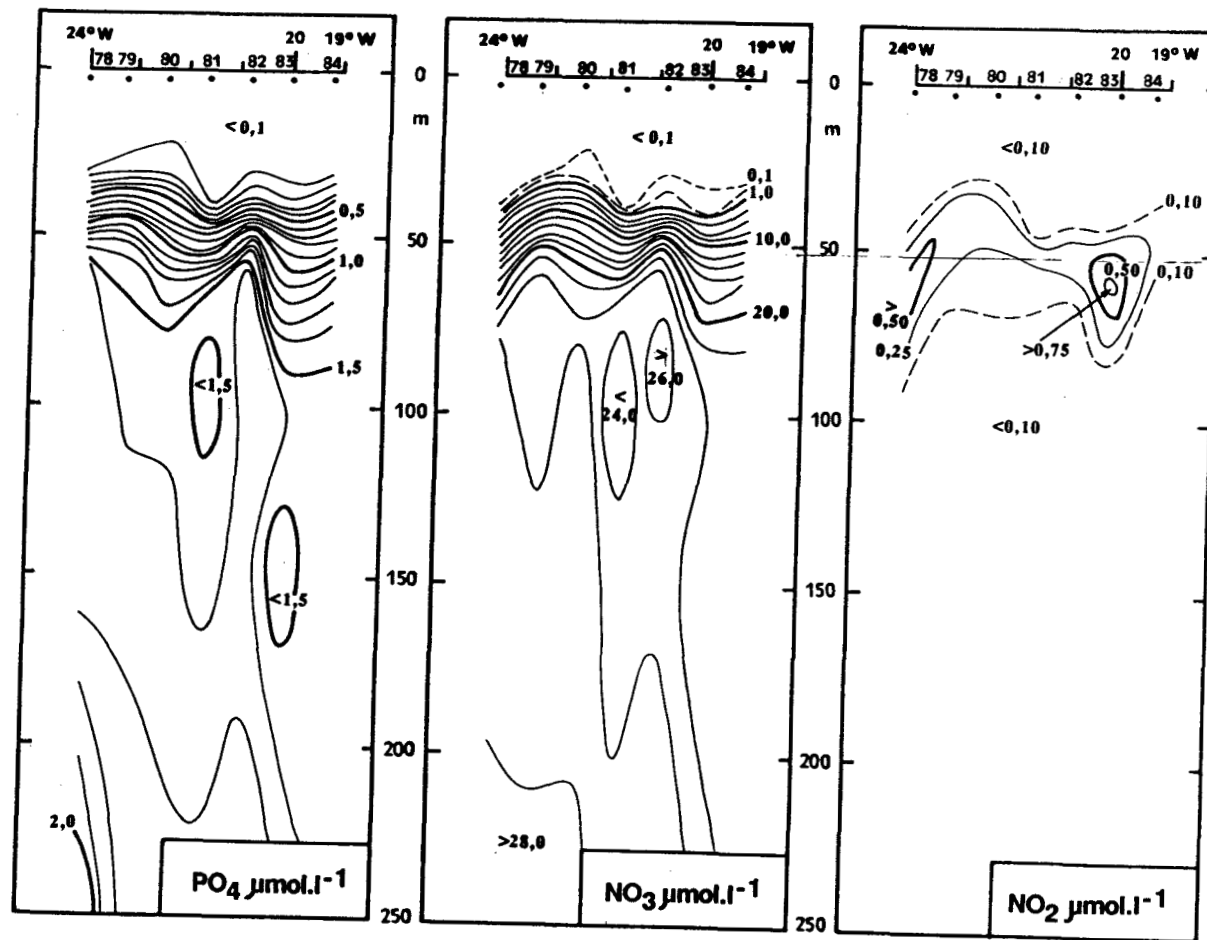
PIRAL Dôme de GUINEE (25°W, 10°N - 24°W, 14°N) Juillet 1986



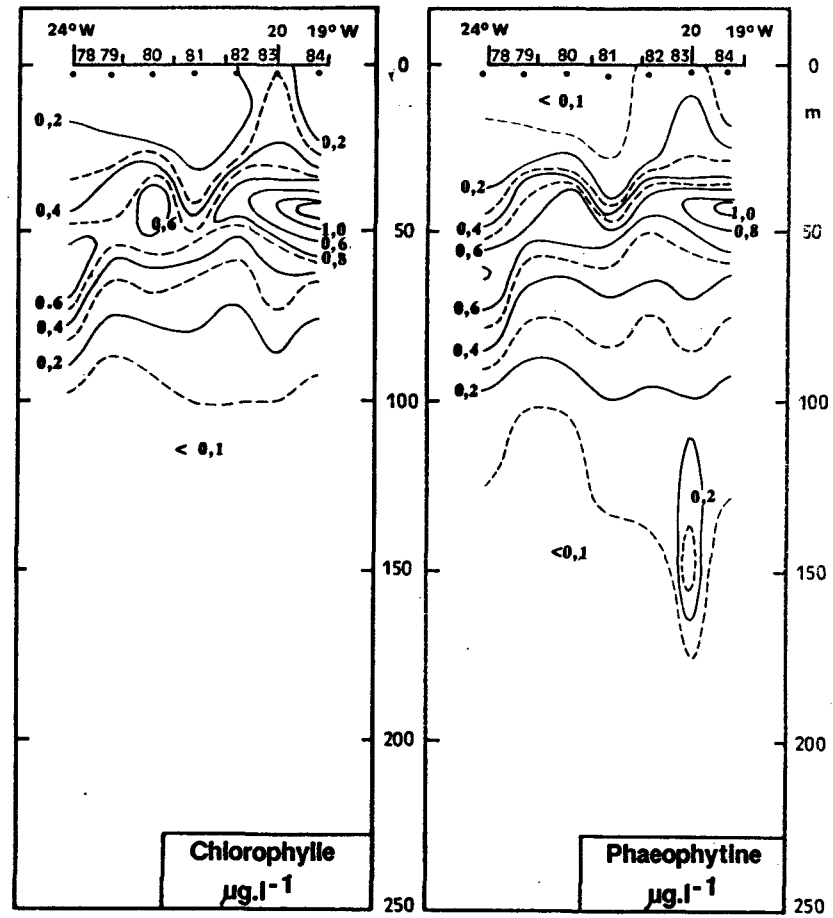
PIRAL Dôme de GUINEE (24°W, 14°N - 19°W, 10°N) Juillet 1986



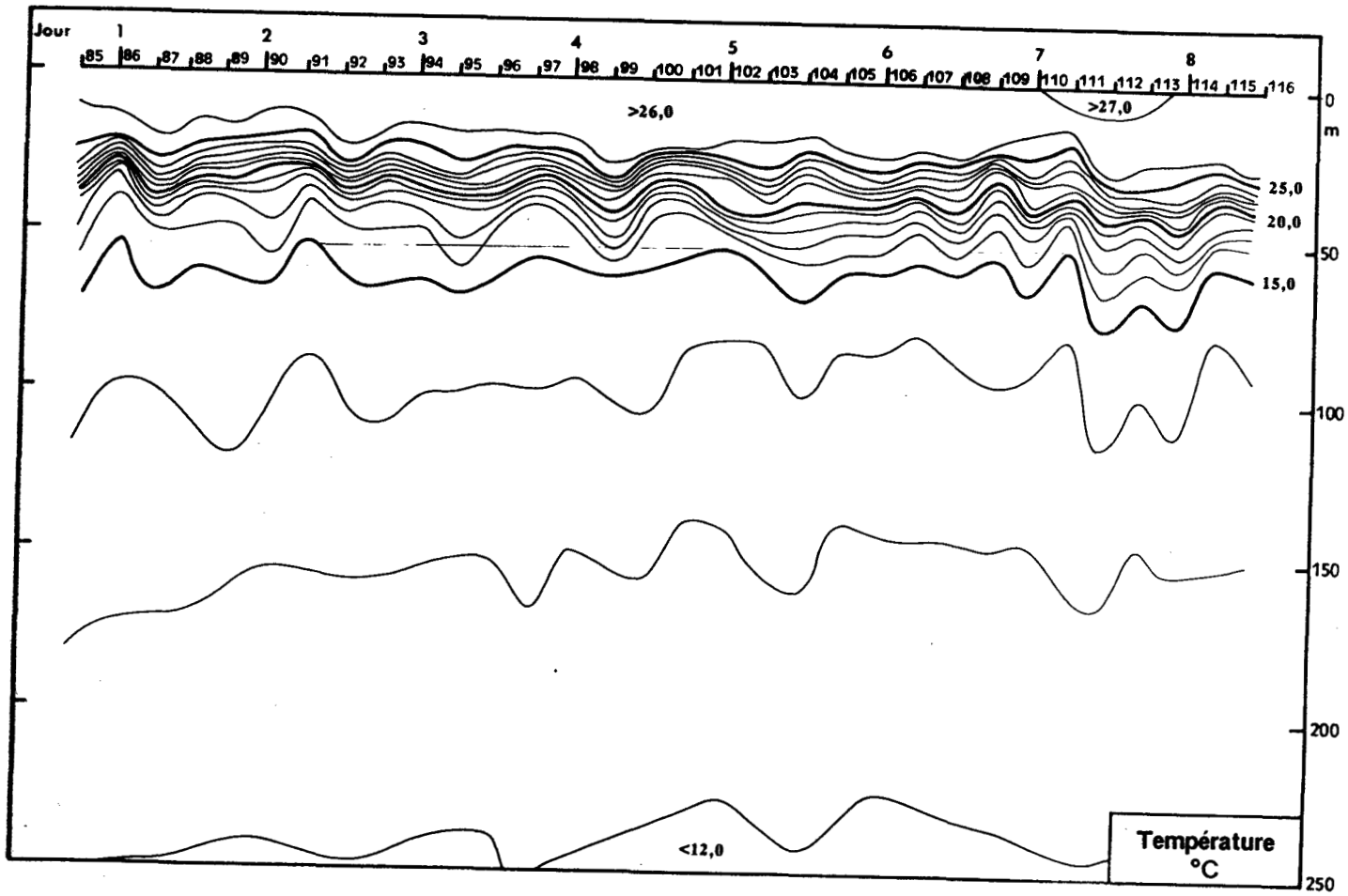
PIRAL Dôme de GUINEE (24°W, 14°N - 19°W, 10°N) Juillet 1986



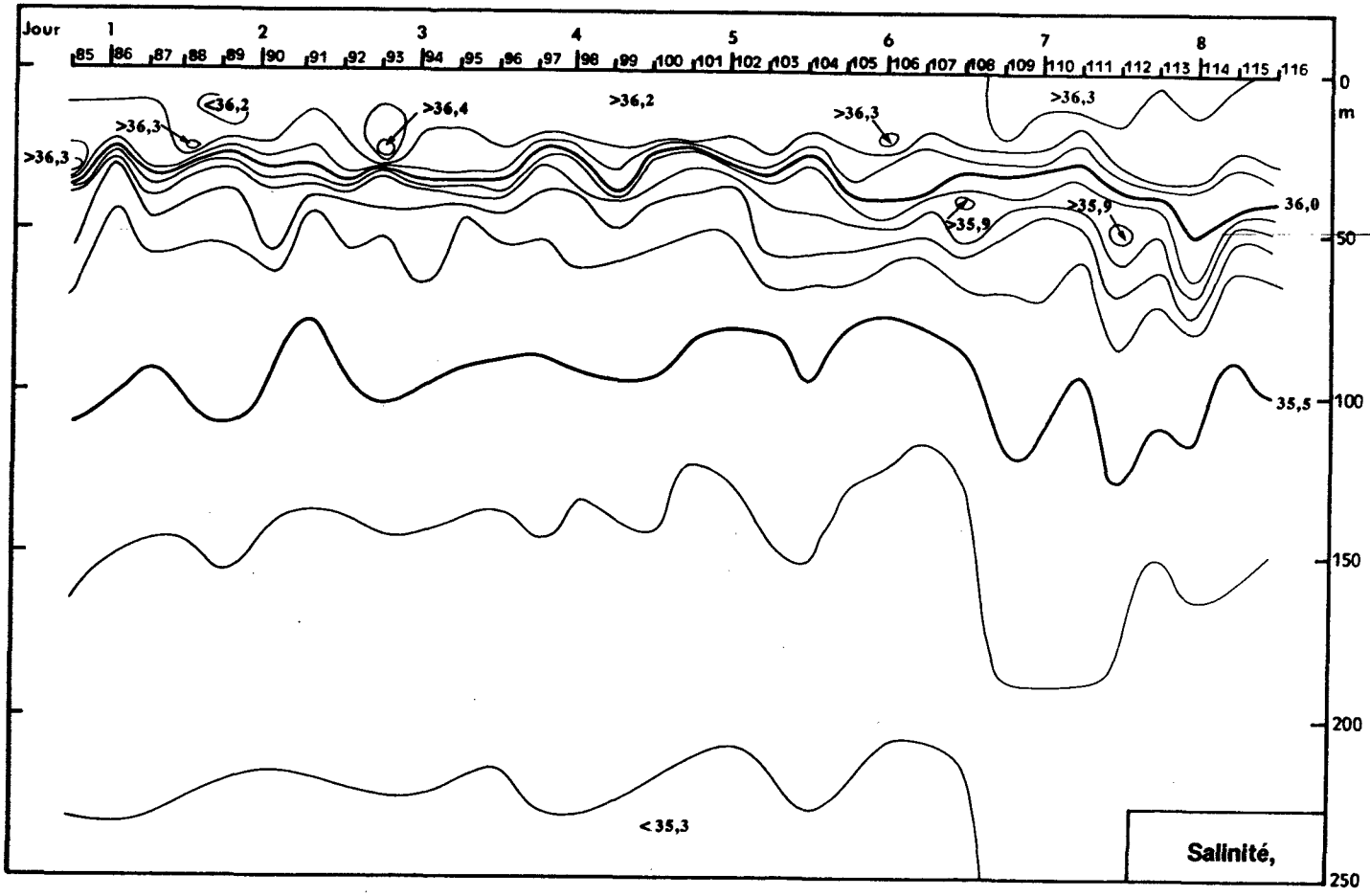
PIRAL Dôme de GUINEE (24°W, 14°N - 19°W, 10°N) Juillet 1986



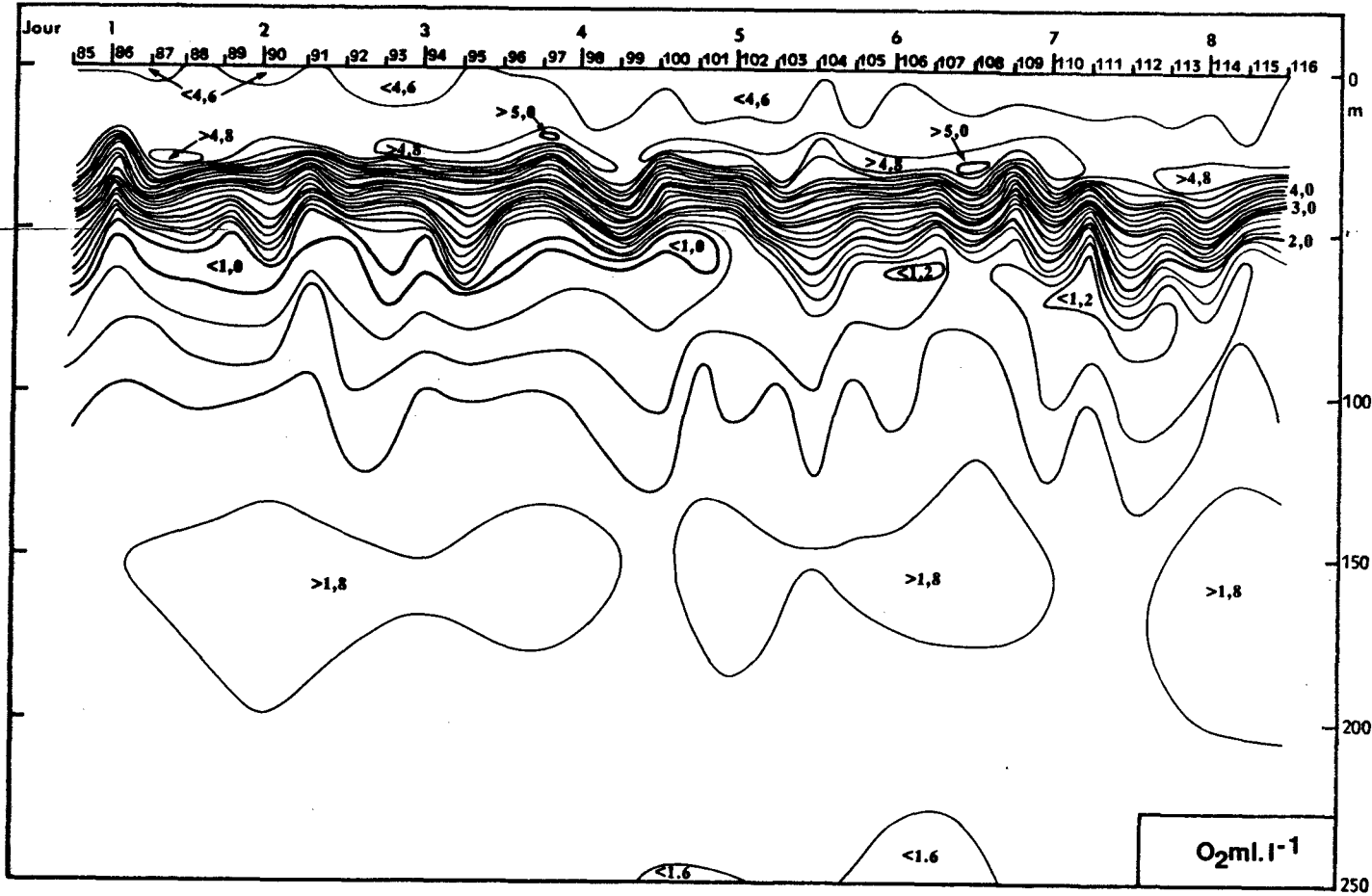
PIRAL Dôme de GUINEE (24°W, 14°N - 19°W, 10°N) Juillet 1986



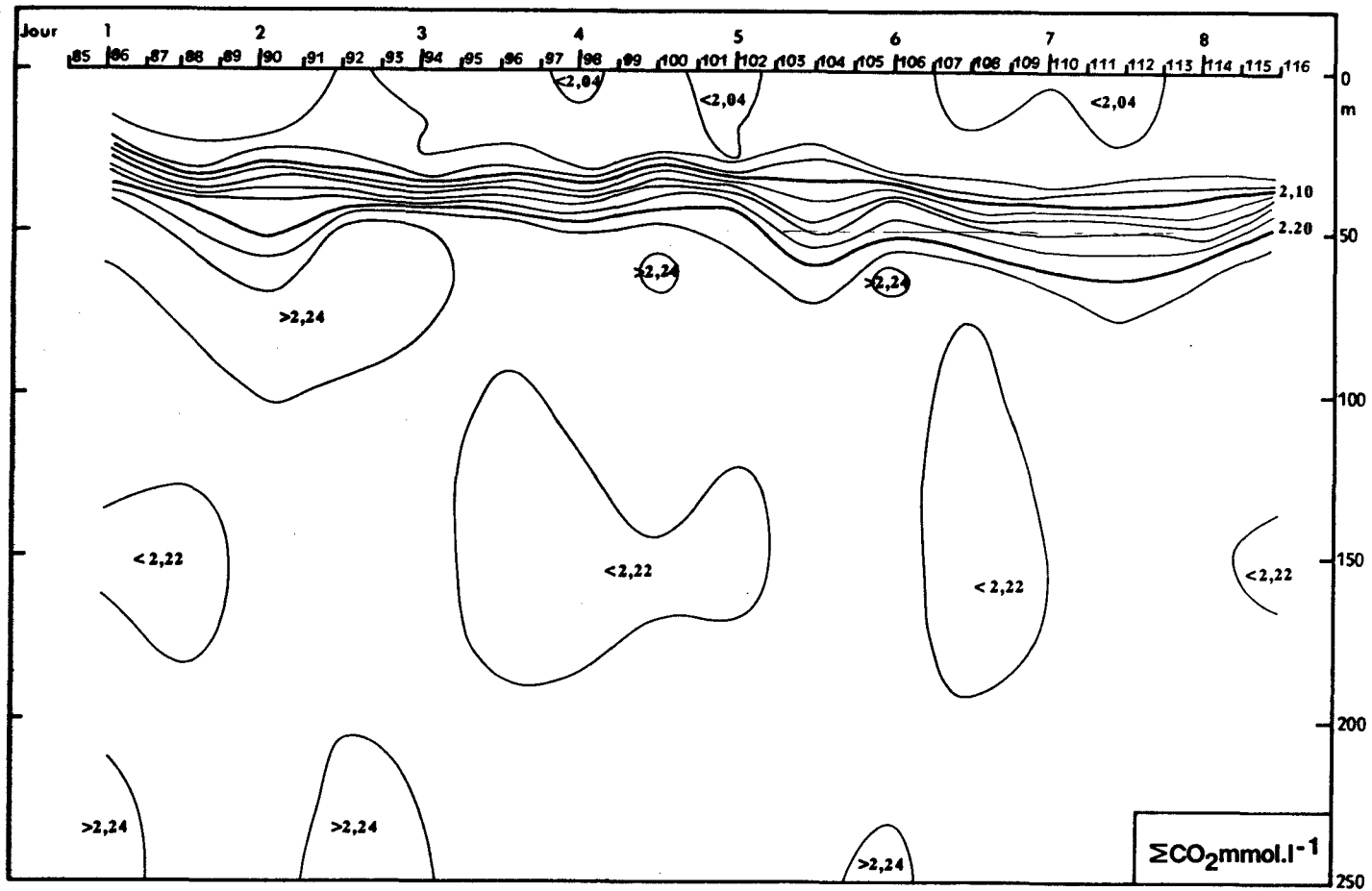
PIRAL Dôme de GUINEE (11°-50N, 22°W) 15-22 Juillet 1986



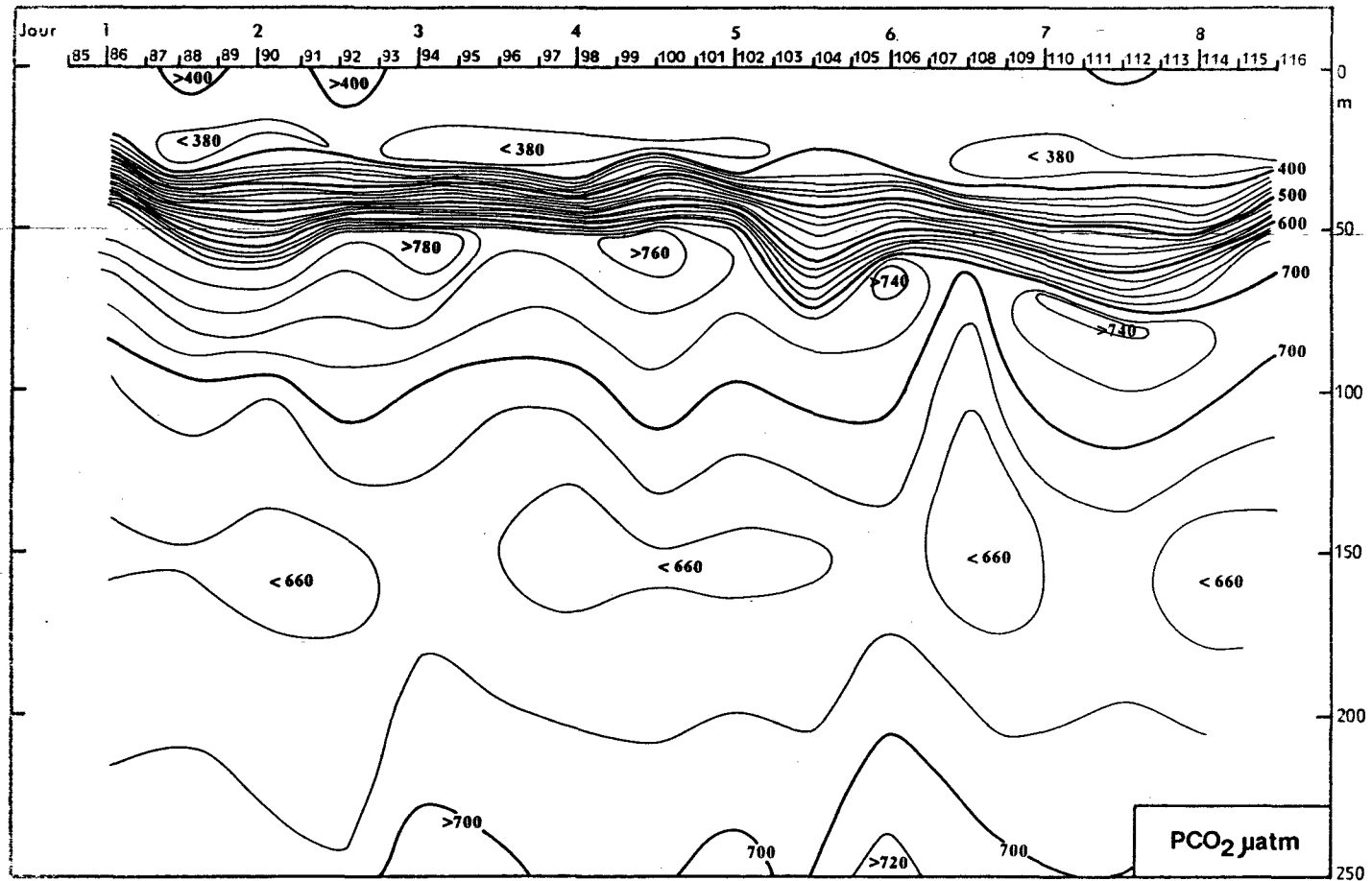
PIRAL Dôme de GUINEE (11°-50N, 22°W) 15-22 Juillet 1986



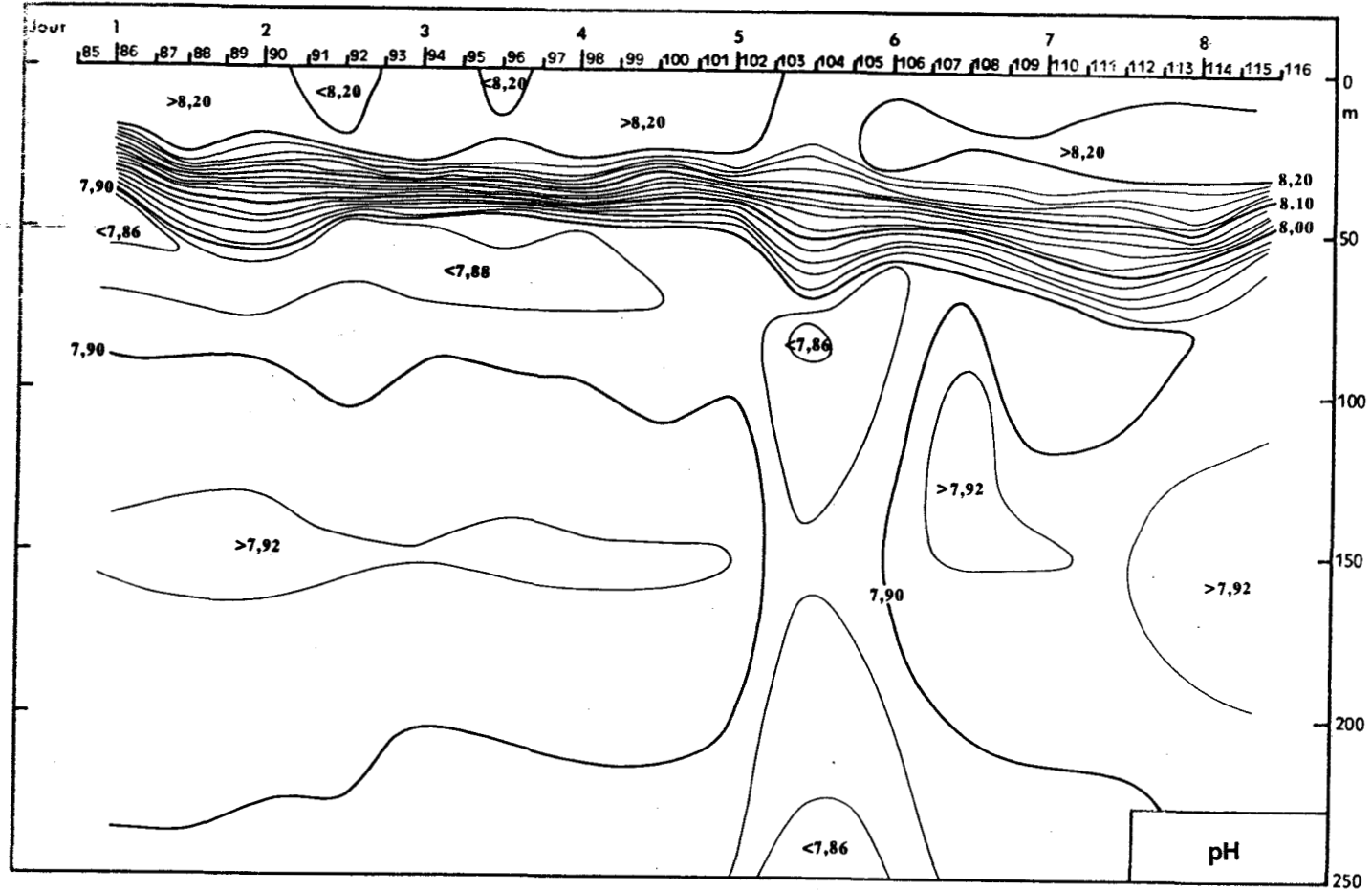
PIRAL Dôme de GUINEE (11°-50N, 22°W) 15-22 Juillet 1986



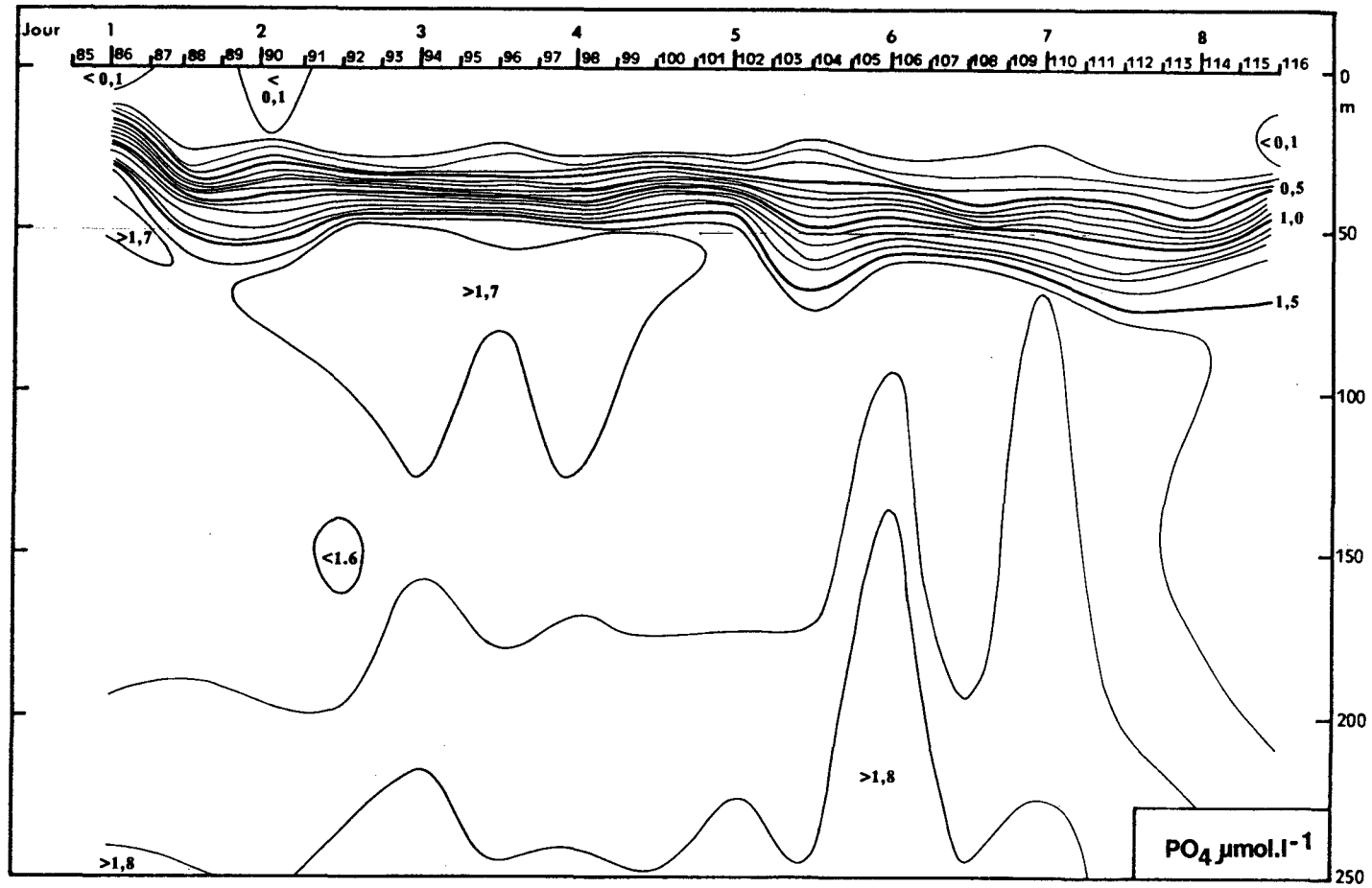
PIRAL Dôme de GUINEE (11°-50N, 22°W) 15-22 Juillet 1986



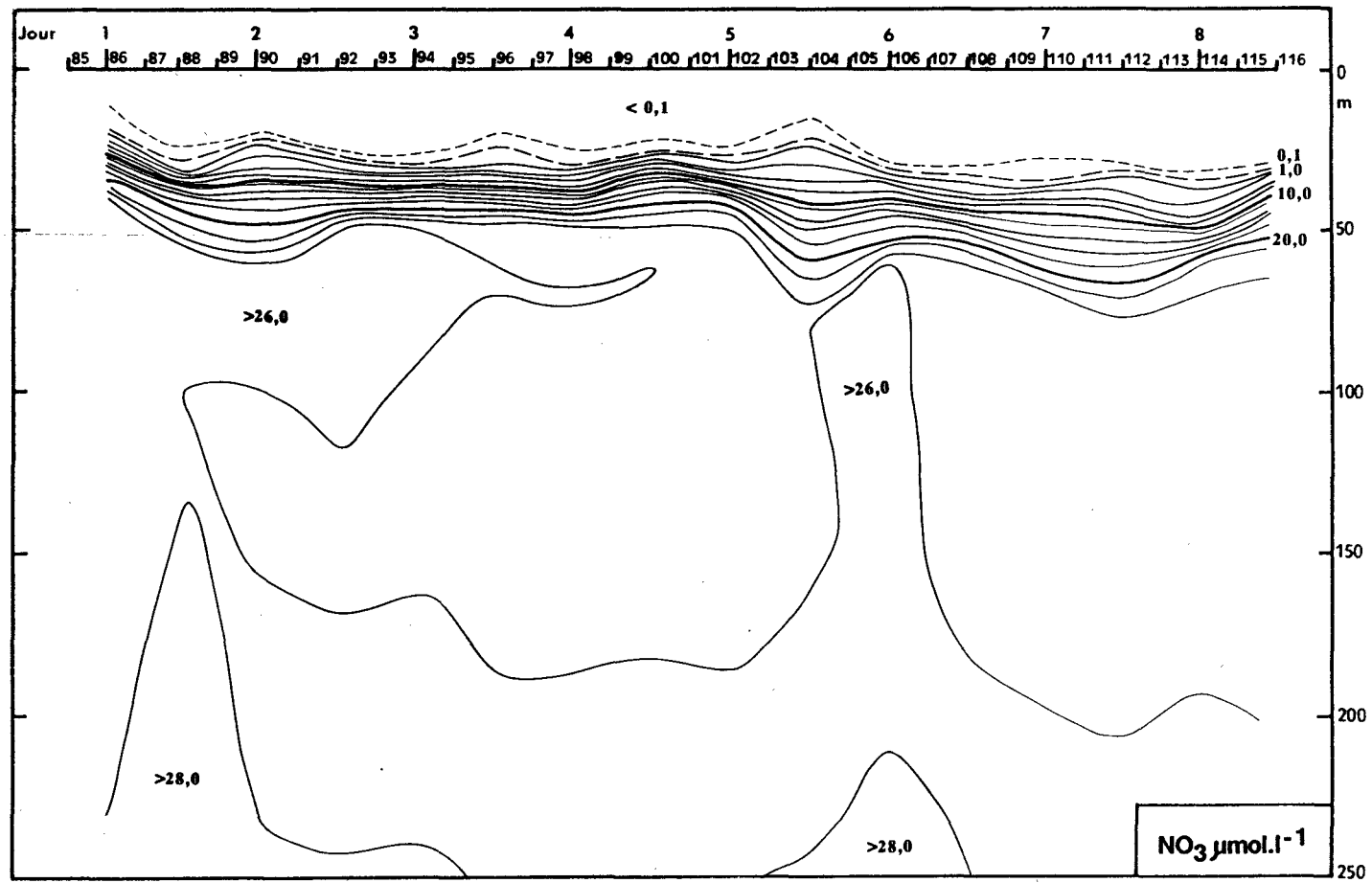
PIRAL Dôme de GUINEE (11°-50N, 22°W) 15-22 Juillet 1986



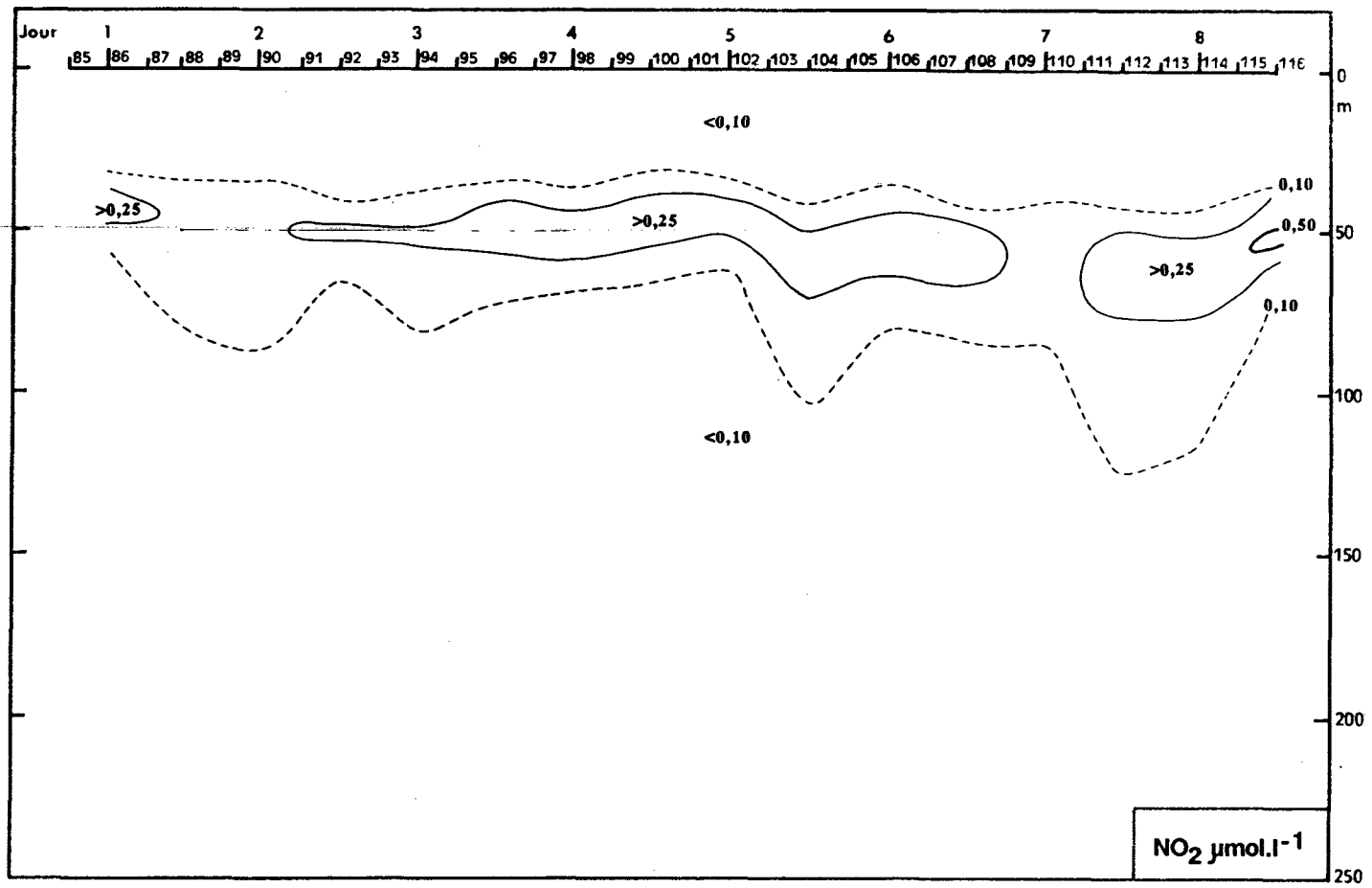
PIRAL Dôme de GUINEE (11°-50N, 22°W) 15-22 Juillet 1986



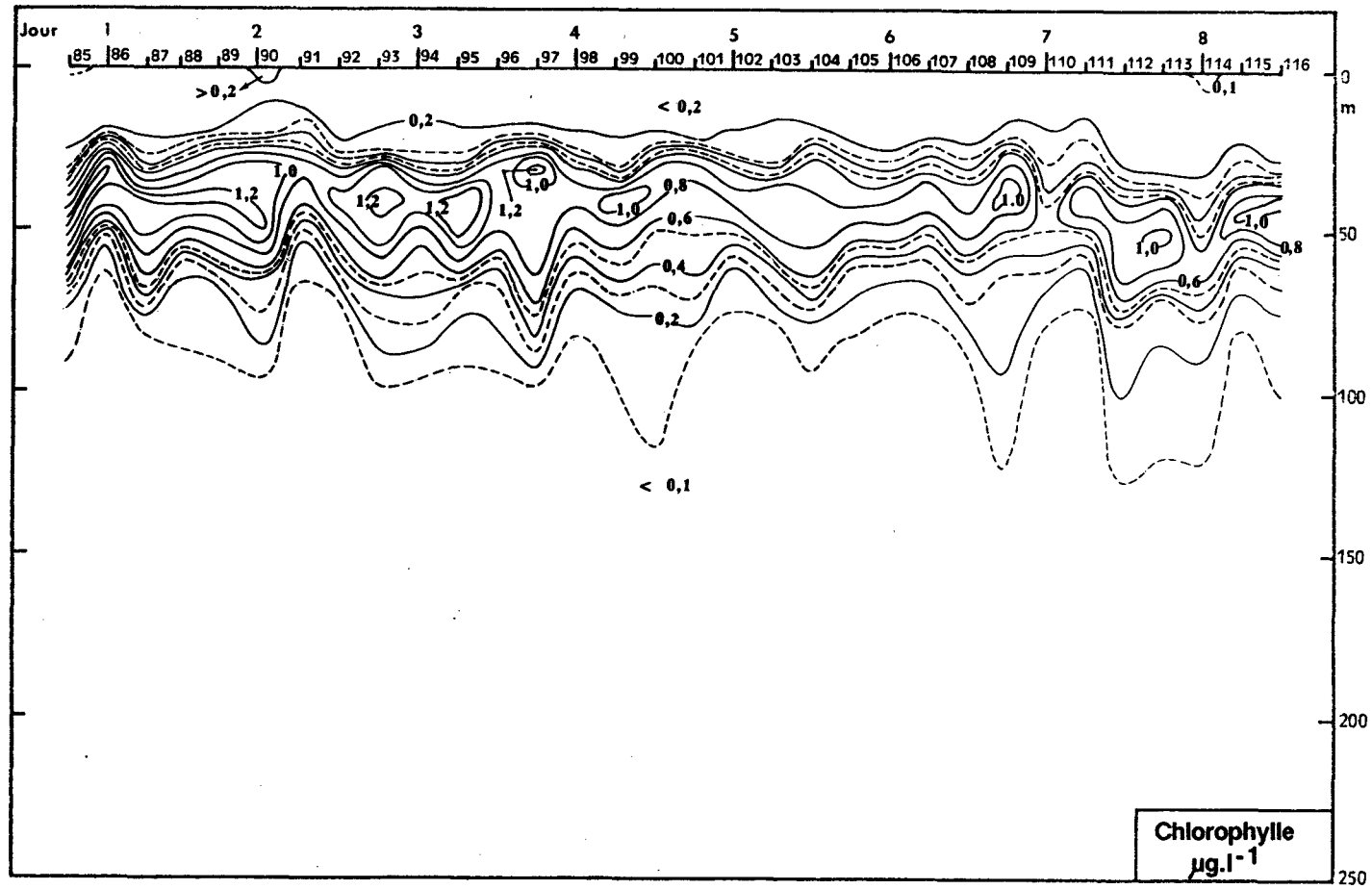
PIRAL Dôme de GUINEE (11°-50N, 22°W) 15-22 Juillet 1986



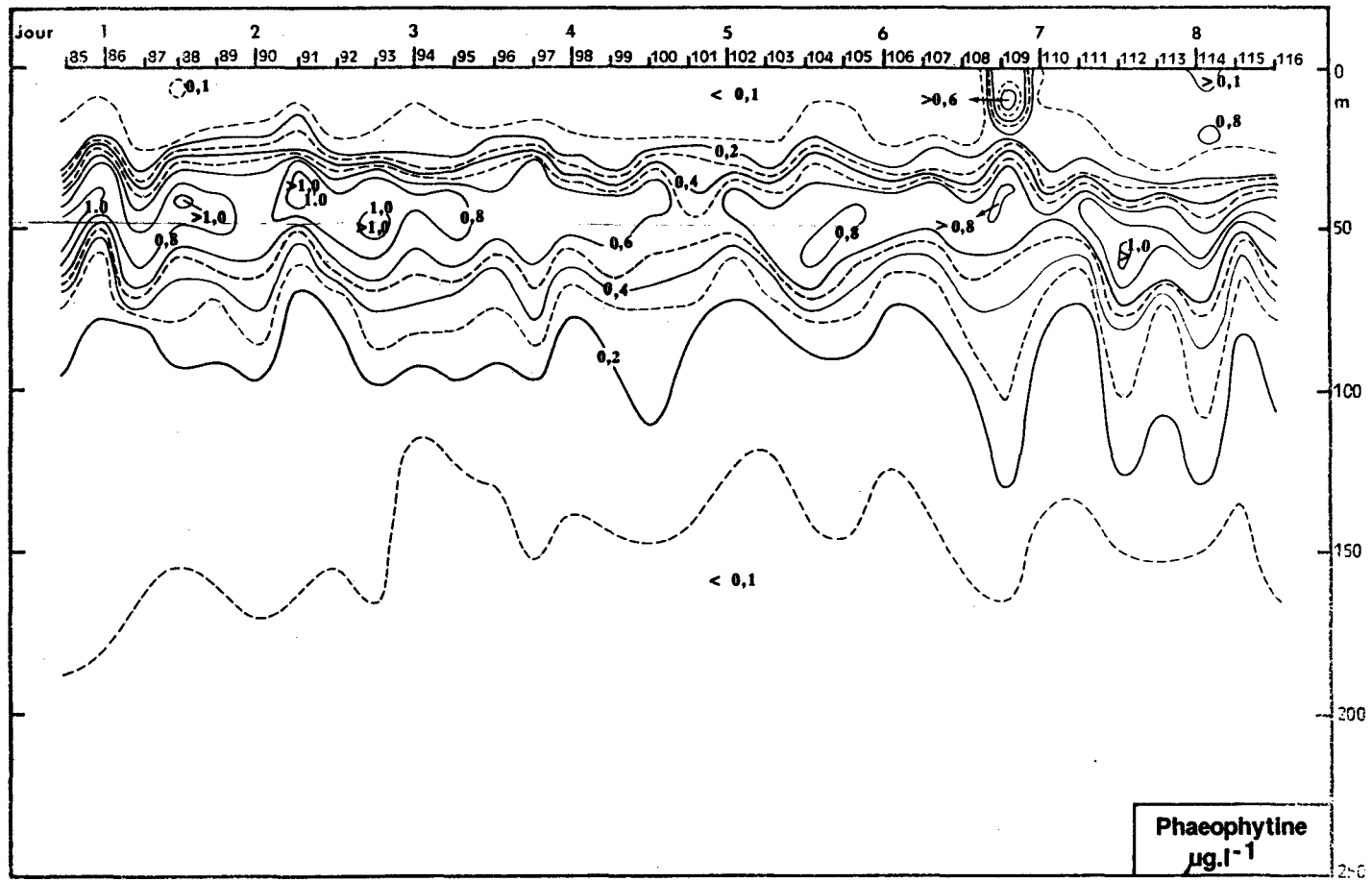
PIRAL Dôme de GUINEE (11°-50N, 22°W) 15-22 Juillet 1986



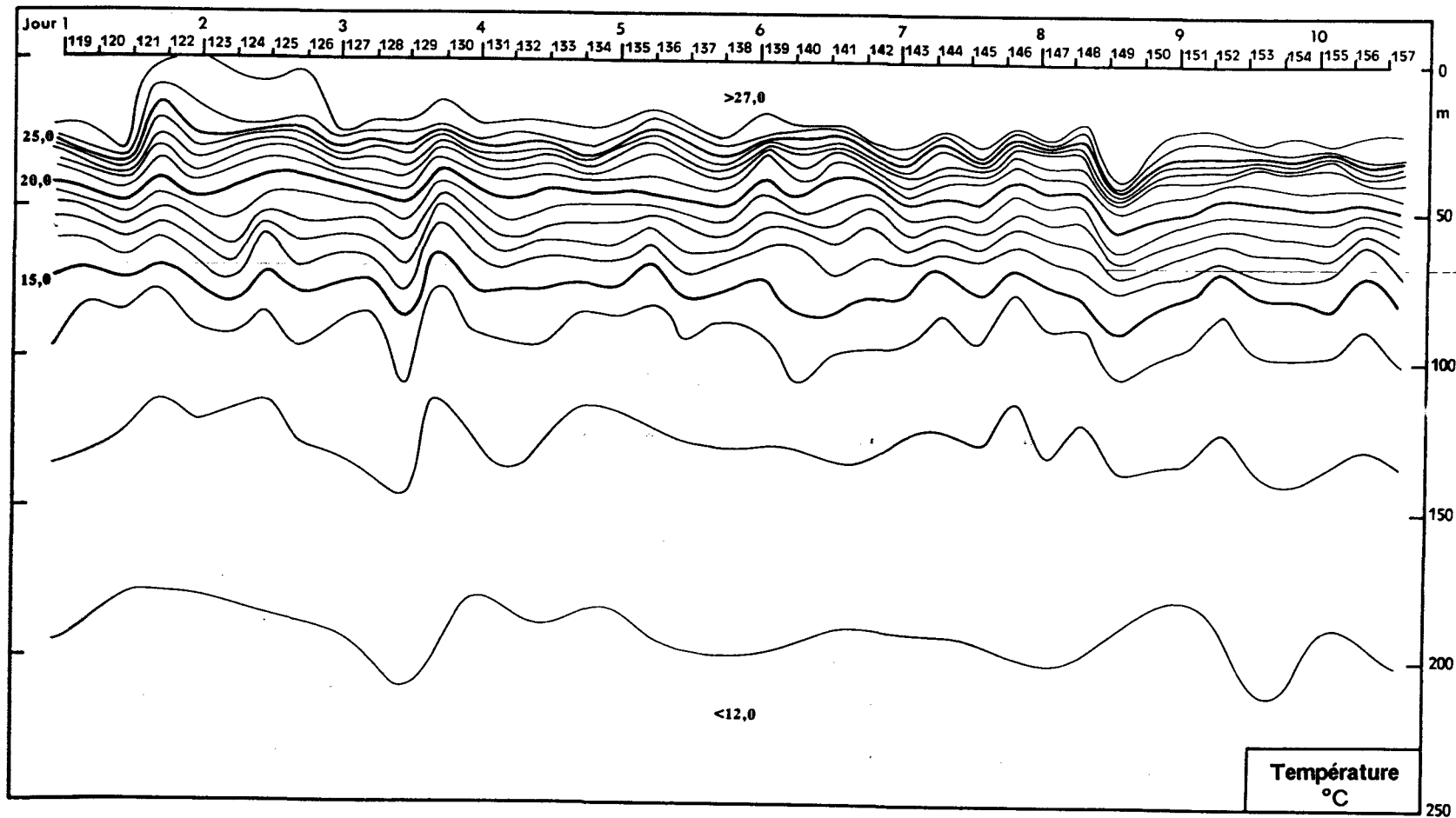
PIRAL Dôme de GUINEE (11°-50N, 22°W) 15-22 Juillet 1986



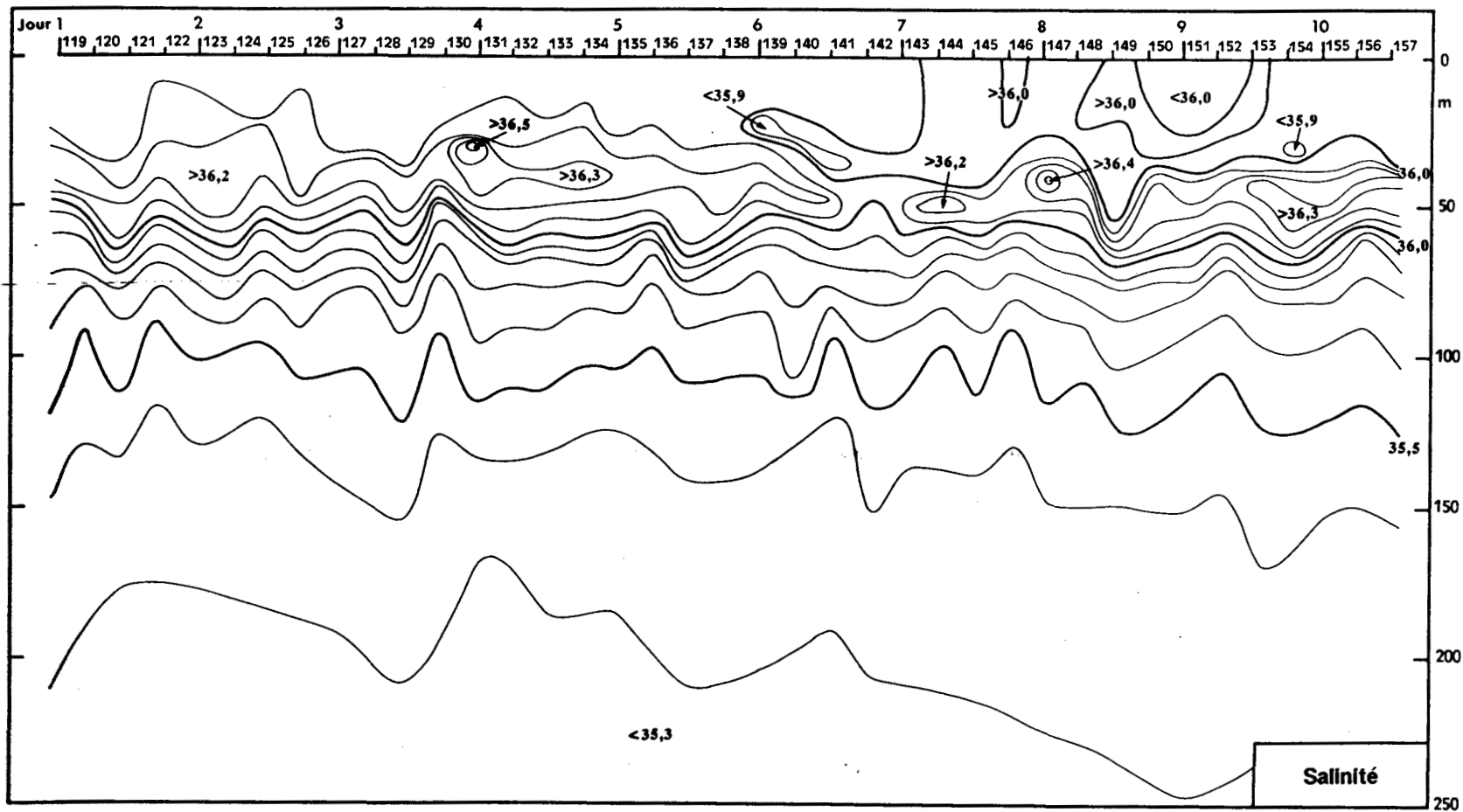
PIRAL Dôme de GUINEE (11°-50N, 22°W) 15-22 Juillet 1986



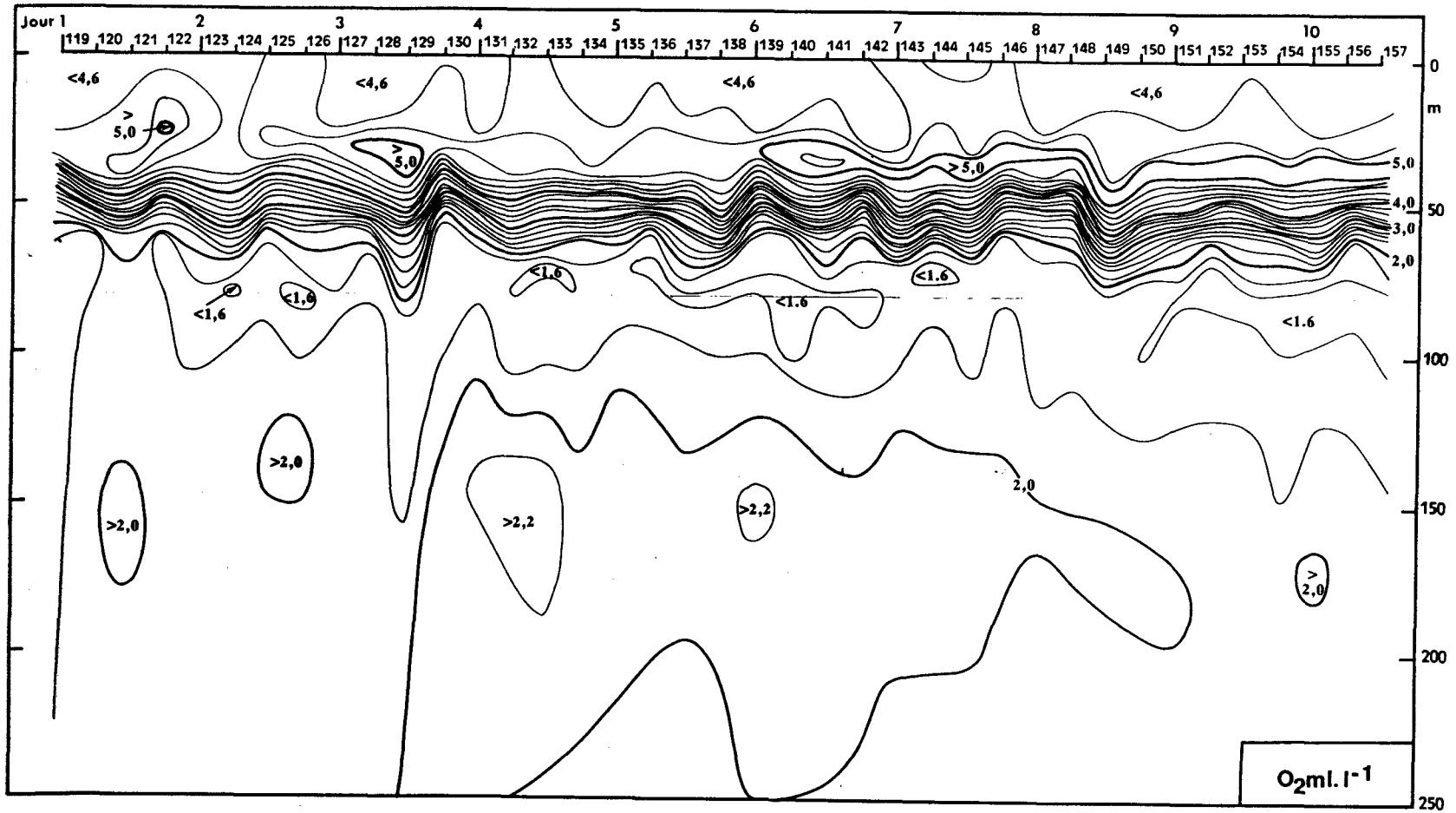
PIRAL Dôme de GUINEE (11°-50N, 22°W) 15-22 Juillet 1986



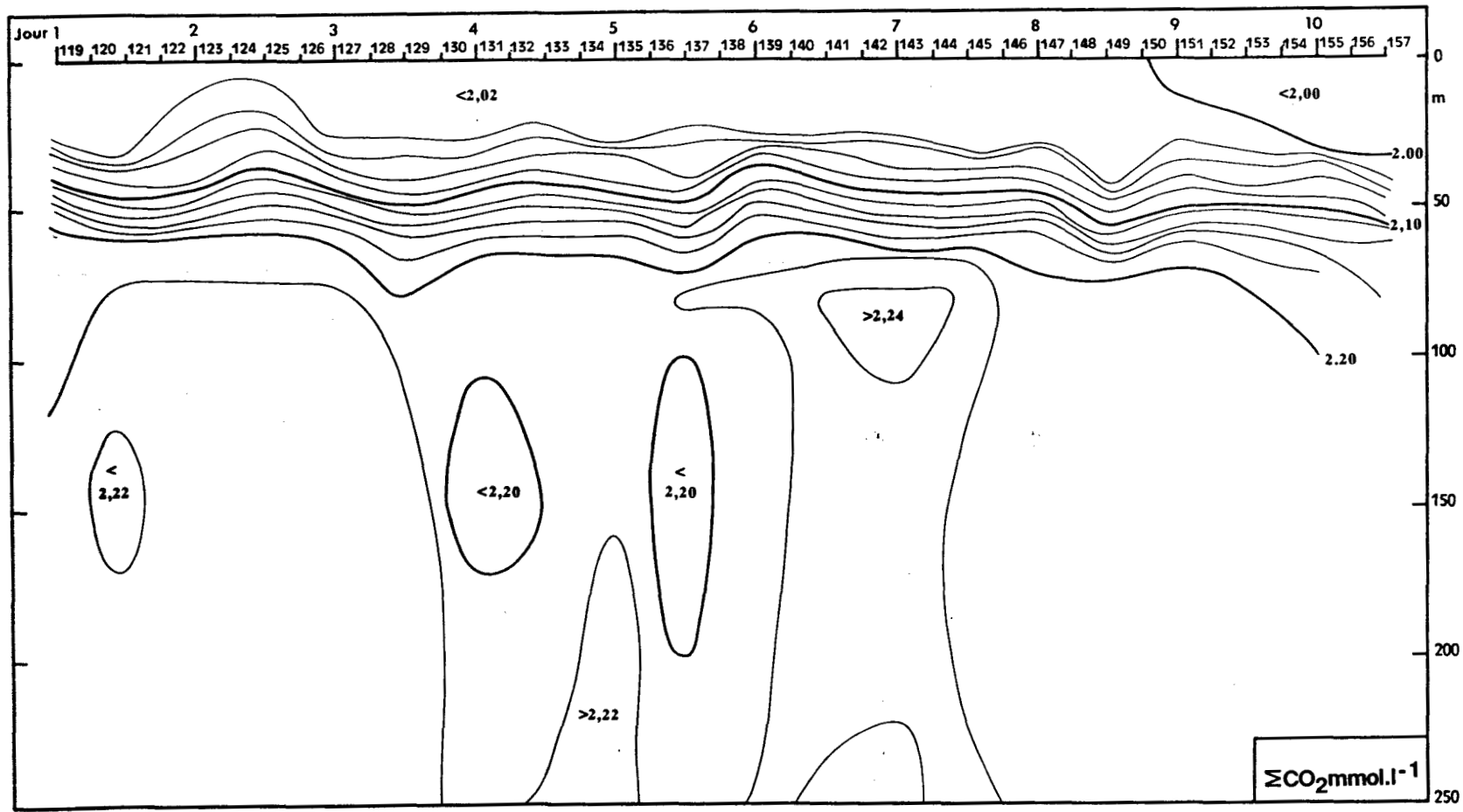
PIRAL Dôme de GUINÉE (12°N, 21°W) 29 Juillet - 7 Aout 1986



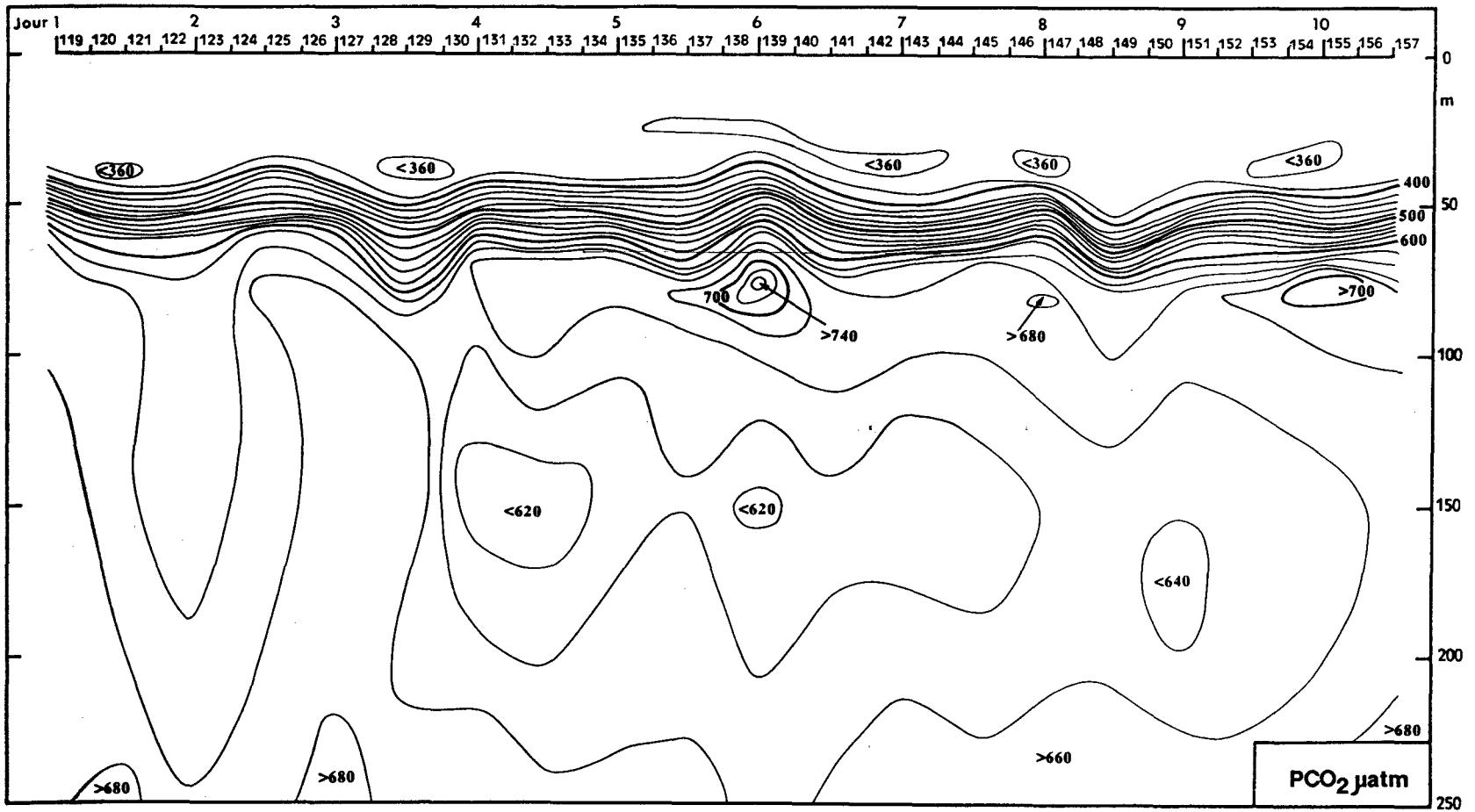
PIRAL Dôme de GUINÉE (12°N, 21°W) 29 Juillet - 7 Aout 1986



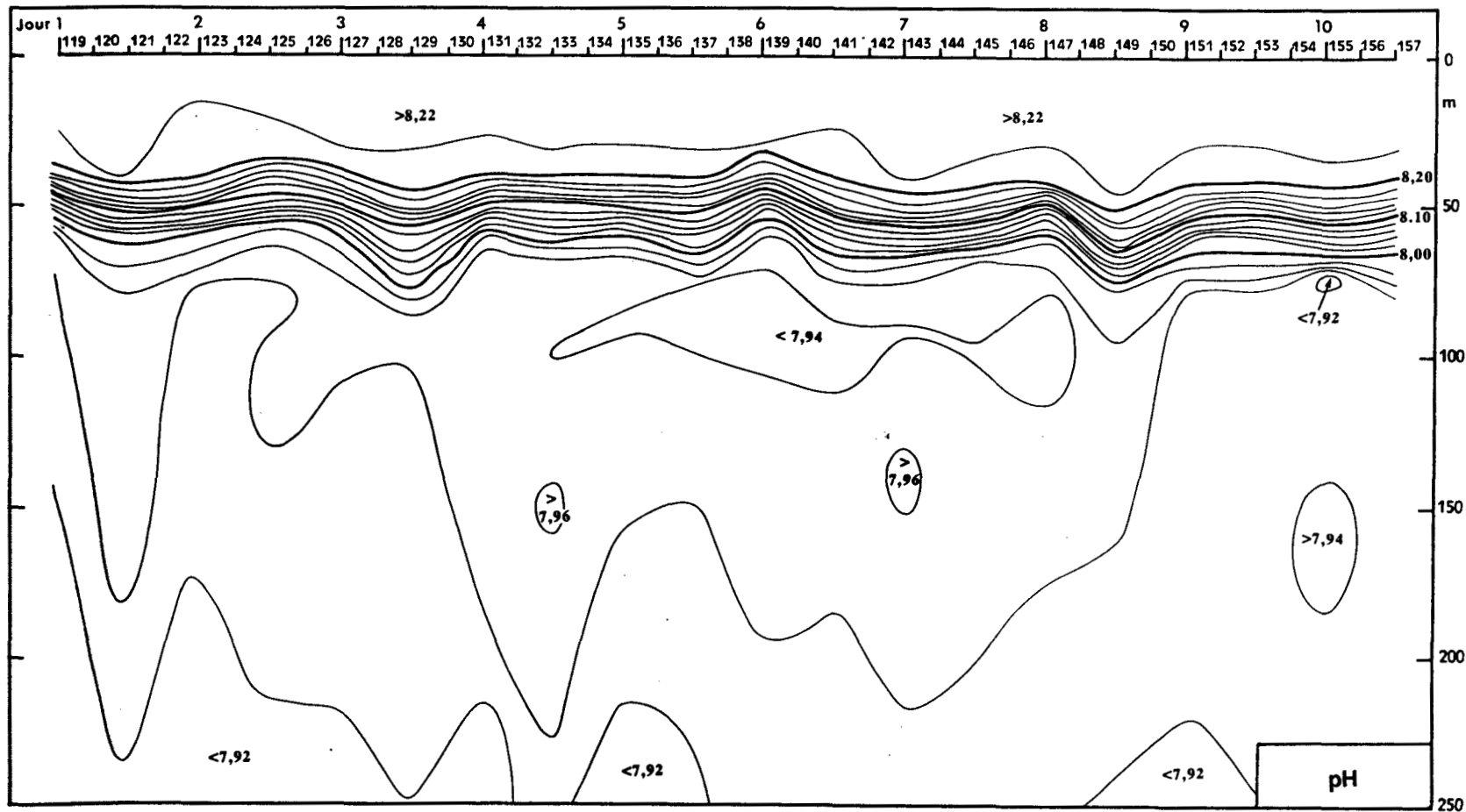
PIRAL Dôme de GUINÉE (12°N, 21°W) 29 Juillet - 7 Aout 1986



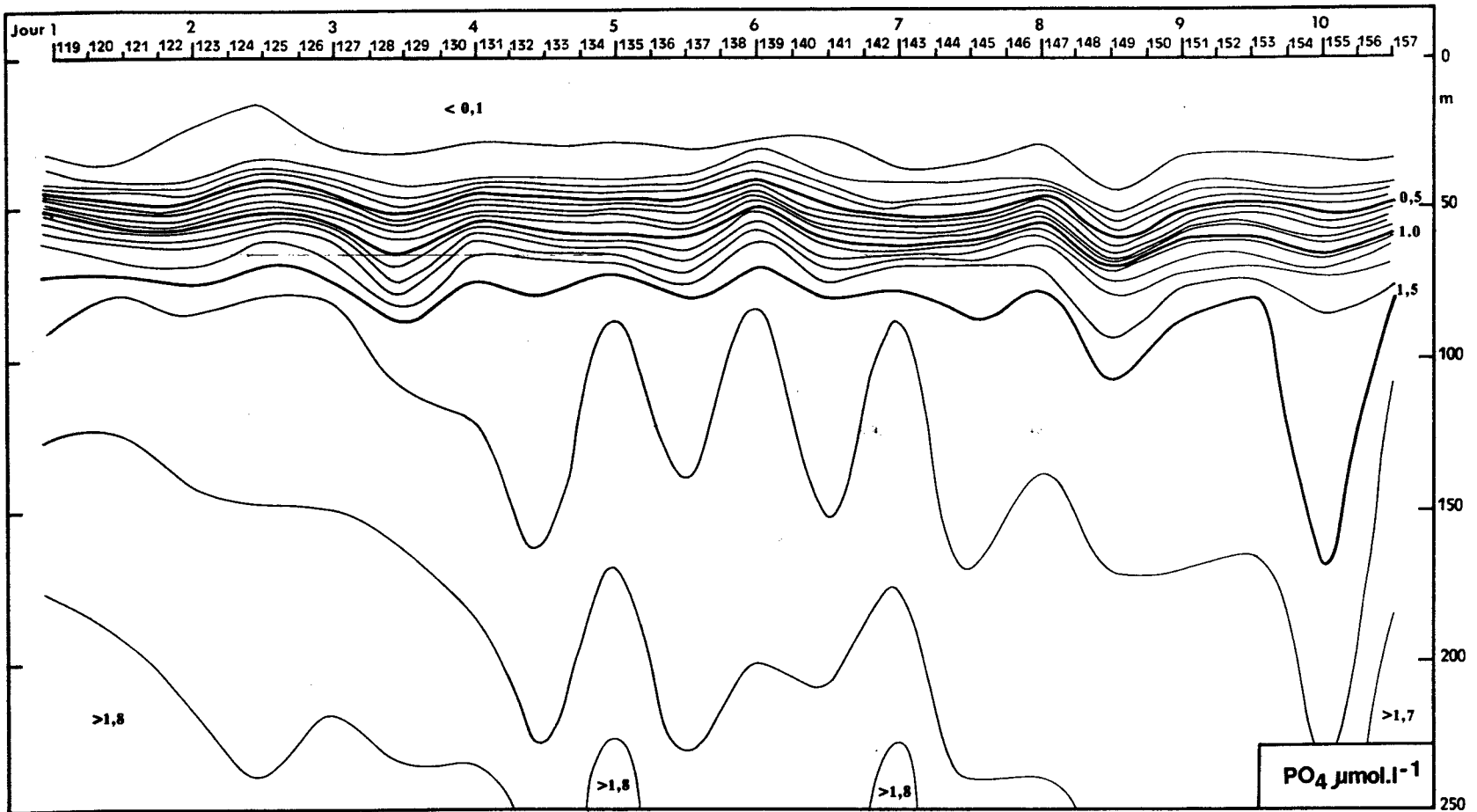
PIRAL Dôme de GUINÉE (12° N, 21° W) 29 Juillet - 7 Aout 1986



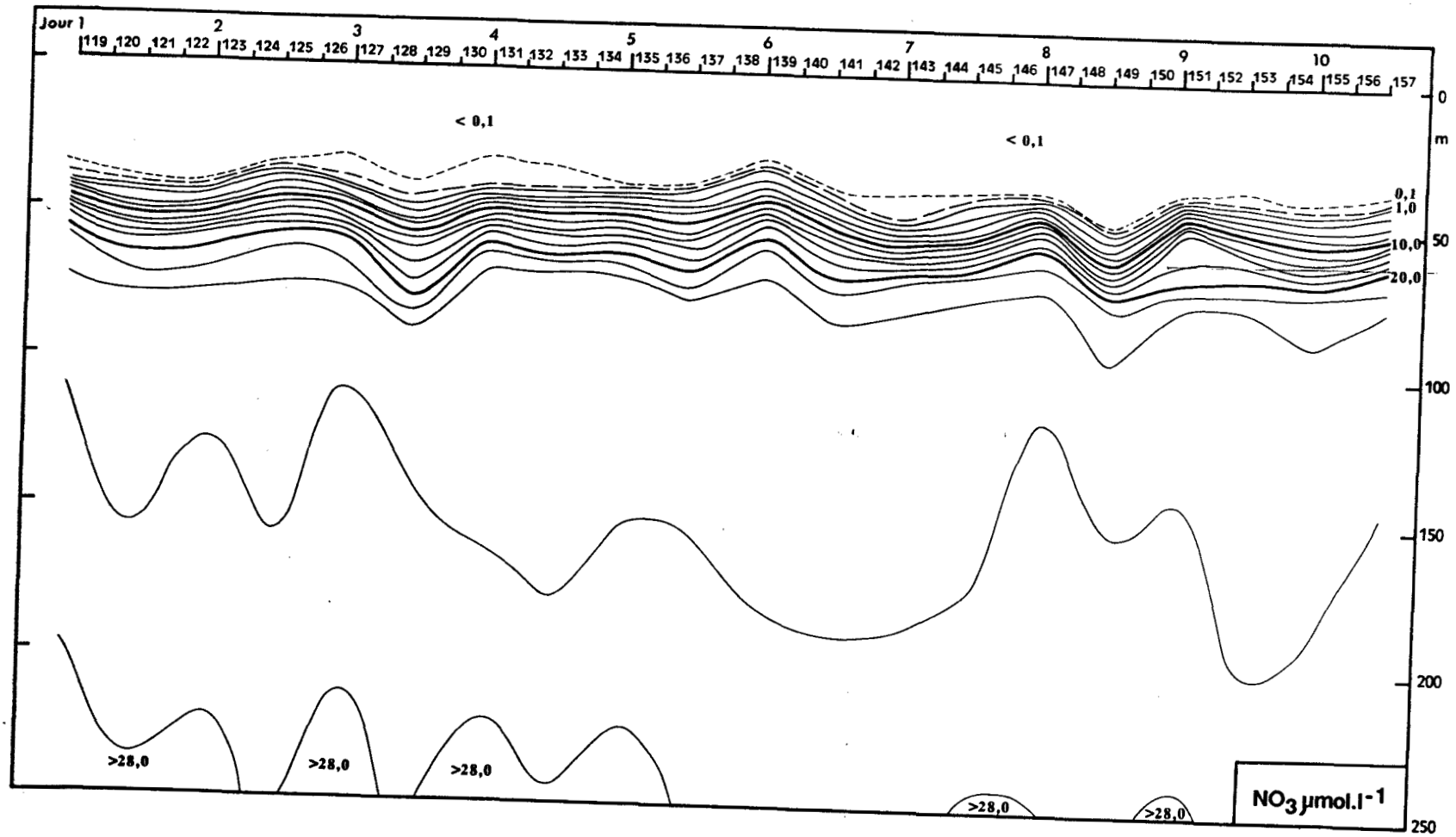
PIRAL Dôme de GUINÉE (12°N, 21°W) 29 Juillet - 7 Aout 1986



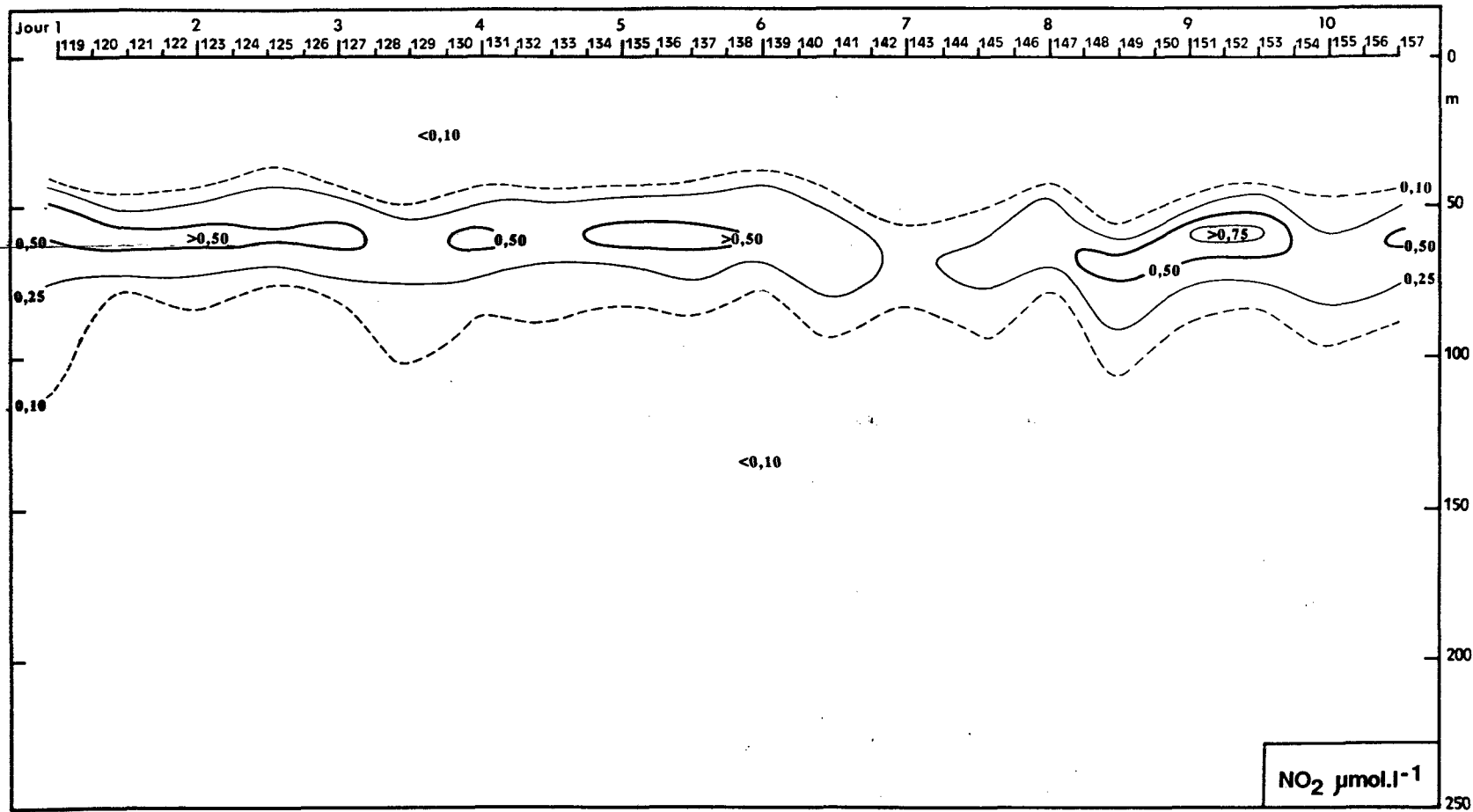
PIRAL Dôme de GUINÉE (12°N, 21°W) 29 Juillet - 7 Aout 1986



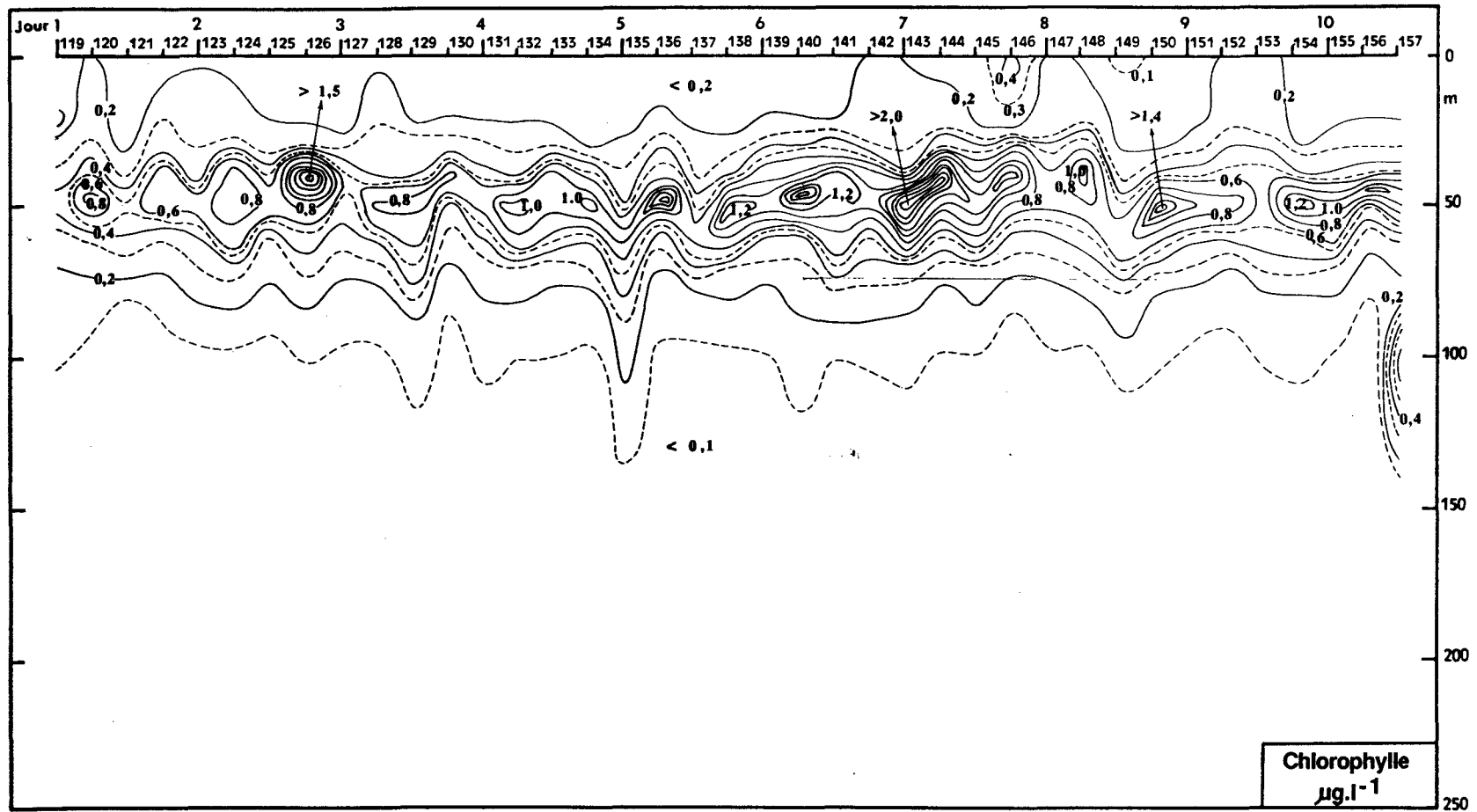
PIRAL Dôme de GUINÉE (12°N, 21°W) 29 Juillet - 7 Aout 1986



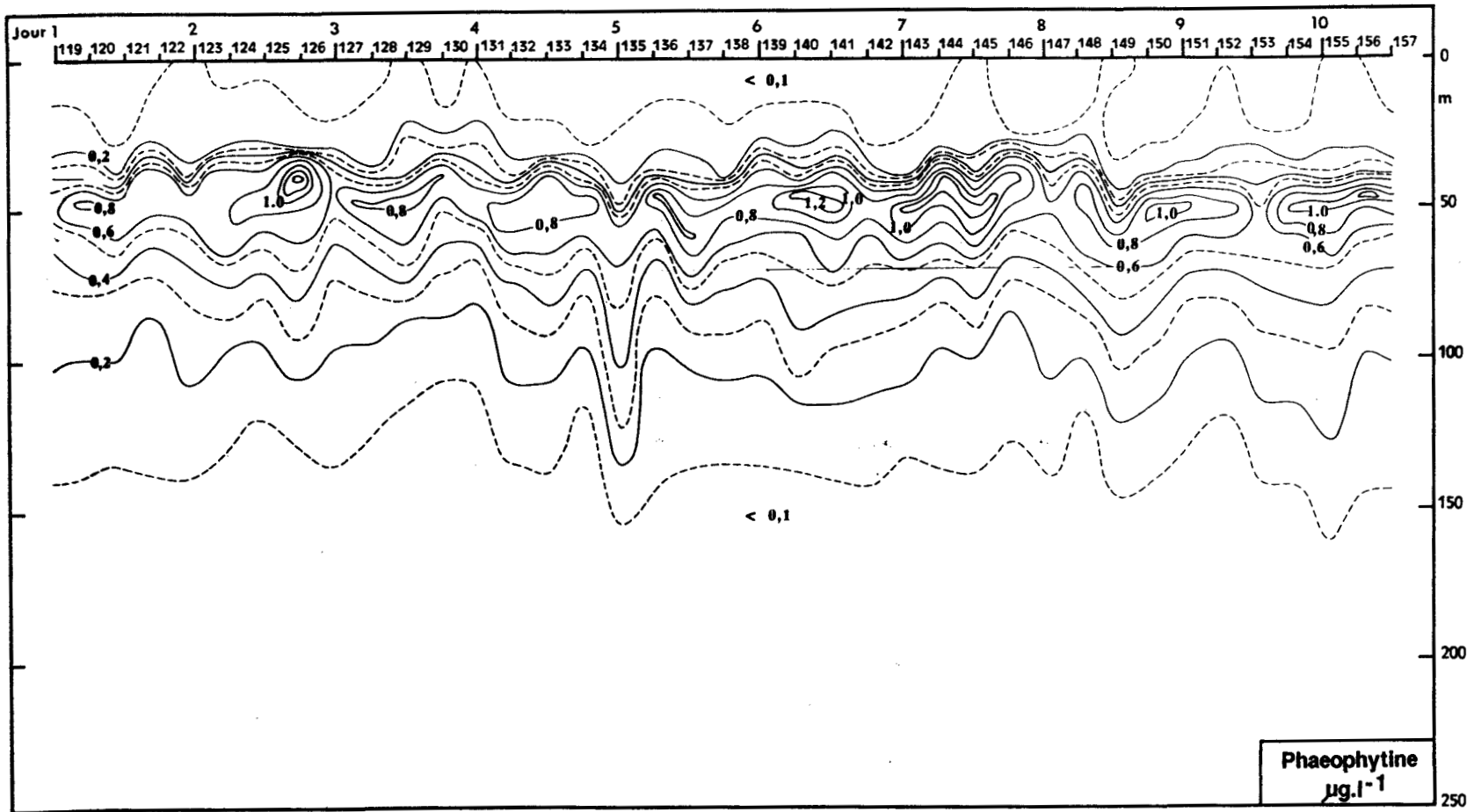
PIRAL Dôme de GUINÉE (12°N, 21°W) 29 Juillet - 7 Aout 1986



PIRAL Dôme de GUINÉE (12°N, 21°W) 29 Juillet - 7 Aout 1986



PIRAL Dôme de GUINÉE (12°N, 21°W) 29 Juillet - 7 Aout 1986



PIRAL Dôme de GUINÉE (12°N, 21°W) 29 Juillet - 7 Aout 1986