



I.S.T.P.M.
Bibliothèque
NANTES

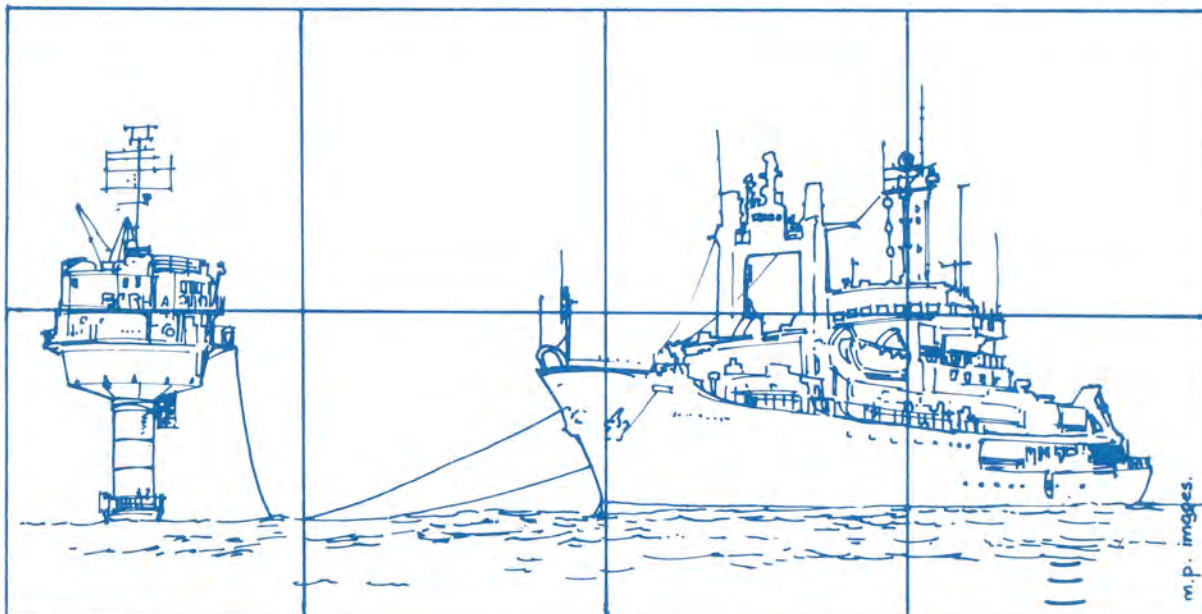
Publications du

CENTRE NATIONAL POUR L'EXPLOITATION DES OCEANS



Résultats des campagnes à la mer

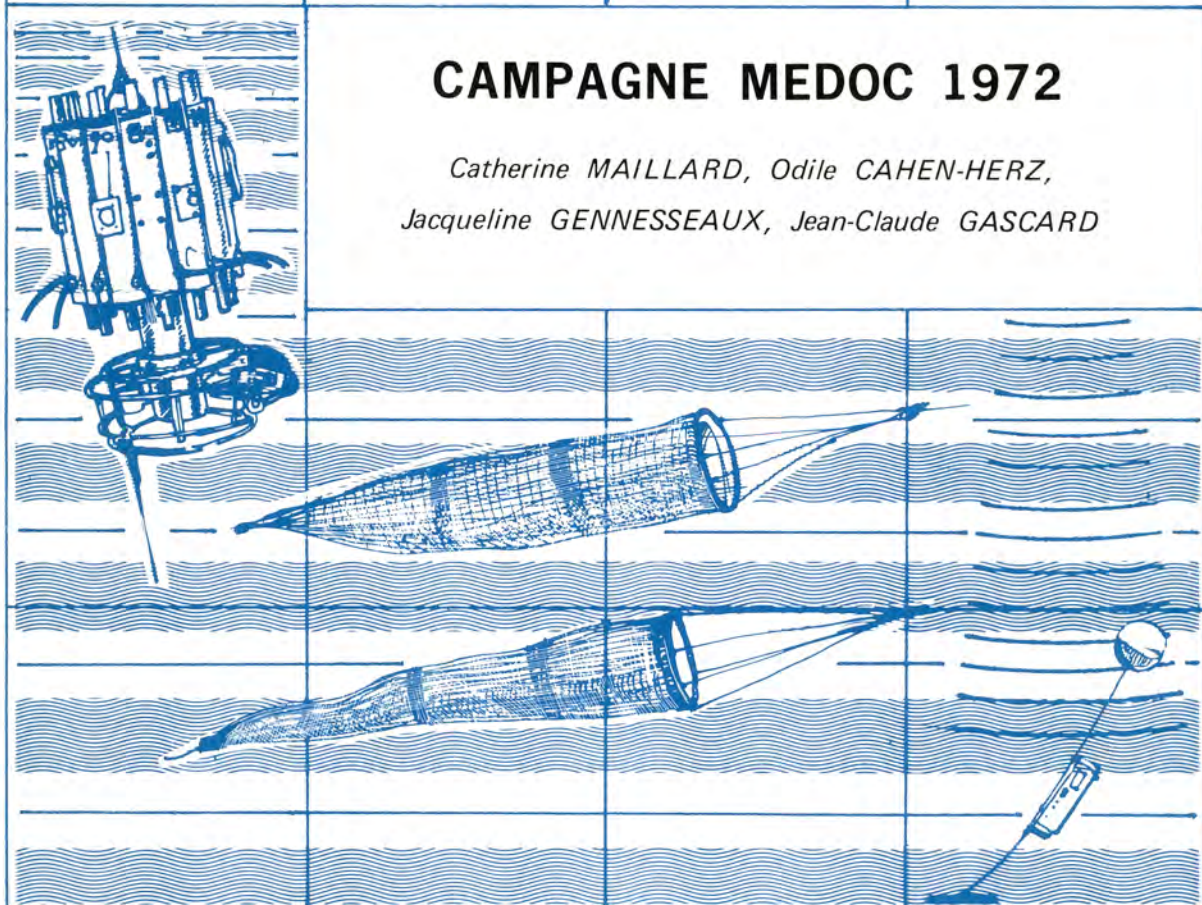
N°12 - 1977



m. p. images.

CAMPAGNE MEDOC 1972

*Catherine MAILLARD, Odile CAHEN-HERZ,
Jacqueline GENNESSEAU, Jean-Claude GASCARD*



- Les Publications Scientifiques et Techniques du Centre National pour l'Exploitation des Océans (CNEXO) comportent les séries suivantes :

The Scientific and Technical Publications of Centre National pour l'Exploitation des Océans (CNEXO) contain the following serials :

- Rapports Scientifiques et Techniques - ISSN 0339-2899. 1971
- Rapports Economiques et Juridiques - ISSN 0339-2910. 1973
- Recueil des Travaux du Centre Océanologique de Bretagne - ISSN 0336-3112. 1972
- Résultats des Campagnes à la Mer - ISSN 0339-2902. 1971
- Actes de Colloques - ISSN 0335-8259. 1971

- Les travaux publiés dans ces séries sont analysés par :

The works published in these serials are analysed by :

- Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts
- Bibliographie Géographique Internationale
- Biological Abstracts
- Bulletin Signalétique du C.N.R.S. - Informascience
- Chemical Abstracts
- Norois - Chronique Océanographique
- Hydrographische Bibliographie
- Oceanic Abstracts
- Oceanographic Abstracts and bibliography - Deep Sea Research
- Pollution Abstracts
- Underwater Information Bulletin
- Zoological Record

- Les demandes d'information et les commandes concernant toutes les publications scientifiques et techniques du CNEXO doivent être adressées à :

The inquiries and orders which concern the whole of CNEXO scientific and technical publications have to be mailed to :

SECTION DOCUMENTATION
CENTRE OcéANOLOGIQUE DE BRETAGNE
B.P. 337
29273 BREST CEDEX

Les publications envoyées en échange doivent être expédiées à cette même adresse.

The publications sent in exchange have to be forwarded to the same address.

PUBLICATIONS DU
CENTRE NATIONAL POUR L'EXPLOITATION DES OCEANS
(C N E X O)



Résultats de Campagne à la Mer n° 12

CONDITIONS HYDROLOGIQUES HIVERNALES
DANS LA ZONE MEDOC (41°-43°N ; 3°30'-6°E)
AU LARGE DU GOLFE DU LION
(FEVRIER - MARS 1972)

par

Catherine MAILLARD, Odile CAHEN-HERZ,
Jacqueline GENNESSEUX
avec un complément par Jean Claude GASCARD

LABORATOIRE D'OCEANOGRAPHIE PHYSIQUE
MUSEUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE
43, rue Cuvier - 75231 Paris Cédex 5

Contrat CNEXO 72/426

ISSN 0339 - 2902

TABLE DES MATIERES

	p.
Abstract	4
INTRODUCTION	5
ETUDE HYDROLOGIQUE	10
I. Reconnaissance hydrologique à grande échelle	10
1°) Caractères superficiels	10
a) température	11
b) salinité	11
c) densité	11
2°) Etude des coupes verticales de θ , S, σ_θ	17
A. Coupes N-S	17
B. Coupes W-E	25
3°) Eau profonde	33
II. Conditions hydrologiques à échelle plus fine	33
1°) Conditions hydrologiques du 21 au 24 février 1972	33
2°) Conditions hydrologiques du 25 au 27 février 1972	36
3°) Conditions hydrologiques du 29 février au 13 mars 1972	43
Evolution locale	46
Valeurs de surface	46
ETUDE DES COURANTS	55
1. Etude des mouvements verticaux et horizontaux au moyen de flotteurs	55
2. Mesures de courants au point fixe	57
BIBLIOGRAPHIE	68
TABLE DES FIGURES	69

ABSTRACT

Since 1963 several winter cruises have been made off the Gulf of Lions in order to study the MEDOC area (41° - 43° N; $3^{\circ}30'$ - 6° E) in the western Mediterranean.

From 1972 to 1975, these studies were intensified with the use of CTD recorders which allow a better resolution in the measurements than the conventional hydro-casts. In addition VCM (Vertical Current-Meters) were used.

Here we present the hydrological results collected during the cruise MEDOC 72. This cruise was divided into two periods:

- from January 13, 1972 to February 6, 1972 a "period of reconnaissance" took place on board the R/V LE NOROIT. There was a general study at a rather large scale (10 to 30 miles) during which the convection areas were localized;
- from February 12, 1972 to March 13, 1972 on board the JEAN CHARCOT a study at a smaller scale (3 to 5 miles) was made for the first time in this area to try to explain the motions of the VCM floats in this region (J.C. GASCARD, 1973).

During the previous cruises, a large cyclonic eddy had been found; in 1972, near its center an area of surface density nearly equal to the density in depth was present, which indicated that deep convection phenomena were taking place. As the distance from the center increases, northward or southward, the surface density gradually decreases and the hydrological structure near the shelf of the Gulf of Lions and symmetrically southward, is the one normally found: relatively fresh and cold water in the surface; deeper, the layer of intermediate water; then the deep water.

The central dense patch was, during the NOROIT cruise, elongated in an EW direction.

Now, during the CHARCOT cruise, about one month later, the system was found to have evolved in a rather complex way. It appeared as if the limits of the former homogeneous water had undergone modifications in such a way that the former dense patch was split in several small cells, only a few miles in diameter, lasting a few days only, and in which vertical convection took place down to about 800 m. The processes which take place in the change of scale of the dense patches are not clear and need further detailed observations.

Current measurements with floats and with moored current-meters were made, and showed interesting features.

=====

INTRODUCTION

Pendant la période février-mars 1972, le Laboratoire d'Océanographie Physique du Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris a effectué la campagne MEDOC 72 au large du Golfe du Lion.

Le Chef de Mission était le Professeur Paul TCHERNIA. L'équipe scientifique se composait de MM. du CHAFFAUT M., CREPON M., DUBOURG J., GAMBERONI L., GASCARD J.C., GERONIMI J., GUIBOUT P., HESLOIN G., JEANNIN P.F., JOLY R., Professeur LACOMBE H., Melle MAILLARD C., MM. MILLOT C., PIHÉRY J.C., Melle ROUAULT C., M. TILLIER P.

D'autres laboratoires ont participé à cette campagne:

- le Centre Océanologique de Bretagne avec MM. ALENOU J.P., CAVANIE A., GOUILLOU J.P., MADELAIN F.;
- la Woods Hole Oceanographic Institution avec les Drs. DORSON D.L. et BROWN N.;
- Banyuls sur Mer avec MM. BAUD M. et PERSON R.

Par ailleurs, nous tenons à remercier pour leur aide dans la recherche des flotteurs, le laboratoire de l'ISTPM à Sète et le Service de la Pyrotechnie de l'Arsenal de Toulon.

La campagne MEDOC 72 comporte deux phases distinctes. La première, effectuée à bord du N/O LE NOROIT du 13 janvier au 6 février, est la "période de reconnaissance": elle a permis l'étude des conditions générales sur une grande échelle et la localisation des zones de convection. Grâce aux observations recueillies au cours de la deuxième, effectuée à bord du N/O JEAN CHARCOT du 21 février au 13 mars, une étude plus fine des phénomènes convectifs a pu être entreprise.

La répartition des stations hydrologiques pendant ces deux périodes est donnée sur les figures 1 et 2.

L'étude à grande échelle consiste en un réseau de stations hydrologiques de 10 à 30 milles de pas; ce pas est de 3 à 5 milles pour la petite échelle.

Sur la verticale, l'utilisation de la bathysonde Bissett-Bermann a amélioré la résolution habituellement obtenue par l'hydrologie classique. Après lissage des profils fondés sur un point de mesures tous les mètres, nous avons conservé un point tous les 10 mètres: c'est donc le pas vertical du réseau, aux stations. Sur les trajets, des mesures de température en continu ont été effectuées en surface.

L'étude détaillée des mouvements verticaux au moyen des flotteurs autonomes VCM était l'un des objectifs de cette campagne (voir GASCARD, 1973).

Nous rappellerons tout d'abord, brièvement, nos connaissances hydrologiques sur cette région, en hiver.

Dans la zone MEDOC, au large du Golfe du Lion, existe un tourbillon cyclonique entraînant l'eau de surface. C'est sur les branches Nord et Ouest de ce tourbillon, le long du talus continental, que les vitesses géostrophiques sont maximales. Dans la zone centrale du circuit cyclonique, l'eau devient très homogène sur la verticale et des mouvements convectifs inverses peuvent s'y produire. Au Sud de la zone centrale, il existe un fort gradient horizontal de densité, qui révèle une circulation d'Ouest en Est des eaux de surface et de l'eau intermédiaire. Cette circulation constitue la branche Sud du circuit cyclonique. La présence de méandres indique que cette circulation est très tourmentée.

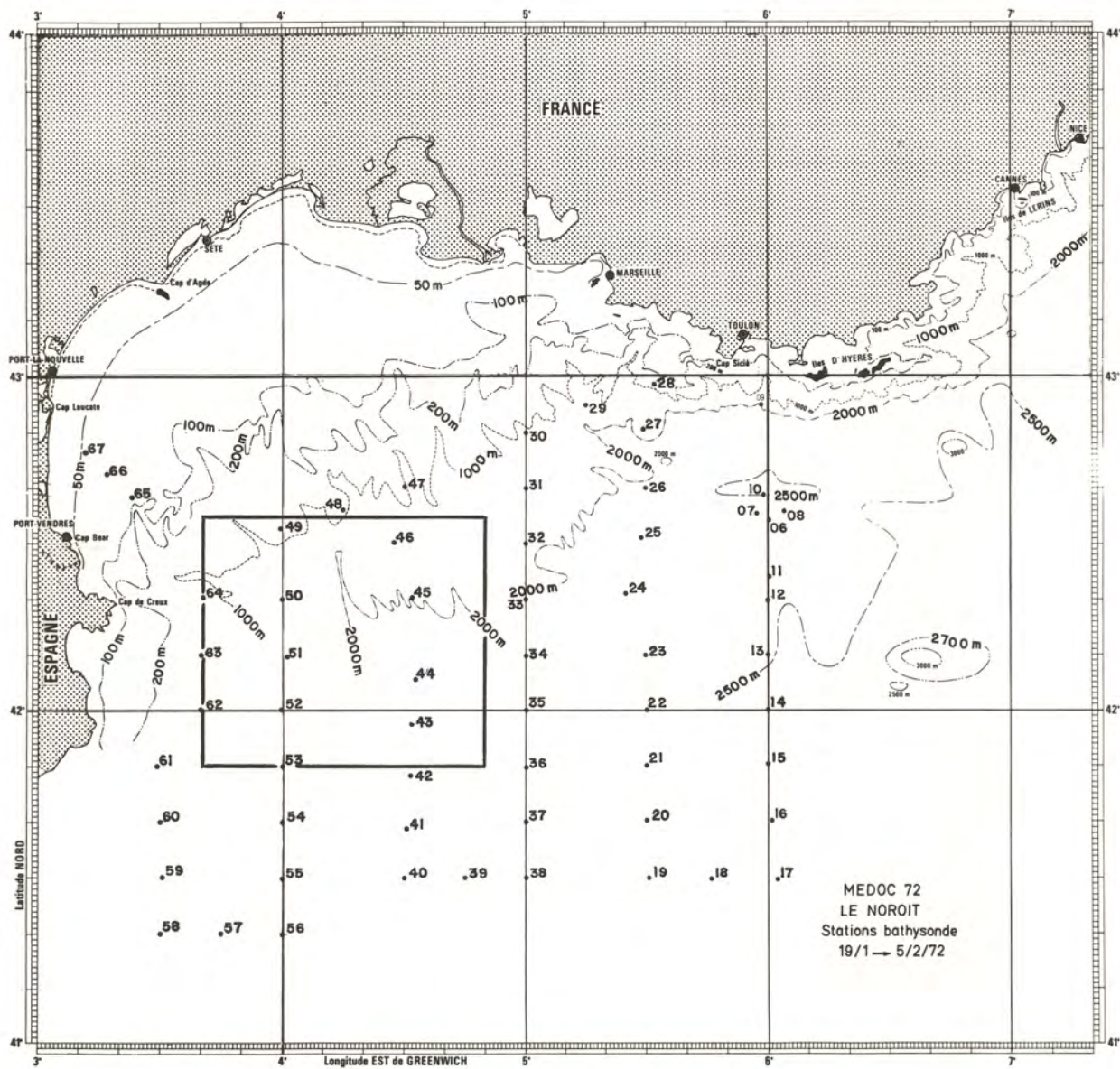
Au-dessous de l'eau de surface se trouve, vers 200-500 m d'immersion, une eau relativement chaude et salée nettement marquée par l'influence de l'eau intermédiaire d'origine orientale.

Au-dessous, l'eau profonde, très homogène, a un σ_θ voisin de 29,10.

Rappelons enfin que des eaux froides et peu salées se forment sur le plateau continental par fonds faibles. Ces eaux s'écoulent, en particulier, par les canyons sous-marins (FIEUX, 1971; PERSON, 1972) mais elles ne semblent pas avoir d'influence importante sur la formation des eaux profondes.

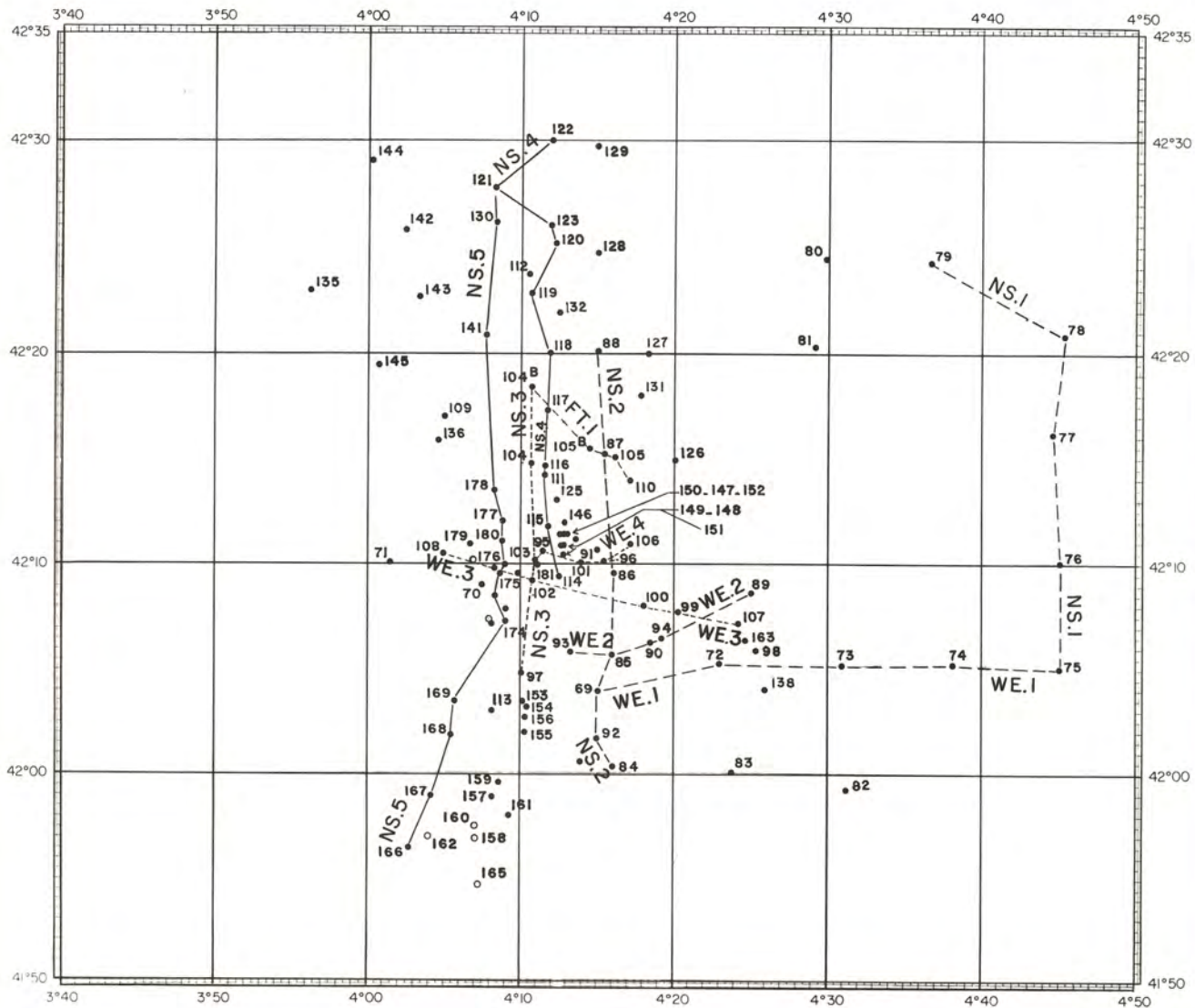
En hiver, ces caractères hydrologiques subissent l'influence des facteurs météorologiques. Afin de préciser cette influence, des relevés de vent ont été faits sur les deux navires pendant toute la campagne.

Dans ce travail, nous avons tenu compte également des vents mesurés à la Station Météorologique de Pomègues (Marseille): ils étaient en meilleure corrélation avec les mesures du JEAN



(Le carré indique la situation de la figure 2)

FIGURE 1



MEDOC 72 JEAN CHARCOT

29 Février → 13 Mars 1972

--- du 21 → 27 Février 1972

stations hydrologiques

- Bathysonde Bissett-Bermann
- Bathysonde Brown

FIGURE 2

MEDOC 1972 JEAN CHARCOT

VITESSE DU VENT

de Janvier à Mars 1972

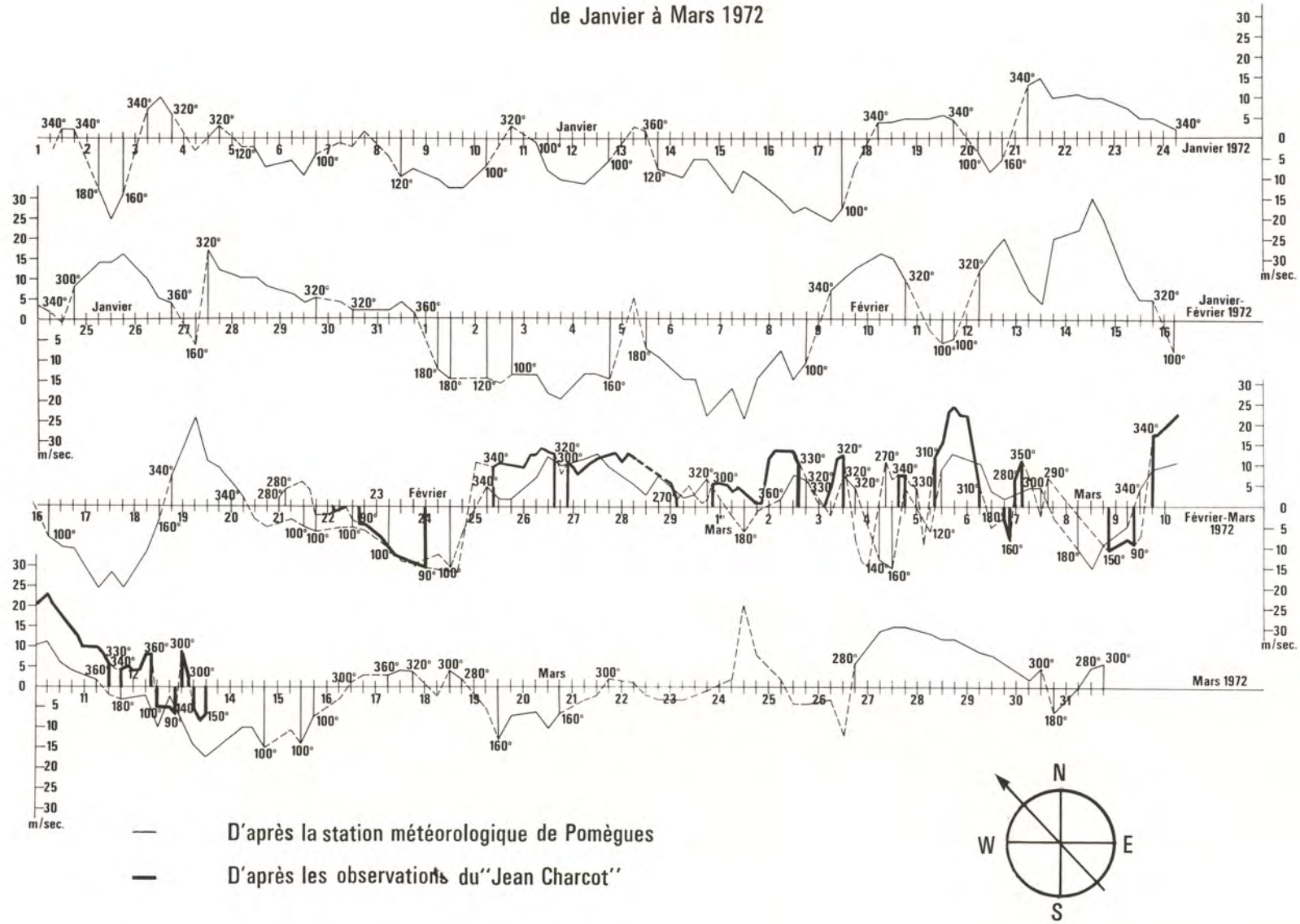


FIGURE 3

CHARCOT que ceux relevés en toute autre station littorale voisine. On peut constater, sur la figure 3, que l'accord est bon pour des vents bien établis mais que les vents du large sont plus forts de 5 à 10 m/sec.

Pendant la campagne MEDOC 72 (du 13 janvier au 13 mars), il y a eu au total 23 jours 1/2 de régime de SE et 34 jours 1/2 de régime de NW. La direction dominante des vents est donc: NW ou SE.

=====

ETUDE HYDROLOGIQUE

Dans une première partie, nous étudierons les conditions hydrologiques à grande échelle, à partir des observations du N/O LE NOROIT.

Dans une deuxième partie, à l'aide des observations du N/O JEAN CHARCOT, nous étudierons les variations locales de ces conditions hydrologiques sur des périodes de quelques jours.

I. RECONNAISSANCE HYDROLOGIQUE A GRANDE ECHELLE

Du 27 janvier au 5 février 1972, 67 stations hydrologiques de reconnaissance ont été effectuées ainsi que des enregistrements de température de surface (fig. 1).

Ces 67 stations se répartissent sur 6 coupes NS et 5 coupes EW. Sur les coupes NS, la distance entre les stations est d'environ 10 milles; sur les coupes WE, elle est d'environ 20 milles. Notons aussi que la plupart d'entre elles n'ont été poussées que jusqu'à 350 dbars, profondeur suffisante pour détecter les aires d'eau homogène.

La structure hydrologique verticale généralement rencontrée dans la région est la suivante:

- eau de surface;
- eau de sub-surface, caractérisée par un ou plusieurs minimums de température;
- eau chaude et salée marquée par l'influence de l'eau intermédiaire d'origine orientale;
- eau profonde.

Nous allons examiner chacune de ces masses d'eau en nous servant plus particulièrement (pour l'étude de la couche des minimums thermiques et celle des maximums de salinité et de température) des coupes verticales de θ , S et σ_0 sur lesquelles cette structure apparaît nettement.

1°) Caractères superficiels

a) Température

La carte des températures de surface (fig. 4) a été tracée à partir des enregistrements

continus et des valeurs relevées aux stations hydrologiques. Elle met en évidence d'intéressantes répartitions. Elle nous permet de distinguer:

- au centre, vers $42^{\circ}10'N$ et $5^{\circ}E$, un noyau de forme allongée dans le sens Est-Ouest, de température relativement élevée, $\theta > 12,90^{\circ}C$;
- au Nord et au Sud de ce noyau central, deux larges bandes d'eau froide dont les températures peuvent descendre localement jusqu'à $12,50^{\circ}C$;
- au Nord et au Sud de ces bandes, un demi-anneau d'eau chaude ($12,90 < \theta < 13,30^{\circ}C$), parfois coupé (au Sud-Ouest et au Sud) par des eaux plus froides.

Il s'agit là des eaux du circuit cyclonique évoqué dans l'introduction, qui longe le talus au Nord et qui présente, au Sud, des méandres de grande amplitude.

- enfin, à l'Ouest, entre le courant chaud et la côte, des eaux côtières très froides ($11^{\circ} < \theta < 12,50^{\circ}C$). Ces eaux côtières existent aussi sur la partie Nord du plateau continental du Golfe du Lion (FIEUX, 1972) mais aucune mesure n'y a été faite durant cette campagne.

La figure 5, représentant la *quantité de chaleur* contenue dans les 100 m superficiels, fournit des renseignements analogues mais lissés.

b) Salinité

Sur la carte des *salinités de surface* de la figure 6, on constate:

- qu'il existe deux noyaux d'eau relativement salée ($S > 38,40$ o/oo): l'un, vers $42^{\circ}10'N - 5^{\circ}E$, coïncide avec le noyau central mis en évidence par les températures; l'autre, de petite dimension, vers $41^{\circ}30'N - 4^{\circ}E$, se trouve au bord du courant chaud méridional.

Cette combinaison des hautes températures et des salinités élevées en surface, est indicative des mouvements de convection ayant atteint la couche d'eau intermédiaire.

- que les eaux du circuit cyclonique ont des salinités comprises entre 38,00 o/oo et 38,10 o/oo;
- que les salinités des eaux côtières sont inférieures à 38 o/oo, ces faibles valeurs étant probablement dues aux apports fluviaux importants en hiver.

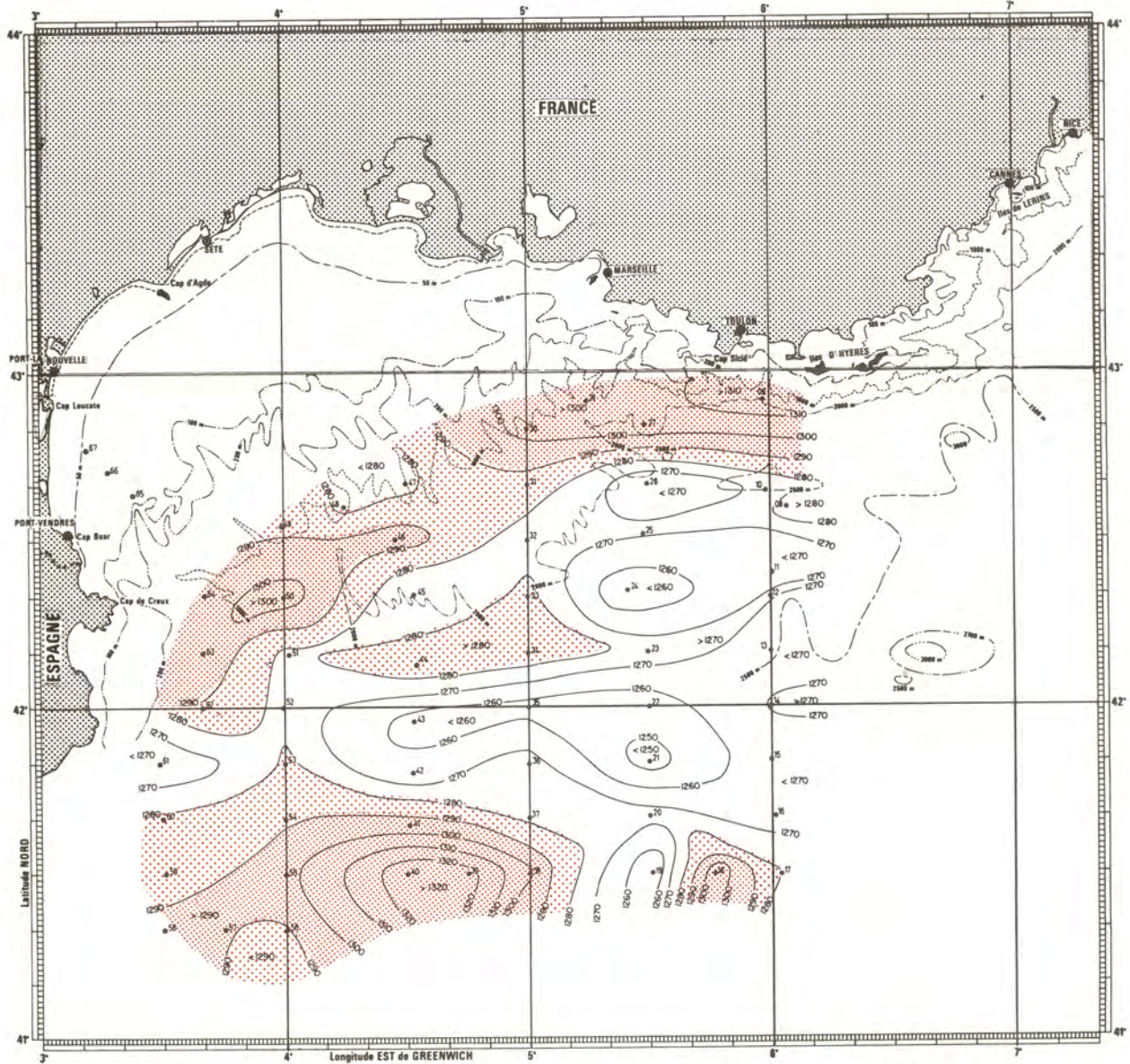
On notera également l'analogie existant entre la carte des salinités de surface et la figure 7 qui représente la *quantité de sel* contenue dans les 100 m superficiels.

c) Densité

La répartition des densités (fig. 8) est très proche de la répartition des salinités. On retrouve, au centre, le noyau allongé d'Est en Ouest avec des σ_{θ} supérieurs à 29,05 autour du maximum des stations 33 et 34.

Les eaux du circuit cyclonique sont caractérisées par un σ_{θ} compris entre 28,70 et 28,90 et les eaux du plateau continental par un σ_{θ} inférieur à 28,75.

MEDOC 72 (Noroît)
du 27/1 au 5/2



Quantité de chaleur/m² sur les 100 premiers décibars en kilocalories

FIGURE 5

MÉDOC 72 (Noroît) du 27/1 au 5/2
d'après les seules stations

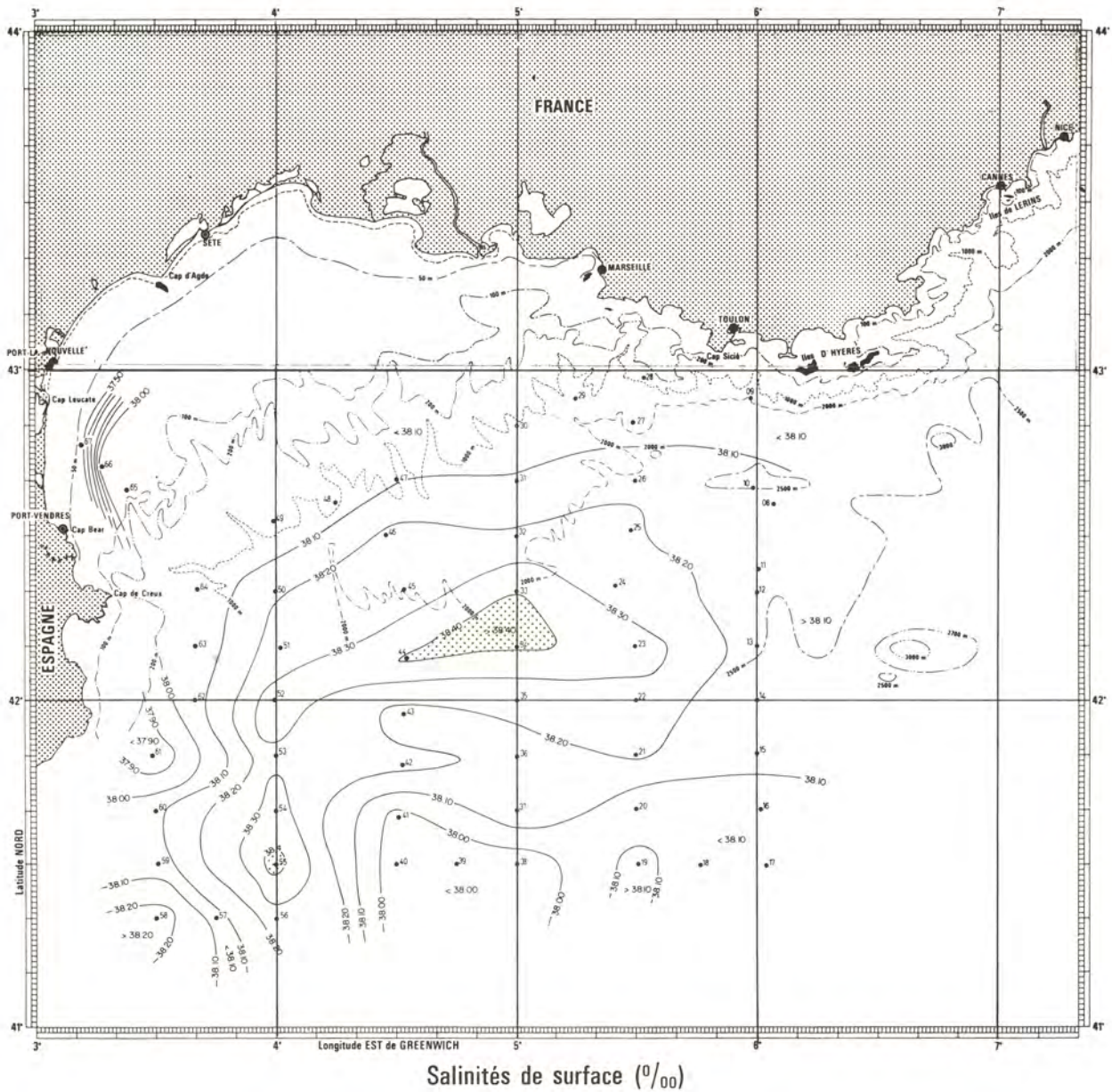
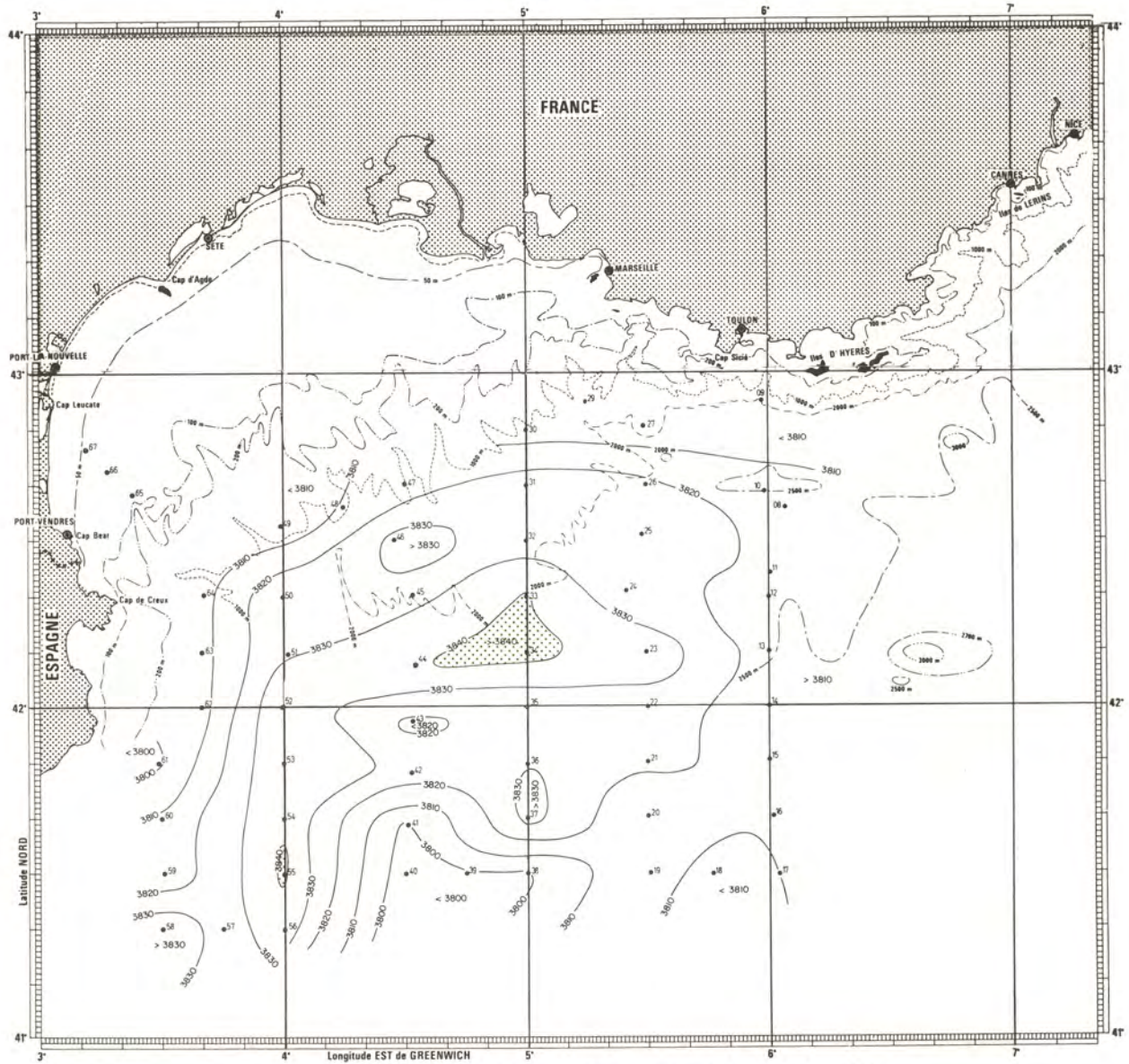


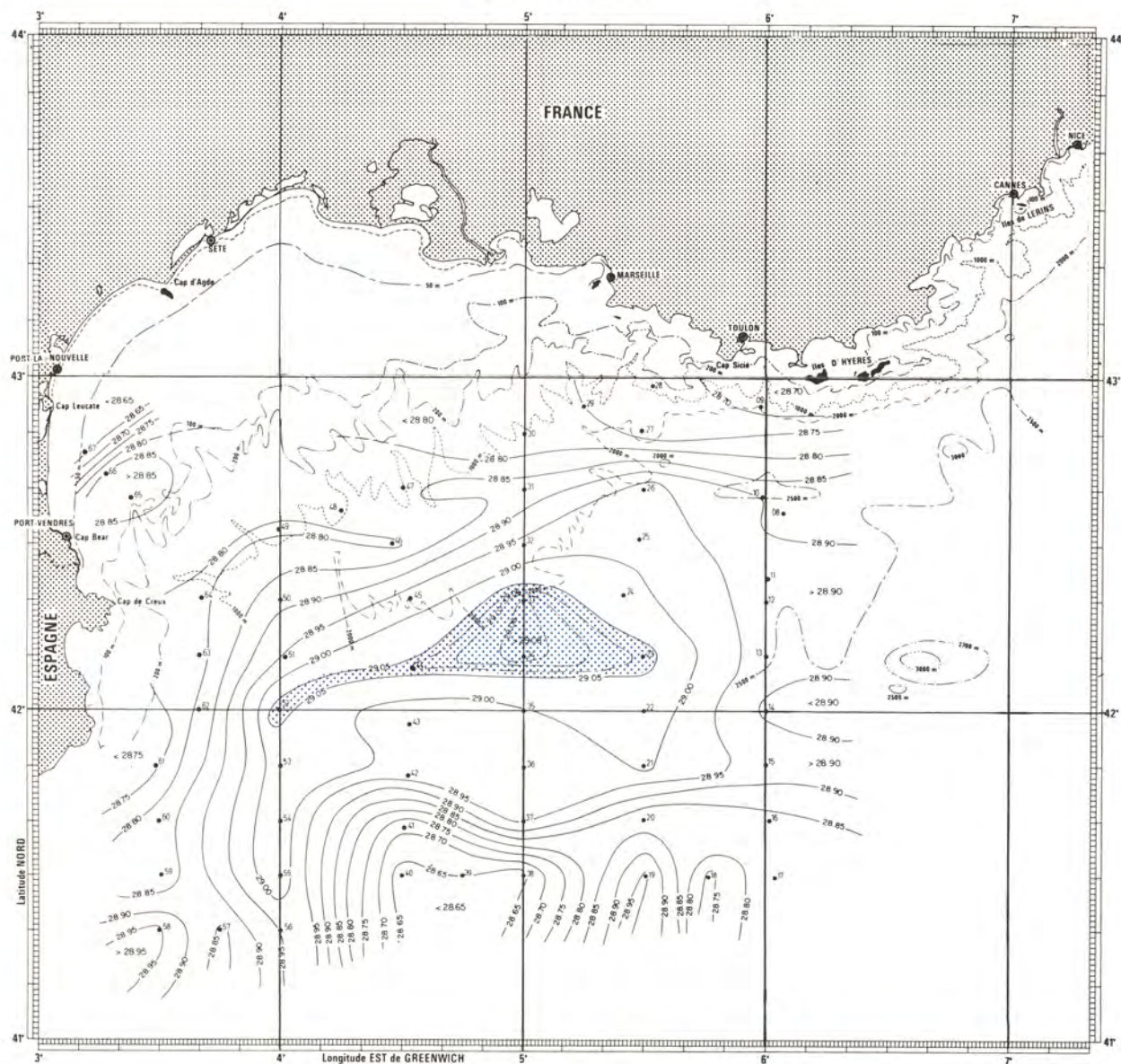
FIGURE 6

MÉDOC 72 (Noroît)
du 27/1 au 5/2



Quantité de sel (Kgs) par m² de surface sur les 100 premiers décibars

MÉDOC 72 (Noroît)
du 27/1 au 5/2



σ_t de surface

FIGURE 8

2°) Etude des coupes verticales de θ , S, σ_θ .

La figure 9 représente le diagramme θ/S général des différentes masses d'eau. Sur ce diagramme figurent:

- les *valeurs trouvées en surface*. On y distingue nettement:

. les eaux du circuit cyclonique, relativement chaudes et moyennement salées, qui semblent acquérir une densité croissante depuis la branche Sud du circuit vers la branche Nord puis Ouest (en haut à gauche de la figure);

. les eaux côtières froides et peu salées de la marge continentale (en bas à gauche);

. les eaux de la "tache centrale dense" (st. 33, 34, 44, 52, 53), plus chaudes et plus salées parce qu'elles contiennent -du fait des mouvements de convection déjà amorcés- une certaine proportion d'eau intermédiaire;

. les eaux présentes au Nord et au Sud de cette tache centrale.

- les *minimums thermiques sub-superficiels* rencontrés sous l'eau de surface, de part et d'autre du noyau central et à la verticale des eaux du circuit cyclonique;

- la ligne moyenne joignant *l'eau intermédiaire* et *l'eau profonde*.

Nous retrouverons ces différentes masses d'eau au cours du commentaire des diverses coupes.

A- Coupes N-S.

- Sur la coupe N-S-1 (6°E; fig. 10) -la plus orientale des coupes effectuées pendant cette période- apparaissent la forme en dôme des isopycnes et le courant superficiel cyclonique, dont le centre est situé vers 42°N.

Le courant superficiel n'est fort qu'au Nord de la station 10 (voir coupe de σ_θ). La majeure partie de la coupe est occupée par des eaux froides et peu salées ($\theta < 12,70^\circ\text{C}$; $S < 38,20$ o/oo) homogénéisées sur 100 à 200 m seulement, bien au-dessus de la nappe d'eau intermédiaire et correspondant aux deux bandes superficielles froides évoquées en l'a) ci-dessus.

Le seul minimum thermique relevé ($\sigma_\theta = 28,86$) se trouve à 240 m à la station 9, sous l'eau de la branche Nord du circuit cyclonique.

La coupe ne s'étend pas suffisamment au Sud pour atteindre la branche Sud du circuit cyclonique, en sorte que les maximums de salinité et de température sont nettement plus marqués sur la moitié Nord de la coupe avec $\theta \geq 13,40^\circ\text{C}$ et $S \geq 38,50$ o/oo.

- Sur la coupe N-S-2 (5°30'E; fig. 11) -comme sur la coupe précédente- le circuit cyclonique n'apparaît que près de la station 27, la plus au Nord. Mais on remarque ici que, de part et d'autre du noyau central dense qui apparaît à la station 23, les températures sont particulièrement basses puisque voisines de $12,50^\circ\text{C}$. Ces basses températures, associées à des salinités

supérieures de 0,1 o/oo à celles de la section N-S-1, confèrent aux eaux de la couche superficielle des densités notablement plus élevées (de 28,95 à 29,05).

A la station 23, température, salinité et σ_θ ont, en surface, une valeur relative maximale, ce qui indique le début de mouvements convectifs auxquels participe le haut de la couche d'eau intermédiaire dont le dôme est beaucoup moins accusé que sur la coupe N-S-1.

Le minimum thermique rencontré à 210 m à la st. 27 ($\sigma_\theta = 28,90$) dénote aussi un écoulement d'eau froide en "shelf virtuel" du Sud vers le Nord.

Les maximums de température et de salinité de la couche d'eau intermédiaire sont plus nets dans la moitié Nord de la coupe, où l'on relève, vers 200 dbars, des températures supérieures à 13,20°C et des salinités supérieures à 38,50 o/oo.

- Ce qui est remarquable sur la coupe N-S-3 (5°E; fig. 12) c'est l'échancrement au niveau des st. 33 et 34 de la couche d'eau intermédiaire présente vers 200 dbars aux st. voisines 31 et 32 au Nord ($\theta > 13,30^\circ\text{C}$; $S > 38,50$ o/oo) et 35, 36, 37 au Sud ($\theta > 13,20^\circ\text{C}$; $S > 38,50$ o/oo).

En 33 et 34, elle fait place jusqu'aux environs de 300 dbars à une colonne d'eau homogène, dont les caractéristiques: $12,80 < \theta < 12,90^\circ\text{C}$; $38,40 < S < 38,43$ o/oo; $29,08 < \sigma_\theta < 29,09$ indiquent nettement un mélange de l'eau de surface froide, de part et d'autre de la tache dense, avec l'eau sous-jacente. Il y a donc là d'importants mouvements convectifs ayant crevé la couche initiale d'eau intermédiaire. Au Nord et au Sud, les minimums thermiques relevés entre 100 et 200 m environ de profondeur traduisent l'effet d'un "shelf virtuel" et l'on retrouve, sous l'eau superficielle des bandes froides de part et d'autre du noyau dense et, sous celle du circuit cyclonique (dont la branche Nord apparaît à la station 30 et la branche Sud à la station 38), l'eau présente en surface aux st. 32, 31 et 34, 35.

- Des phénomènes identiques apparaissent sur la coupe N-S-4 (4°30'E; fig. 13) mais ils s'y dessinent avec moins de netteté et la structure semble plus complexe. On retrouve notamment des signes de convection profonde à la station 44 et la présence au Sud et surtout au Nord de minimums thermiques traduisant l'effet d'un "shelf virtuel".

Nous remarquons également que la branche Sud du circuit cyclonique est franchement décalée vers le Nord. Ceci peut être dû à la présence d'un méandre dans la circulation cyclonique Sud mais aussi à l'action des vents de SE qui, le 3 février 1972, soufflaient à plus de 15 m/sec.

- Sur la coupe N-S-5 (4°E; fig. 14), c'est au niveau des st. 52 et 53, vers 41°50'N, que se fait la remontée maximum des isopycnes. L'extension des eaux denses ($\sigma_\theta > 29,08$) est grande et sa limite Sud n'est pas entièrement définie.

Une masse d'eau presque homogène ($12,80 < \theta < 12,90^\circ\text{C}$; $38,40 < S < 38,43$ o/oo) s'étend

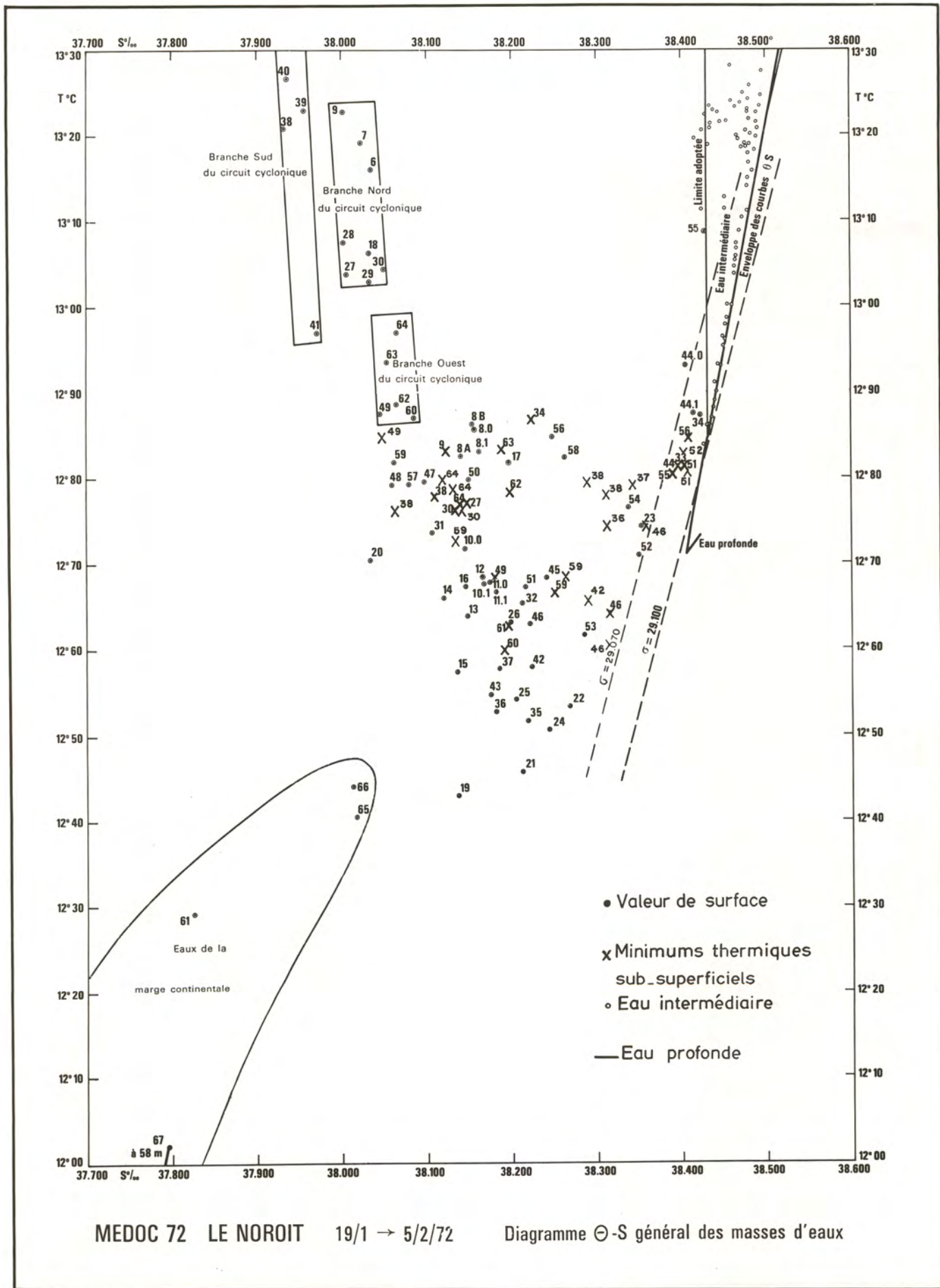


FIGURE 9

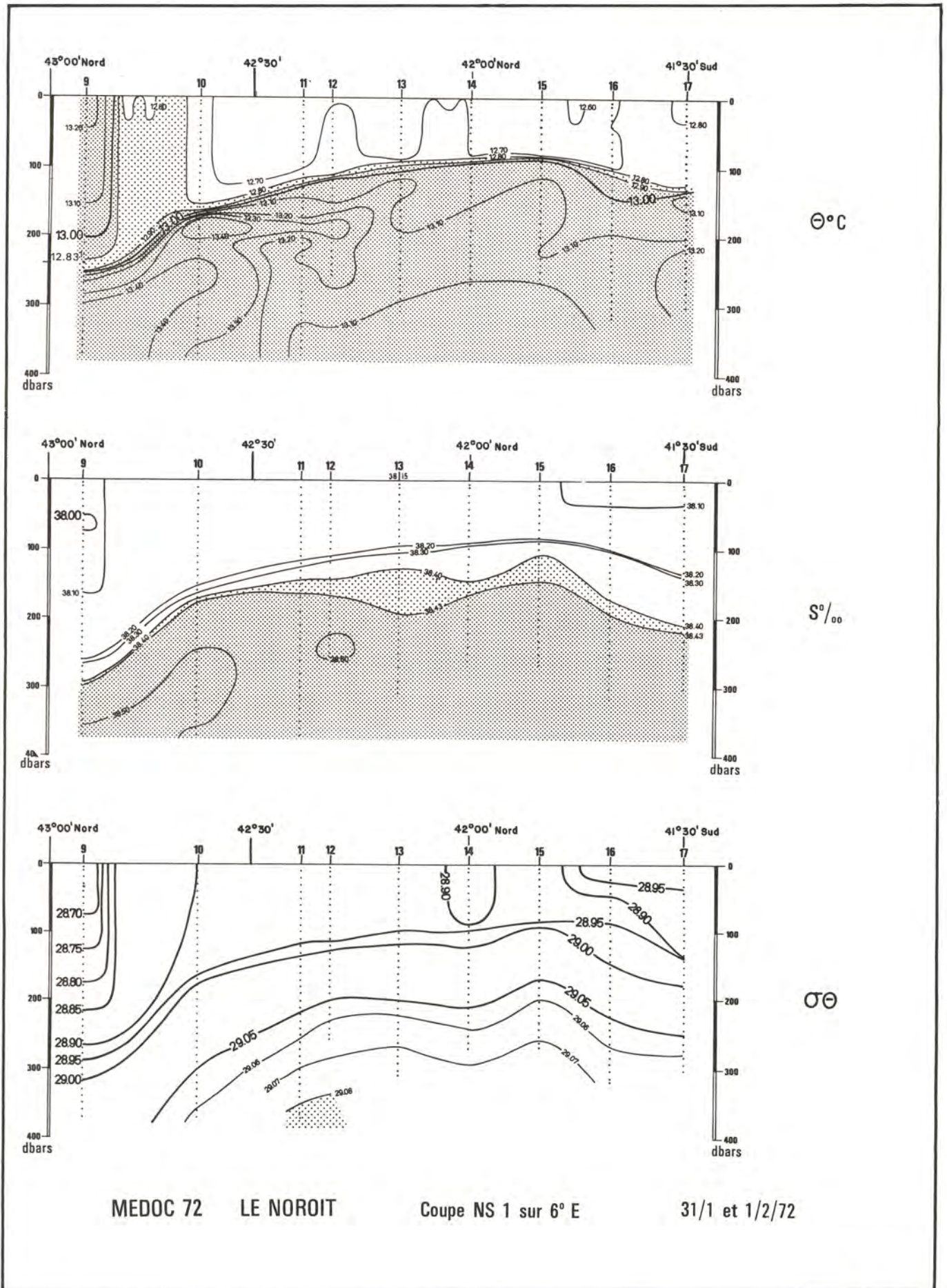
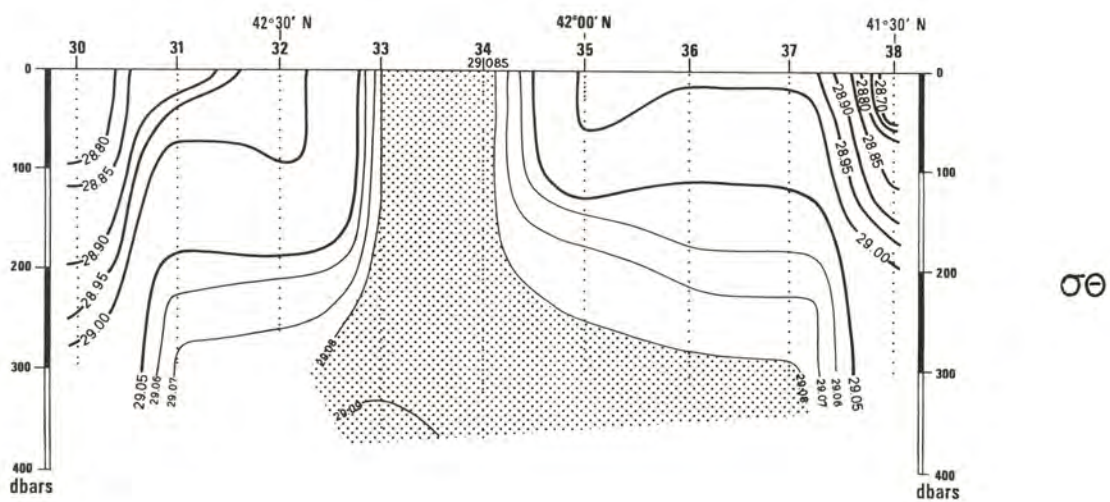
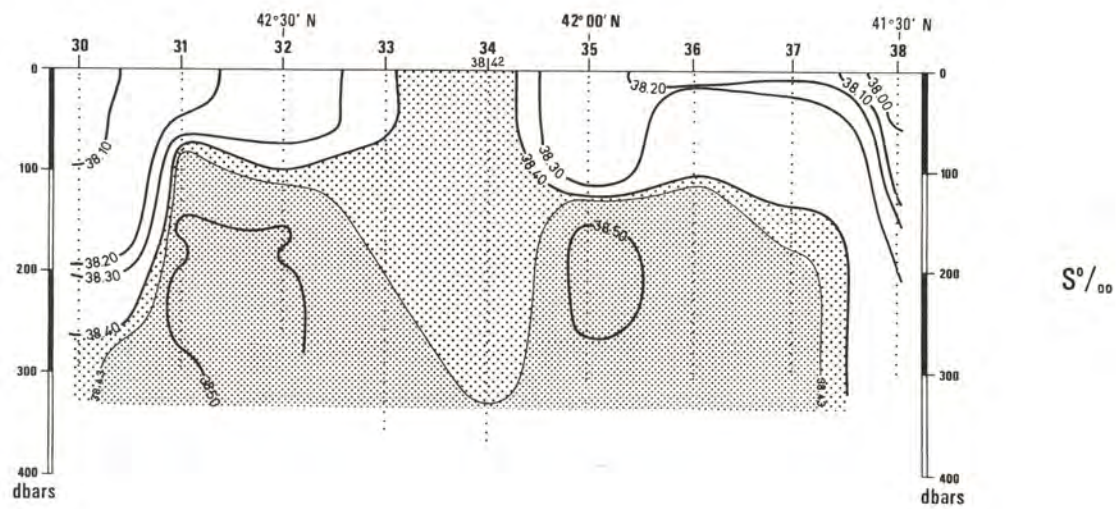
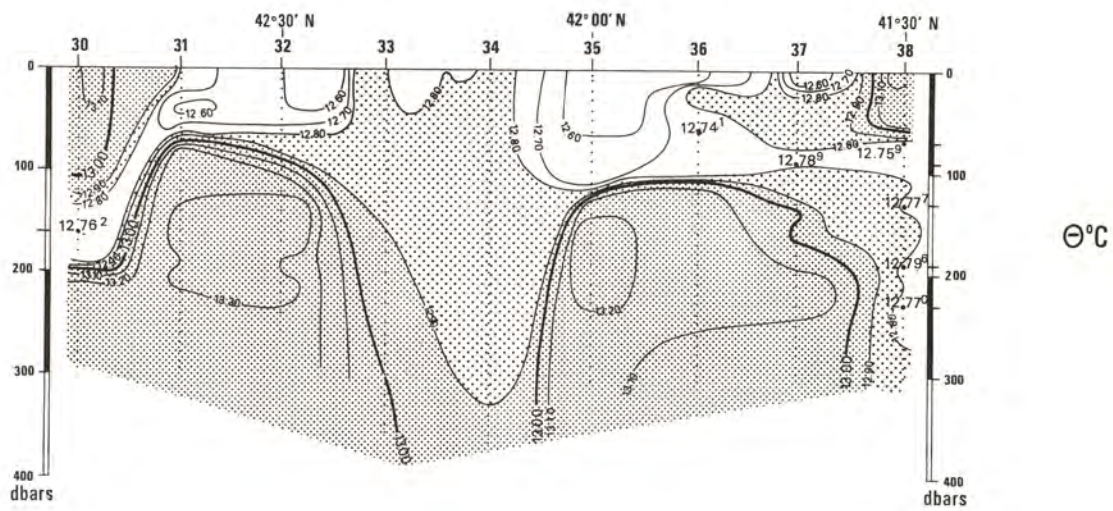
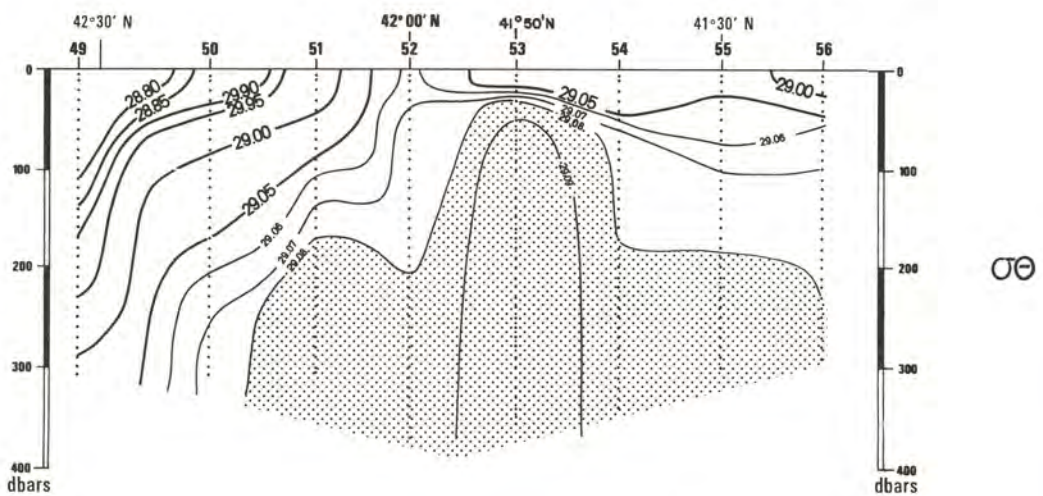
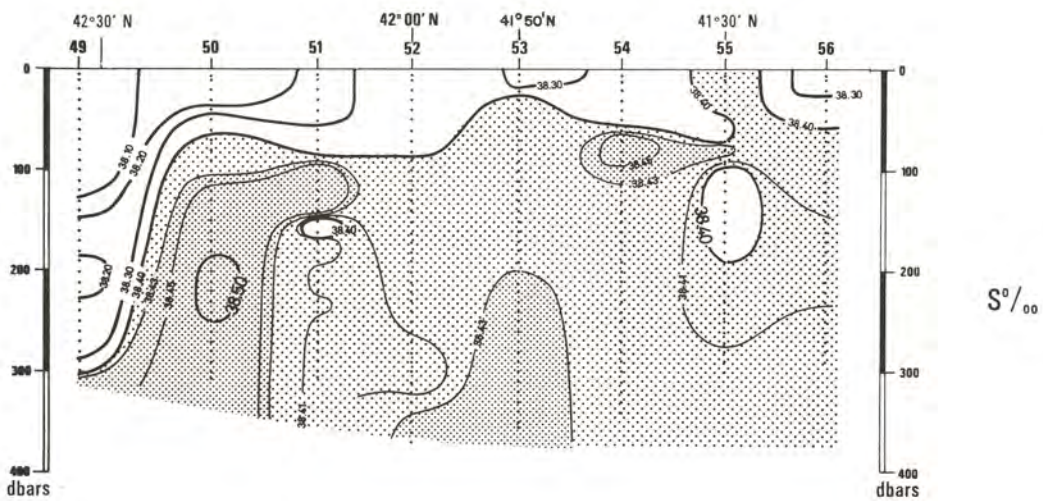
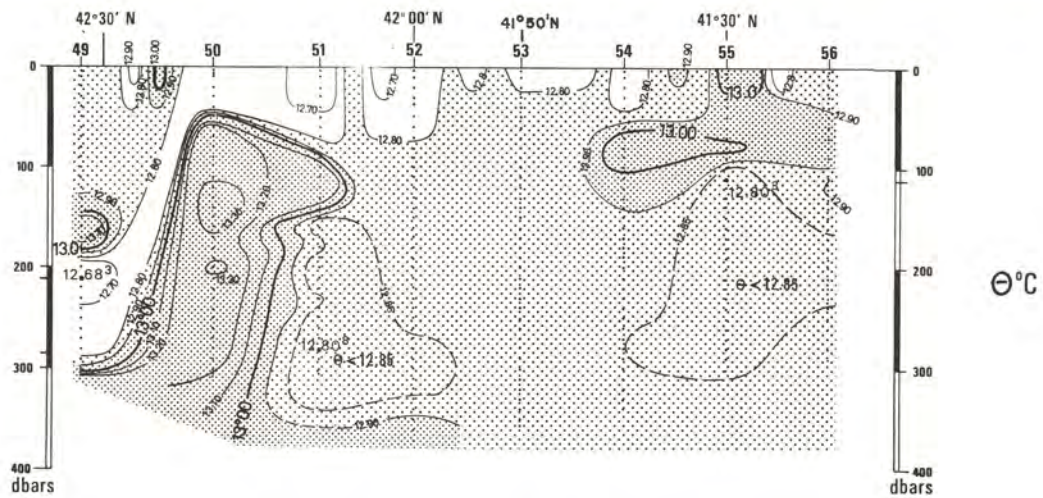


FIGURE 10



MEDOC 72 LE NOROIT 2-3/72 Coupe NS 3 sur 5° E

FIGURE 12



MEDOC 72

LE NOROIT

4/2/72

Coupe NS 5 sur 4° E

FIGURE 14

de 100 à 300 db entre 41°40'N et 42°10'N.

Au-delà de 200 dbars, à la st. 53 où la remontée des isopycnes est maximum, on décèle des eaux dont les caractéristiques: $\theta \neq 12,86^\circ\text{C}$ et $S \neq 38,43$ o/oo sont habituellement rencontrées plus profondément (voir fig. 21).

Entre 100 et 300 dbars environ, deux traces importantes d'eaux froides très mélangées ($\theta < 12,85^\circ\text{C}$ et $S < 38,40$ o/oo) apparaissent aux st. 51 et 55. Les caractéristiques de ces eaux (σ_θ voisin de 29,08; voir fig. 9) montrent qu'elles proviennent probablement de l'écoulement dense dû au "shelf virtuel" évoqué précédemment (étude de la coupe N-S-4).

A l'extrémité Nord de la coupe, un minimum thermique est aussi présent, vers 200 dbars, à la st. 49 ($\sigma_\theta = 28,935$). Les caractéristiques de ce minimum (dont la température est basse: $12,68^\circ\text{C}$) pourraient s'expliquer par les influences combinées de l'enfoncement des eaux présentes en surface aux st. 50, 51 et de l'enfoncement des eaux denses formées sur le plateau continental.

- Des eaux relativement peu salées couvrent la majeure partie de la coupe N-S-6 ($3^\circ30'\text{E}$; fig.15). La situation, beaucoup plus complexe, peut se rattacher à la proximité du talus continental; de fait, les st. 65 et 61 sont occupées, en surface, par les eaux peu salées et froides de la marge continentale.

La couche des eaux froides de sub-surface, présente partout, a des caractères variables. L'absence de veine d'eau intermédiaire, vers 300 m à la st. 61, est curieuse et peut être le reste d'une situation antérieure homogène.

Les minimums thermiques forment deux groupes distincts (fig. 9):

- . ceux présents aux st. 64, 63, 62, de $\sigma_\theta < 28,93$;
- . ceux présents aux st. 61, 60, 59, de $\sigma_\theta > 28,96$.

Les premiers peuvent être dus à l'enfoncement de l'eau de surface au Nord du noyau dense de la coupe précédente (st. 50, 51) avec, peut-être, une participation des eaux de la marge continentale pour ceux de la st. 64.

Les seconds peuvent s'expliquer par la double influence des eaux côtières et de l'enfoncement des eaux de surface au Sud du noyau dense de la coupe précédente (zone 52, 53, 54).

B- Coupes W-E.

Les stations ayant été effectuées selon des méridiens, ces coupes s'étalent généralement sur plusieurs jours. En outre, la distance entre les stations est supérieure à celle des stations des coupes N-S. Leur intérêt est donc moindre et nous en ferons une étude plus brève. Cependant, certaines d'entre elles apportent quelques compléments d'information.

- Sur la coupe W-E-1 ($42^{\circ}45'N$; fig. 16), la plus au Nord, on voit les différents niveaux d'infiltration des eaux froides, qui ne sont jamais à une profondeur supérieure à 300 dbars, sous les eaux de la branche Nord du circuit cyclonique qui se rencontrent aux stations 9, 27, 29, 30 (fig. 9) .

- Sur la coupe W-E-2 ($42^{\circ}30'N$; fig. 17), les stations 65, 66, 67 sont caractéristiques du plateau continental (fig. 9) .

Conformément aux résultats des campagnes précédentes (FIEUX, 1972), les eaux côtières (stations 61, 67) ont des densités trop faibles pour jouer un rôle dans la formation des eaux profondes du large. Cependant, il ne semble pas impossible qu'elles puissent, en s'enfonçant sous les eaux superficielles plus légères de la branche Ouest du circuit cyclonique, participer à la formation des minimums thermiques relevés en ces points. Le tracé des isothermes de la coupe N-S-6 (fig. 15) semble d'ailleurs confirmer cette hypothèse.

- On retrouve sur la coupe W-E-3 (vers $42^{\circ}10'N$; fig. 18) la cellule de convection centrée sur les stations 33, 34 et déjà évoquée au cours de l'étude de la coupe N-S-3 (fig. 12).

La station 63 est située à la limite Sud de la branche Ouest du circuit cyclonique, tandis qu'à l'Est ne figurent que les eaux froides de part et d'autre de la tache dense.

- Sur la coupe W-E-4 (vers $41^{\circ}50'N$; fig. 19), à l'exception de la station 61, occupée en surface par l'eau froide et peu salée du plateau continental (fig. 9) , toutes les stations ont été faites dans les eaux froides au Sud de la tache dense.

Cette coupe met nettement en évidence la remontée d'eau dense qui se forme au niveau de la station 53, qui serait le centre d'un actif circuit cyclonique se prolongeant, au Sud, vers la st. analogue 55 (voir, ci-dessous, la coupe W-E-5).

- Sur la coupe W-E-5 ($41^{\circ}30'N$; fig. 20), les eaux relativement peu salées ($S \leq 38,30$ o/oo) ont une extension beaucoup plus grande que sur les coupes précédentes.

La structure des densités y est complexe: divergence superficielle en 55, convergence en 40, nouvelle divergence en 19, convergence en 18. Cette structure est à mettre en relation avec des méandres de la branche Sud du circuit cyclonique.

On retrouve, vers 200 dbars, les deux couloirs d'infiltration d'eau froide évoqués au cours de l'étude des coupes N-S: l'un au niveau des stations 59, 55 (vers $3^{\circ}30'N - 4^{\circ}E$); l'autre au niveau de la station 38 (vers $5^{\circ}E$).

Bien que limitée dans son ensemble aux 300 premiers décibars, cette série d'observations a permis de localiser les principales zones de convection: l'une, à l'Est, dont le centre est occupé par les stations 33, 34, 44; l'autre, à l'Ouest, dont le centre est occupé par la st. 53.

MEDOC 72
 LE NOROIT
 1-5/2/72
 COUPE WE 2
 sur 42°30' N

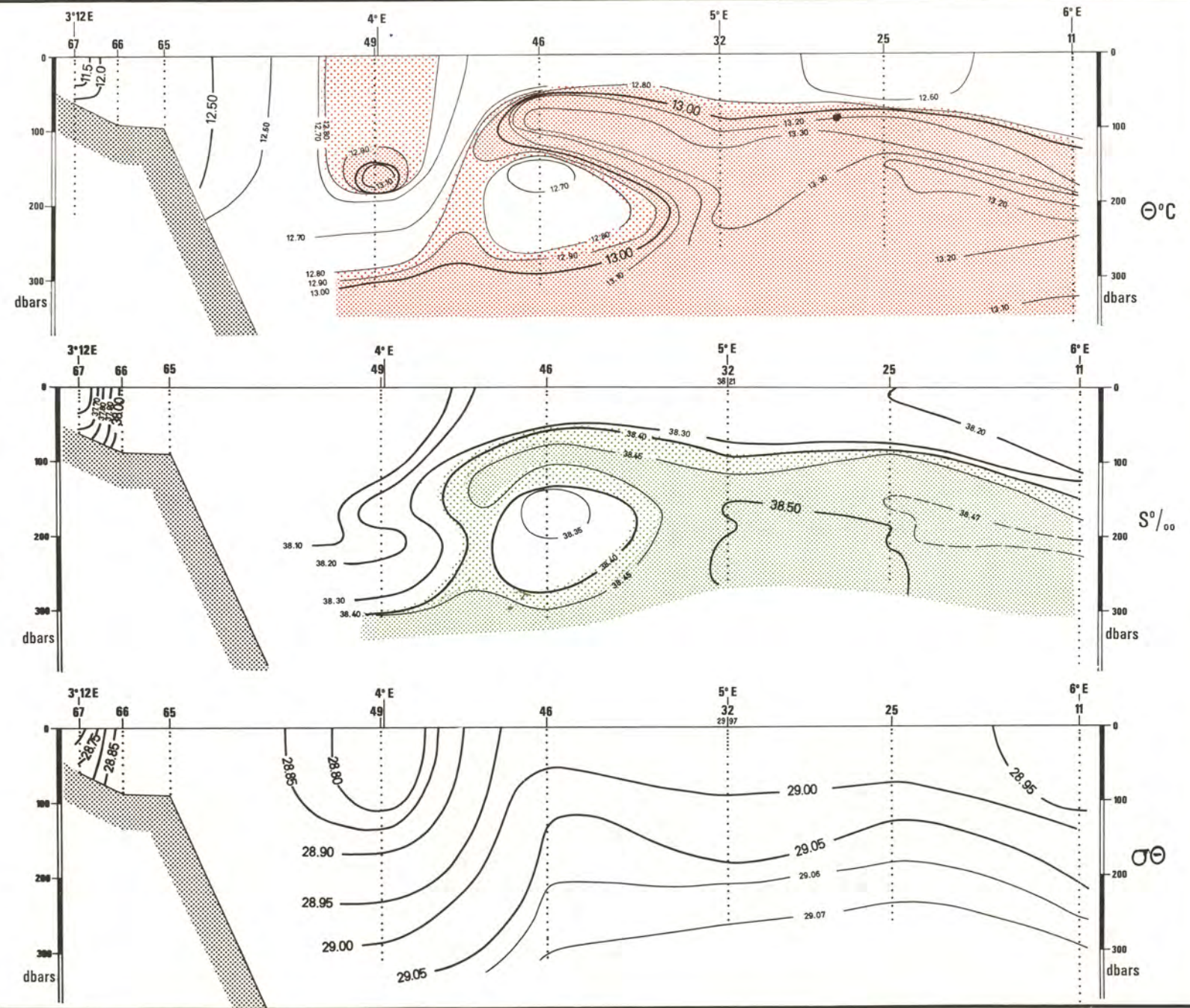


FIGURE 17

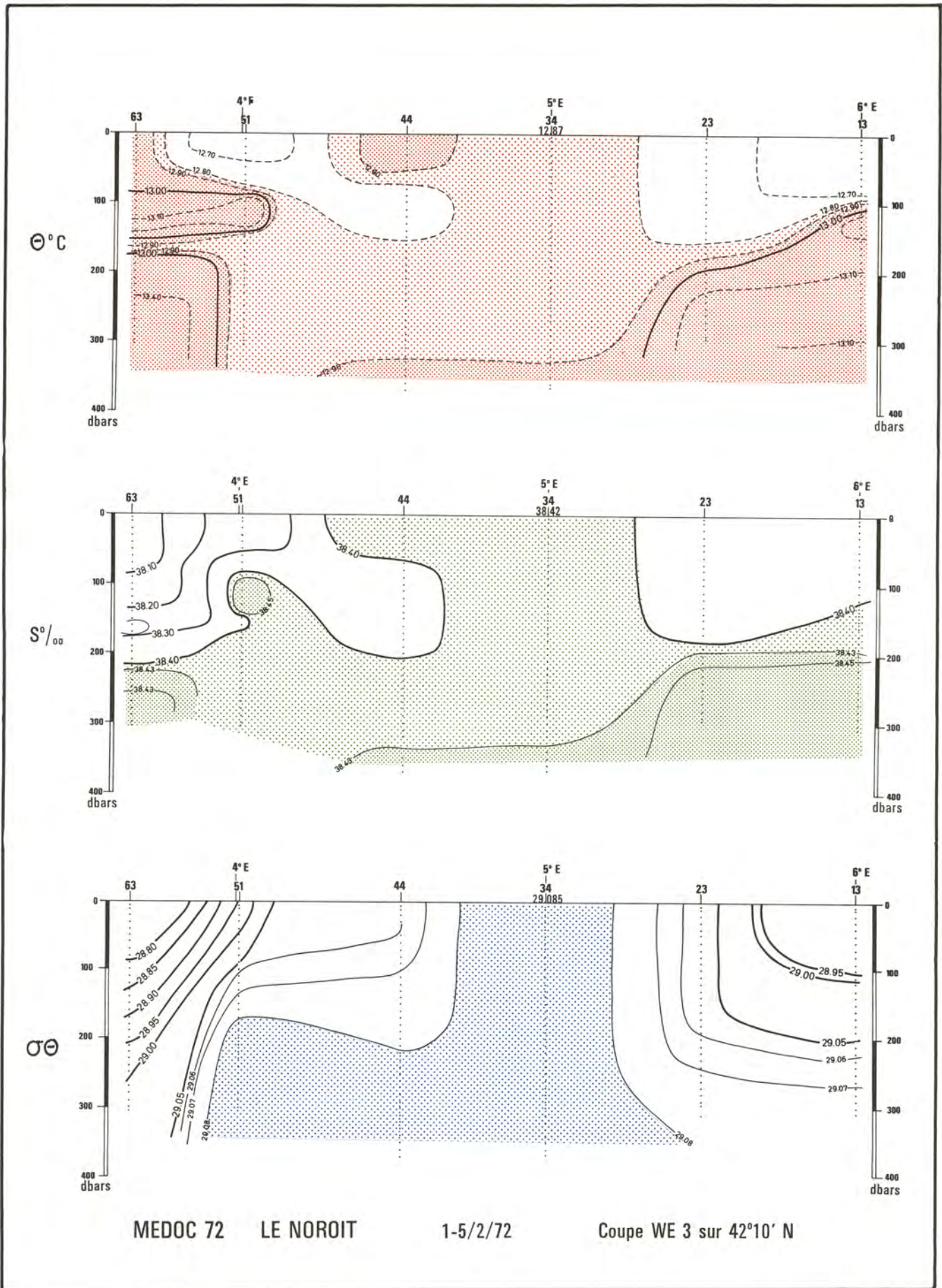


FIGURE 18

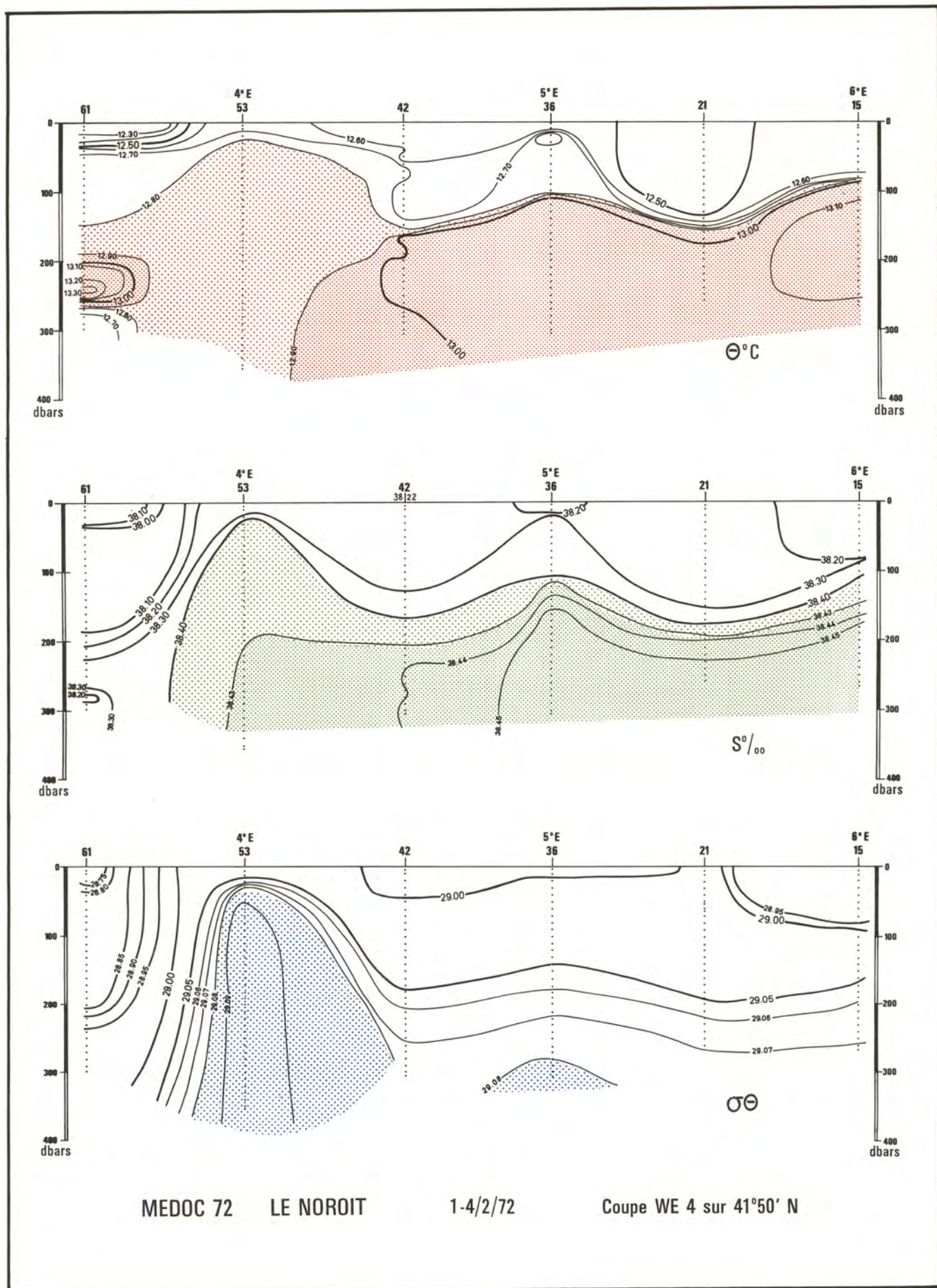


FIGURE 19

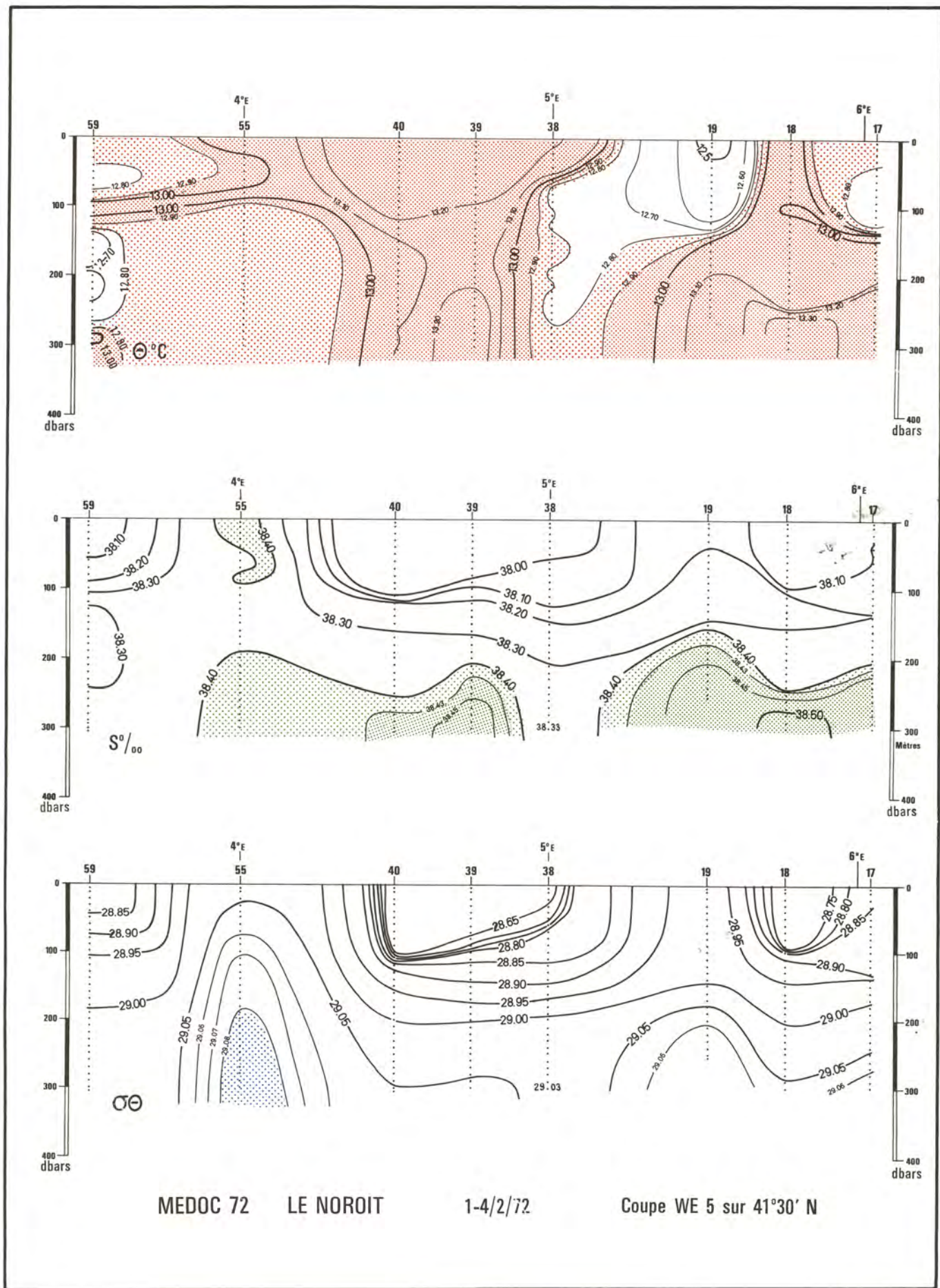


FIGURE 20

Elle a montré, d'autre part, qu'il se forme à cette époque -par enfoncement, sur un "shelf virtuel", des eaux proches du noyau central des zones de convection- une couche sub-superficielle d'eau froide, dont les minimums thermiques ainsi engendrés atteignent un σ_θ compris entre 29,00 et 29,09.

En outre, d'autres minimums thermiques rencontrés, particulièrement dans l'Ouest de l'aire étudiée, sont à rattacher aux formations d'eau dense sur le plateau continental.

3°) Eau profonde

Quelques stations profondes ont été exécutées pendant cette période. A la précision des mesures, les courbes tracées sont les mêmes mais on remarque -notamment sur le diagramme θ/S de l'eau profonde (fig. 21)- la présence d'un minimum de température vers 2 000 dbars ($\theta \# 12,71^\circ\text{C}$; $S \# 38,41_3$ o/oo). La température croît ensuite de quelques centièmes pour se stabiliser vers $\theta \# 12,73^\circ\text{C}$ tandis que la salinité continue à croître jusque vers 38,43 o/oo.

L'augmentation de θ et de S en profondeur n'est pas, selon le Professeur TCHERNIA, présente tous les hivers. L'étude de ce trait particulier exigerait un réseau étendu de stations très profondes, de grande précision.

II. CONDITIONS HYDROLOGIQUES A ECHELLE PLUS FINE

Les observations du N/O JEAN CHARCOT se sont déroulées du 21 février au 13 mars 1972. L'emplacement des stations est porté sur la fig.2, ainsi que celui des coupes qui seront étudiées ci-dessous; presque toutes les mesures ont été effectuées entre $42^\circ - 42^\circ 30' \text{N}$ et $4^\circ - 4^\circ 30' \text{E}$.

Le pas horizontal du réseau de stations est de 3 à 5 milles; des positions distantes de moins de 2 milles ont été considérées comme identiques dans la présente étude.

Pour permettre l'étude de la *structure hydrologique verticale* au cours de cette période, plusieurs coupes de θ , S , σ_θ ont été tracées. Mais, compte-tenu des rapides modifications de cette structure au cours du temps, nous avons distingué 3 périodes:

- du 21 au 24 février, stations 69 à 94;
- du 25 au 27 février, stations 95 à 111;
- du 1er au 13 mars, stations 112 à 181.

1°) Conditions hydrologiques du 21 au 24 février

Cette période correspond à un régime de vents de SE, de force croissante, passant de 5 m/sec le 21 à 15 m/sec le 24. A la fin de la journée du 24, le vent tourne brusquement au

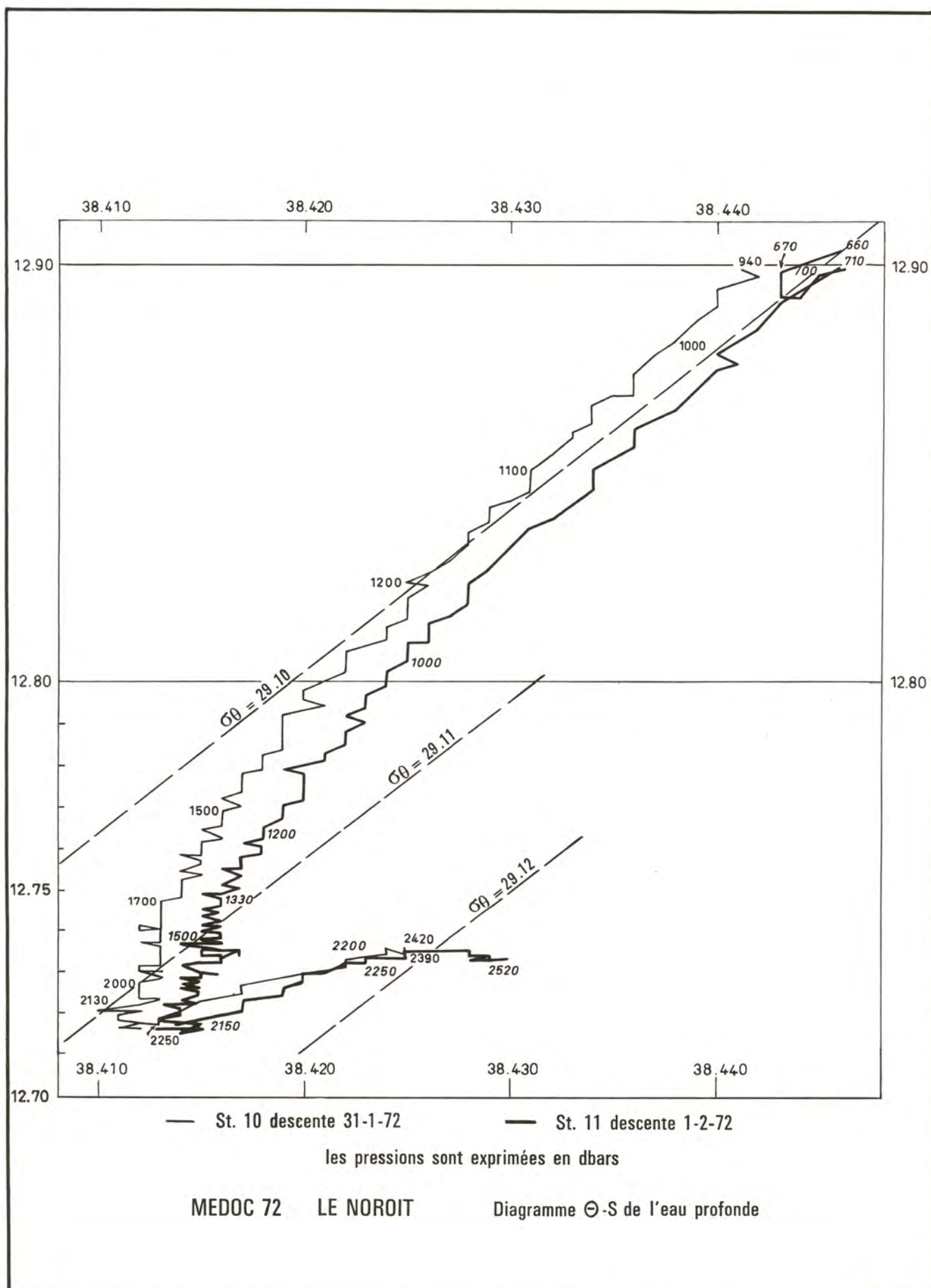


FIGURE 21

NW (fig. 3).

Pour l'étude de cette période, nous avons tracé 4 coupes (voir fig. 2): 2 de direction N-S (N-S-1 et 2); 2 sensiblement W-E (W-E-1 et 2).

- La coupe N-S-1 ($4^{\circ}45'E$; fig. 22) est la plus à l'Est. Effectuée aux environs de $4^{\circ}45'E$, elle est située entre les coupes N-S-3 et N-S-4 de la période précédente; elle traverse donc la région où se trouvait, du 27 janvier au 5 février, la cellule de convection Est, centrée sur les stations 33, 34, 44.

Or, nous constatons que sous l'eau de surface encore froide ($12,55 < \theta < 12,65^{\circ}C$) existent deux couches relativement chaudes et salées entre lesquelles apparaît une eau relativement froide et moins salée. La densité des eaux au niveau des minimums de température est maximale (avec σ_{θ} voisin de 29,08) à 250 m en 77 et 280 m en 76.

De tels minimums (nous l'avons vu au cours de l'étude précédente) peuvent provenir de l'écoulement sur un "shelf virtuel" des eaux de surface denses proches du noyau central de la zone de convection.

- La coupe N-S-2 (fig. 22 à droite) a été effectuée aux environs de $4^{\circ}15'E$, entre les coupes N-S-4 et N-S-5 de l'étude précédente.

C'est à la station 69 que la remontée des isopycnes est maximale. Cette station est occupée par une eau presque homogène ($12,80 \leq \theta \leq 12,85$; $38,41 \leq S \leq 38,42$). La couche d'eau intermédiaire se trouve au-delà de 400 m, c'est dire que sa partie supérieure a été atteinte par les mouvements de convection.

Aux stations 87 et 88, où dans les 200 mètres superficiels la densité est homogène et presque aussi élevée, les effets du mélange actif de l'eau de surface avec l'eau sous-jacente sont visibles sur 200 dbars environ. Ces mélanges donnent, en 87, une eau de salinité supérieure à 38,40 o/oo et de température supérieure à $12,80^{\circ}C$; en 88, une eau de salinité supérieure à 38,38 o/oo et de température inférieure à $12,80^{\circ}C$.

Sauf à la station 86, où les maximums de salinité et de température sont encore nets ($\theta \neq 13,00^{\circ}C$; $S \neq 38,43$ o/oo), la couche marquée par l'eau intermédiaire est partout profondément attaquée. Par contre, à la station 85, la densité superficielle est moins élevée.

Au Sud de la coupe, une eau froide existe aussi vers 250 dbars mais à la station 92 (la seule pour laquelle nous possédons des mesures jusqu'à plus de 2 000 m) se rencontrent plusieurs minimums thermiques plus profonds, associés à des salinités un peu plus faibles que de part et d'autre; on trouve ces minimums thermiques à 270, 430 et 640 m, ce dernier correspondant à une densité presque égale à 29,10.

Il existait donc, aux environs de la station 69, une cellule de convection active, dont les eaux superficielles ont pu atteindre une densité suffisante pour plonger et s'enfoncer vers

le Sud jusqu'à des profondeurs voisines de 650 dbars.

- La coupe W-E-1 (42°05'N; fig. 23 à gauche) est reliée, à l'Ouest, à la cellule de convection centrée sur la station 69. A l'Est, les stations 73, 74, 75 ont été effectuées sur l'emplacement de la cellule centrée sur les stations 33, 34, 44, alors en voie de disparition.

Or, cette coupe est caractérisée par deux remontées distinctes des isopycnes qui semblent désigner deux régions différentes.

A l'Ouest, la remontée importante de l'isopycne 29,09 vers la station 72 réduit à quelques mètres seulement l'épaisseur de l'eau de surface. Les caractéristiques de l'eau sous-jacente sont profondément modifiées et varient extrêmement peu (de 38,42 à 38,44₅ o/oo pour la salinité; de 12,81 à 12,89₅°C pour la température). La station 72 semble donc liée à la même cellule de convection que la station 69.

Le centre de la coupe (st. 73) est occupé, sur les 350 premiers mètres, par une eau complètement homogène, de densité $\sigma_\theta = 29,08_7 \pm 0,001$ (avec $S = 38,41_2$ o/oo et $\theta = 12,82_5$ °C). C'est en quelque sorte une "eau-type" qui représente ce qui demeure de la couche homogène trouvée aux stations 33, 34, 44, au cours de la reconnaissance: elle en a pratiquement gardé les caractéristiques.

A l'Est de la coupe, les eaux de température inférieure à 12,80°C ont en surface une importance plus grande et l'eau intermédiaire a reparu.

- La coupe W-E-2 (42°07'N; fig. 23 à droite) est très proche de la précédente.

Une eau de température inférieure à 12,80°C est présente partout en surface en couche d'épaisseur constante.

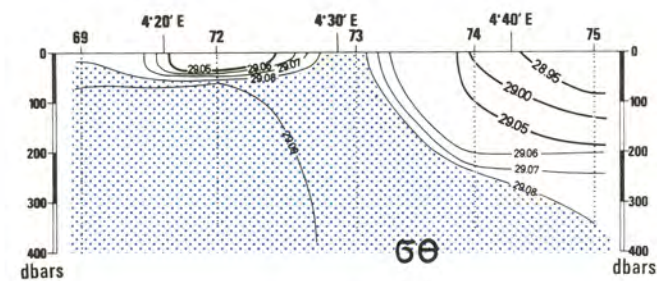
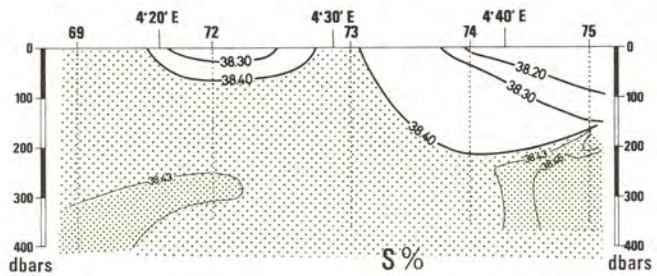
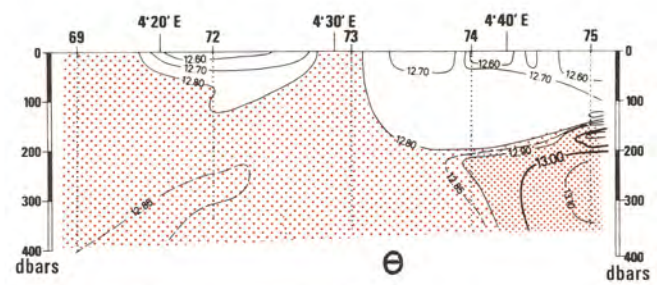
Sous elle, on trouve des couches différentes: eau intermédiaire présente à l'Est, absente à l'Ouest où l'eau est homogène sur environ 500 m.

2°) Conditions hydrologiques du 25 au 27 février

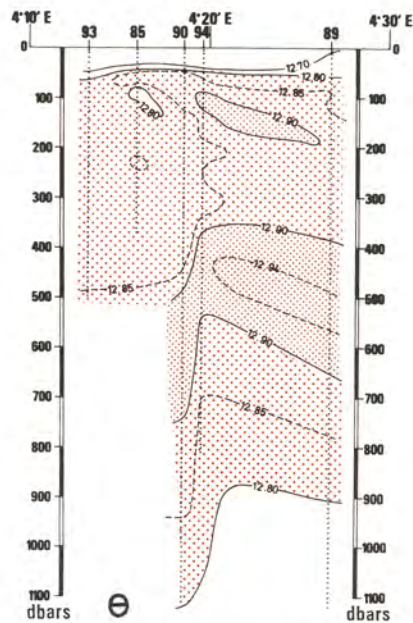
Toutes les observations ont été faites par vents de NW (10 à 15 m/sec). Pour l'étude de cette période, nous avons tracé 4 coupes (voir fig. 2): une de direction N-S (N-S-3); deux de direction sensiblement W-E (W-E-3 et 4); une de direction NW-SE (F-T-1).

- Comme la coupe N-S-2, la coupe N-S-3 (4°11'E; fig. 24, haut) est située entre les coupes N-S-4 et N-S-5 de l'étude de reconnaissance, c'est-à-dire qu'elle se trouve à l'Ouest de la limite Ouest du noyau central homogène reconnu par le NOROIT.

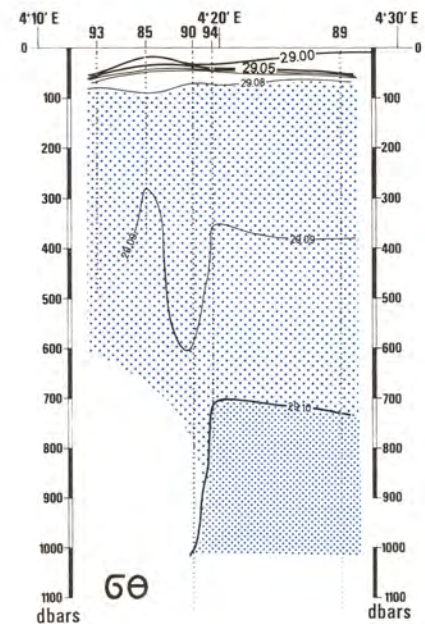
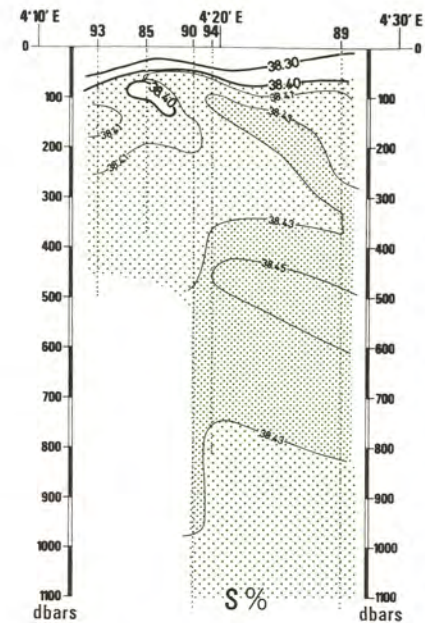
Les stations 104 et 104 bis sont, comme les stations voisines 88 et 87 (coupe N-S-2), caractérisées par la présence en surface d'eau de salinité élevée, à peine inférieure à 38,40 o/oo, ce qui décèle l'existence des mouvements convectifs dans la couche de surface



COUPE WE 1
42° 05' N
Nuit du 21-22/2/72



COUPE WE 2
42° 07' N
23-24/2/72



MEDOC 72 JEAN CHARCOT
Conditions hydrologiques WE
Régime des vents de SE

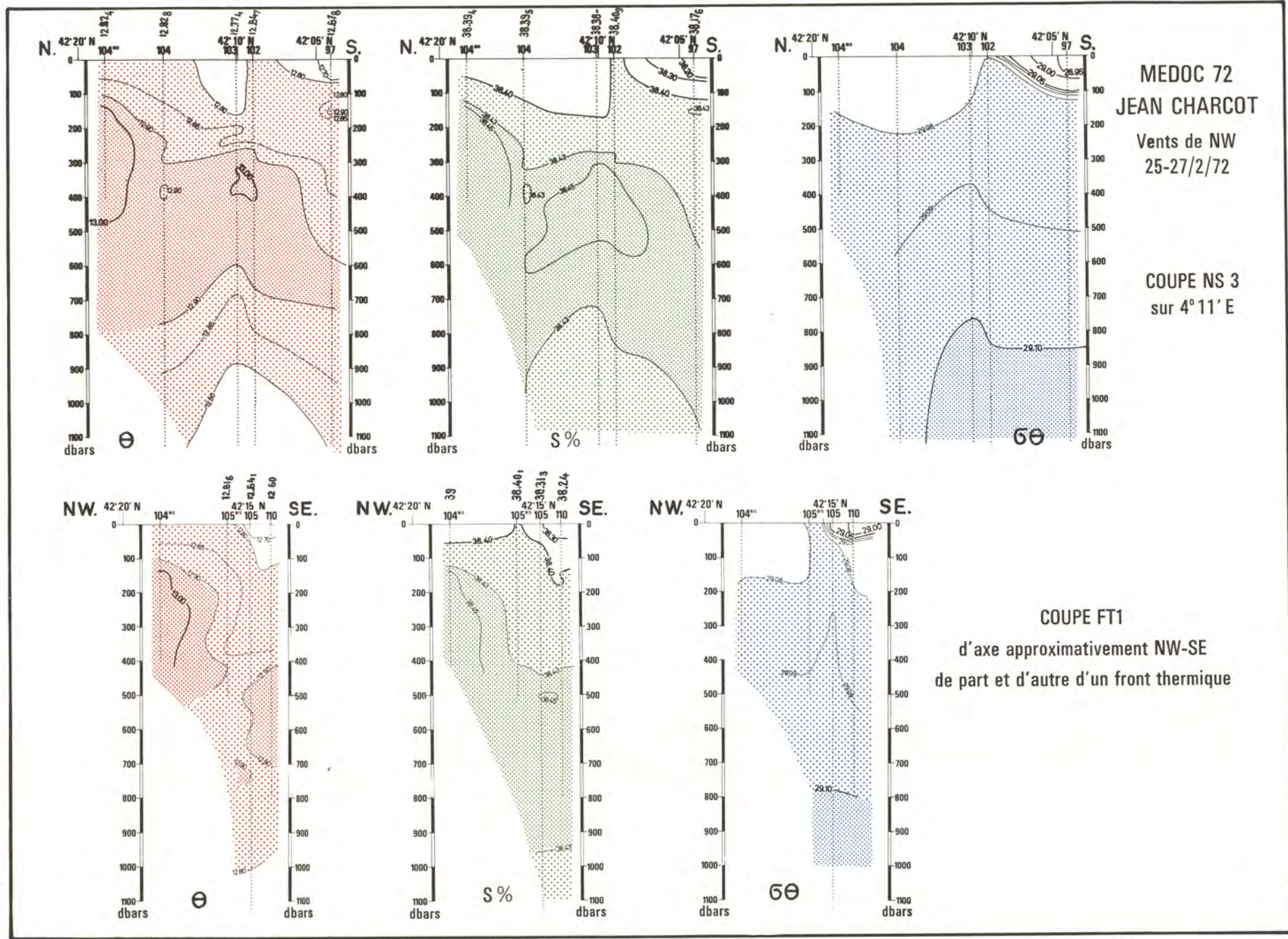
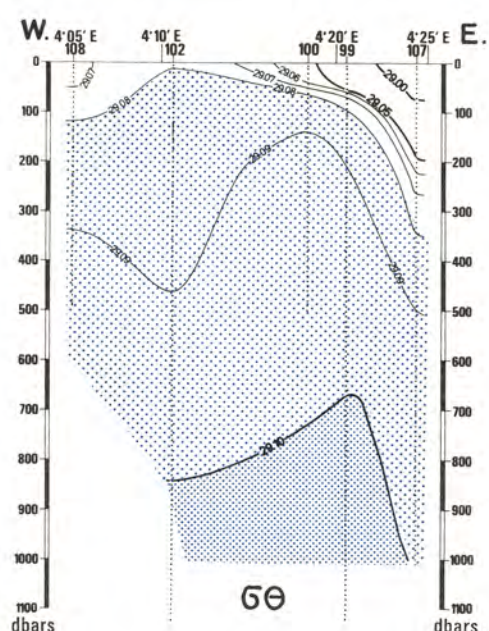
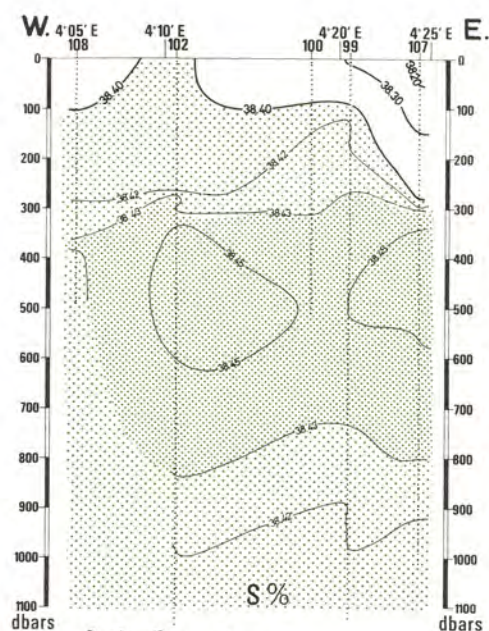
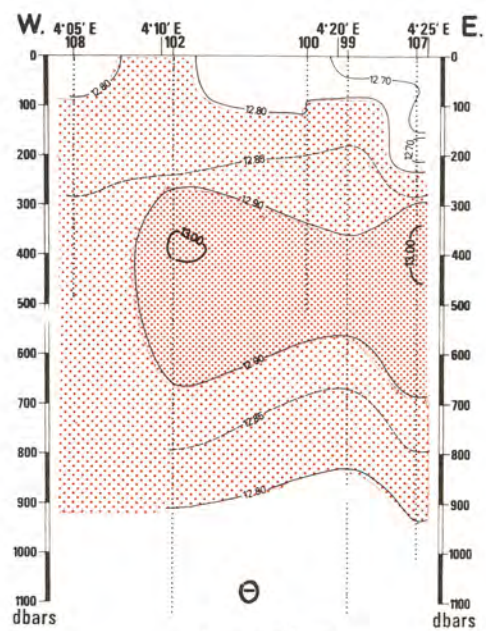
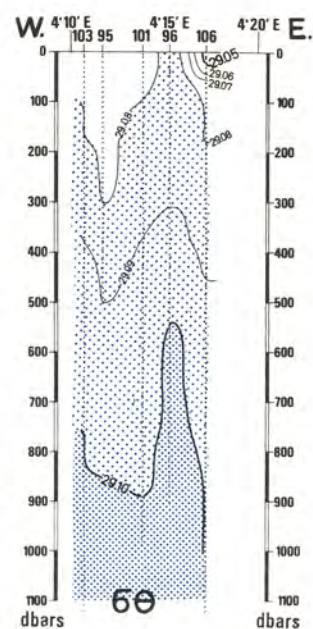
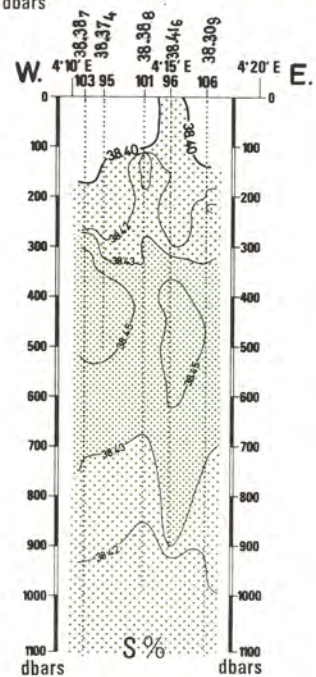
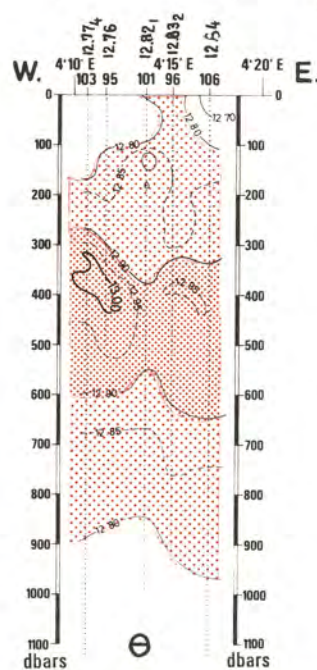


FIGURE 24



COUPE WE 3
42° 08' N



MEDOC 72 JEAN CHARCOT
COUPES WE
du 25 au 27-2-72
par vents de NW

COUPE WE 4
42° 11' N

FIGURE 25

(jusqu'à 100-300 m). Au-delà, une forte nappe d'eau intermédiaire est présente, qui est pourtant affaiblie à la station 104.

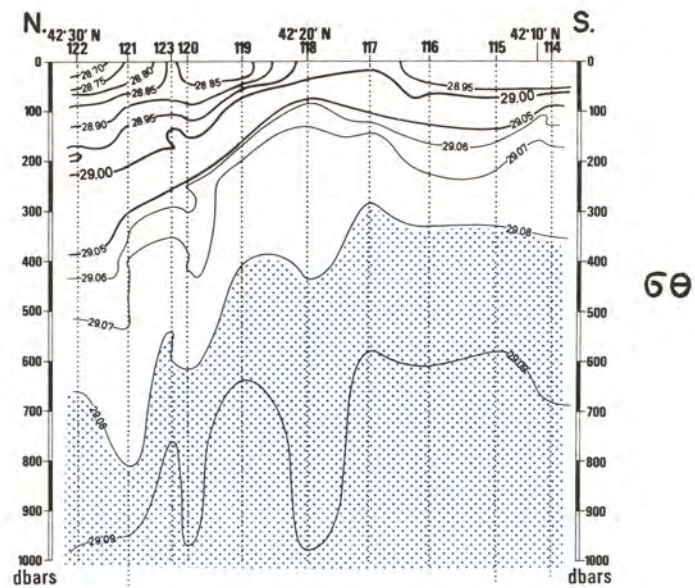
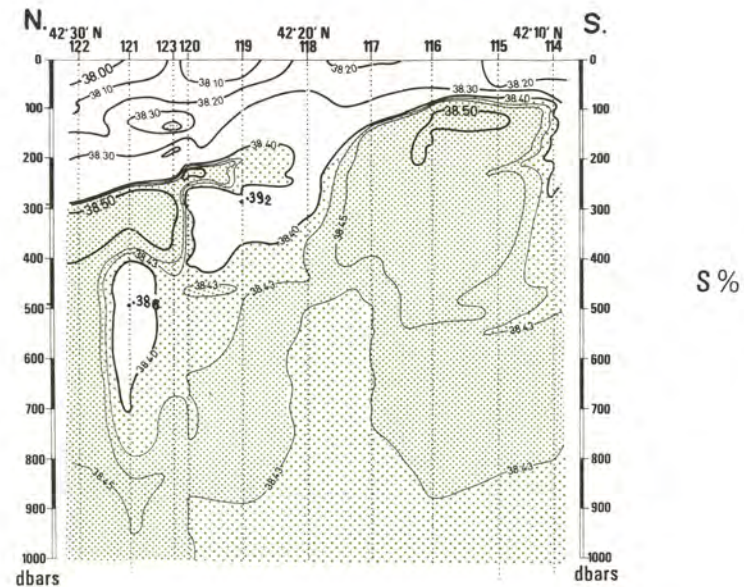
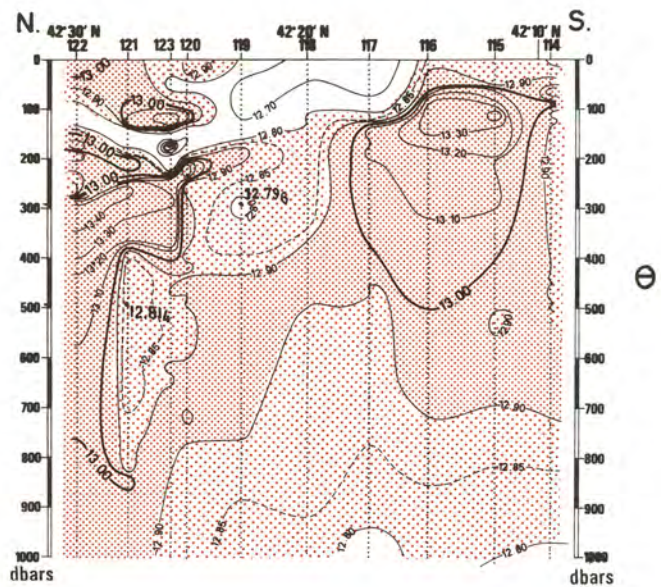
Au Sud, à la station 97, sous une couche de surface peu salée, existe une épaisse couche (80-500 m) presque homogène (12,85 à 12,90°C; 38,40 à 38,43 o/oo) de densité élevée (29,08 à 29,09), qui décèle aussi dans cette gamme d'immersions des mélanges verticaux auxquels participe l'eau intermédiaire. La présence d'un petit minimum thermique vers 300 m de profondeur peut être le signe d'une eau initialement en surface aux environs de la st. 102 et qui s'écoulerait vers le Sud sur un "shelf virtuel".

- Sur la coupe F-T-1 (fig. 24 en bas) de direction NW-SE, la station 105 bis est analogue aux stations voisines 88, 87, 104 et 104 bis caractéristiques de cette région. La valeur, proche de 38,40 o/oo, de la salinité de surface décèle l'existence des mouvements convectifs dans la couche de surface, atteignant le haut de la couche d'eau intermédiaire. Au contraire, à la station 110, l'eau est froide (12,60°C), peu salée en surface (38,24 o/oo) et ces mouvements sont absents. Mais ce qui est remarquable sur cette coupe, c'est le front thermique qui existe entre les stations, pourtant très proches, 105 bis et 105 et dont la présence a d'ailleurs motivé l'exécution de la station. De part et d'autre de ce front thermique, sont en présence en surface, à la st. 105, une faible épaisseur d'eau superficielle plus froide (et relativement peu salée) à l'Est et une eau plus chaude (et plus salée), dont les caractères sont marqués par des mélanges verticaux importants avec participation d'eau intermédiaire. C'est donc un front marquant la limite d'une aire de convection.

La présence en 105 et 110 d'eau de surface peu salée peut être rattachée aux forts vents de SE qui ont soufflé entre le 23 et le 25 février et qui avaient apporté, au voisinage de la station 105, les eaux du Sud, dont la température sur les 100 premiers mètres est inférieure à 12,80°C.

- Sur la coupe W-E-3 (fig. 25, haut), la couche d'eau intermédiaire est partout présente avec des maximums de température et de salinité vers 400 et 500 m de profondeur. Elle apparaît cependant à peine à l'Ouest (st. 108, limitée à 500 m): là, l'eau est relativement homogène dans la gamme de profondeurs 100-500, avec des salinités élevées ce qui dénote des mélanges verticaux ayant intéressé l'eau intermédiaire. Au milieu de la coupe (st. 102, 100, 99), les eaux sont analogues entre elles au-dessus de la couche intermédiaire et la salinité élevée est l'indice aussi de mouvements ayant entraîné le haut de la couche intermédiaire.

Plus à l'Est (107), des eaux moins salées apparaissent en surface, comme à la partie SE de la coupe F-T-1 (st. 110). Il apparaît donc, selon la ligne 107-110, dans la gamme de latitudes 42°07' - 42°15', une veine d'eau peu salée en surface associée à un courant portant au NNW.



MEDOC 72 JEAN CHARCOT
 COUPE NS-4
 le 2-3-72
 sur le 4° 12' E

FIGURE 26

Il semble donc que le noyau central convectif trouvé par le NOROIT ait migré vers l'Ouest.

- La coupe W-E-4 ($42^{\circ}11'N$; fig. 25, bas) est très proche de la précédente.

Les caractères hydrologiques rencontrés aux st. 103, 95 et 101 sont analogues entre eux. Les salinités superficielles élevées ($> 38,37$ o/oo) indiquent, en ces stations, que l'eau présente sur les 250 m superficiels a subi, au cours de son "histoire", des mélanges verticaux auxquels de l'eau intermédiaire a été mêlée. Mais la présence d'une eau intermédiaire nettement marquée en 95 et 103 paraît indiquer que cette eau, qui a antérieurement subi des mélanges, a été ensuite déplacée vers l'Ouest au-dessus d'une région où persistait une nappe d'eau intermédiaire. En 96, des mouvements de brassage vertical semblent se poursuivre. Un front de densité apparaît entre 96 et 106, qui s'associe bien avec la présence d'eau de surface, plus froide et moins salée, vers l'Est (comme déjà indiqué aux st. 100 et 110) et animée d'un courant vers le NNW.

3°) Conditions hydrologiques du 29 février au 13 mars

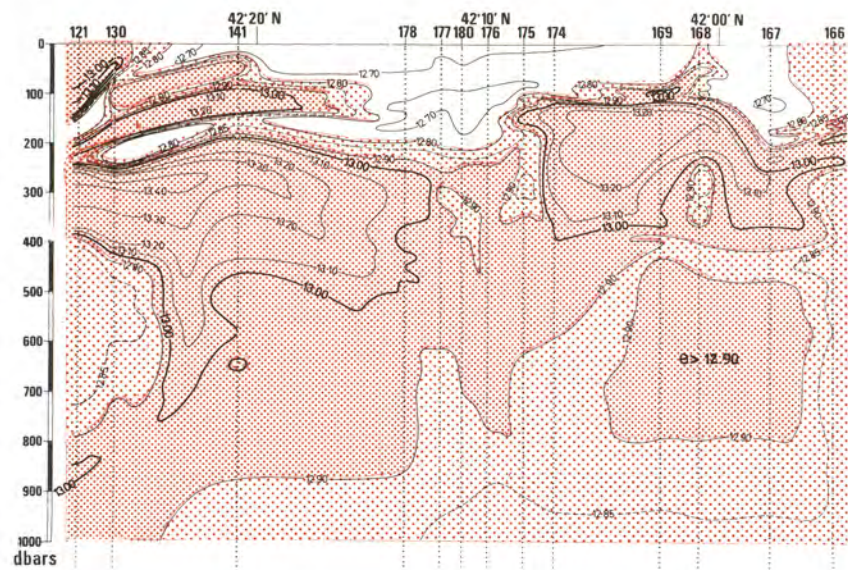
Pendant toute cette période se sont succédé des coups de vent irréguliers.

Deux coupes N-S ont été tracées (N-S-4 et 5; voir fig. 2).

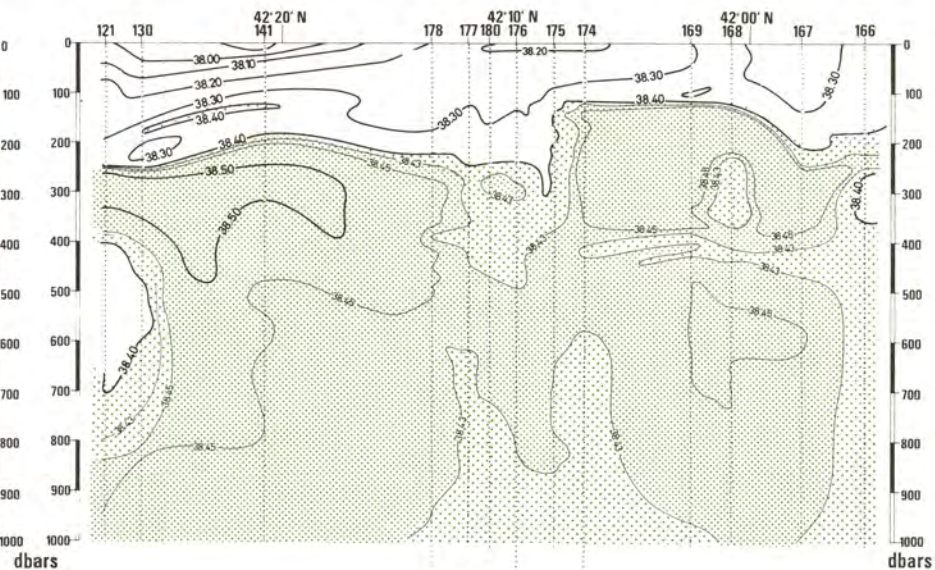
- La coupe N-S-4 (fig. 26) est à peine à l'Est de la coupe N-S-3 mais postérieure d'environ une semaine. La comparaison met en évidence une notable évolution de la situation, tant dans la diminution générale des salinités et des densités au voisinage de la surface, dans la partie commune des deux coupes ($42^{\circ}10' - 42^{\circ}19'$), que dans un retour puissant de l'eau intermédiaire ($S > 38,50$ o/oo en 115 et 116 et θ atteignant $13,40^{\circ}C$) à des niveaux occupés antérieurement par des eaux homogènes ayant subi des convections sur grande épaisseur.

Au Nord de la station 119 apparaît nettement l'eau de la branche Nord du circuit cyclonique au-dessus d'une nappe d'eau intermédiaire dont la salinité surpasse $38,50$ o/oo au Nord de 123.

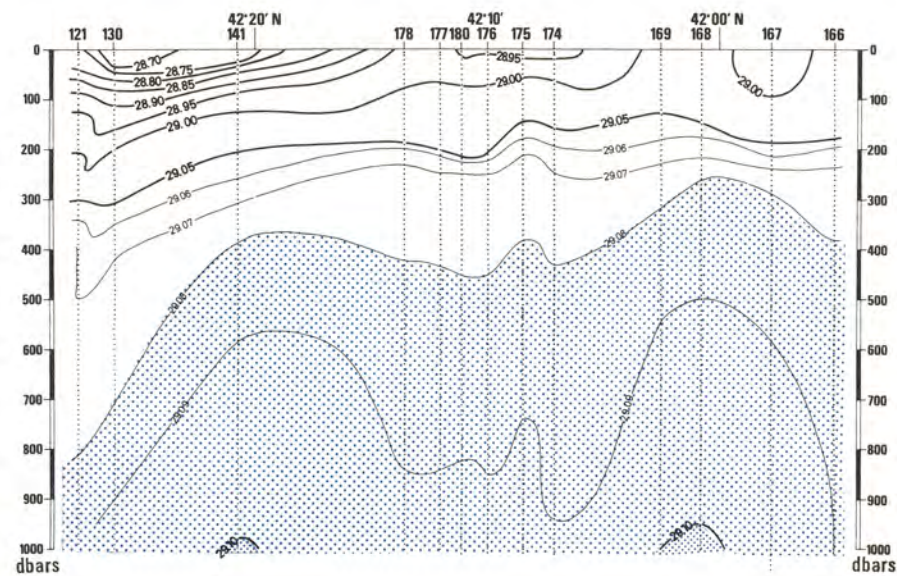
Le phénomène remarquable qui apparaît est la scission de la nappe d'eau intermédiaire aux st. 118 et 119 et, en 121, la tendance qu'elle manifeste vers une séparation en deux couches de structures superposées. Cette scission en deux nappes se manifeste aussi à la station 114, en limite Sud de la coupe. Les eaux qui ont "feuilleté" ainsi l'eau intermédiaire ont des densités élevées ($29,07 - 29,08$) supérieures à celle des noyaux les plus chauds et salés, en 115, 116, 122 à 123 ($\sigma_{\theta} = 29,03$ seulement); d'une salinité ne descendant pas au-dessous de $38,386$ o/oo, ces eaux "gardent le souvenir" des caractères rencontrés, à peine plus au Sud, près de la surface, une semaine avant aux st. 102, 103, 104 et 104 bis ($12,82^{\circ}C$; $38,39$ à $38,40$ o/oo). L'insertion de cette eau au sein de l'eau intermédiaire fait apparaître des mini-



θ



S ‰



mums relatifs de température et de salinité sur la verticale. La disposition de ceux-ci, qui ont une profondeur croissant vers le Nord et parallèlement aux isopycnes 29,07 - 29,08, tend à prouver que les eaux situées en surface une semaine avant se sont enfoncées vers le Nord ("shelf virtuel").

Enfin, au Nord de la coupe, on note la présence de minimums thermiques dans deux gammes d'immersions. Le tracé des isothermes peut se faire de diverses manières, il est donc conjectural.

Il y a au moins deux couches de minimums thermiques: l'une vers 50-100 m, l'autre plus profond entre 150 et 270 m; ils constituent des feuillets s'insérant dans des eaux plus chaudes au niveau correspondant à leur densité et traduisent aussi, probablement, des écoulements sur "shelf virtuel" à partir de la surface (st. 118, 119, 120).

- La coupe N-S-5 (4°07'E; fig.27) est à peine plus à l'Ouest que la coupe N-S-4 mais elle s'étend nettement plus au Sud (41°55') et couvre une période d'une dizaine de jours, à la fin de la saison propice aux formations d'eau profonde.

Au Nord et au centre de la coupe, on retrouve dans les *couches profondes* des caractéristiques voisines de celles observées sur la coupe N-S-4. Il est immédiatement visible qu'au Nord existe une veine très épaisse et puissante d'Eau Intermédiaire, même dans la gamme de latitudes pour laquelle existait, sur la coupe N-S-4 (fig.26), une des digitations feilletant obliquement cette couche d'eau (st. 118-119). Ce fait résulte, très probablement, de l'arrivée de cette eau sur les lieux, à partir du Nord. Ce phénomène aurait repoussé vers le Sud, en les détruisant presque entièrement localement (sauf en 130), les eaux de haute densité mais relativement froides et peu salées (12,82°C; 38,39 o/oo) présentes sur la coupe N-S-4, le long de l'isopycne 29,07 dans sa partie fortement inclinée vers le Nord (de 200 à 800 m entre les st.118 et 121). Au centre de la coupe, entre les st.177 et 175, existe encore une aire dans laquelle les maximums de T et S, au niveau de l'eau intermédiaire, n'atteignent pas 13,00°C et 38,45 o/oo respectivement; ce serait un reste, repoussé vers le Sud, de la situation existant vers 200-500 m aux st.118 et 119 de la coupe N-S-4 (fig.26). Au Sud de la st. 175, la salinité et la température rencontrées au niveau normal de l'Eau Intermédiaire ne sont que de peu inférieures à celles que l'on trouve au Nord de 178 et constituent donc une nappe caractéristique de cette eau; cependant, le faible minimum de T et S, présent vers 400 m de profondeur et qui coupe la nappe intermédiaire, est à noter. A la station la plus méridionale, 166, il apparaît que la nappe d'eau intermédiaire est pratiquement coupée sur toute la hauteur explorée et l'eau y est très homogène de 150 à 1 000 m; il y aurait donc là d'amples phénomènes de convection.

Près de la *surface* les caractéristiques sont analogues à celles de la coupe N-S-4, aux mêmes latitudes. Mais on notera à la st.169 et au Sud la persistance, en surface, d'eaux de salinité et de densité élevées, qui sont des restes de phénomènes antérieurs.

Evolution locale

L'étude des coupes du CHARCOT nous a permis de constater la rapidité d'évolution des phénomènes. Pour préciser *leur durée de vie*, nous allons maintenant examiner les variations pouvant se produire, sur plusieurs jours, dans les conditions hydrologiques, en une zone très réduite. Pour cela, nous avons groupé sur une même figure, des stations s'échelonnant dans le temps mais se situant dans un rayon de un mille seulement autour d'une station centrale.

Les figures 28 et 29 représentent l'évolution locale dans le temps des caractères hydrologiques. L'échelle de temps des figures est très variable puisque une semaine sépare les exécutions des stations 91 et 115, près de 5 jours celles de 115 et 146, alors que les st. 146 à 151 ont été effectuées en environ 12 heures (au-dessus d'un flotteur dérivant). Enfin, 151 et 152 sont écartées de 2 jours.

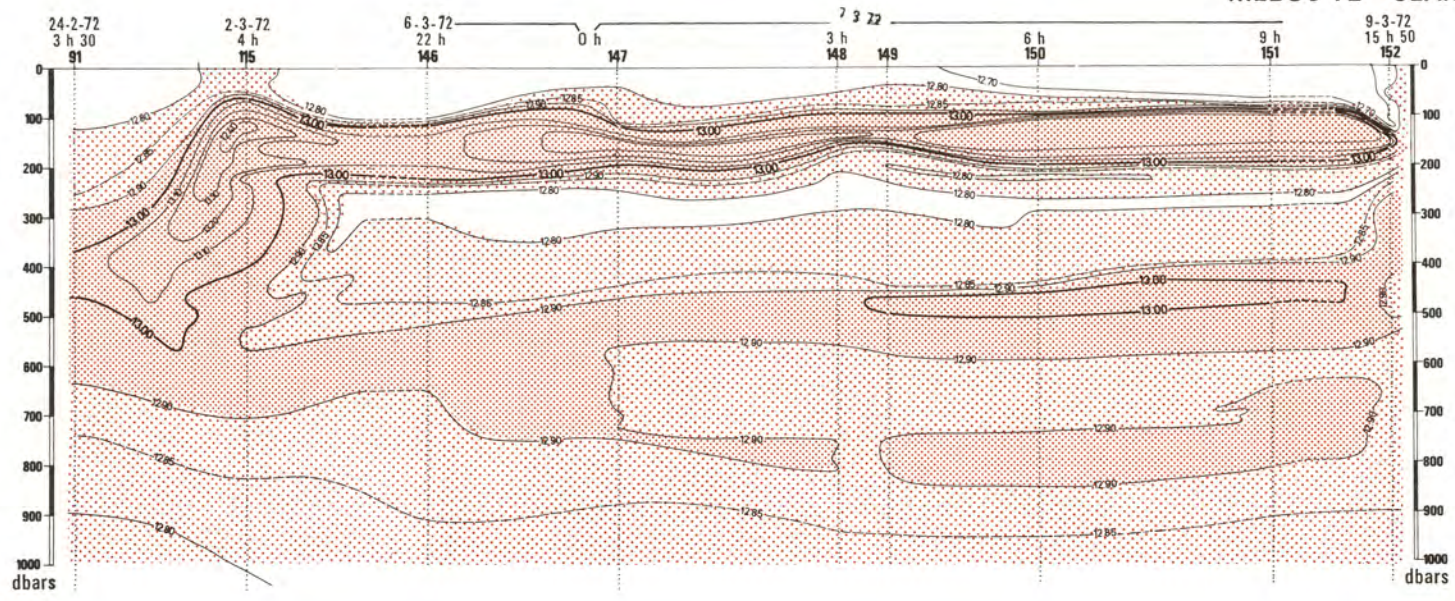
La structure a beaucoup évolué du 24 février au 9 mars. On note en particulier la scission locale de la couche d'eau intermédiaire en deux veines superposées entre le 2 et le 6 mars (st. 115 et 146). En fait, comparant avec la section N-S-4 (fig. 26), il est visible que la puissante veine d'eau intermédiaire présente en 115 a dû se déplacer. A échelle de temps plus courte, des feuilletages peuvent se produire ou évoluer *en quelques heures seulement* (st. 146, 147, 148). C'est dire quelle densité de mesures exigerait une étude fine de la situation.

Cette évolution fine ne doit cependant pas masquer la permanence d'ensemble du système sur des laps de l'ordre de 12 heures (146-152).

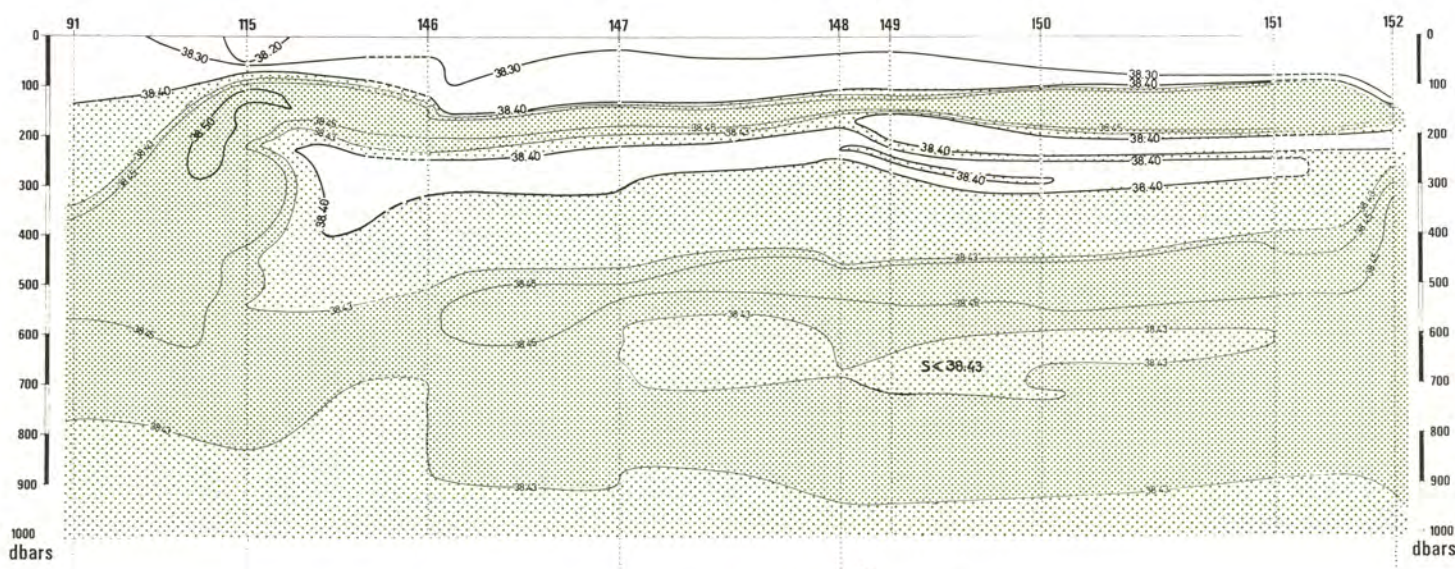
Valeurs de surface

Des enregistrements continus de température de surface ont été faits pendant toute cette campagne et les valeurs obtenues ont été portées sur les figures 30 à 33. La plupart des tracés sont complexes (fig. 28 surtout) et résultent de structures difficiles à interpréter. Il n'est pas possible de faire entrer ces résultats dans un schéma relativement simple comme cela était apparu pour l'étude de reconnaissance à bord du NOROIT. On peut néanmoins remarquer qu'à l'Est du méridien $4^{\circ}30'E$ (fig. 30 et 31), on ne retrouve plus, en surface (entre $42^{\circ}N$ et $42^{\circ}25'N$), les valeurs élevées de θ , S , σ_{θ} qui caractérisaient la vaste cellule de convection centrée sur les stations 33, 34, 44 du NOROIT. Celle-ci semble donc avoir disparu ou s'être déplacée. De même, les "fronts" thermiques allongés dans le sens E-W à l'époque de la reconnaissance ont disparu et les explorations de surface du CHARCOT ont mis en évidence des fronts tendant à se fermer sur eux-mêmes et ayant des dimensions de quelques milles seulement. Les fortes valeurs de T et S en surface traduisent l'effet des mélanges actifs avec les couches sous-jacentes et sont le reflet des phénomènes observés au cours de l'étude des coupes verticales de θ , S et σ_{θ} .

La présence de mélanges verticaux actifs apparaît aussi sur les figures 34 et 35



θ



S ‰

Evolution de θ et S avec le temps au point $42^{\circ}11.3' N$ } 1 mille
 $4^{\circ}12.7' E$

FIGURE 28

EVOLUTION DE LA SALINITE AVEC LE TEMPS AU POINT : 42° 11,3' N - 4° 12,7' E ± 1'

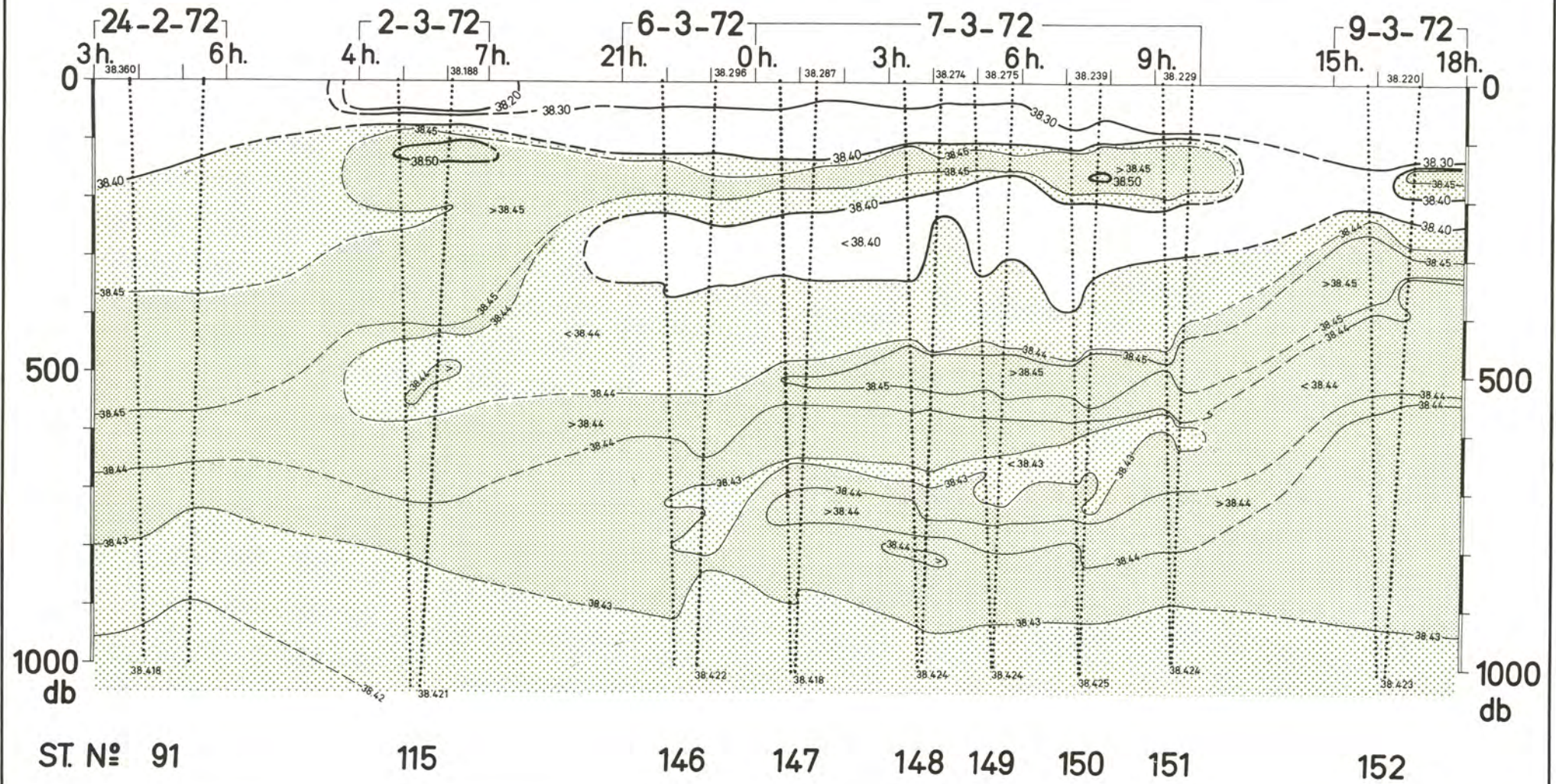


FIGURE 29

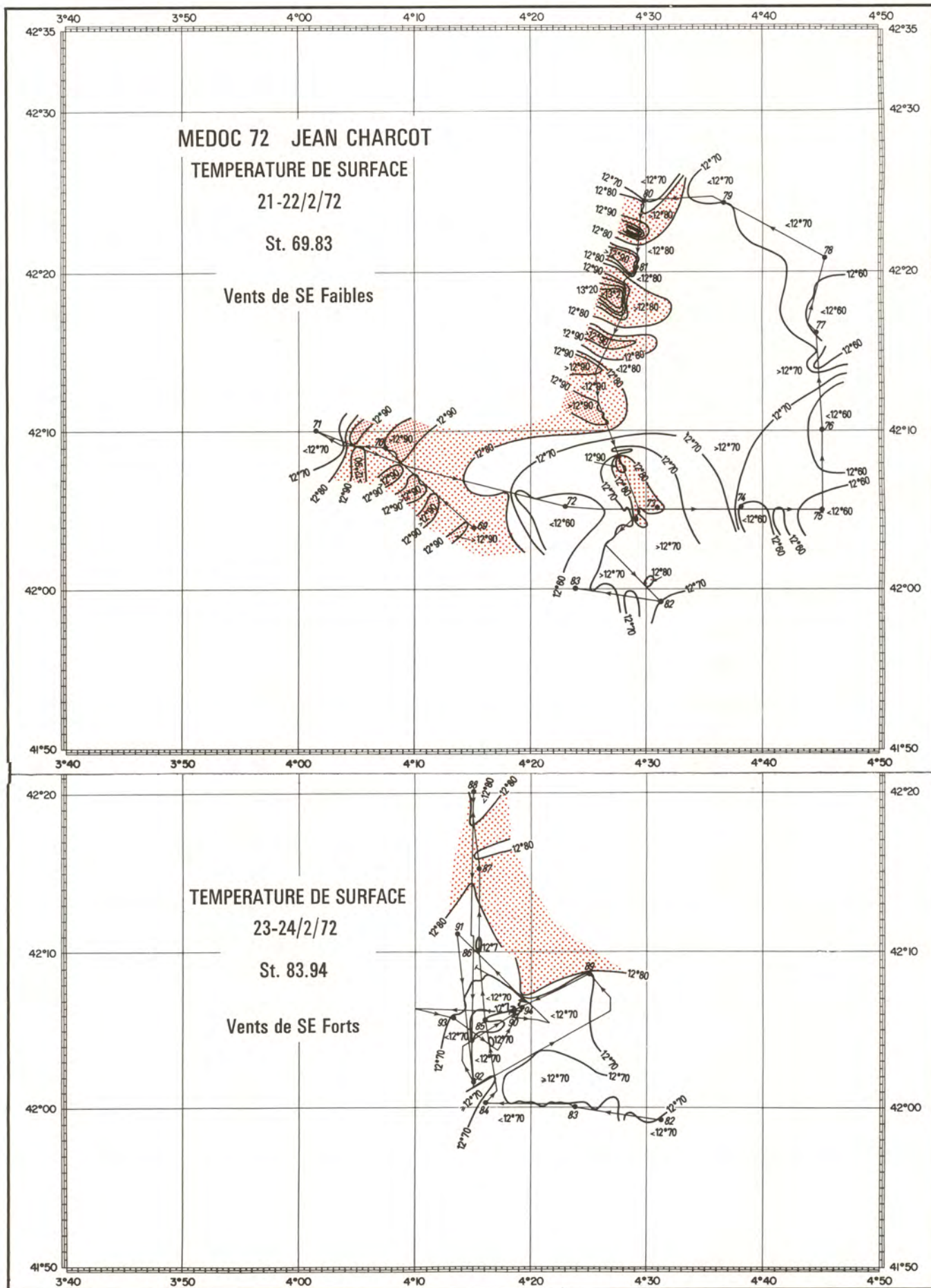


FIGURE 30

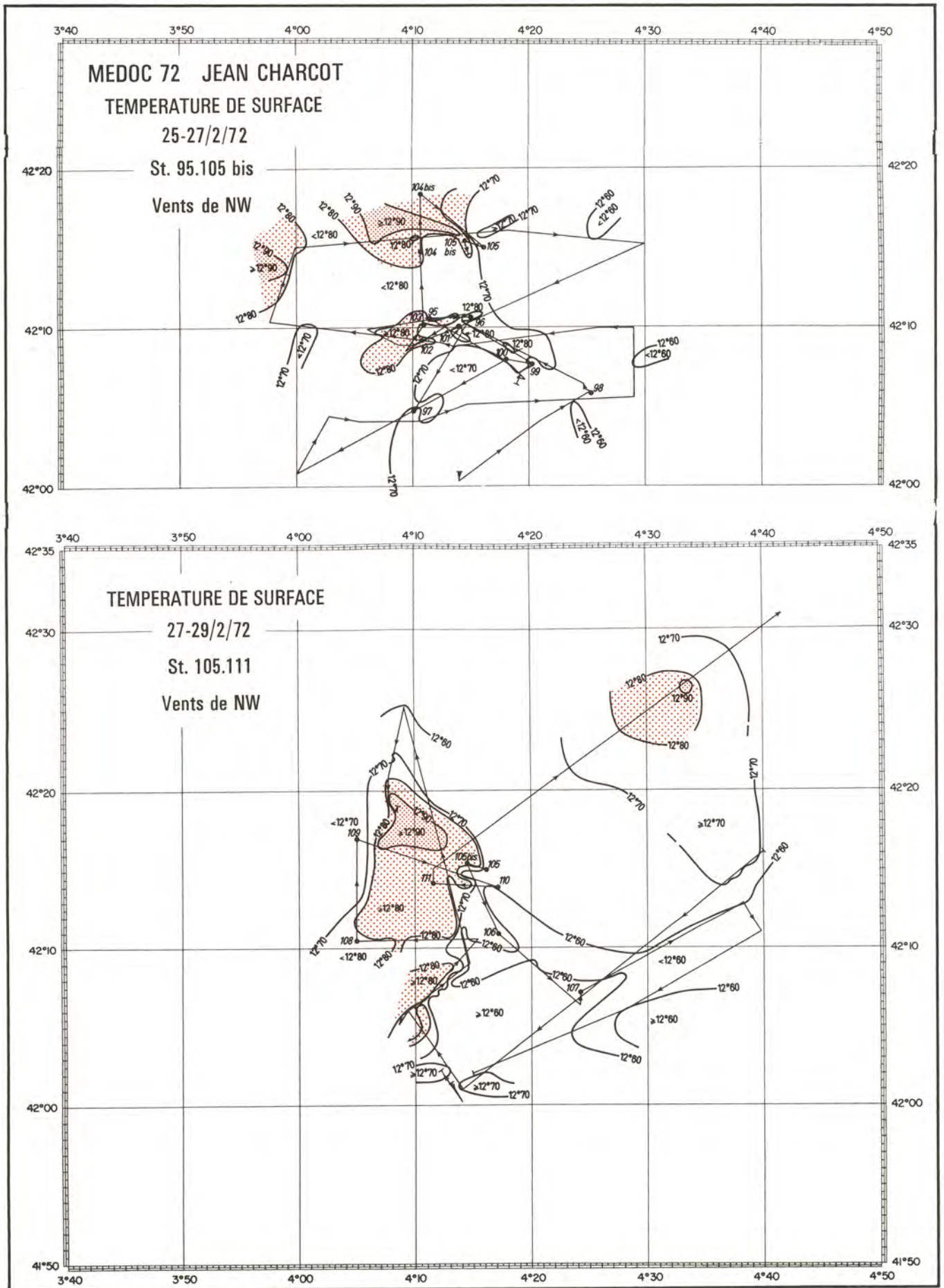


FIGURE 31

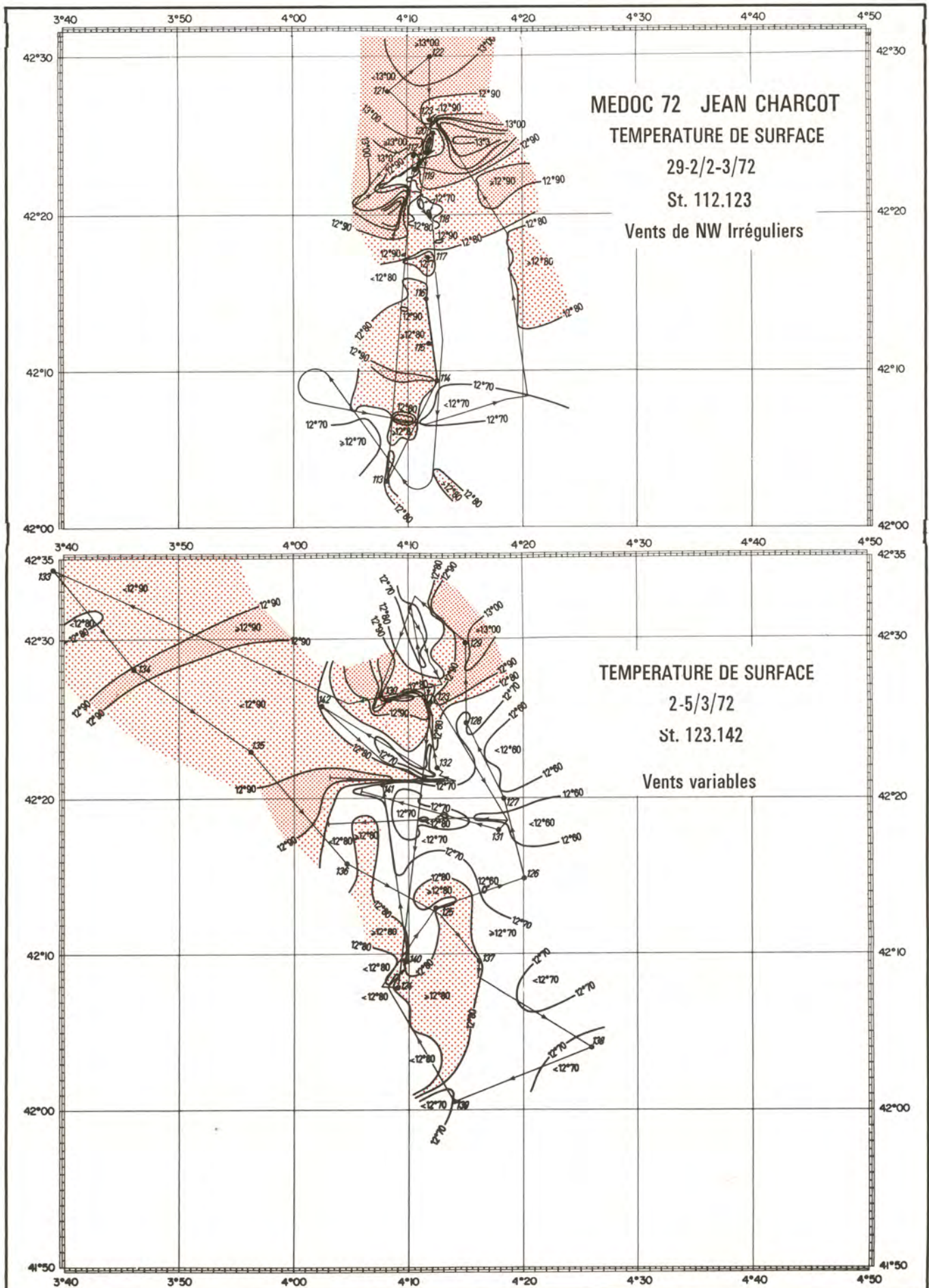


FIGURE 32

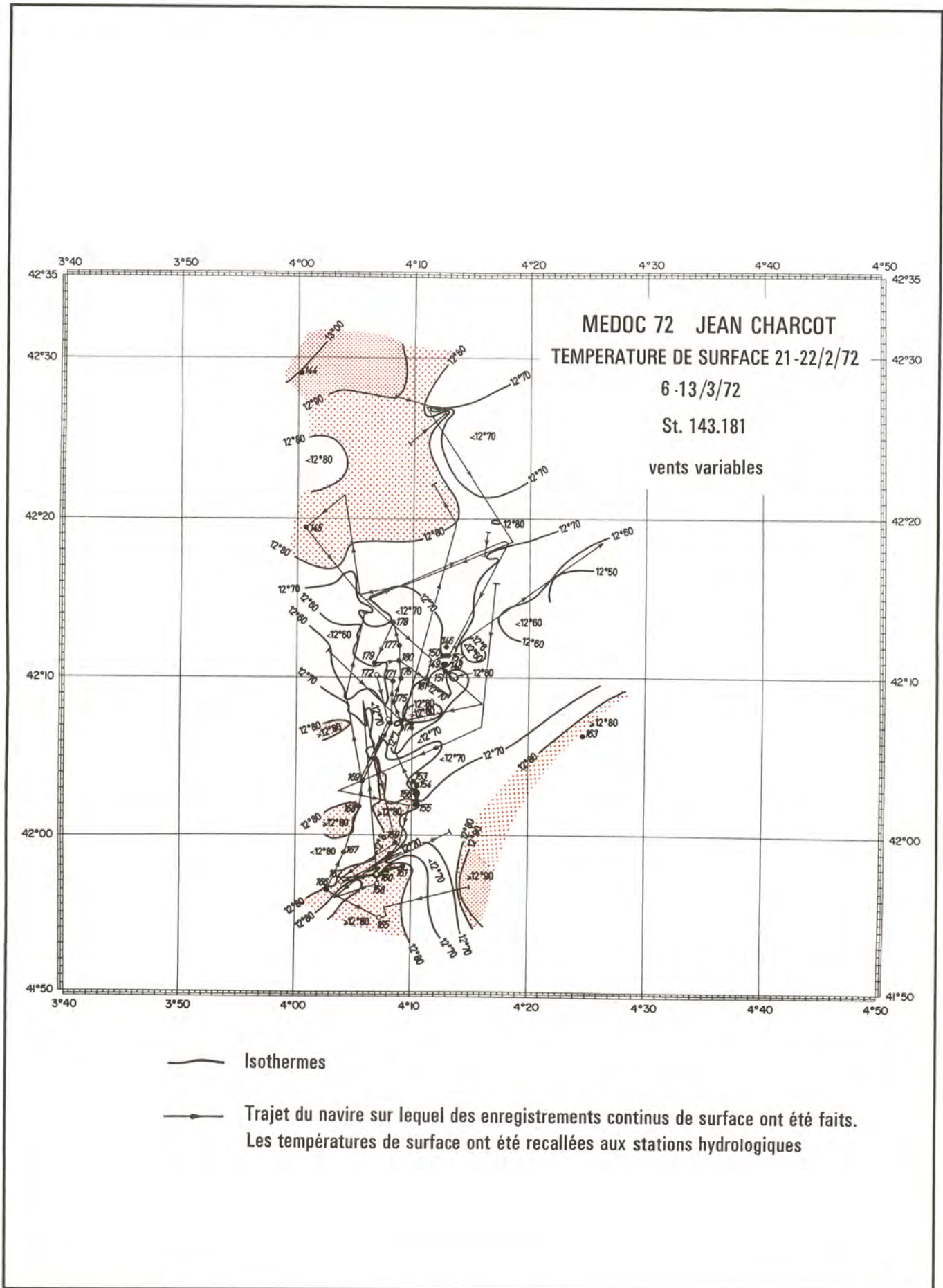


FIGURE 33

MEDOC 72 JEAN CHARCOT

21-2 → 13-3-72

Quantité de chaleur en KCal/m² sur les 100 premiers dbars

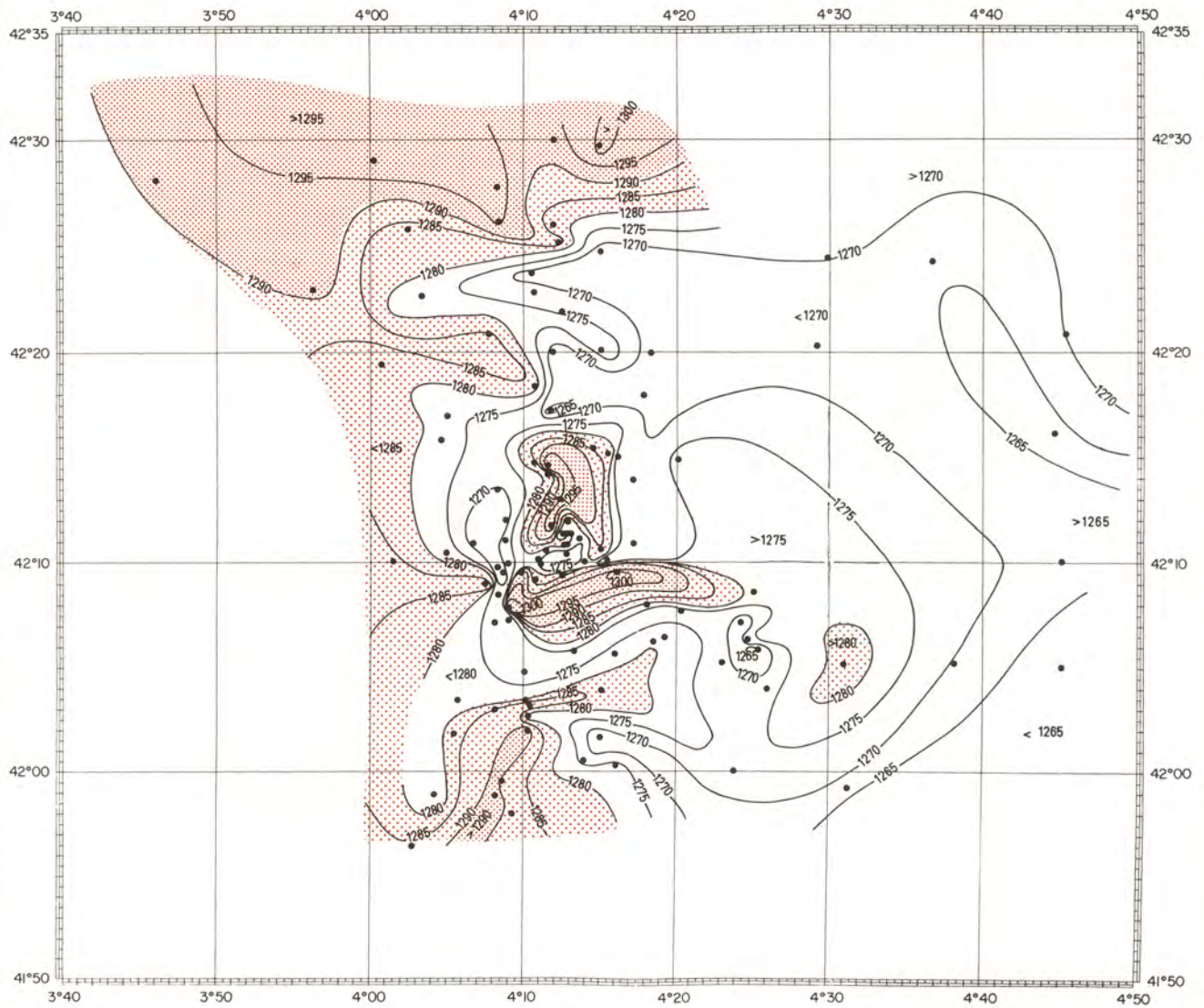


FIGURE 34

MEDOC 72 JEAN CHARCOT

21-2 → 13-3-72

Quantité de sel contenue dans les 100 premiers dbars en Kg/m²

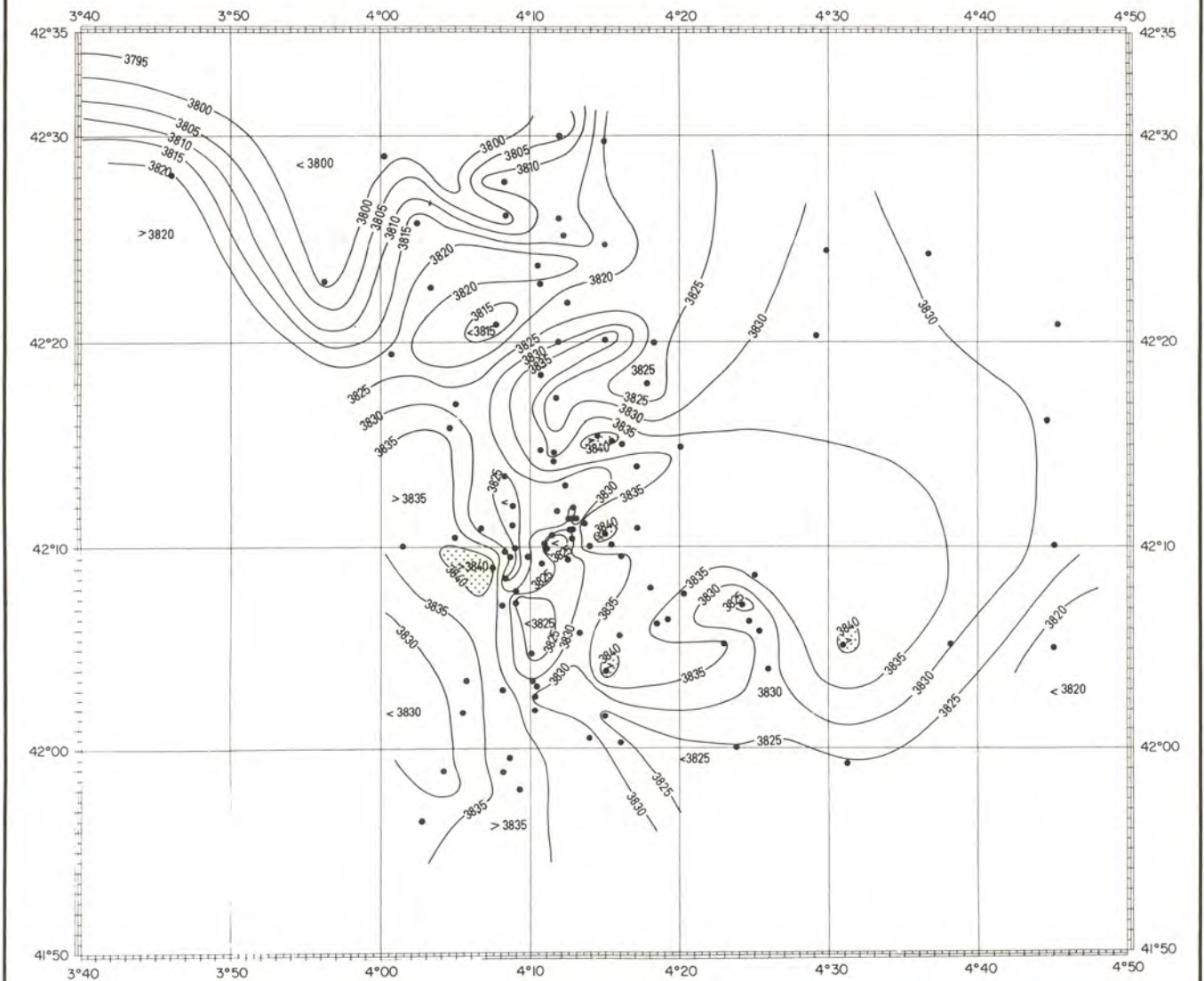


FIGURE 35

représentant *les quantités de chaleur et de sel* contenues dans les 100 premiers décibars. La présence d'eau relativement chaude et salée près de la surface est le signe de mouvements de convection notables. Ainsi, des plages de contenu en sel supérieur à 38,40 o/oo et de contenu thermique supérieur à 12,80°C coïncident avec des aires "convectives".

Cette évolution rapide ainsi que l'apparente migration vers l'Ouest de certains traits hydrologiques de surface entre les deux séries de mesures peuvent être partiellement dues à l'effet de forts vents d'Est vers les 21-24 février. Mais il est possible aussi que les fronts initiaux du type NOROIT soient plus ou moins instables ou que des phénomènes d'instabilité mal connus les fassent évoluer vers des systèmes fermés de petite dimension, dont le centre est occupé par des eaux homogénéisées sur des épaisseurs de 200 à 400 m ou plus, en sorte que les cellules de convection sont multiples et ont de petites dimensions seulement.

Un trait intéressant mis en évidence est constitué par l'aptitude de la couche d'eau intermédiaire à se feuilleter et par la présence, au cours de la période CHARCOT, de signes très nets d'écoulements obliques d'eau froide et dense le long des surfaces σ_t , engendrant des minimums thermiques très nets.

=====

ETUDE DES COURANTS

I. Etude des mouvements verticaux et horizontaux au moyen de flotteurs

En février-mars 1970, trois chercheurs de la Woods Hole Oceanographic Institution (H. STOMMEL, A. VOORHIS et D. WEBB) furent invités à bord du JEAN CHARCOT pour mettre en oeuvre une technique de mesure des courants verticaux. Cette technique utilise des flotteurs (flotteurs de Swallow) qui, étant moins compressibles que l'eau de mer, peuvent être lestés de manière à être en équilibre de densité à une immersion choisie au préalable entre la surface et le fond. A cette immersion, les flotteurs dérivent en fonction du courant. Ils peuvent alors être repérés au cours du temps car ils sont équipés d'un émetteur acoustique. Munis de plans inclinés constituant les pales d'une hélice à axe vertical, ils sont entraînés en outre dans un mouvement de rotation en fonction de l'intensité de la composante verticale de la vitesse. Un compas permet d'évaluer ce mouvement de rotation.

Au cours de MEDOC 70, un flotteur évoluant vers 400 m de profondeur a enregistré des vitesses verticales pouvant atteindre 10 cm/sec.

MEDOC 72 était l'occasion pour notre laboratoire de renouveler ce type d'expérience: 5 flotteurs furent utilisés simultanément. Les dérives de ces flotteurs sont portées sur la figure 36, ainsi que quelques enregistrements de vitesse verticale sur les figures 37, 39 et 40. On a porté, sur la fig. 36, les stations hydrologiques correspondantes.

L'enregistrement le plus intéressant est celui du flotteur I situé à 780 m de profondeur.

La fonction d'autocorrélation de la vitesse verticale enregistrée par ce flotteur indique une période fondamentale d'oscillations de cette vitesse à 4 h 35 mm environ. Le spectre d'énergie cinétique verticale indique une forte concentration d'énergie à cette période. De plus, il existe une quadrature de phase entre vitesse verticale et température, ce qui est confirmé par la fonction de cross-corrélation température-vitesse verticale. Ceci suppose une onde interne pure. Pour comprendre la nature de cette onde interne, il est nécessaire de considérer la structure hydrologique environnante. Cette structure apparaît sur la figure 38, où l'on remarque que le gradient de densité potentielle est de l'ordre de $1,5 \cdot 10^{-8} \text{ g/cm}^3 \text{ m}$. La fréquence de

Brunt-Väisälä N calculée à partir de ce gradient:
$$N^2 = - \frac{g}{\rho_\theta} \frac{\partial \rho_\theta}{\partial z}$$
 donne une période de

4 h 37 mm, ce qui est très proche des 4 h 35 mm déterminées précédemment. L'onde interne précédemment observée est donc une onde de stabilité qui correspond très exactement au mouvement d'une masse fluide homogène qui, déplacée à la verticale de sa position d'équilibre, tend à y revenir en oscillant autour de sa position d'équilibre finale avec une fréquence qui dépend de la stabilité (gradient de densité) du milieu. Plus la stabilité est grande et plus la fréquence est élevée (voir fig. 40 et 41).

Cette technique permet donc, entre autres choses, de mesurer indirectement, avec une très grande précision, la stabilité des masses fluides en présence. Quand on sait à quel point cette stabilité peut être faible (oscillations de grande période) dans les régions source d'eaux profondes comme ce bassin de la Méditerranée, on comprend l'intérêt de cette méthode d'observation.

Les ondes internes peuvent atteindre de grandes amplitudes et ensuite déferler pour créer une turbulence qui accélère le phénomène de mélange des masses d'eau.

Ces ondes "inertio-gravitationnelles" se développent dans un milieu qui est préconditionné par une dynamique de fluides en écoulement quasi-géostrophique. Cette dynamique ne peut être précisée que par l'observation simultanée des mouvements verticaux et horizontaux. D'autres cas sont illustrés par les figures suivantes.

Les mouvements horizontaux sont déterminés à partir de la dérive horizontale des flotteurs (fig. 36) et à partir de la mesure au point fixe des variations du courant avec le temps. En 1972, ces mesures furent effectuées en 3 points: I, II, III indiqués sur la figure 36.

2. Mesures de courants au point fixe

Durant la mission MEDOC 72 trois mouillages de surface, munis de courantomètres reliés entre eux par un câble de nylon de 8-10 mms, ont été placés aux sommets d'un "triangle" à peu près équilatéral, dont les positions sont les suivantes:

- Bouée Nord: $42^{\circ}10'4''$ N - $4^{\circ}14'4''$ E; Point I
- Bouée Sud: $42^{\circ}00'4''$ N - $4^{\circ}14'0''$ E; Point II
- Bouée Est: $42^{\circ}06'4''$ N - $4^{\circ}24'6''$ E; Point III.

Chaque mouillage était conçu de façon à sustenter, au moyen de la bouée de surface et de flotteurs sous-marins fixés au câble de mouillage, 3 courantomètres placés à des immersions différentes, du 25 février au 11 mars 1972 (voir Tableau-Courantomètres MEDOC 72).

Les appareils utilisés étaient:

- d'une part, des courantomètres français à hélice et compas magnétique (Mécabolier);
- d'autre part, des courantomètres américains à rotor de Savonius (Richardson-Géodyne).

Sur ces deux types d'appareils, l'enregistrement des informations (direction et nombre de tours de l'hélice ou du rotor) est assuré par un système optique-photographique, à une cadence de 1 vue toutes les 6 mn pour les appareils français et 1 vue toutes les 5 mn pour les appareils américains. Les résultats sont présentés sous la forme d'hodographes intégrés (IBM 1130 du laboratoire) sur les figures 42 à 44.

Du 1er au 9 mars, près de la surface, à 25 m au Point I, à 88 m au Point II et à 46 m au Point III (fig. 42), les courants portent respectivement au SSW, à l'ENE et au Nord, ce qui indique l'existence d'une circulation cyclonique (tourbillon).

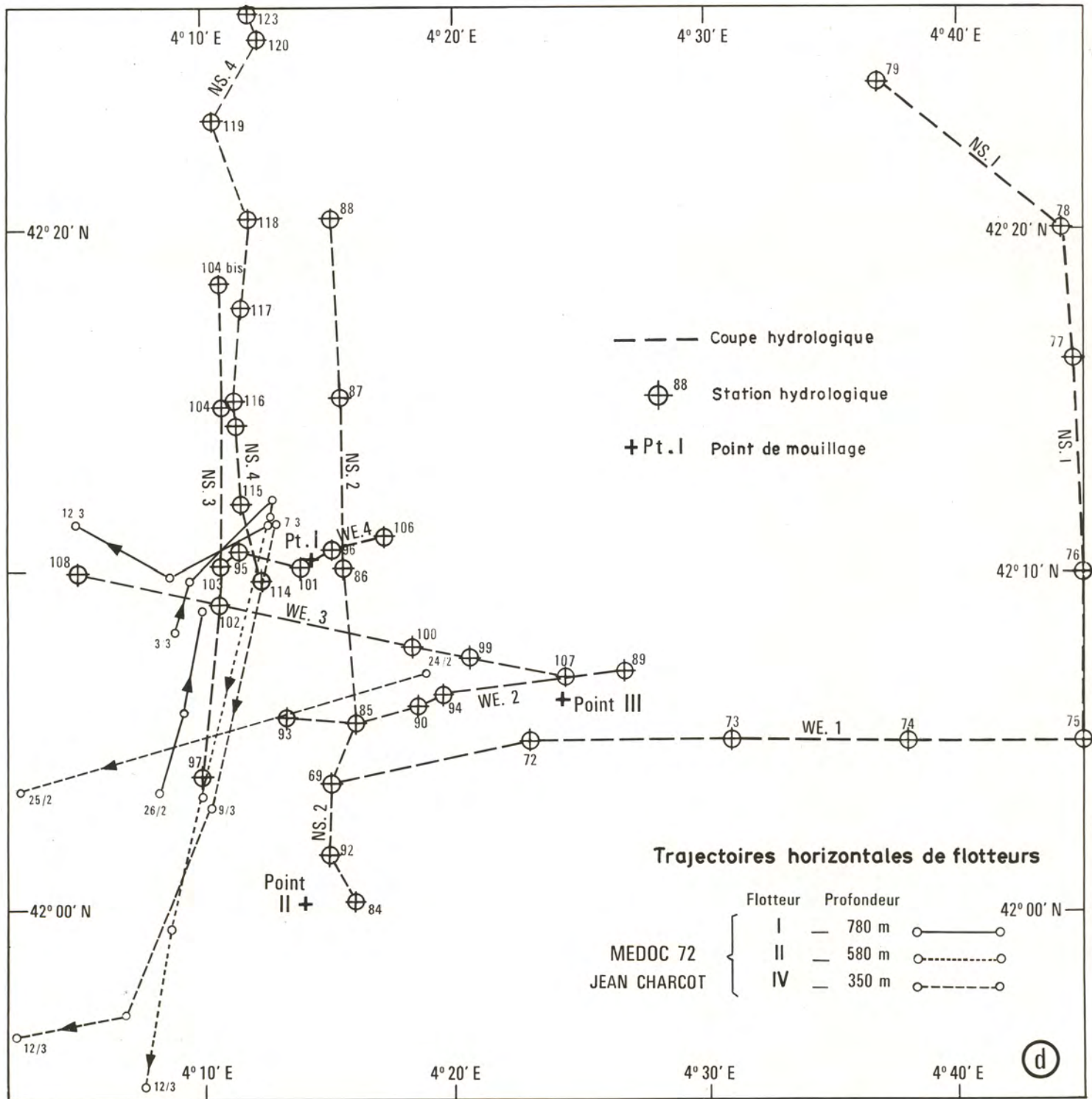
A la bouée Sud (Point II; fig. 43), on peut remarquer que pendant la première semaine de mars les courants à 316 m et à 1000 m, d'une part, à 88 m d'autre part, ont une direction opposée. On peut faire la même remarque au Point III (fig. 44) où les courants portent au 212° à 1217 m et au Nord à 46 m.

Au Point I également, le courant moyen porte au Nord en profondeur et au 200° en surface. Ceci implique donc, dans la région comprise entre les points I, II et III, une circulation anticyclonique profonde et une circulation cyclonique superficielle.

L'hodographe intégré à 1000 m au Point II indique, entre le 6 et le 7 mars, un changement de 90° de la direction du courant; c'est un trait caractéristique des hodographes obtenus en hiver dans cette région et qui est probablement dû à une discontinuité de vitesse au passage du "front" profond, associé au mécanisme d'instabilité barocline.

TABLEAU - COURANTOMETRES MEDOC 72

BOUEES	SONDES	IMMERSION DES APPAREILS	DUREE DE L'IMMERSION	TYPE DE L'APPAREIL	OBSERVATIONS
NORD	1860 m	25 m	{ 25.2.72 à 15h48 au 10.3.72 à 17h24	MECABOLIER (hélice)	Compteur blo- qué (hélice cassée)
		305 m	{ 25.2.72 à 15h48 au 2.3.72 à 13h12	MECABOLIER	
		1249 m	{ 25.2.72 à 18h00 au 11.3.72 à 16h30	RICHARDSON-GEODYNE (rotot)	
SUD	2140 m	88 m	{ 25.2.72 à 09h48 au 11.3.72 à 12h00	MECABOLIER	
		316 m	{ 25.2.72 à 09h48 au 11.3.72 à 12h00	MECABOLIER	
		1000 m	{ 25.2.72 à 09h45 au 11.3.72 à 11h45	RICHARDSON-GEODYNE	
EST	2135 m	46 m	{ 25.2.72 à 13h30 au 11.3.72 à 13h18	MECABOLIER	
		353 m	{ 25.2.72 à 13h30 au 11.3.72 à 13h18	MECABOLIER	
		1217 m	{ 25.2.72 à 13h30 au 11.3.73 à 12h45	RICHARDSON-GEODYNE	



Trajectoires horizontales de flotteurs en dérive entre 300 et 800 m de profondeur
 du 24 Février au 12 Mars 1972

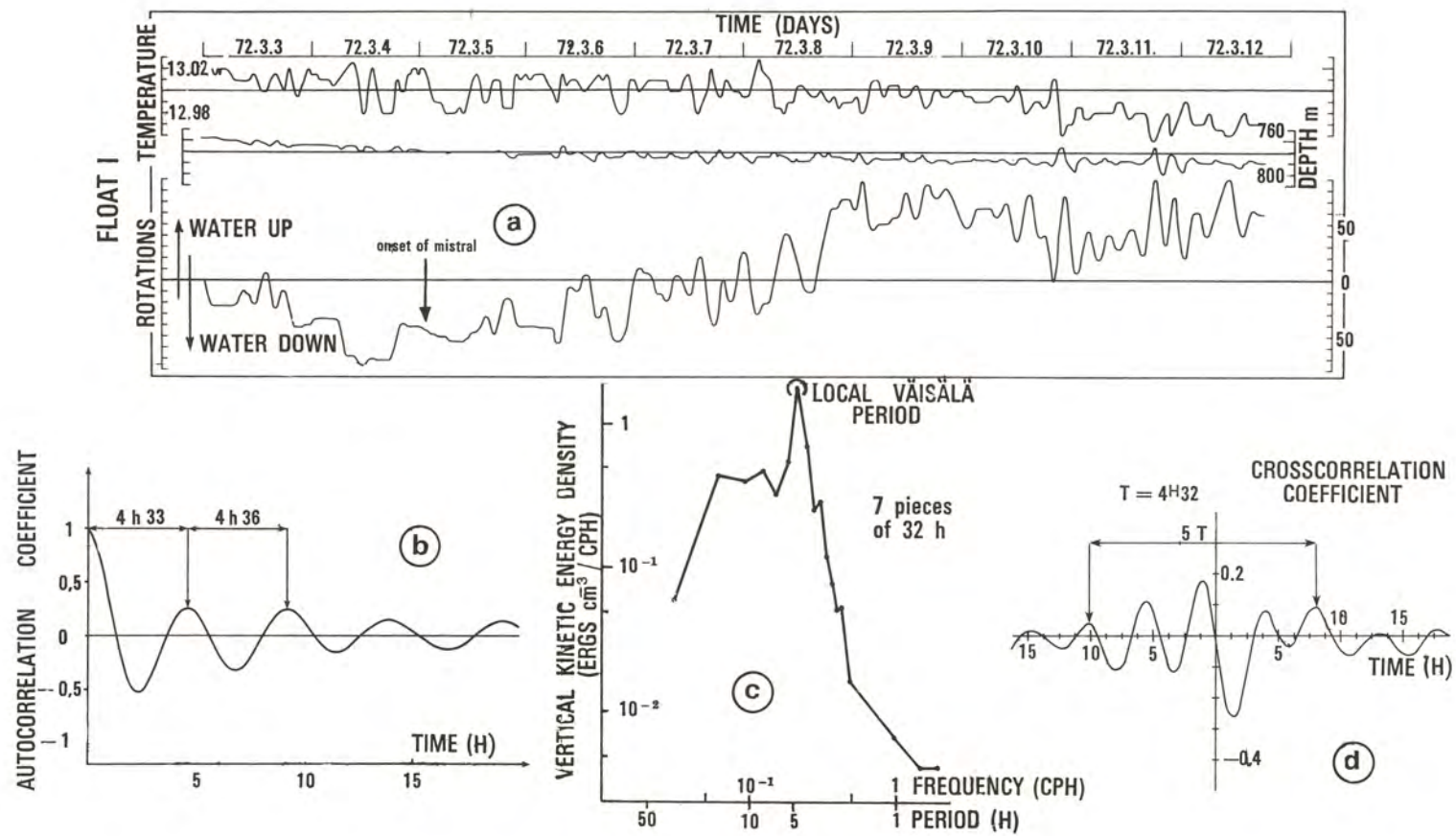
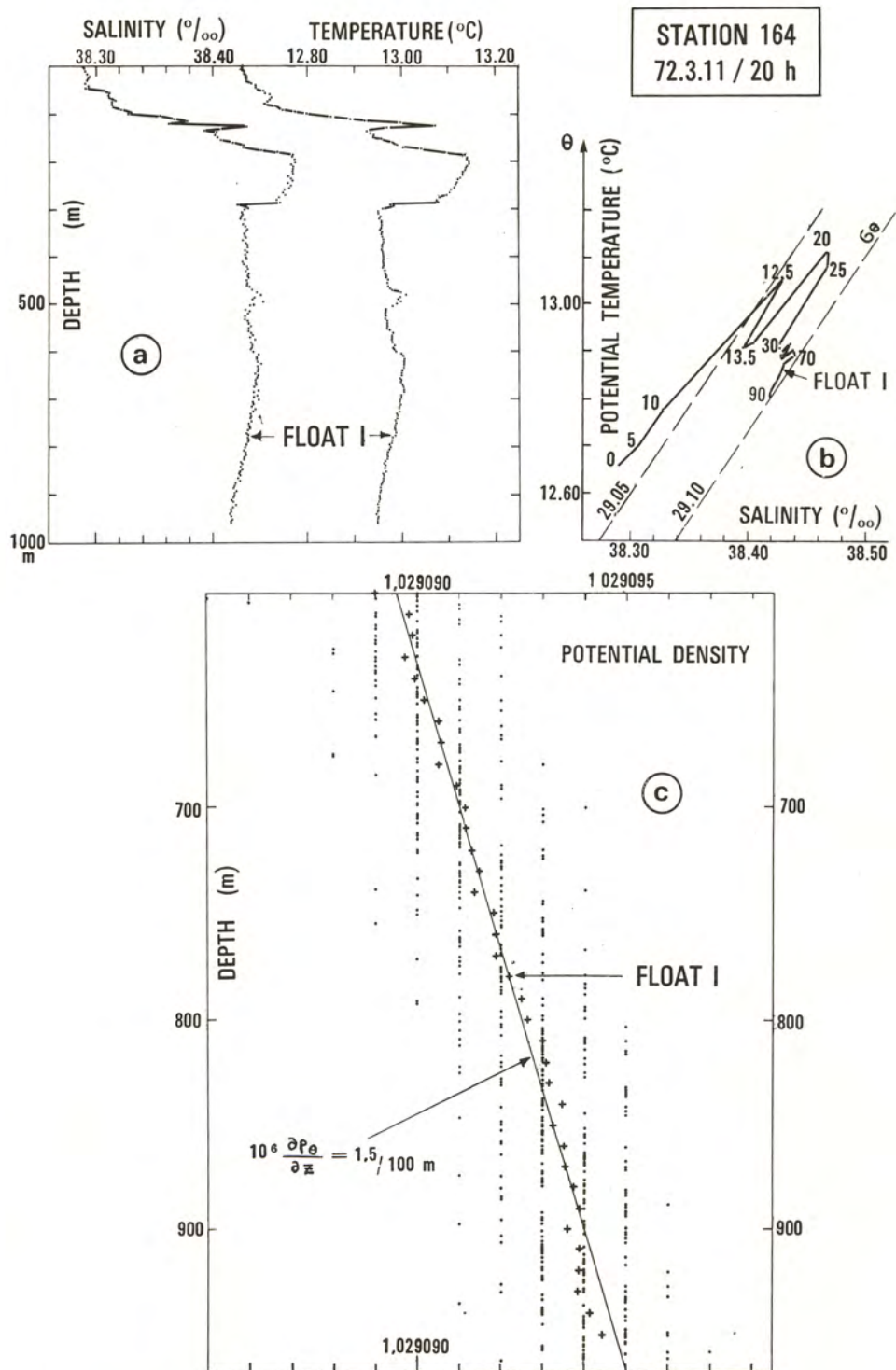


FIGURE 37



Station hydrologique effectuée à la verticale du flotteur I

FIGURE 38

FLOAT II

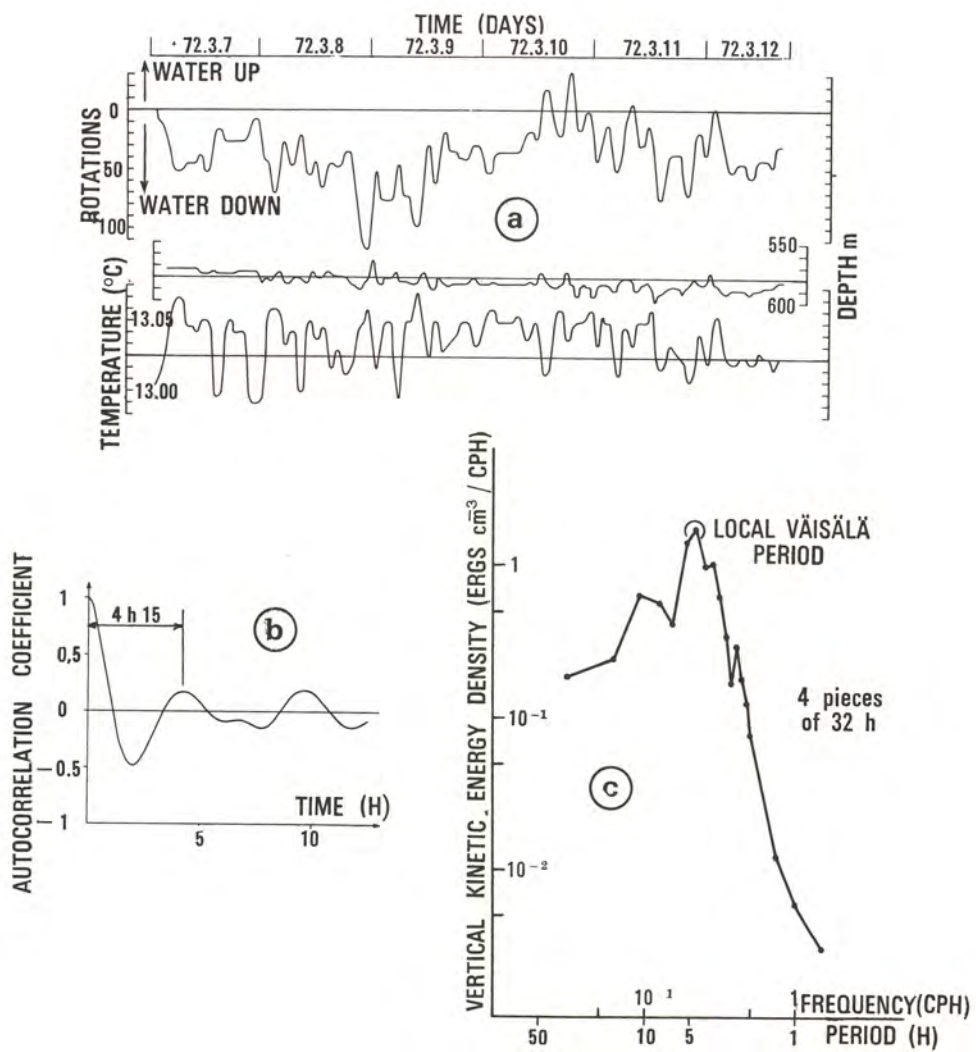


FIGURE 39

FLOAT III

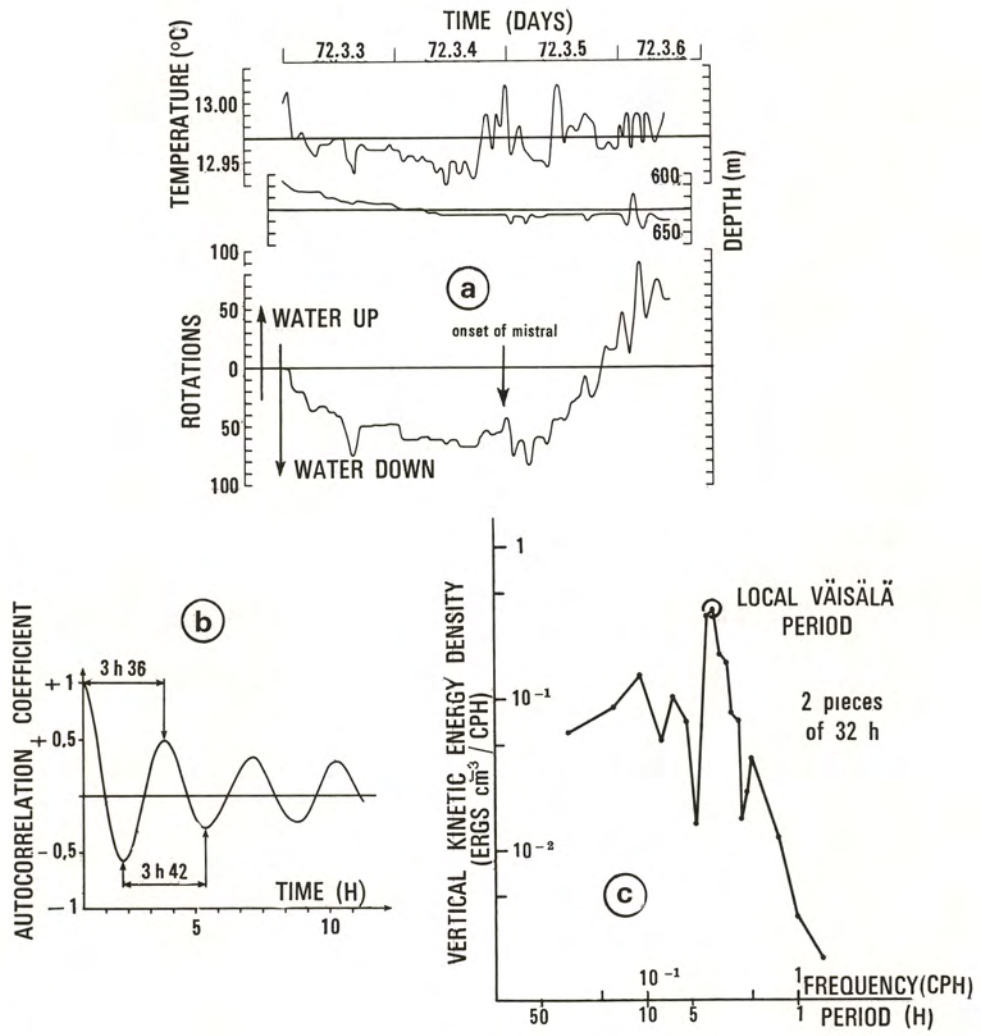
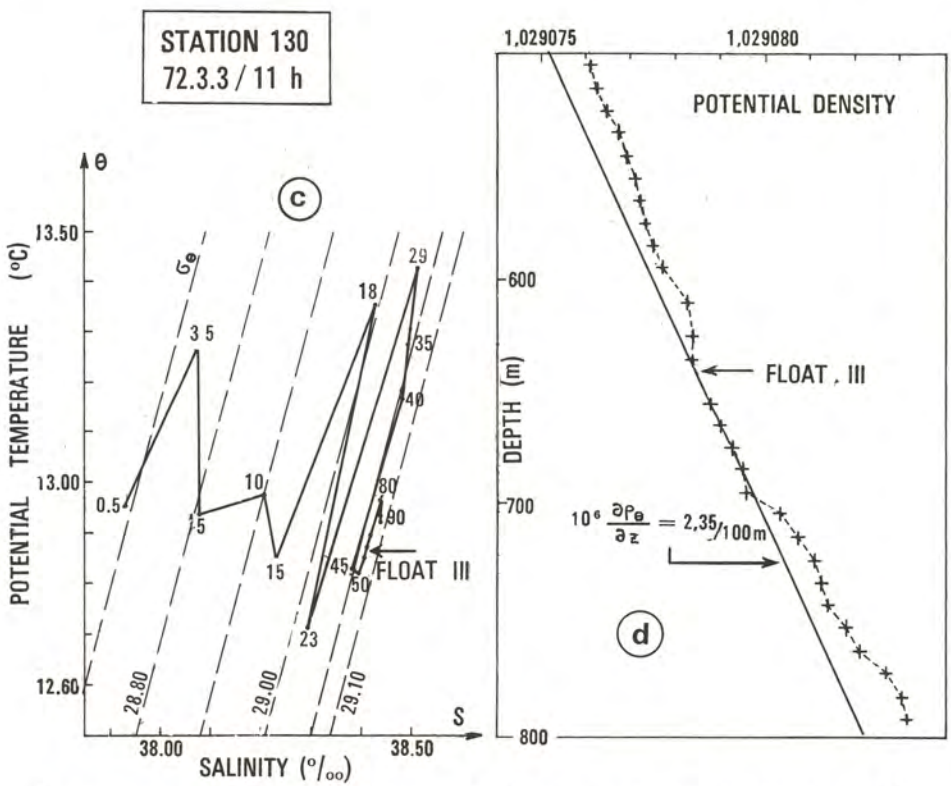
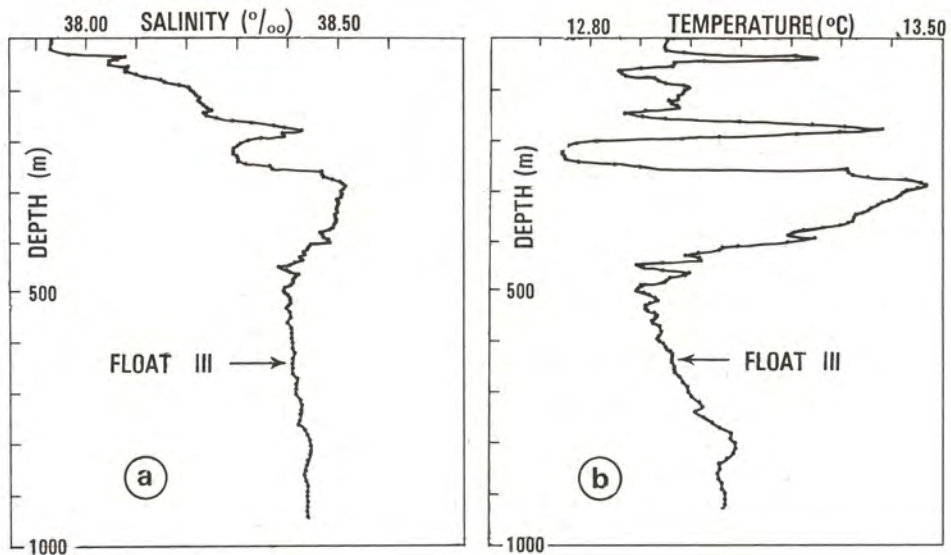


FIGURE 40



Station hydrologique effectuée à la verticale du flotteur III

FIGURE 41

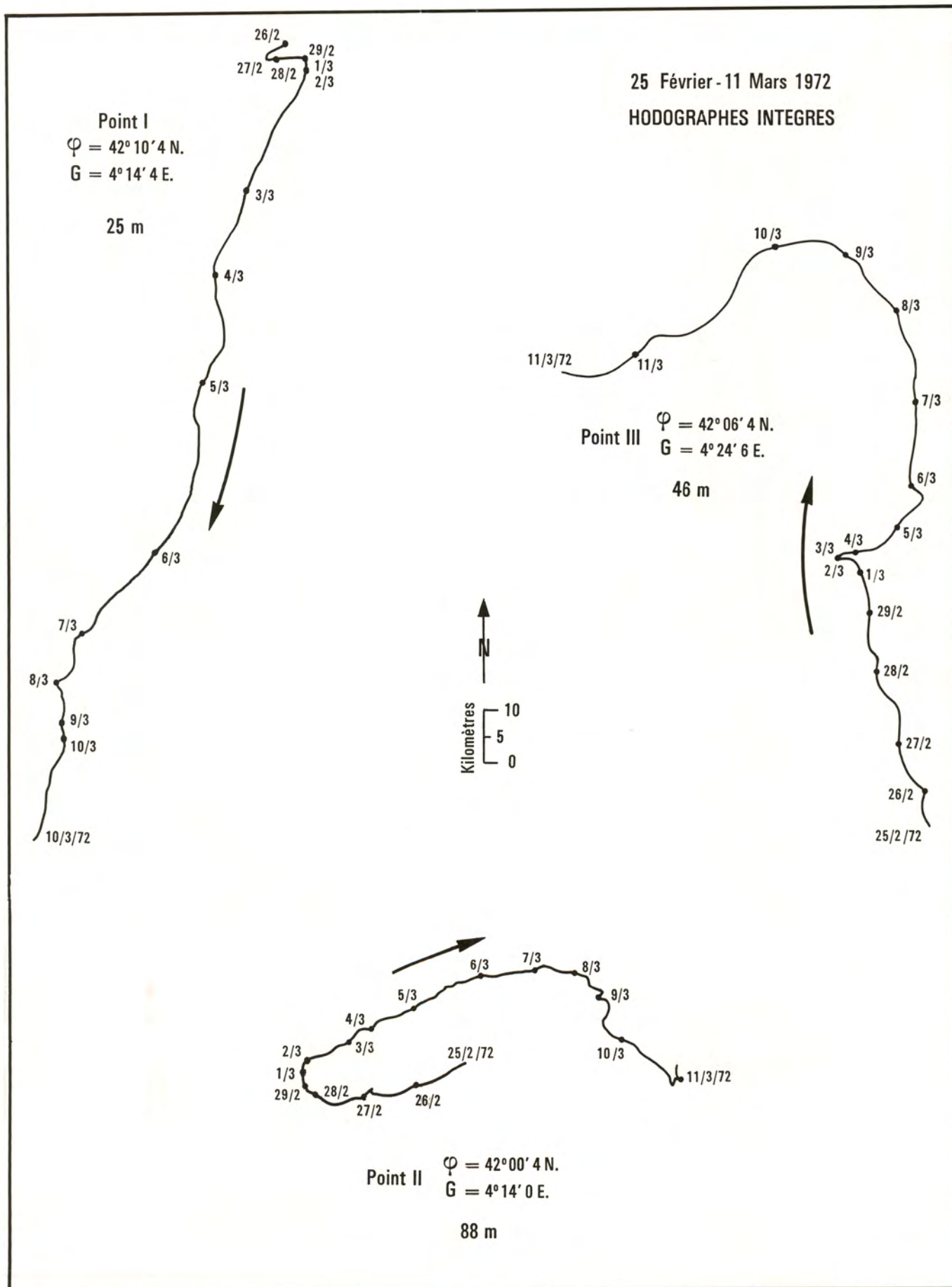


FIGURE 42

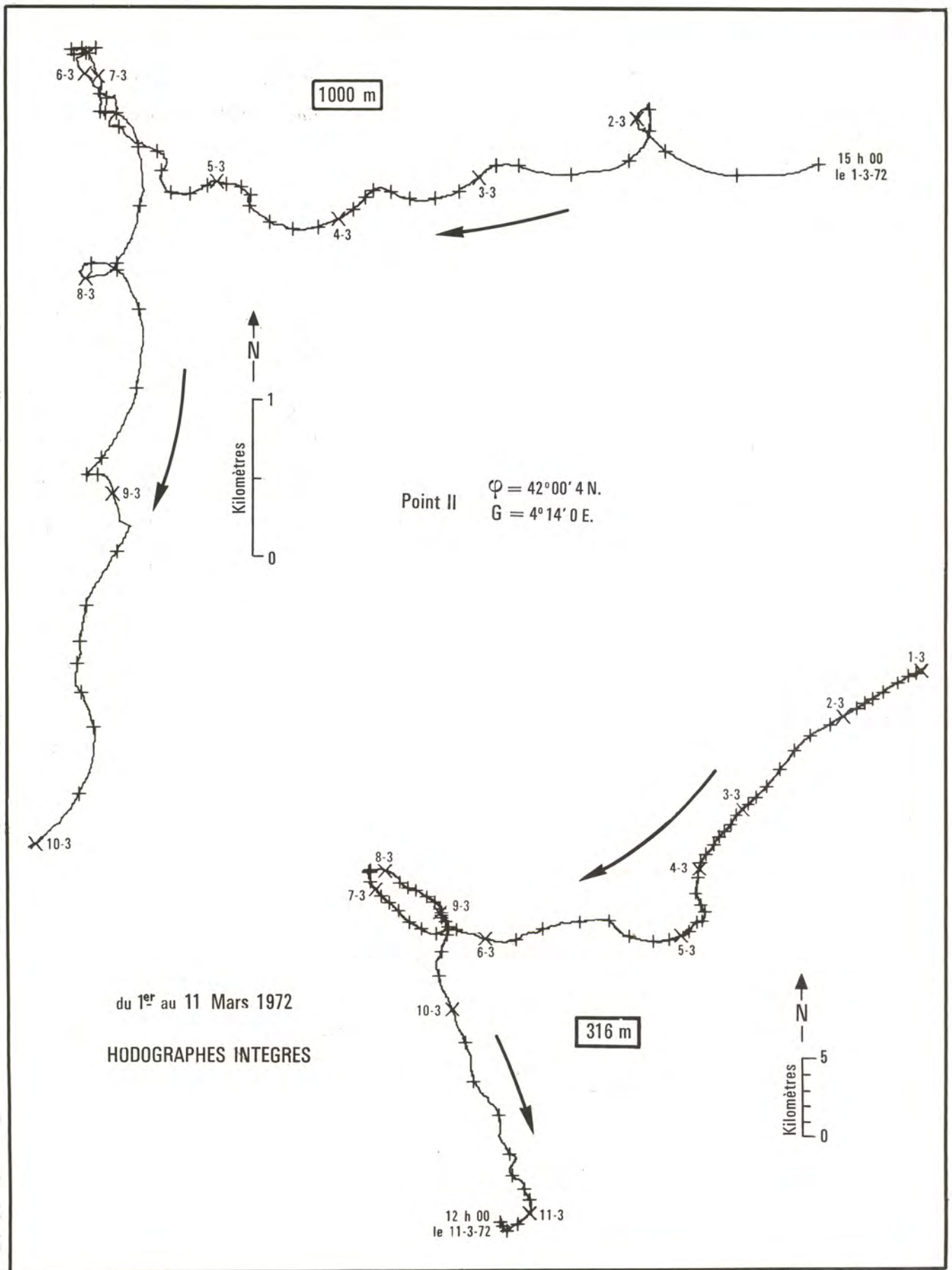


FIGURE 43

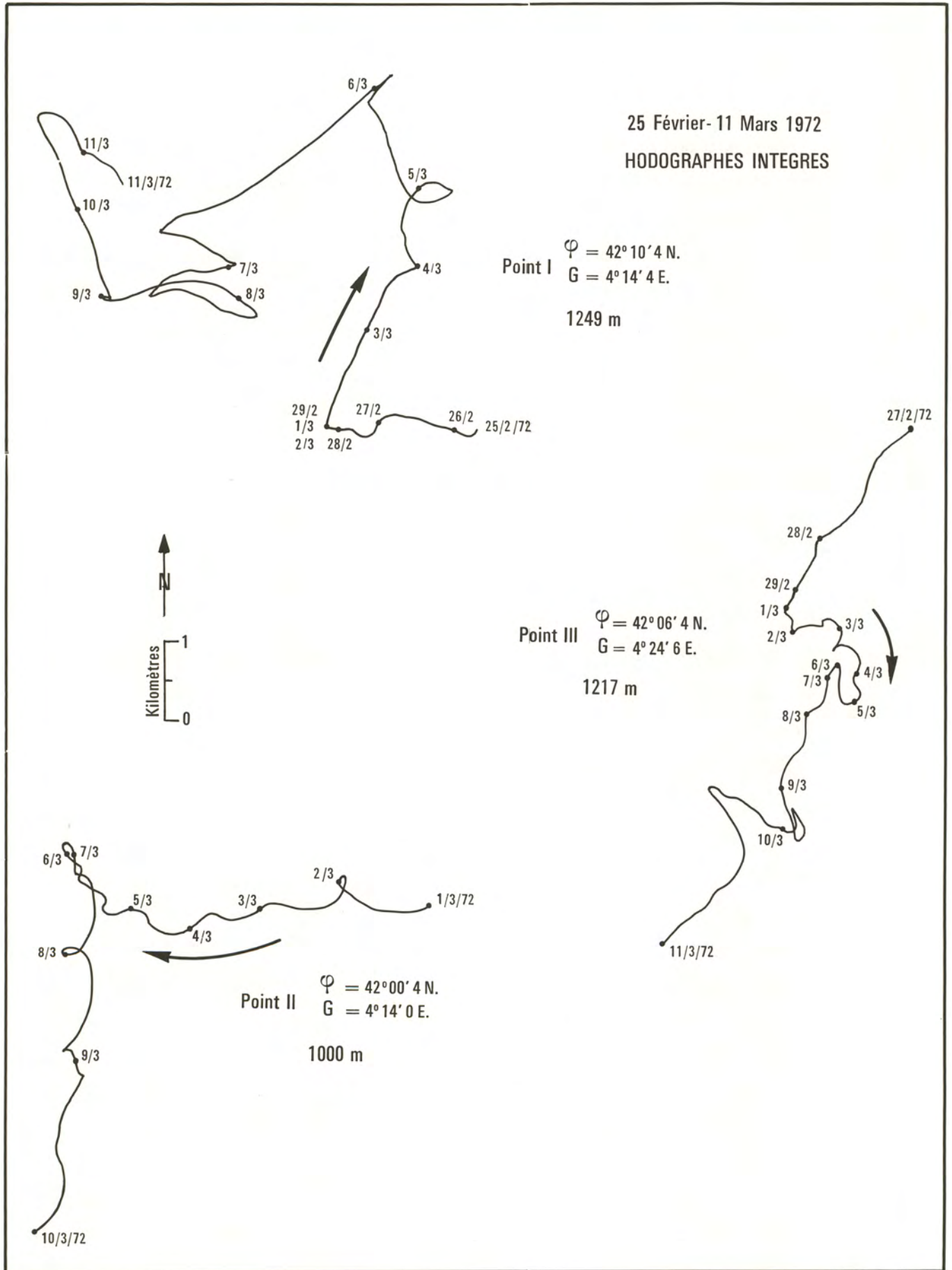


FIGURE 44

BIBLIOGRAPHIE

- Colloque International du CNRS "La Formation des eaux océaniques profondes", Paris, 4-7 oct. 1972, n° 215, éd. CNRS, 1974, pp. 139-233 (formation des eaux profondes en Méditerranée occidentale).
- FIEUX M. (1972). Contribution à l'étude hydrologique et dynamique du Golfe du Lion en période hivernale. Thèse 3ème cycle, Océanogr. Phys., PARIS VI.
- GASCARD J.C. (1973). Vertical motions in a region of deep water formation. Deep-Sea Res., Vol. 20, n° 11, pp. 1011-1027.
- GASCARD J.C. (1974). Mouvements verticaux en milieu faiblement stratifié. Com. Tech. SHF. La Houille Blanche, n° 7-8, pp. 615-622.
- GASCARD J.C. (1975). Comparaison des mouvements verticaux observés en profondeur en Méditerranée Nord-occidentale en régime d'été et en régime d'hiver. C.R. Acad. Sci. Paris, sér. B, T. 280 (5 mai 1975), pp. 555-558.
- GASCARD J.C. (1975). Tourbillons océaniques et mouvements verticaux associés, Symposium Franco-Soviétique, Grenoble, août 1975 (à paraître).
- LACOMBE H., P. TCHERNIA (1972). Le problème de la formation des eaux marines profondes profondes. Déroulement du phénomène en Méditerranée Nord-occidentale par hiver très froid (janvier-mars 1963). Ann. Inst. Océanogr., XLVIII, fasc. 1, pp. 75-110.
- LACOMBE H. (1972). Sur un modèle simple de thermocline saisonnière et sur sa prévision. C.R. Acad. Sci. Paris, sér. D, T. 275 (13 nov. 1972), pp. 2211-2114.
- MEDOC Group (1970). Observation of formation of deep water in the Mediterranean Sea, 1969. Nature, Lond., 277 (5262), pp. 1037-1040.
- PERSON R. (1974). Un exemple de descente des eaux superficielles du plateau continental dans un canyon du Golfe du Lion. In: "La formation des eaux océaniques profondes", Coll. Intern. CNRS, Paris, 4-7 oct. 1972, n° 215, éd. CNRS, pp. 175-190.
- SAINT-GUILY B. (1963). Remarques sur le mécanisme de formation des eaux profondes en Méditerranée occidentale. Rapp. P-V Réun. CIESM, 17 (3), pp. 929-932.
- SAINT-GUILY B. (1972). On the response of the ocean to impulse. Tellus, 24, n° 4, pp. 344-349.
- STOMMEL H., D. VOORHIS and D.C. WEBB (1971). Submarine clouds in the deep ocean. Am. Scientist., 59 (6), pp. 716-722.
- VOORHIS A.D. and D.C. WEBB (1970). Large vertical currents observed in a winter sinking region of the northwestern Mediterranean. Cah. Océanogr., 22, pp. 571-580.
- VOORHIS A.D. (1971). Response characteristics of the neutrally buoyant float. Tech. Rep. Woods Hole Oceanogr. Inst., Dec. 1971, Ref. N° 71.73 (Unpublished manuscript).

WEBB D.C., D.L. DORSON and A.D. VOORHIS (1970). A new instrument for the measurements of vertical currents in the ocean. Conference on Electronic Engineering in Ocean Technology. University College of Swansea, 21-24 September 1970. IERE Proc., 19, pp. 323-331.

=====

TABLE DES FIGURES

	p.
Fig. 1- Stations hydrologiques: campagne NOROIT	7
Fig. 2- Stations hydrologiques: campagne JEAN CHARCOT	8
Fig. 3- Vitesse du vent de janvier à mars 1972	9
Fig. 4- Température de surface du 27 janvier au 5 février 1972	12
Fig. 5- Quantité de chaleur sur les 100 premiers dbars du 27 janvier au 5 février 1972	13
Fig. 6- Salinité de surface du 27 janvier au 5 février 1972	14
Fig. 7- Quantité de sel sur les 100 premiers dbars du 27 janvier au 5 février 1972	15
Fig. 8- σ_t de surface du 27 janvier au 5 février 1972	16
Fig. 9- Diagramme θ/S général des masses d'eaux du 27 janvier au 5 février 1972	19
Fig. 10- Coupe N-S-1 du 27 janvier au 5 février 1972	20
Fig. 11- Coupe N-S-2 - -	21
Fig. 12- Coupe N-S-3 - -	22
Fig. 13- Coupe N-S-4 - -	23
Fig. 14- Coupe N-S-5 - -	24
Fig. 15- Coupe N-S-6 - -	26
Fig. 16- Coupe W-E-1 - -	28
Fig. 17- Coupe W-E-2 - -	29
Fig. 18- Coupe W-E-3 - -	30
Fig. 19- Coupe W-E-4 - -	31
Fig. 20- Coupe W-E-5 - -	32
Fig. 21- Diagramme θ/S de l'eau profonde du 27 janvier au 5 février 1972	34
Fig. 22- Coupes N-S-1 et N-S-2 du 21 au 24 février 1972	37
Fig. 23- Coupes W-E-1 et W-E-2 - -	38
Fig. 24- Coupes N-S-3 et F-T-1 du 25 au 27 -	39
Fig. 25- Coupes W-E-3 et W-E-4 du 25 au 27 -	40
Fig. 26- Coupe N-S-4 du 1er au 13 mars 1972	42
Fig. 27- Coupe N-S-5 - -	44

Fig. 28-	Evolution de θ et S avec le temps, au point 42°11.3'N - 4°12.7'E	47
Fig. 29-	- σ_θ avec le temps, - - -	48
Fig. 30-	Température de surface du 21 au 24 février 1972	49
Fig. 31-	- - du 25 au 29 -	50
Fig. 32-	- - du 29 février au 5 mars 1972	51
Fig. 33-	- - du 6 février au 13 mars 1972	52
Fig. 34-	Quantité de chaleur sur les 100 premiers dbars du 21 février au 13 mars 1972	53
Fig. 35-	- de sel - - - -	54
Fig. 36-	Stations hydrologiques et trajectoires horizontales des flotteurs	59
Fig. 37-	Enregistrement de mouvements verticaux	60
Fig. 38-	Station hydrologique N° 164 (à la verticale du flotteur I)	61
Fig. 39-	Enregistrement de mouvements verticaux	62
Fig. 40-	- . - -	63
Fig. 41-	Station hydrologique N° 130 (à la verticale du flotteur III)	64
Fig. 42-	Hodographes intégrés	65
Fig. 43-	- -	66
Fig; 44-	- -	67

imprimé par
le Service de Documentation
Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay
Juillet 1977

ISSN 0339 - 2902

