

P 502/1



Découvrez plus de documents
accessibles gratuitement dans [Archimer](#)

31 JAN 1977

Publications du
National pour l'Exploitation des Océans
(CNEXO)

Série : Rapports scientifiques et techniques

N° 30 - 1976

EXCLU DU PRÊT

ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET VARIATIONS SAISONNIÈRES
DANS LE PROCHE ATLANTIQUE EN 1974

par

B. FRUCHAUD-LAPARRA

J. LE FLOCH

C. LE ROY

J.Y. LE TAREAU

F. MADELAIN



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

Rapport Scientifique et Technique N° 30

ETUDE HYDROLOGIQUE ET VARIATIONS SAISONNIERES
DANS LE PROCHE ATLANTIQUE EN 1974

par

B. FRUCHAUD-LAPARRA (1)

J. LE FLOCH (2)

C. LE ROY (2)

J.Y. LE TAREAU (2)

F. MADELAIN (1)

(1) Contribution N° 507
du Département Scientifique
Centre Océanologique de Bretagne
B.P. 337 - 29273 Brest Cédex

(2) Contribution N° 76/7
Université de Bretagne Occidentale
Laboratoire d'Océanographie Physique
29283 Brest

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.....	page 1
PRESENTATION DES RESULTATS	
. PHYGAS 41.....	page 9
. PHYGAS 42.....	page 29
. PHYGAS 43.....	page 45
. PHYGAS 44.....	page 70
CONCLUSION.....	page 105
BIBLIOGRAPHIE.....	page 107

Résumé

Cet article traite des données hydrologiques recueillies en 1974 dans l'Atlantique Nord-Est ($43^{\circ} \text{N} \leq \varphi \leq 50^{\circ} \text{N}$, $G \leq 12^{\circ} \text{W}$) au cours de quatre campagnes exécutées en commun par des chercheurs du C.O.B. et du Laboratoire d'Océanographie Physique de l'U.B.O.. Cette zone océanique est caractérisée par la petitesse des gradients horizontaux rencontrés et la grande homogénéité des structures verticales entre la thermocline saisonnière et l'immersion 600 m qui marque la limite supérieure de l'influence des eaux d'origine méditerranéenne. Les courants superficiels calculés sont faibles. L'étude des variations saisonnières est abordée à partir de l'évolution du contenu thermique des 250 premiers mètres. A partir de ces données et de celles recueillies en 1972 et 1973, des courbes de variation annuelle du contenu thermique sont présentées pour trois carreaux d'environ 100 km de côté situés au NW, au SW et à l'Ouest de cette zone. La comparaison des trois courbes met en évidence l'effet de la latitude, l'influence des masses continentales et de phénomènes d'advection. Enfin, une étude comparative des conditions climatiques moyennes et des conditions hydrologiques est abordé pour ces trois années.

Abstract

This paper deals with hydrological data collected in 1974 in the N.E. Atlantic ($43^{\circ} \text{N} \leq \varphi \leq 50^{\circ} \text{N}$, $G \leq 12^{\circ} \text{W}$) during four cruises which were carried out jointly by scientists from the C.O.B. and from the Physical Oceanography Laboratory of the U.B.O.. The outstanding hydrological features of that area are the weakness of horizontal gradients and the homogeneity of vertical profiles between the thermocline and a depth of 600 meters which corresponds to the upper limit of the influence of mediterranean waters. Computed surface currents are very weak. The heat content of the first 250 m, is used for the study of seasonal variations rather than surface temperatures which are more subject to short term variations. From these data and others collected in 1972 and 1973 curves are presented showing, for three selected regions, the annual evolution of the heat content ; comparison of these curves shows the effect of latitude, of continental masses and advection. A comparative study for these three years relating meteorological and hydrological conditions has been attempted.

C O.B. Centre Océanologique de Bretagne - BREST.

U.B.O. Université de Bretagne Occidentale - BREST.

INTRODUCTION

La série de onze campagnes saisonnières effectuées en commun par l'équipe d'Océanographie Physique du Centre Océanologique de Bretagne et le Laboratoire d'Océanographie Physique de l'Université de Bretagne Occidentale a pris fin en janvier 1975.

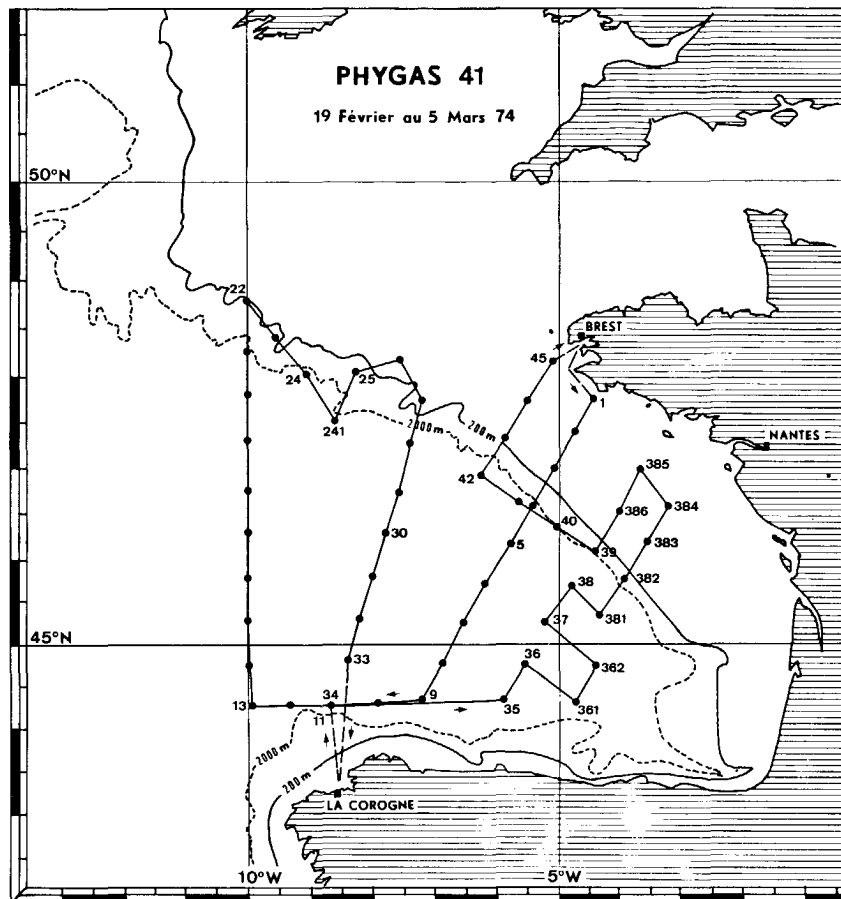
Les résultats relatifs aux campagnes effectuées en 1972 et 1973 ont été présentés dans deux rapports précédents (FRUCHAUD, 1974 ; FRUCHAUD, LE FLOCH, LETAREAU, TANGUY, 1975). Ce volume traite des données recueillies en 1974.

Chaque laboratoire a effectué deux des quatre campagnes : celles de printemps (PHYGAS 41) et d'automne (PHYGAS 43) ont été placées sous la responsabilité de l'Université de Brest, tandis que les campagnes d'été (PHYGAS 42) et d'hiver (PHYGAS 44) se sont déroulées sous celle du C.O.B.. Chaque équipe a pris en charge le dépouillement et l'exploitation des données qu'elle avait obtenues en mer. Elle a ensuite procédé à une étude hydrographique classique et rédigé la partie correspondante du présent article. Un échange de données a permis une étude comparative de ces quatre campagnes.

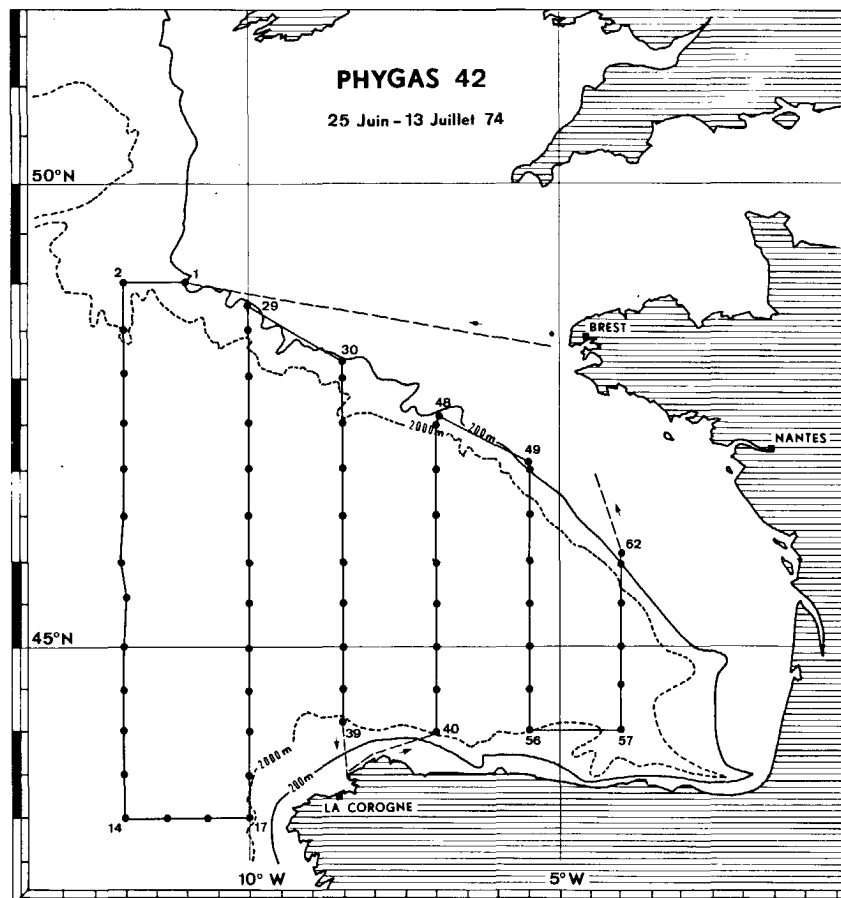
Résumé des campagnes

- PHYGAS 41 (fig.1a). Cette campagne s'est déroulée du 19 février au 5 mars 1974, sur le N.O. LE NOROIT. Des conditions météorologiques favorables ont permis l'exécution de 54 stations hydrologiques dans la zone limitée par les parallèles 44°N et 49°N et les méridiens 3°W et 10°W. Une quarantaine de stations ont été effectuées par fond supérieur à 2 000 m., les autres sur le plateau continental français proche de la Bretagne.
- PHYGAS 42 (fig.1b). La seconde campagne de 1974 s'est déroulée sur le N.O. CRYOS du 25 juin au 13 juillet suivant 6 radiales nord-sud sur les méridiens 4°W, 5°30 W, 7°W, 8°30 W, 10°W et 12°W. Chaque radiale débute et se termine par une station sur les accores du plateau continental par fond de 1 000 m. Les deux radiales les plus à l'ouest (10 W et 12 W) ont été limitées au sud par le parallèle 43°N. 62 stations ont pu être effectuées
- PHYGAS 43 (fig.2a). Le mauvais temps rencontré en début et en fin de campagne n'a permis d'effectuer au cours de cette campagne (5 au 24 septembre 1974) que 43 stations dont 5 sur le plateau. Les stations ont été faites sur les méridiens 5°W, 6°45 W, 8° W, 9°30 et 11°30 W. Cette campagne s'est déroulée sur le chalutier "LA PERLE".

.../...

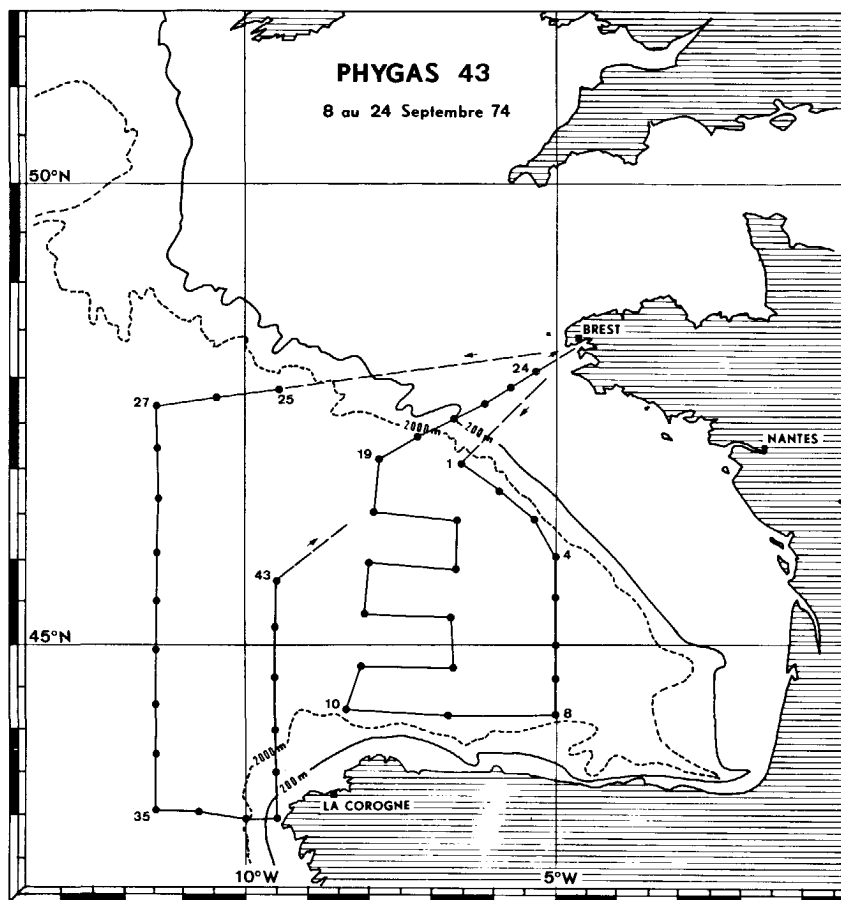


1a

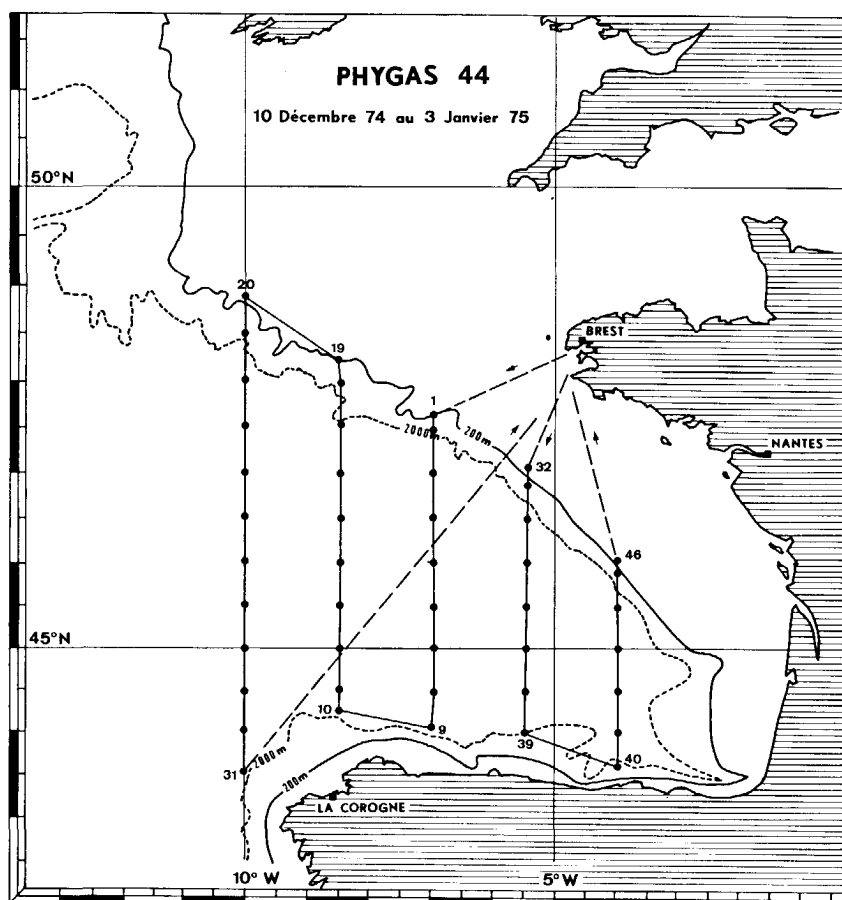


1b

Figures 1a et 1b



2a



2b

Figures 2a et 2b

- PHYGAS 44 (fig.2b). Cette campagne eut lieu du 10 décembre 1974 au 3 janvier 1975 (avec une interruption de 10 jours du 21 décembre au 31 décembre 1975), sur le NADIR. Elle s'est déroulée suivant le même trajet que PHYGAS 42. De mauvaises conditions météorologiques n'ont pas permis de travailler sur le 12^eW. 46 stations ont été effectuées.

Méthodologie

Les mesures ont été faites avec des sondes automatiques (S,T,D ou C, T, D, O₂). Ces appareils ont été étalonnés en laboratoire avant chaque campagne, en température et en pression. Des mesures comparatives effectuées en mer, soit à l'aide d'un multiéchantillonneur, soit à l'aide de bouteilles à renversement ont permis d'effectuer les étalonnages en salinité et en oxygène dissous. Après étalonnage, la précision des sondes est de :

- ± 0.01°C en température
- ± 0.02‰ en salinité
- ± 0.1 ml/l en oxygène dissous
- ± 3 db en pression.

Des enregistrements en continu de la température de surface ont été effectués pendant PHYGAS 41, 42 et 44. Les salinités de surface ont été enregistrées en continu (PHYGAS 41) ou déterminées à partir de prélèvements en route (PHYGAS 42, 44) tous les 15 milles environ.

Climatologie

Comme pour les deux articles précédents, les températures de l'air et les précipitations en 1974 sont comparées aux moyennes calculées sur la période 1931 à 1960 à cinq stations : Ouessant, Belle-Ile, Ile d'Yeu, Cazaux, Biarritz.

Les courbes de variation annuelle de la durée d'insolation sont reportées pour les années 1972 à 1974 sur la Fig. 4. Chaque valeur correspond à une moyenne mensuelle. Afin de pouvoir être comparées entre elles, elles ont été corrigées en fonction de la déclinaison du soleil pour le 15 du mois considéré.

.../...

TEMPERATURES DE L'AIR

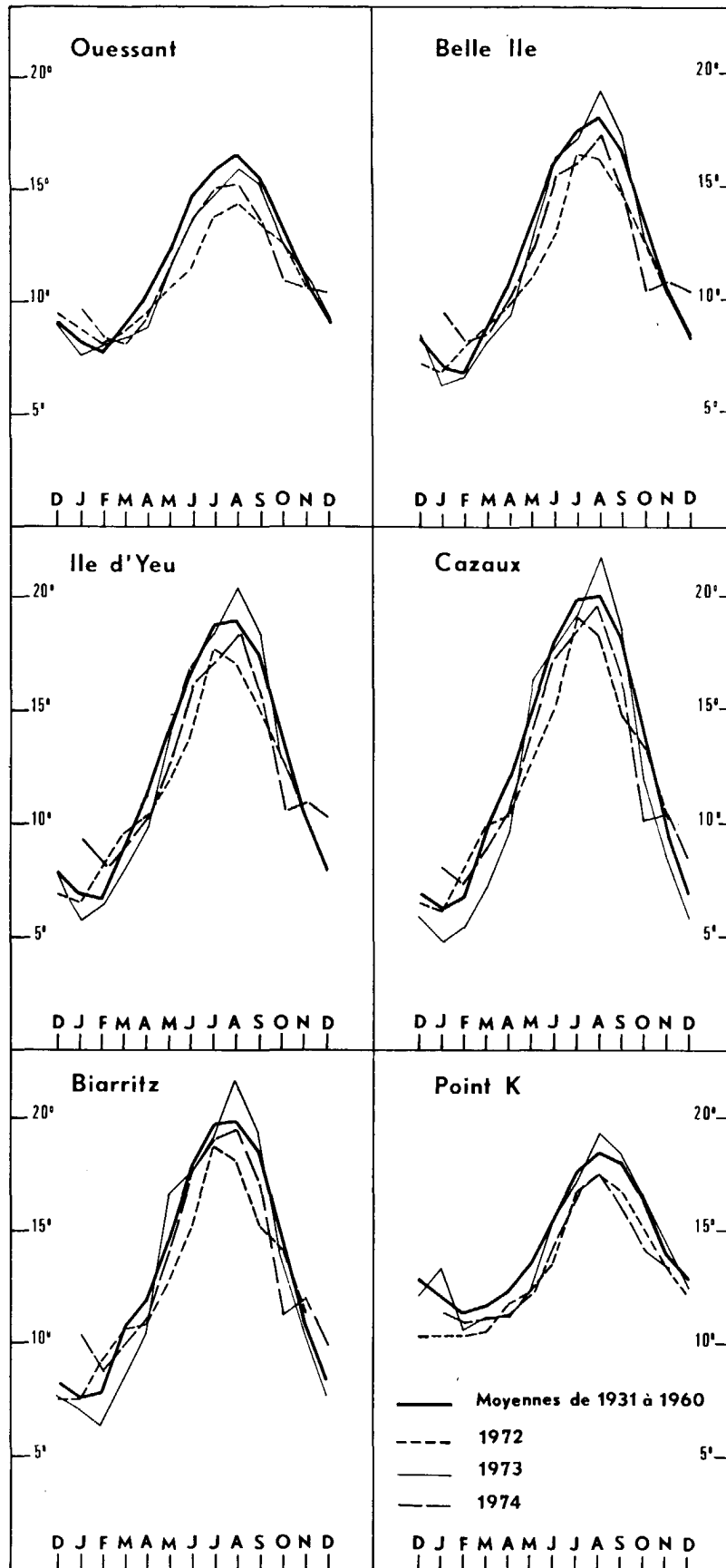


Figure 3

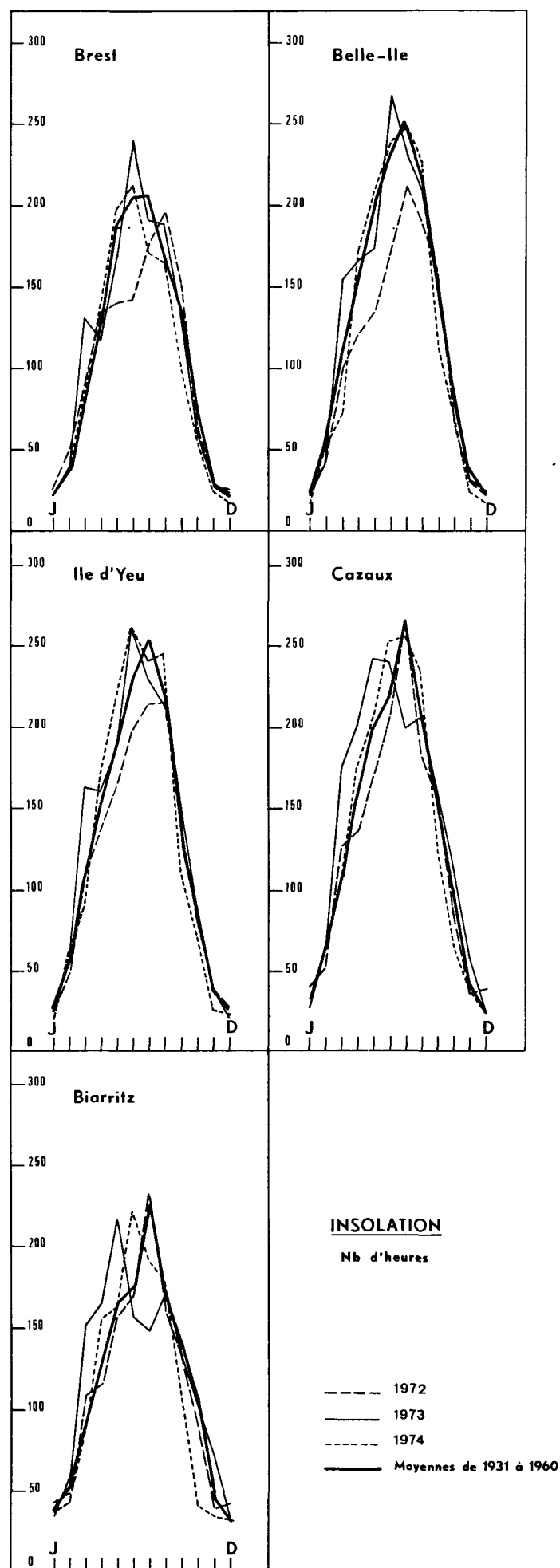


Figure 4

Température de l'air (Fig.3)

Aux cinq stations littorales, les températures de l'air sont, de mars à novembre, restées inférieures à la normale. Cet écart fut particulièrement important en juillet ($\Delta t \# - 1^{\circ}\text{C}$), en septembre ($\Delta t \# - 2^{\circ}\text{C}$) et en octobre ($\Delta t \# - 3^{\circ}\text{C}$). Par contre, les mois de janvier, février et décembre 1974 ont été très doux ($\Delta t \# + 2^{\circ}\text{C}$). Au point K ($\varphi = 45 \text{ N}$, $G = 16 \text{ W}$) pendant toute l'année les températures sont restées inférieures à la moyenne ($- 0.5^{\circ}\text{C}$ en février, $- 2^{\circ}\text{C}$ en septembre et octobre).

Insolation (Fig.4)

Les valeurs mesurées en 1974 sont comparées ici à une courbe "moyenne" obtenue à partir des enregistrements des années 1970 à 1975.

L'année 1974 se caractérise par un ensoleillement proche de la normale jusqu'en avril, excédentaire jusqu'à fin août, puis nettement déficitaire jusqu'en décembre.

Précipitations (Fig.5)

Toutes les courbes obtenues révèlent des précipitations excédentaires en début d'année (janvier et février, à Ouessant et Belle-Ile, de février à mai à Cazaux et Biarritz) et en fin d'année (septembre et novembre à Ouessant, Belle-Ile, Ile d'Yeu, septembre et octobre à Cazaux et Biarritz). Les mois de juin, juillet, août et décembre ont été très secs.

En résumé, nous retiendrons qu'en 1974, de mars à fin octobre, les températures de l'air furent inférieures à la normale, malgré un ensoleillement excédentaire en été. Les mois de janvier et février furent doux et très pluvieux, le mois de décembre fut doux et exceptionnellement sec. Bien qu'il soit difficile de comparer de façon globale les conditions météorologiques rencontrées d'une année sur l'autre, il semble que l'on puisse considérer l'année 1974 comme intermédiaire entre 1972 et 1973.

.../...

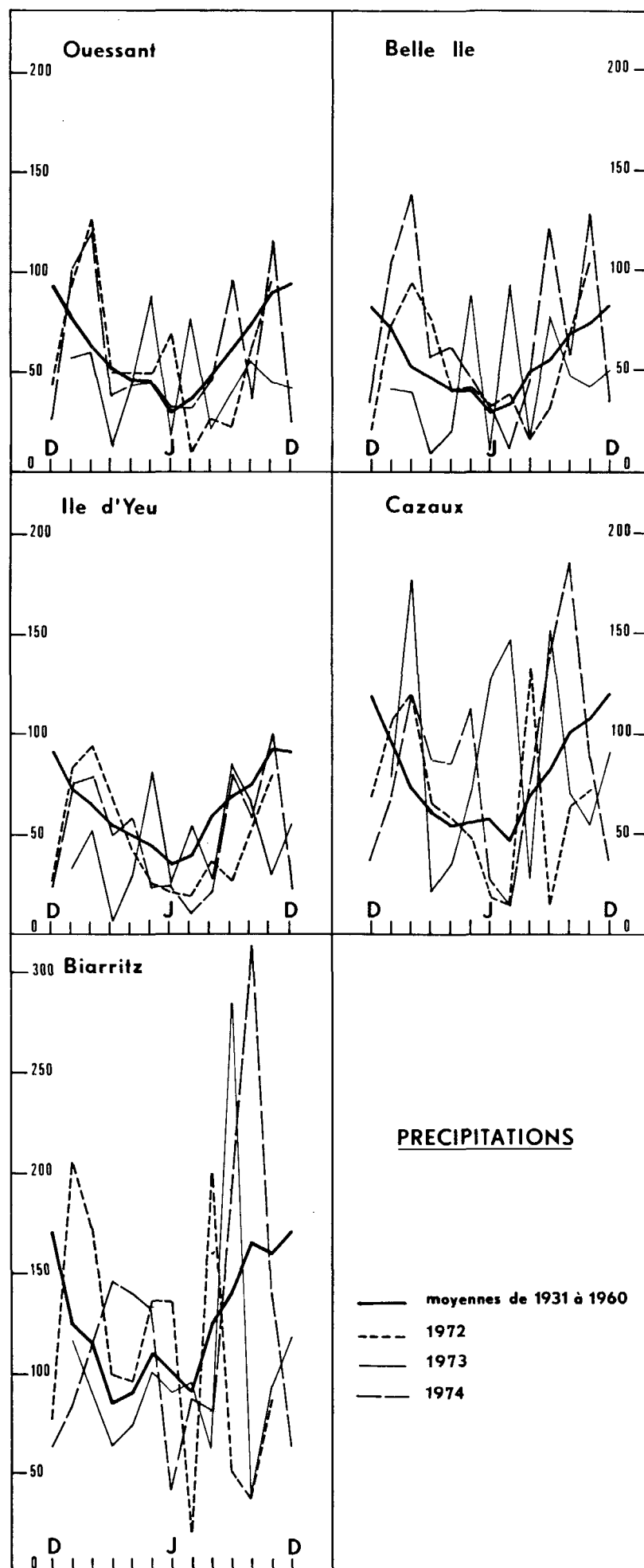


Figure 5

PRESENTATION DES RESULTATS

J.Y. LE TAREAU, J. LE FLOCH

PHYGAS 41 (19 février au 5 mars 1974)

A) CONDITIONS DE SURFACE

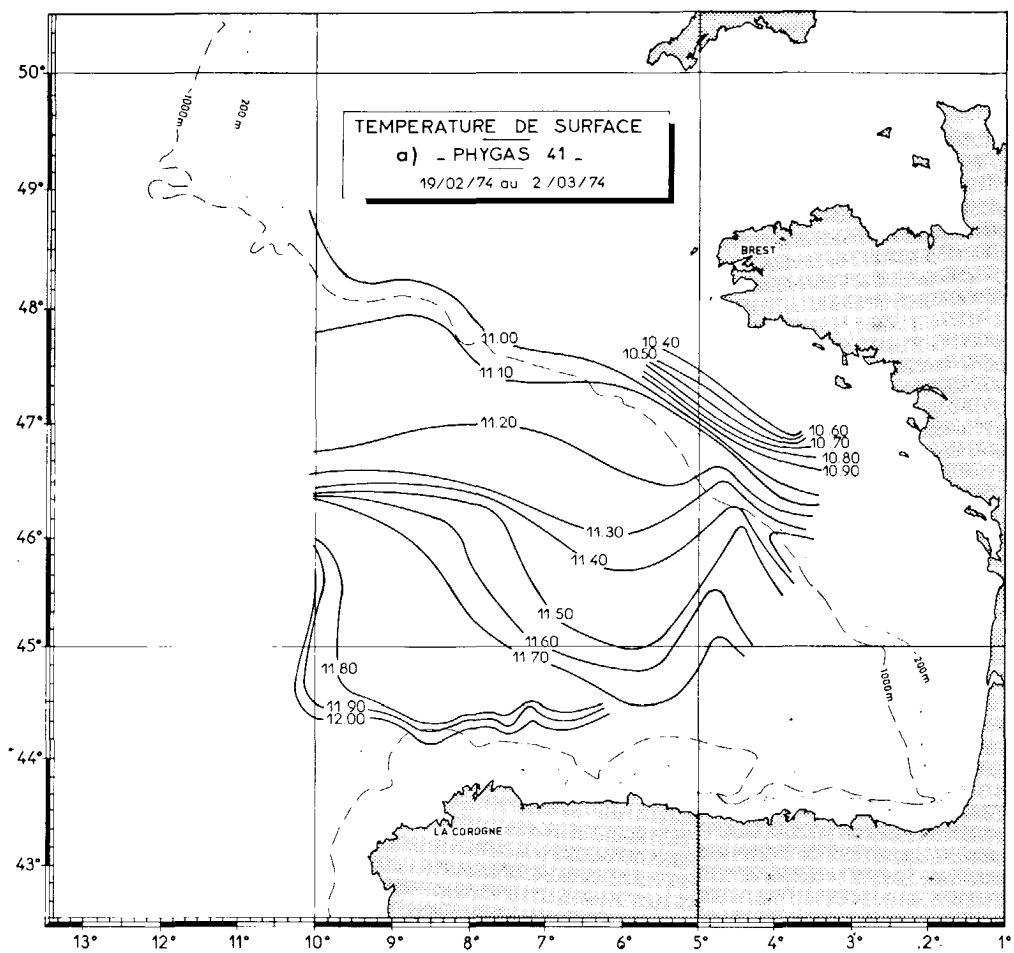
1) Paramètres hydrologiques de surface

La carte de la figure (6,a) représente le champ des températures de surface. On y remarque une distribution quasiment zonale des isothermes. Le gradient de température est relativement faible car nous sommes en fin de refroidissement hivernal. On peut cependant distinguer une zone située par $46^{\circ}30' N$, $10^{\circ} W$ où l'on a une variation de température de $0,5^{\circ}C$ sur 30 milles. Au Nord, l'isotherme $11^{\circ}C$ suit approximativement l'isobathe 200 m, et sur le plateau, le gradient de température est beaucoup plus élevé que dans la zone large. Une répartition comparable des isothermes de surface a déjà été observée lors de campagnes précédentes (PHYGAS 23, 31, 32).

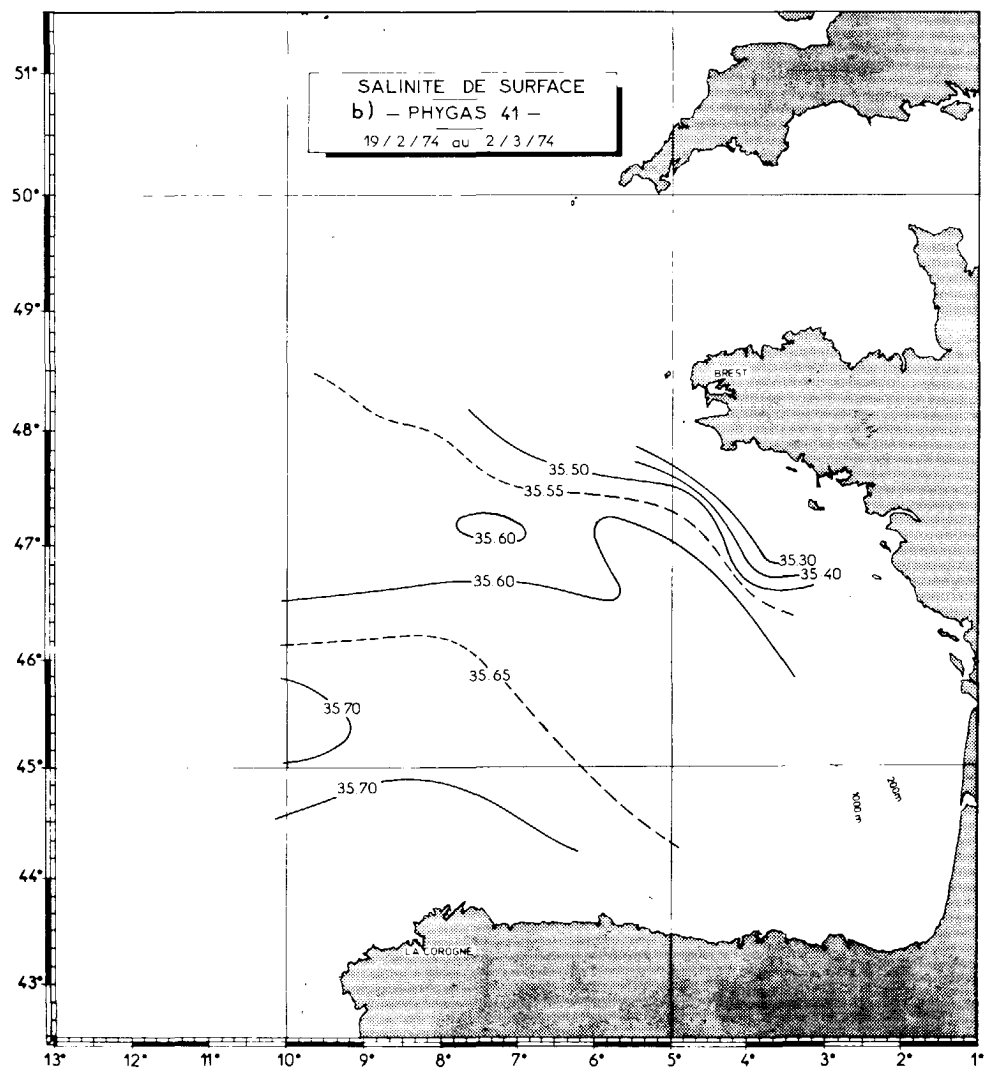
PHYGAS 41 se situe pratiquement à l'époque à laquelle on peut s'attendre à avoir le minimum annuel de températures de surface, et c'est bien ce qui est observé si l'on se réfère à PHYGAS 31. (Janvier 1973) et PHYGAS 32 (fin Avril - début Mai 1973) : dans ces deux cas, la température moyenne est supérieure de $0,5^{\circ}C$ environ à celle observée en Mars 1974.

Les salinités de surfaces, comme les températures, augmentent lorsqu'on se déplace vers le Sud (cf fig. n° 6b). On peut noter ici, contrairement à ce qui est observé lors de PHYGAS 31 que l'isohaline 35.55 est parallèle à l'isobathe 200 m, alors qu'en Janvier, elle est orientée dans le sens méridien vers $6^{\circ} W$. Par contre, dans le secteur Sud, au-dessous de $46^{\circ} N$, la distribution des isohalines est presque identique dans l'un et l'autre cas.

Pour d'autres comparaisons, on pourra se reporter au rapport sur les campagnes 1973, rapport où figurent en particulier les cartes moyennes de température et de salinité de surface pour l'hiver 1958, d'après DIETRICH, ainsi que les conditions hivernales de 1967, 1968, 1969, 1970 près du fond, sur le plateau continental, d'après VINCENT et KURC.



Figures 6a et 6b.



2) Diagramme T.S. des eaux de surface

Pour caractériser les eaux de surface, nous nous sommes référés, comme lors de l'étude des campagnes 1973, aux travaux de B. Mck BARY. Nous rappellerons brièvement que la méthode de BARY consiste à caractériser les masses d'eau superficielle à partir de couples (T,S) de surface. Lorsque l'on dispose de suffisamment de points T.S. de surface, dans une aire océanique assez vaste, on peut délimiter plusieurs groupes de points.

L'ensemble des points contenus dans chaque enveloppe caractérise alors une masse d'eau. Des mesures recueillies en 1957 par le Bureau Hydrographique du Conseil International pour l'Exploitation de la Mer ont permis à BARY de montrer que dans l'Atlantique Nord Est, on rencontre trois masses d'eau "Océaniques" superficielles : l'eau méridionale et l'eau septentrionale issues de l'eau centrale Nord Atlantique, et l'eau de transition obtenue par mélange des deux précédentes. Par ailleurs, sur le plateau continental et en particulier près des côtes, on rencontre des eaux aux caractéristiques très différentes des précédentes. Ce sont les eaux dites côtières.

Sur la figure n° 7', nous avons représenté le diagramme T.S. des eaux de surface pour PHYGAS 41. Nous y avons dessiné, en pointillés, l'enveloppe des eaux méridionales et de transition, obtenue par BARY pour le mois de février 1957. On peut constater qu'un grand nombre de points sortent des limites définies par BARY, pour l'eau méridionale, et qu'ainsi le choix de cette enveloppe n'est pas du tout réaliste pour février 1974. Nous avons donc été amenés à déterminer une autre frontière, pour les différentes masses d'eau. Cette seconde enveloppe, représentée en trait plein sur la figure n° 7 a été obtenue par simple translation, selon l'axe des températures, de l'enveloppe de BARY. Ceci se justifie par le fait que, chaque masse d'eau type, selon BARY, garde une salinité pratiquement constante au cours du cycle annuel, et que seule sa température subit les perturbations saisonnières.

On remarque alors que tous les couples (T,S) de surface, sauf ceux des stations 1, 385, et 45 sont situés dans l'enveloppe de l'eau méridionale. Aux stations 1, 385 et 45 on rencontre de l'eau côtière avec en particulier une très faible salinité à la station 1 ($34.30 \text{ }^{\circ}/_{\text{oo}}$), en face de PENMARCH. La station 44 se trouve à la limite entre l'eau Méridionale et l'eau de transition qui doit vraisemblablement se répandre sur le plateau au Nord Ouest de cette station 44. Cependant, le manque de points de mesures dans cette région ne permet pas de la mettre en évidence.

Nous avons représenté sur la figure 8, la frontière entre l'eau côtière et l'eau méridionale. On peut noter que lors de PHYGAS 41, on ne retrouve pas dans la partie Est du Golfe, l'eau Océanique à faible salinité. La distribution géographique des masses d'eau rencontrées lors de PHYGAS 41 est très différente de celle obtenue en Janvier 1973. (PHYGAS 31)

Cependant, la limite d'extension des eaux côtières au Sud de la Bretagne coïncide dans les deux cas. Cependant il semble, comme nous l'avons signalé dans le rapport sur les campagnes de 1973, que les masses d'eau définies selon la méthode de BARY correspondent plus à des variations climatiques locales qu'à de réels mouvements d'eau.

3) Circulation superficielle

Quelques indications sur la circulation superficielle peuvent être obtenues par l'examen des topographies dynamiques 0/600 db et 0/1960 db représentées sur la figure 9. La référence 1960 db a été adoptée car quelques stations ne descendent pas à 2000 db. Dans chaque cas, les résultats obtenus montrent bien que le schéma de circulation est altéré du fait que, pendant la période d'exécution des mesures, le régime ne peut être considéré comme permanent.

Dans le cas des courants géostrophiques 0/600 db (fig. 9,a), l'on note un resserrement des isobathes dynamiques dans le secteur Sud Gascogne, mais les vitesses correspondantes restent faibles ($\simeq 3$ cm/s). Dans le secteur Nord, les vitesses sont pratiquement nulles, ce qui confirme un résultat antérieur quant au caractère "calme" du point de vue circulation du secteur Nord Gascogne, au large du plateau continental.

La carte dynamique 0/1960 db (fig. 9,b) présente des différences assez marquées par rapport à la précédente, en particulier dans le secteur Sud où l'on retrouve un mouvement tourbillonnaire du genre de ceux déjà décelés dans cette région. Cependant, le resserrement des isobathes, dans les sections Sud et Sud-Est ne conduit qu'à des vitesses faibles de l'ordre de 10 cm/s.

Dans l'un et l'autre cas, on constate que les cartes de topographie dynamique ne donnent qu'une version très déformée de la circulation dans le Golfe de Gascogne.

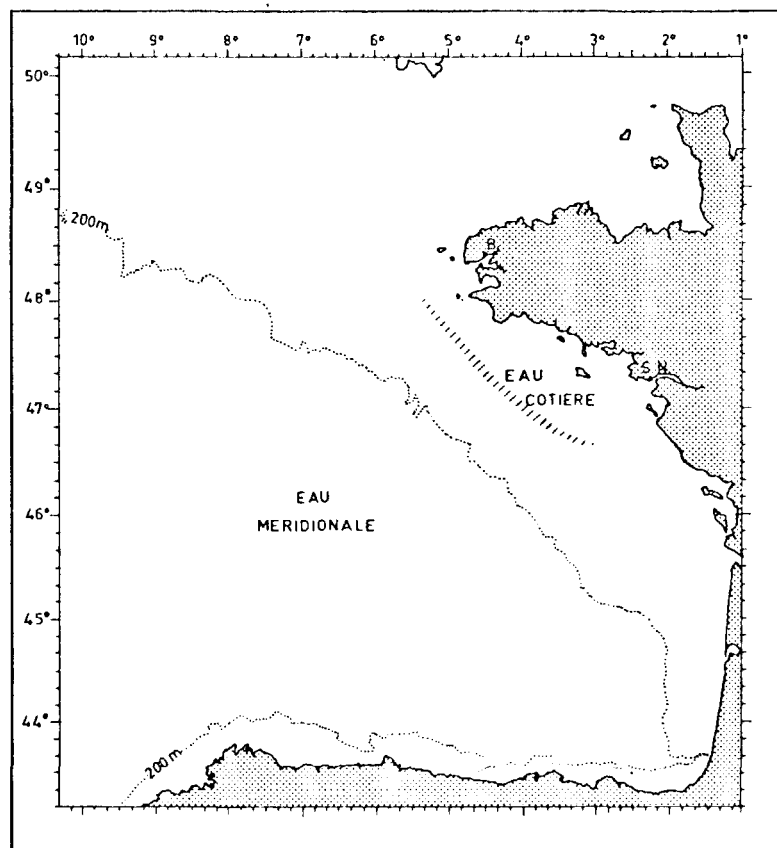
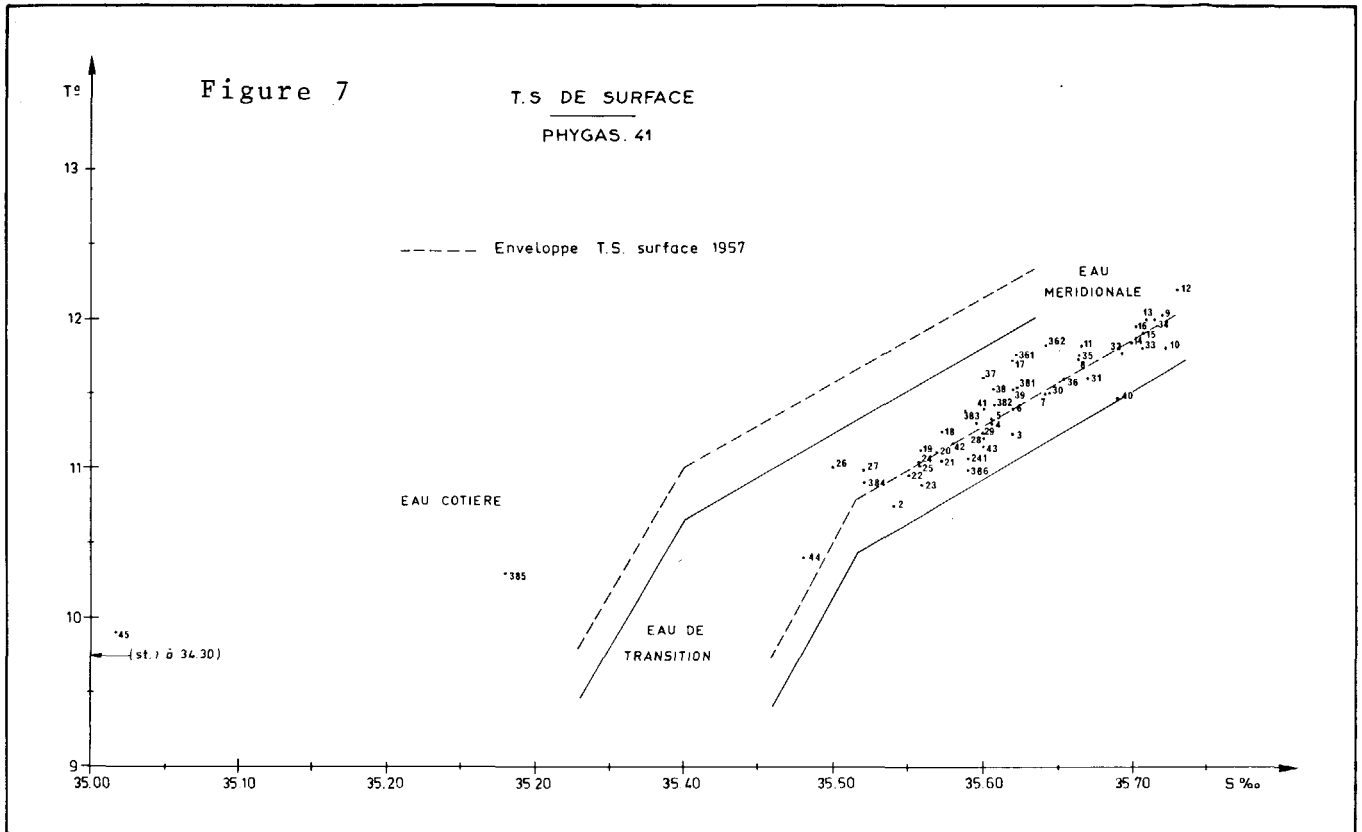
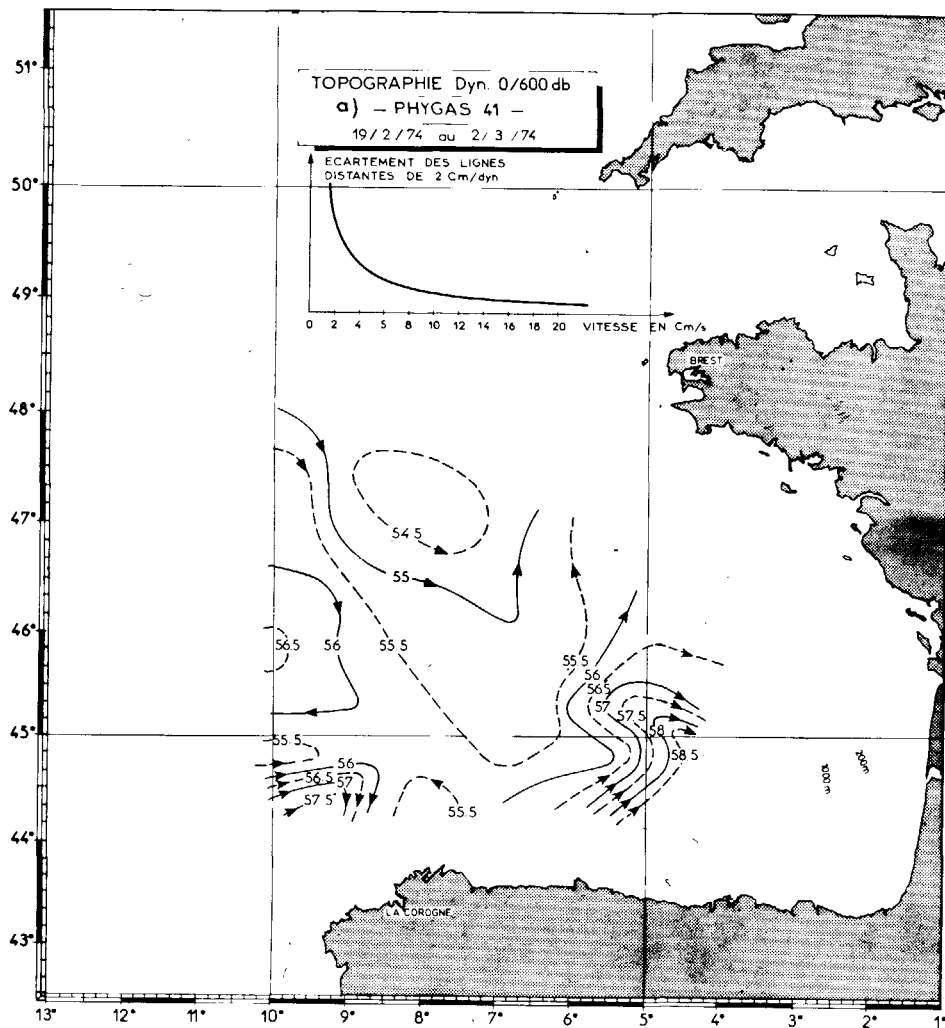
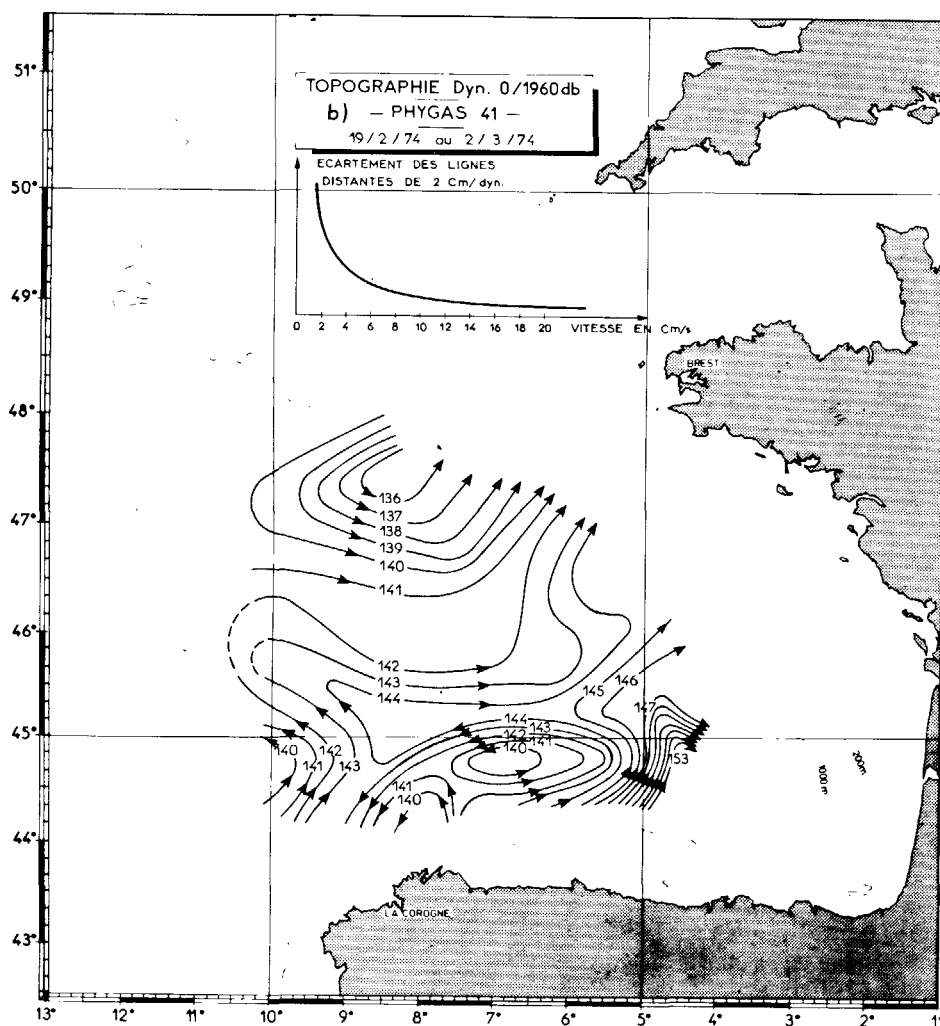


Fig. 8. Répartition géographique des masses d'eau superficielles. (PHYGAS 41)



Figures 9a et 9b.



B) LES COUCHES SUPERIEURES -

Dans notre rapport précédent, relatif à la campagne PHYGAS 31, nous avons vu que nous pouvions classer les diagrammes T.S. dans cette région, et pour cette période de l'année (Hiver) en deux catégories :

1) Dans le secteur Nord, les couples de valeurs (T, S) sont très groupés au voisinage de $T = 11^{\circ}\text{C}$, et $S = 35,55 \text{ ‰}$, ce qui correspond à une homogénéisation des couches supérieures sur environ 200 m ;

2) Dans le secteur Sud, les diagrammes T.S. présentent un aspect un peu différent, caractérisé par une partie rectiligne dans les couches supérieures.

Pour les mesures de PHYGAS 41, on retrouve bien ces deux aspects, et la frontière entre les deux types de diagrammes T.S. passe approximativement par les stations 18, 31, 7, 36 et 362.

Nous avons déjà signalé que les températures observées en Février 1974 sont inférieures à celles de PHYGAS 31 ; ceci se traduit aussi, pour la partie Nord du Golfe, par une remontée en surface de l'isotherme 11°C , au voisinage du talus continental. (voir la carte thermique de la figure 6a , alors que lors de PHYGAS 31, cette isotherme ne se retrouve en surface que vers 50°N et 12°W .

Généralement, on propose comme limite inférieure des couches supérieures, la surface isotherme 11°C dont la topographie, représentée sur la figure n° 10, montre que l'épaisseur de cette couche diminue lorsqu'on remonte vers le Nord. Par contre, la surface isotherme 11° s'enfonce lorsqu'on pénètre dans la partie Est du Golfe. Nous pouvons aussi considérer comme limite inférieure des couches supérieures la surface à minimum de salinité. Nous avons représenté sur la carte de la figure n° 11 la distribution de ces valeurs minimales. C'est dans le secteur Sud qu'on trouve les valeurs maximales de S_{\min} ($S_{\min} \approx 35,60 \text{ ‰}$). Ceci nous paraît tout à fait logique car ce minimum se situe juste au-dessus de la veine d'origine méditerranéenne à maximum de salinité dont les caractéristiques sont plus "pures" dans la zone Sud.

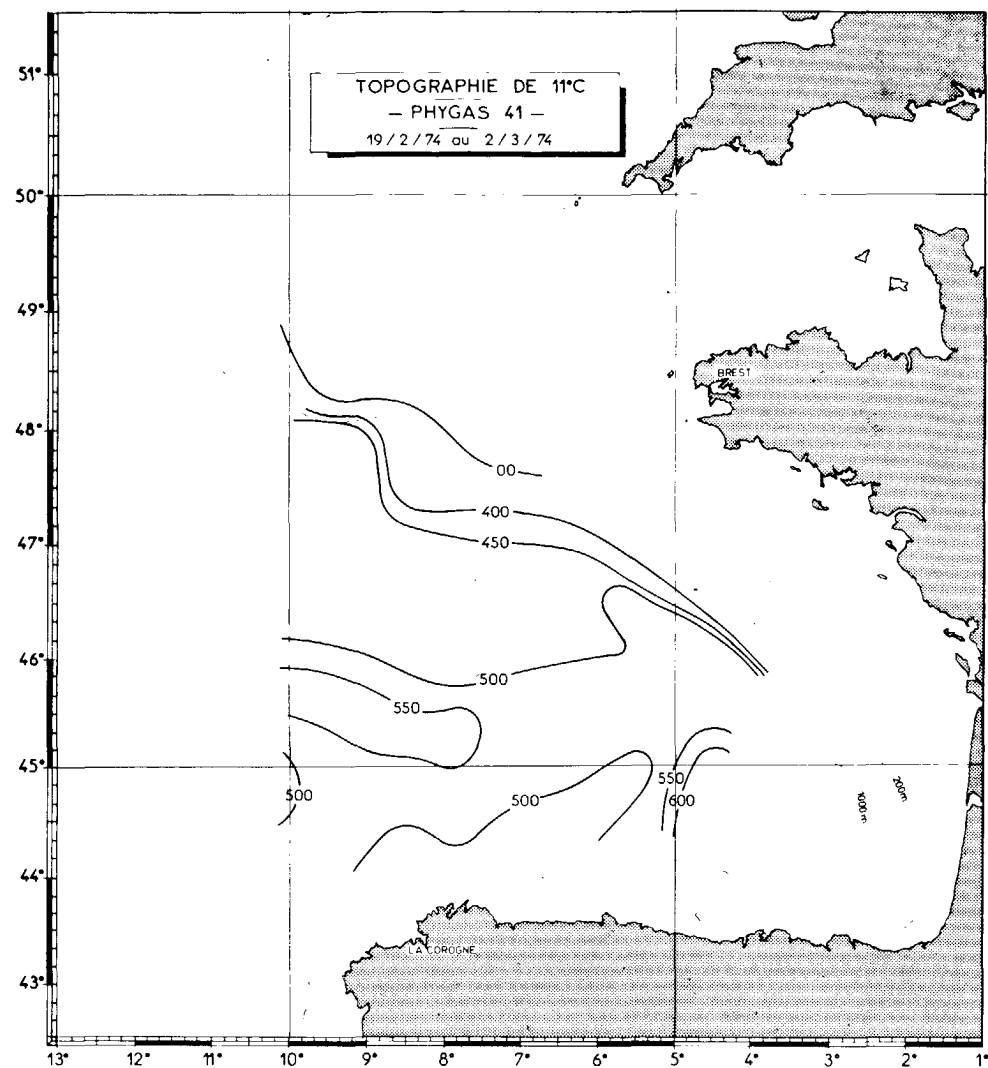


Figure 10

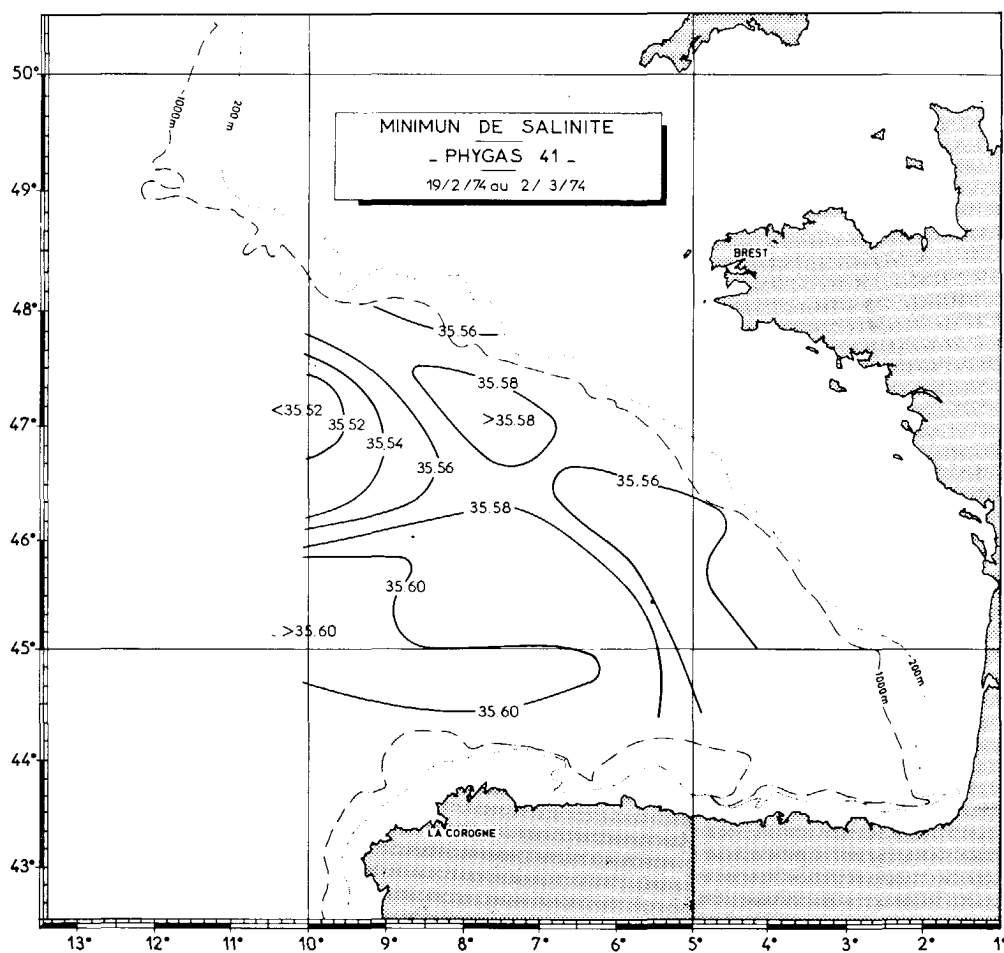


Figure 11

C) LES DIAGRAMMES T.S. ET L'EAU D'ORIGINE MEDITERRANEENNE -

Nous venons de faire allusion aux caractéristiques T.S. des couches supérieures, assez homogènes. Au-dessous de celles-ci, et vers 1000 m de profondeur, la veine d'origine méditerranéenne se manifeste, comme il est bien connu par un maximum de salinité. Dans notre précédent rapport, et pour préciser certains aspects de la circulation, nous avons fait usage d'un diagramme de mélange défini par ;

eau atlantique : $S = 35,60 \text{ ‰}$, $T = 11^{\circ} 60$

eau méditerranéenne : $S = 36,40 \text{ ‰}$, $T = 11^{\circ} 60$

eau profonde : $S = 35,00 \text{ ‰}$, $T = 4^{\circ}$.

Cependant, ces valeurs numériques sont peut-être discutables, en particulier en ce qui concerne l'eau profonde. Un tel diagramme permet de calculer, non seulement le pourcentage d'eau méditerranéenne "pure" au niveau du maximum de salinité, mais aussi au-dessus et au-dessous de cette couche. Si l'on définit ainsi ces pourcentages en fonction de la profondeur z , on pourra calculer l'épaisseur équivalente d'eau méditerranéenne "pure" entre les deux profondeurs z_1 et z_2 où cette influence disparaît totalement. Ce calcul a été effectué par P. LE BORGNE et H. CREFF, qui ont obtenu une estimation quantitative globale représentée sur la carte de la figure 12.

La carte de la topographie dynamique 1000/1960 db (fig. 13) donne un schéma de circulation plus simple que les cartes 0/600 db et 0/1960 db. On y retrouve le tourbillon cyclonique mis en évidence en surface sur la carte de la topographie dynamique 0/1960 db, ainsi que l'amorce d'un mouvement tourbillonnaire anticyclonique dans le secteur Sud-Est de la carte. C'est dans les secteurs Sud et Sud-Est que l'on trouve les vitesses géostrophiques les plus fortes, mais celles-ci n'excèdent jamais 10 cm/s.

Au niveau de la veine d'eau méditerranéenne, la variabilité est importante. Nous l'avons illustrée, par les courbes de la figure 15, qui montrent l'évolution des paramètres hydrologiques, au point de coordonnées $\phi = 44^{\circ} 195 \text{ N}$, $G = 8^{\circ} 36 \text{ W}$, où ont été effectuées les stations 11 et 34 respectivement les 21 Février et le 1er Mars 1974. Cette variabilité entraîne des fluctuations de hauteurs dynamiques dont l'ordre de grandeur est le même que celui des différences de hauteurs dynamiques entre deux stations voisines. Aussi la carte de la figure 13 n'est qu'une version très déformée de la situation réelle.

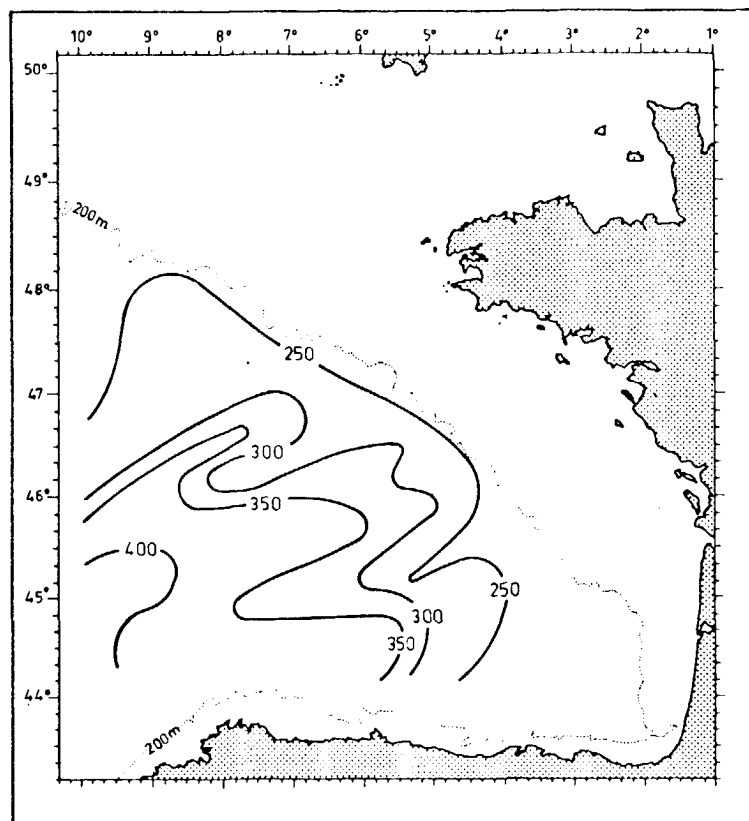


Fig12 Epaisseur de la veine fictive d'eau méditerranéenne "pure"

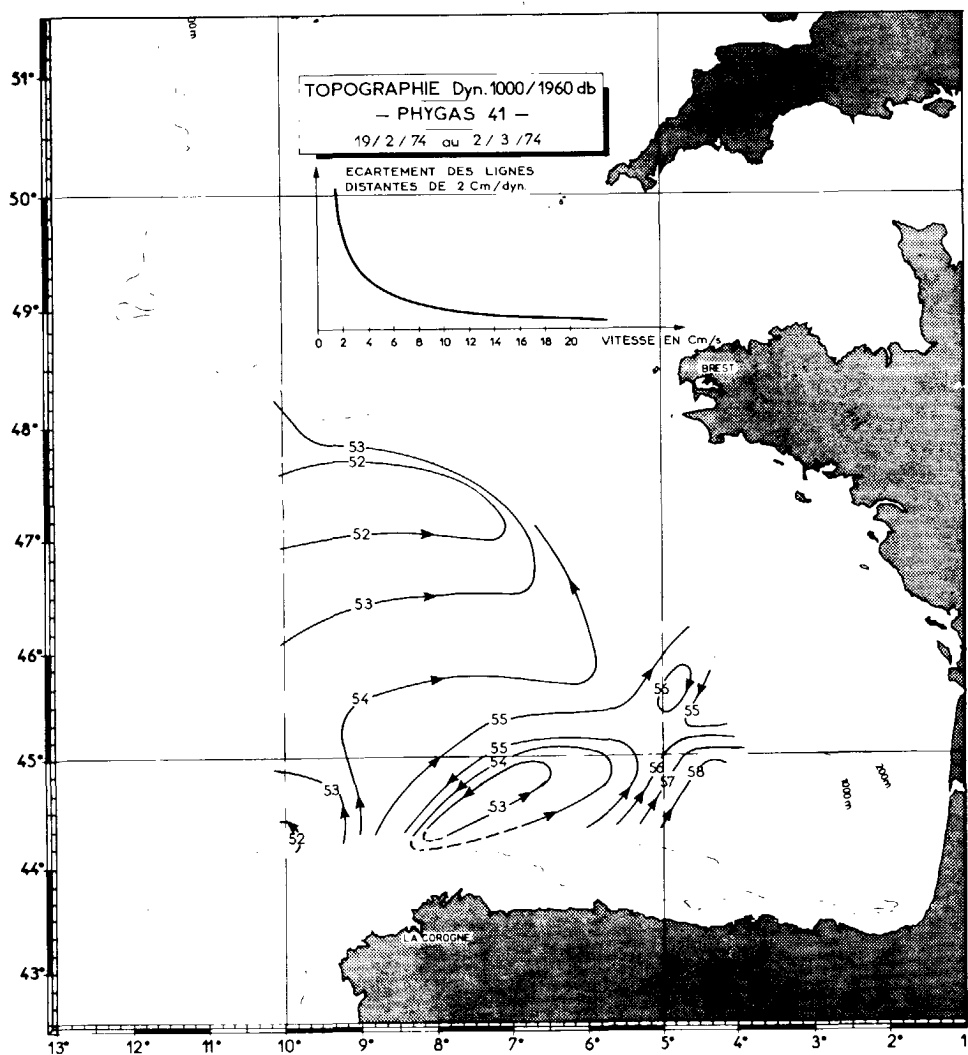


Figure 13

La remarque précédente s'impose également pour la carte de la figure 14 qui représente la distribution des valeurs maximales de la salinité. En effet, si l'on se réfère encore à la figure 15, on peut noter que S_{\max} passe de $35,96\text{‰}$ à la station 11 (21 février) à $35,90\text{‰}$ à la station 34 (1er mars), et que la profondeur du maximum de salinité a également varié en l'espace de huit jours.

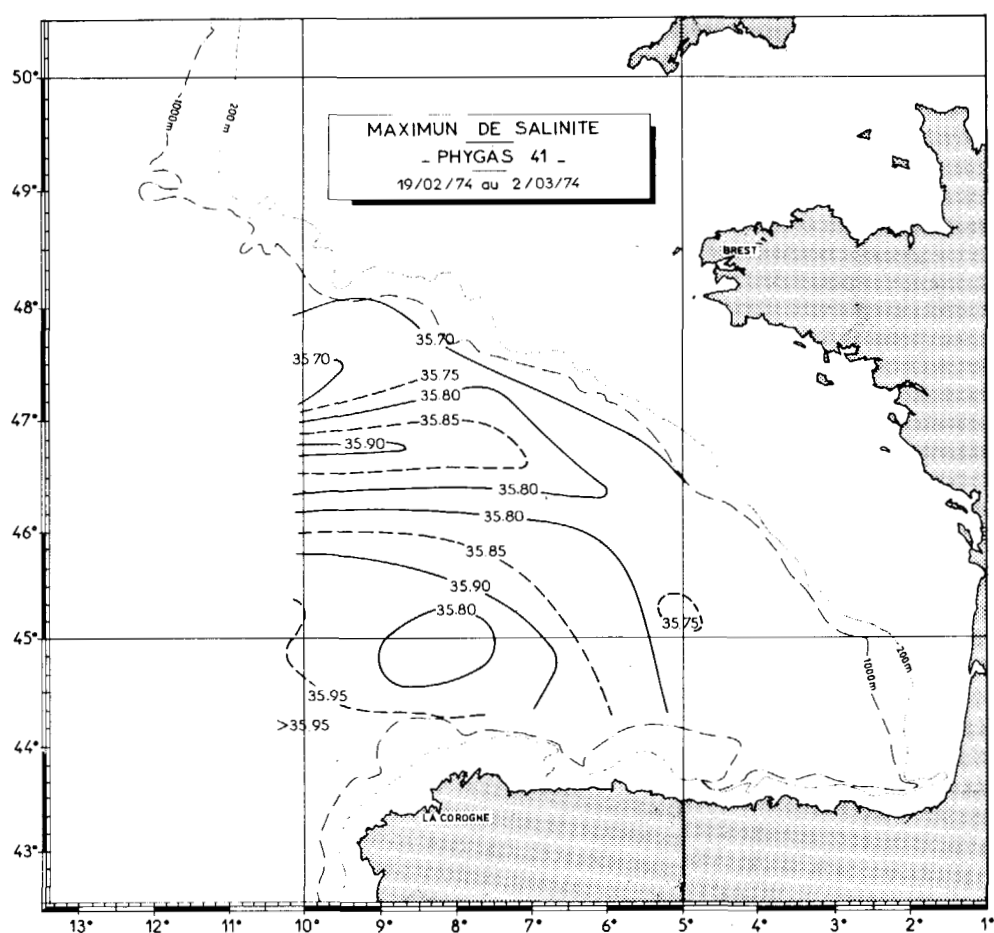


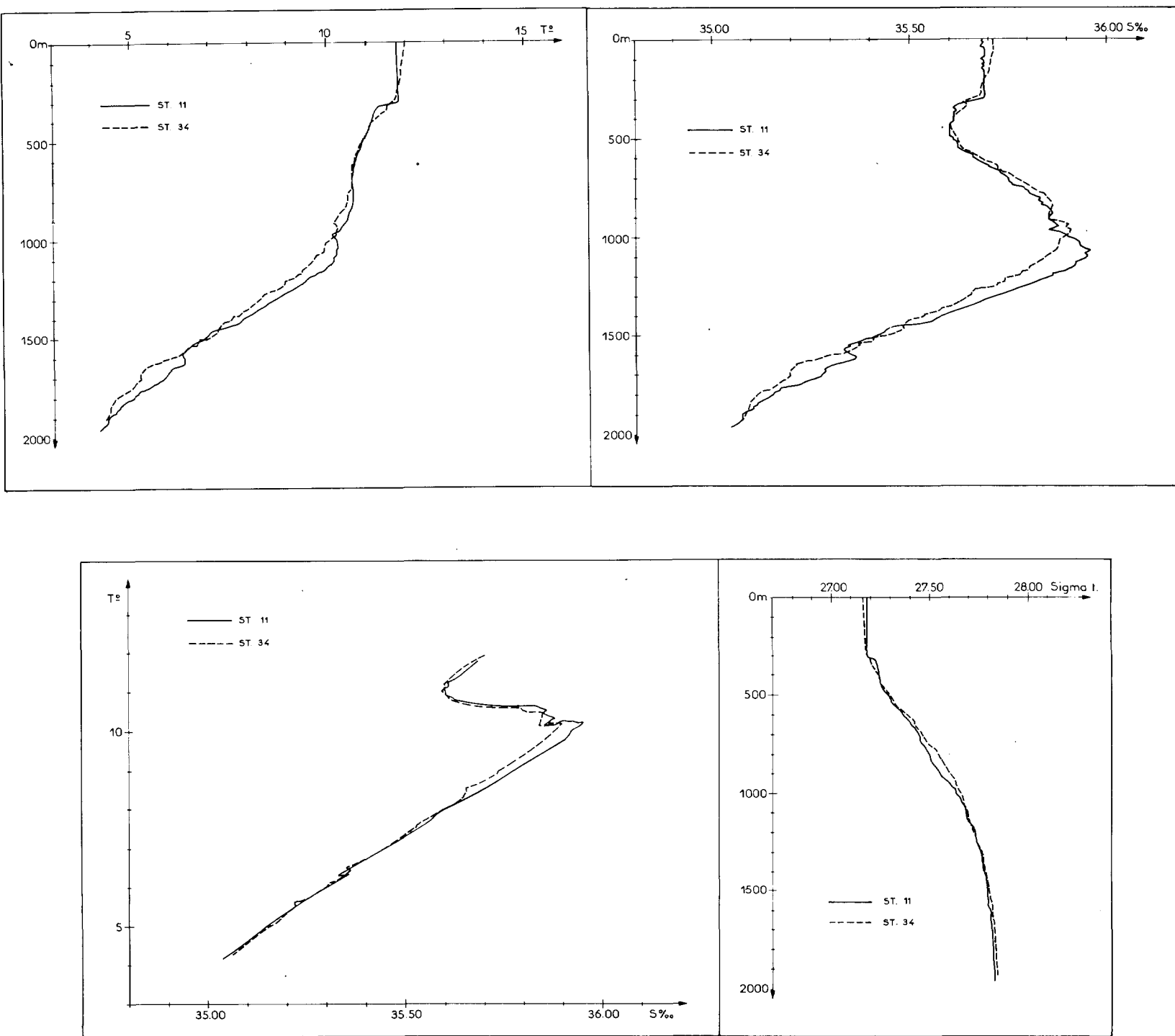
Figure 14

D) LES COUCHES PROFONDES -

Les résultats obtenus lors de PHYGAS 41 conduisent à retrouver des caractéristiques identiques à celles de PHYGAS 31, en ce qui concerne les couches profondes, à savoir, un diagramme T.S. rectiligne caractéristique du mélange eau méditerranéenne - eau profonde, avec décalage de ce diagramme vers la gauche au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la source d'eau salée. Ces caractéristiques se retrouvent tout au long de l'année.

Si l'on se réfère à la figure 15, on constate que la variabilité des paramètres hydrologiques est loin d'être négligeable dans ces couches profondes.

Figure 15
Paramètres hydrologiques aux stations 11 et 34



E) COUPES HYDROLOGIQUES -1) Coupe entre les stations 13 et 22 (fig. 16, a et 16, b)

Les deux coupes en température et salinité mettent en évidence, dans le secteur Nord, le caractère très homogène des couches supérieures. Le maximum de température et de salinité observé entre 0 et 200 m environ, au voisinage des stations 15 et 16 n'induit que des gradients horizontaux faibles. L'un des points intéressants à noter, est la remontée en surface de l'isotherme 11°C entre les stations 21 et 22. On observe aussi une remontée de la ligne des salinités minimales dans ce même secteur. On remarque également la présence d'un noyau de salinités minimales au Centre de la coupe. A ce noyau, est associé un minimum relatif de température.

Au niveau du maximum de salinité, on observe une série de noyaux à maxima isolés, ceux-ci étant particulièrement marqués dans la partie Sud de la coupe, au sein de la nappe à salinités supérieures à 35,90 ‰.

2) Coupe entre les stations 27 et 34 (fig. 17, a et 17, b)

Dans le secteur Nord de cette coupe, on retrouve encore une remontée en surface de l'isotherme 11°C. Ce secteur Nord est relativement homogène, aussi bien en température qu'en salinité, au sein des couches supérieures, ce qui est caractéristique des conditions hivernales de cette région.

Au niveau des eaux méditerranéennes, on a deux noyaux de salinités maximales, bien typiques ($S > 35,85$ ‰), séparés par un minimum relatif de salinités inférieures à 35,75 ‰. Si on prend l'isohaline 35,80 ‰ comme indicatrice de la veine d'eau méditerranéenne, on constate que l'épaisseur de l'enveloppe ainsi délimitée peut atteindre 400 m, et s'annuler localement au voisinage de la station 30. C'est au niveau de cette veine d'eau méditerranéenne que l'on trouve ici les plus grandes perturbations de la structure hydrologique.

3) Coupe entre les stations 1 et 9 (fig. 18, a et 18, b)

Dans le secteur large, cette coupe conduit à faire des remarques analogues aux précédentes. On peut néanmoins noter que l'isotherme 11°C ne rejoint plus la surface, mais vient buter sur le rebord du talus continental vers 450 m de profondeur. Par contre, cette isotherme 11°C se retrouve sur le plateau continental, où l'on observe une décroissance des températures et des salinités au fur et à mesure que l'on se rapproche de la côte : on est alors en présence d'eaux côtières. Sur le plateau continental, il est aussi intéressant de noter l'existence de températures plus élevées au fond qu'en surface. Ceci est particulièrement net à la station 1. Il semblerait que l'on soit ici dans les condi-

tions de formation du bourrelet froid observé sur le plateau et qui trouve son origine dans les effets du refroidissement hivernal sur les eaux littorales.

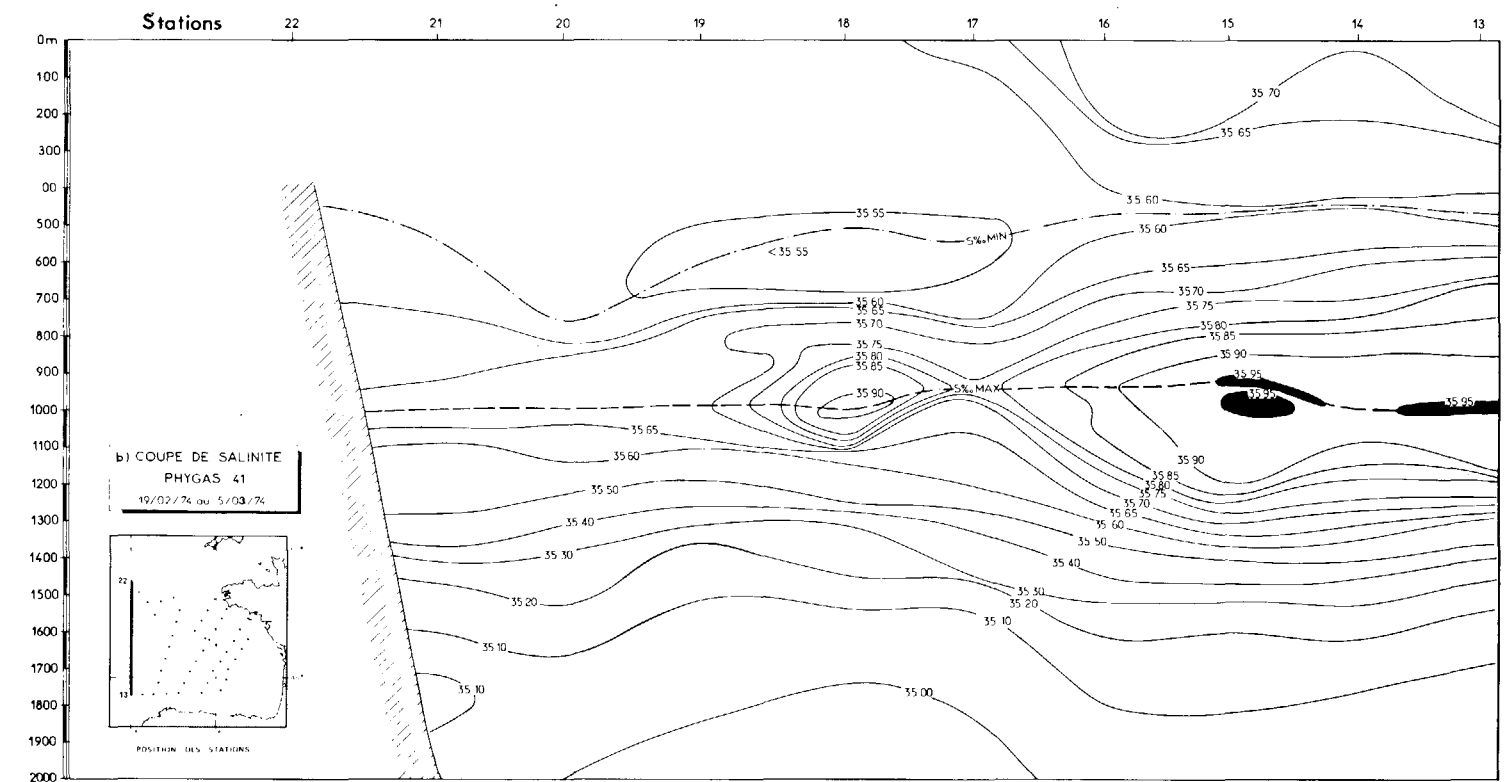
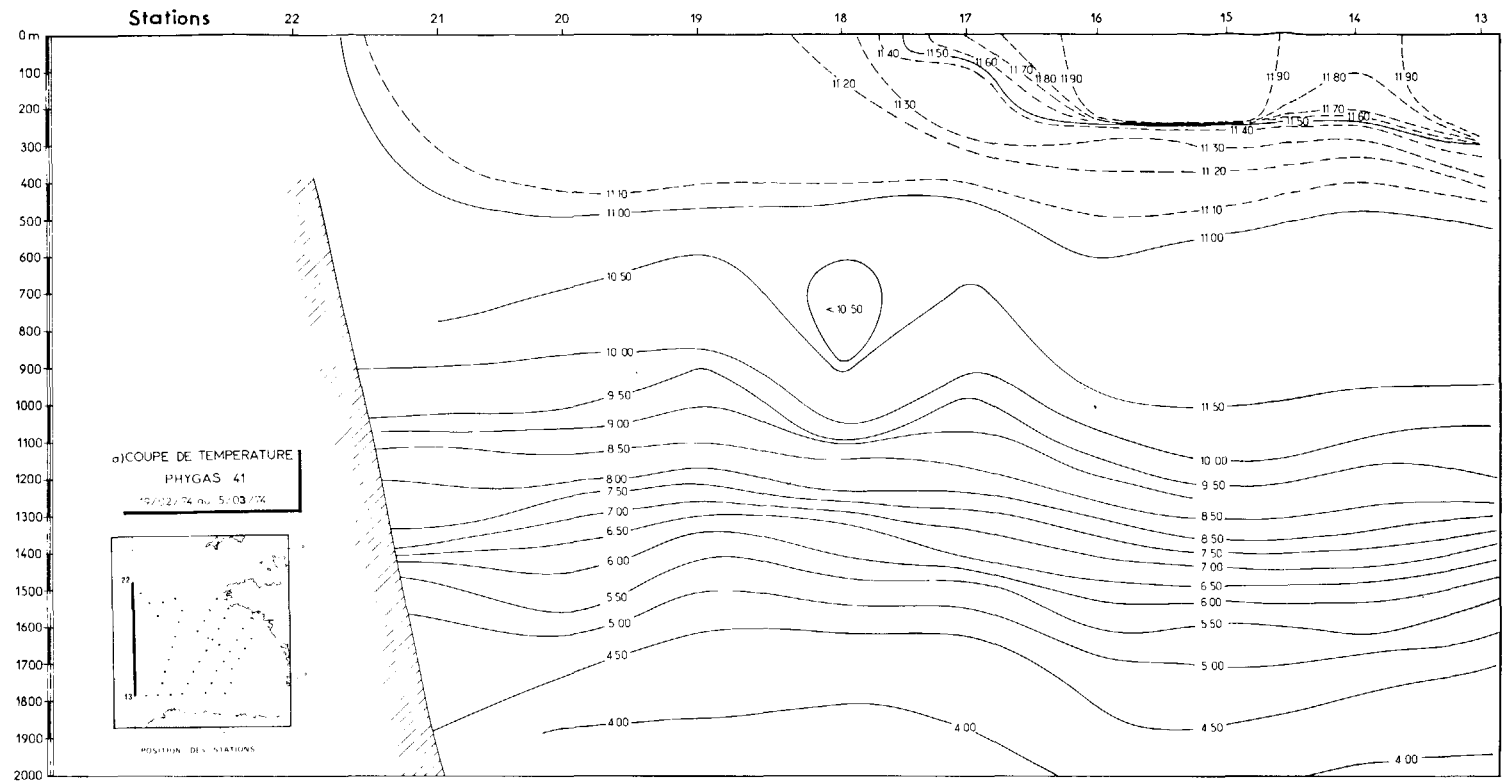
4) Coupe entre les stations 385 et 34 (fig. 19 ,a et 19,b)

Coupe entre les stations 384 et 361 (fig. 20 ,a et 20 ,b)

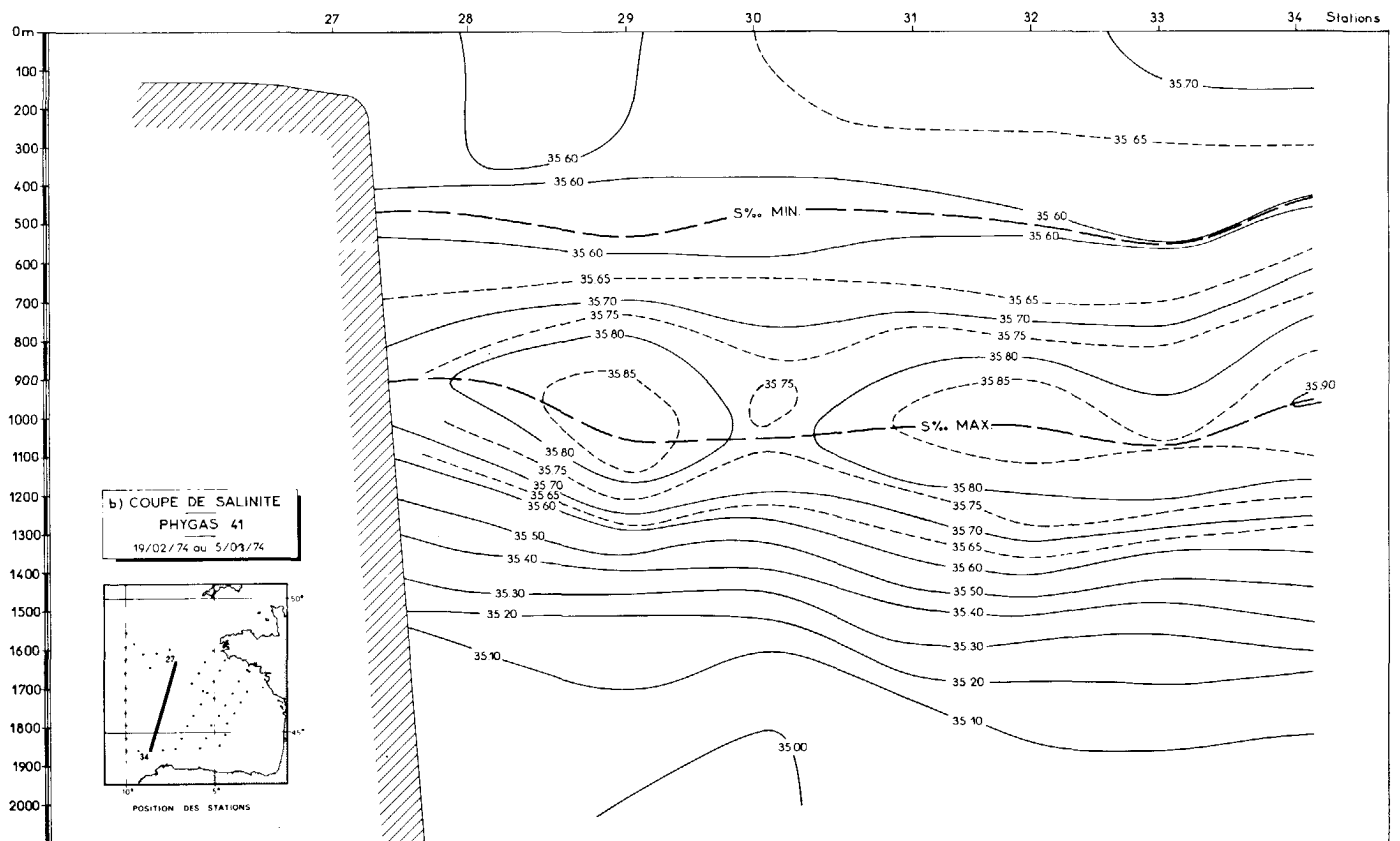
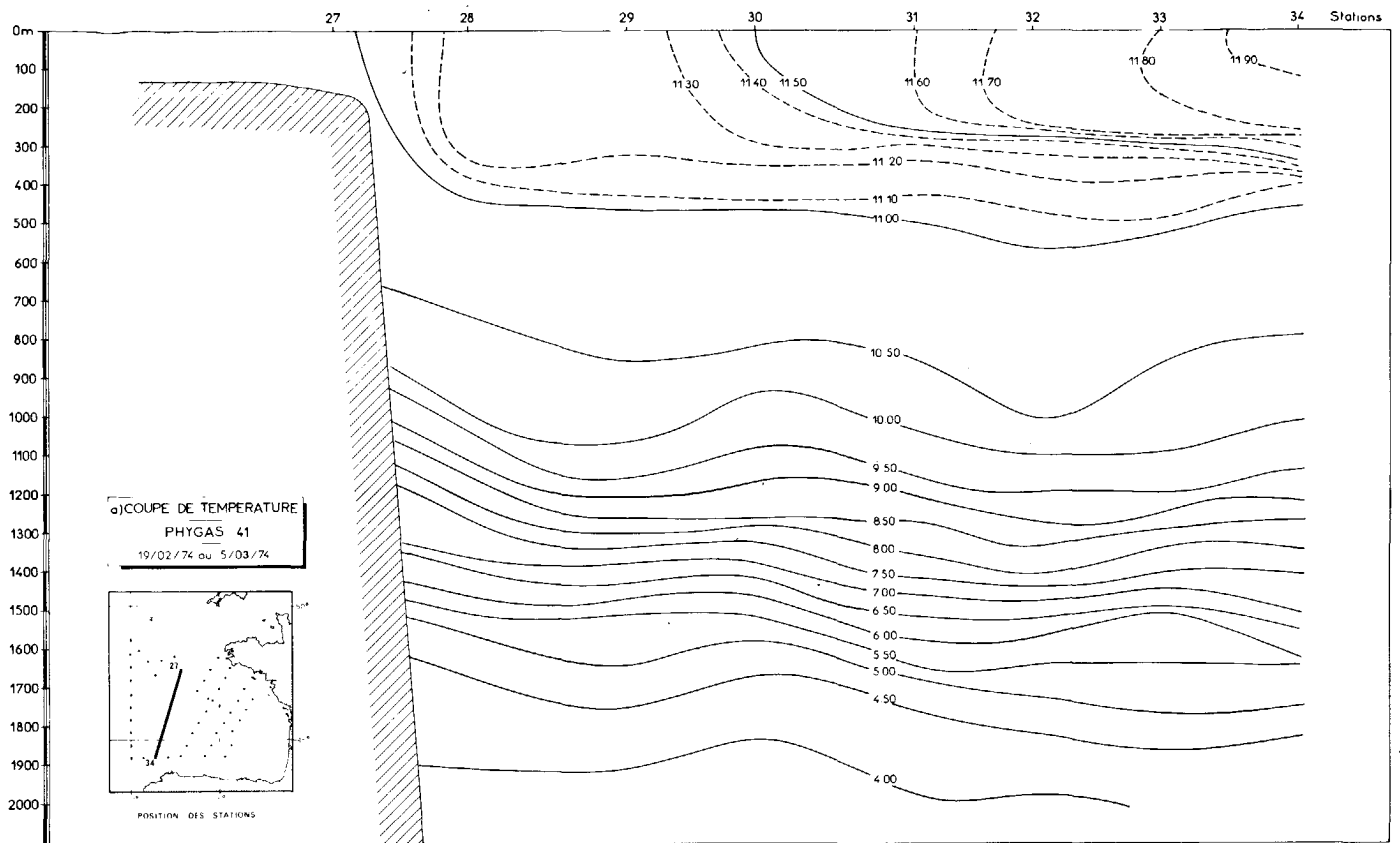
On peut noter sur ces deux coupes une simplification d'Ouest en Est de la structure hydrologique profonde, en particulier au niveau méditerranéen. Ceci traduit un caractère déjà observé sur les diagrammes T.S.. Dans les deux cas, l'isotherme 11°C vient buter contre le talus continental. Les mêmes remarques que pour la station 1 s'imposent pour les stations 383, 384, 385 et 386.

5) Coupe entre les stations 13 et 361 (fig. 21 ,a et 21 ,b)

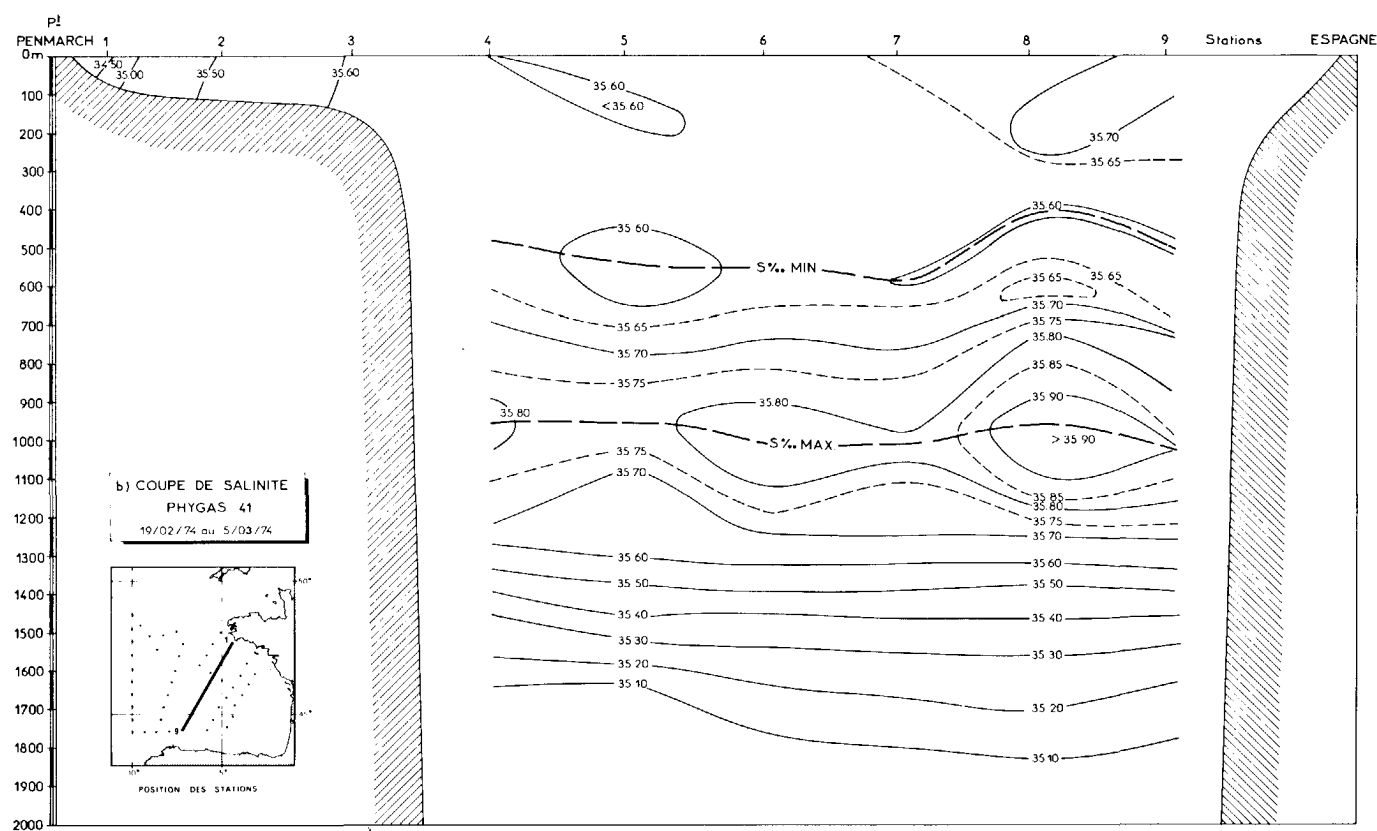
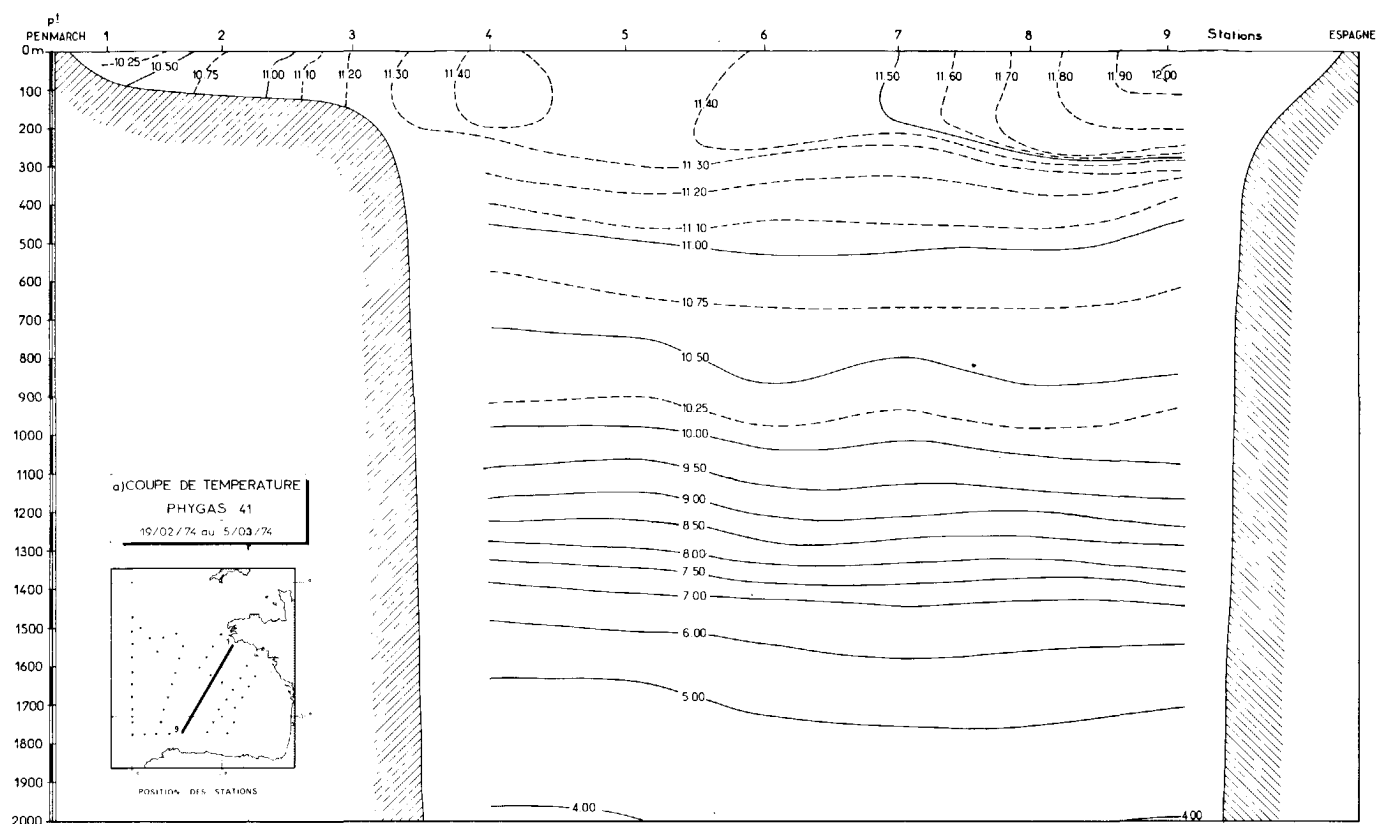
Cette coupe, orientée Ouest-Est, représente une distribution zonale des propriétés, et met surtout en évidence l'extension d'Ouest en Est, de la veine d'eau méditerranéenne, non loin du talus continental ibérique. Dans la partie Ouest de la coupe, on remarque la présence de deux maxima superposés de salinité supérieure à 35,95 ‰.



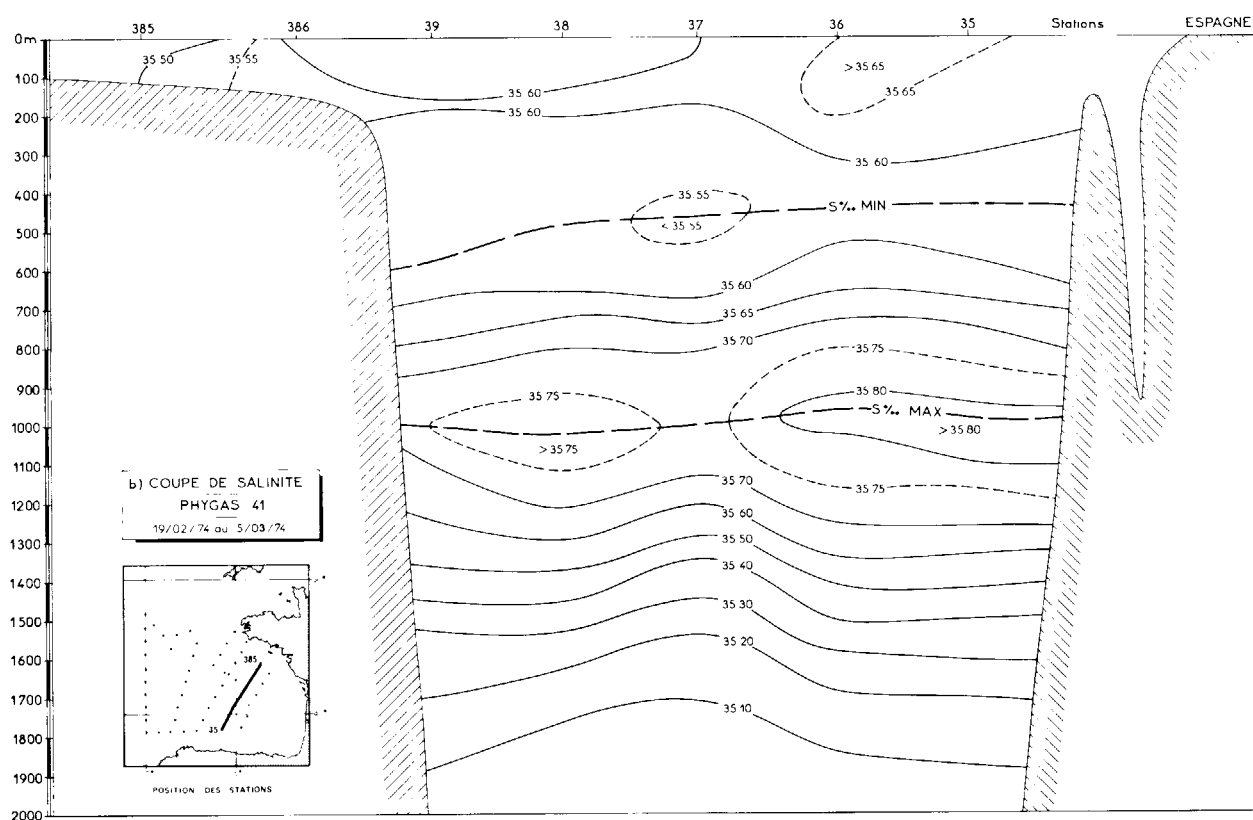
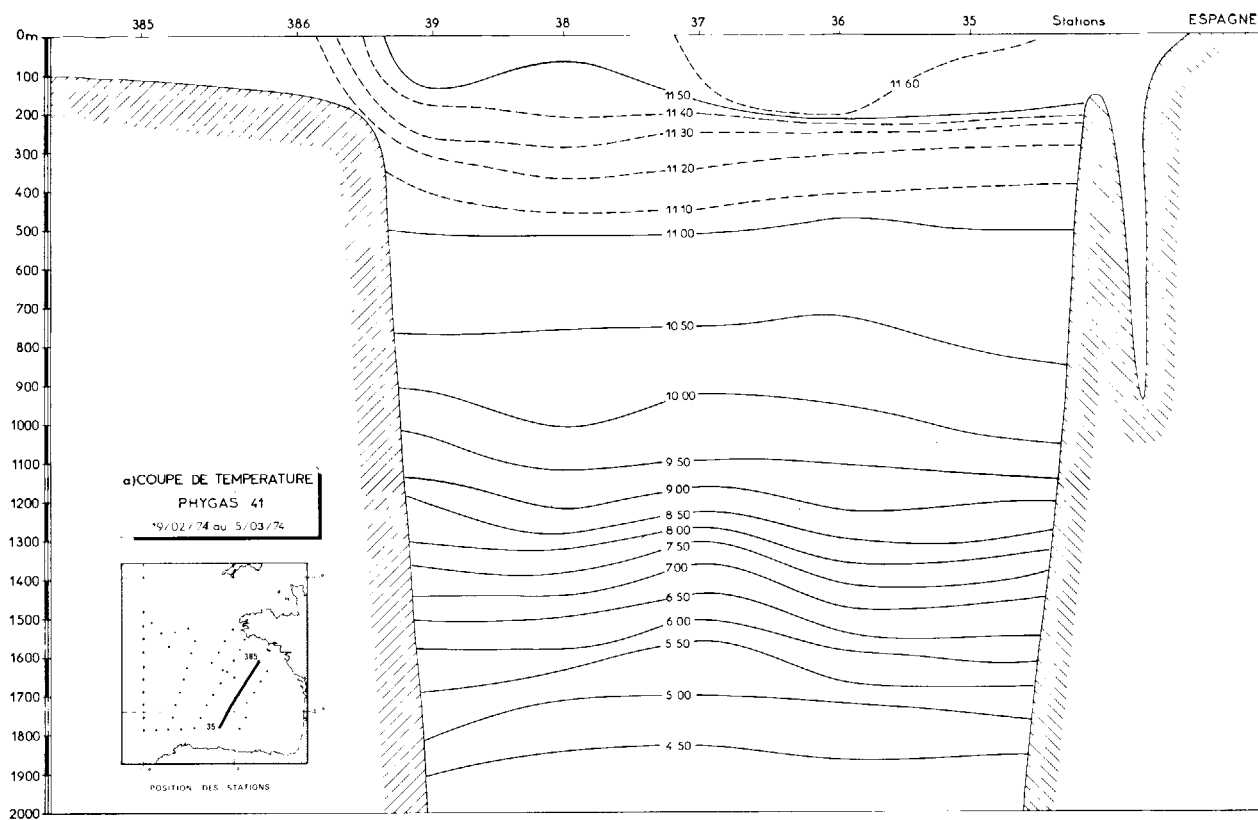
Figures 16a et 16b



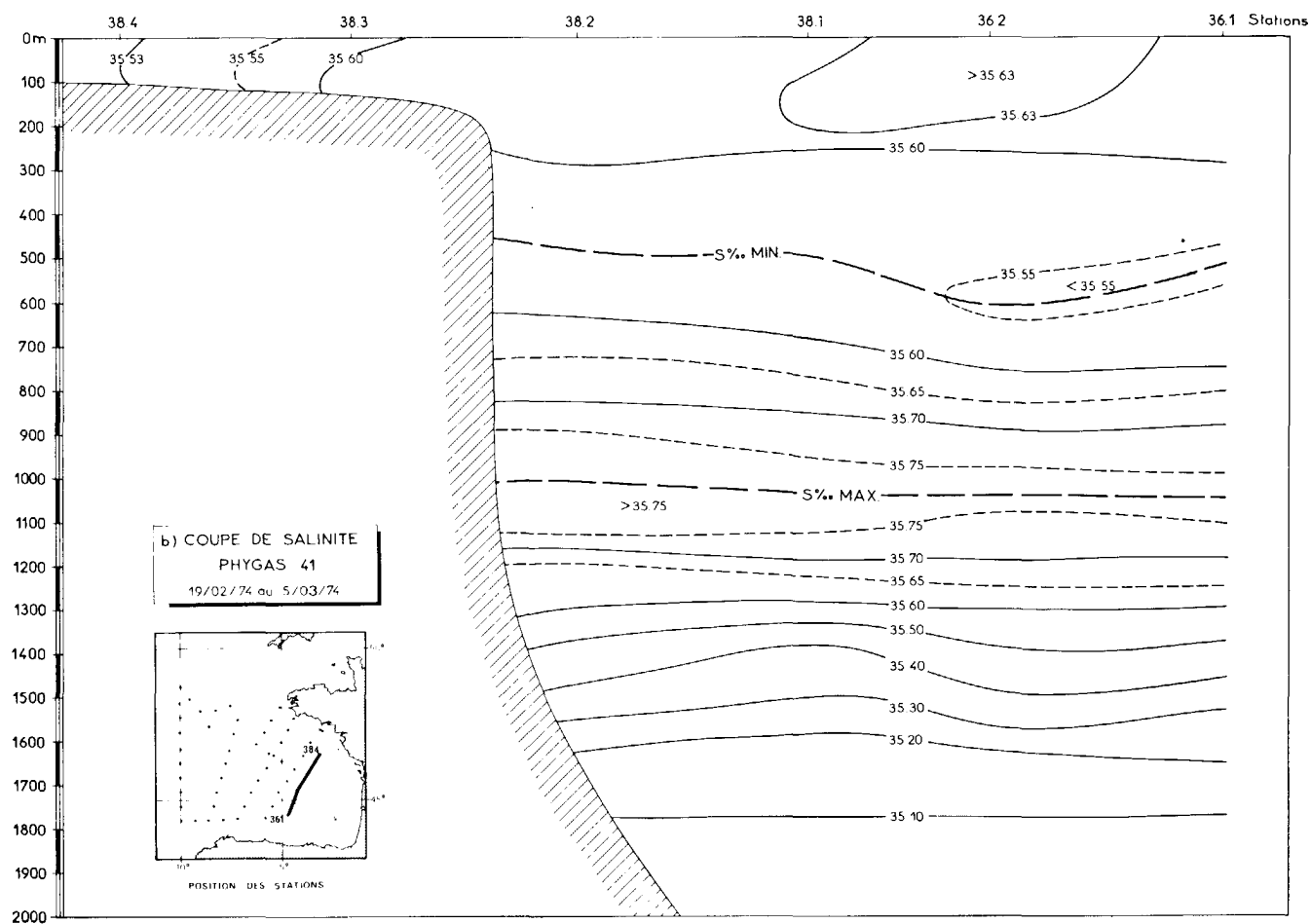
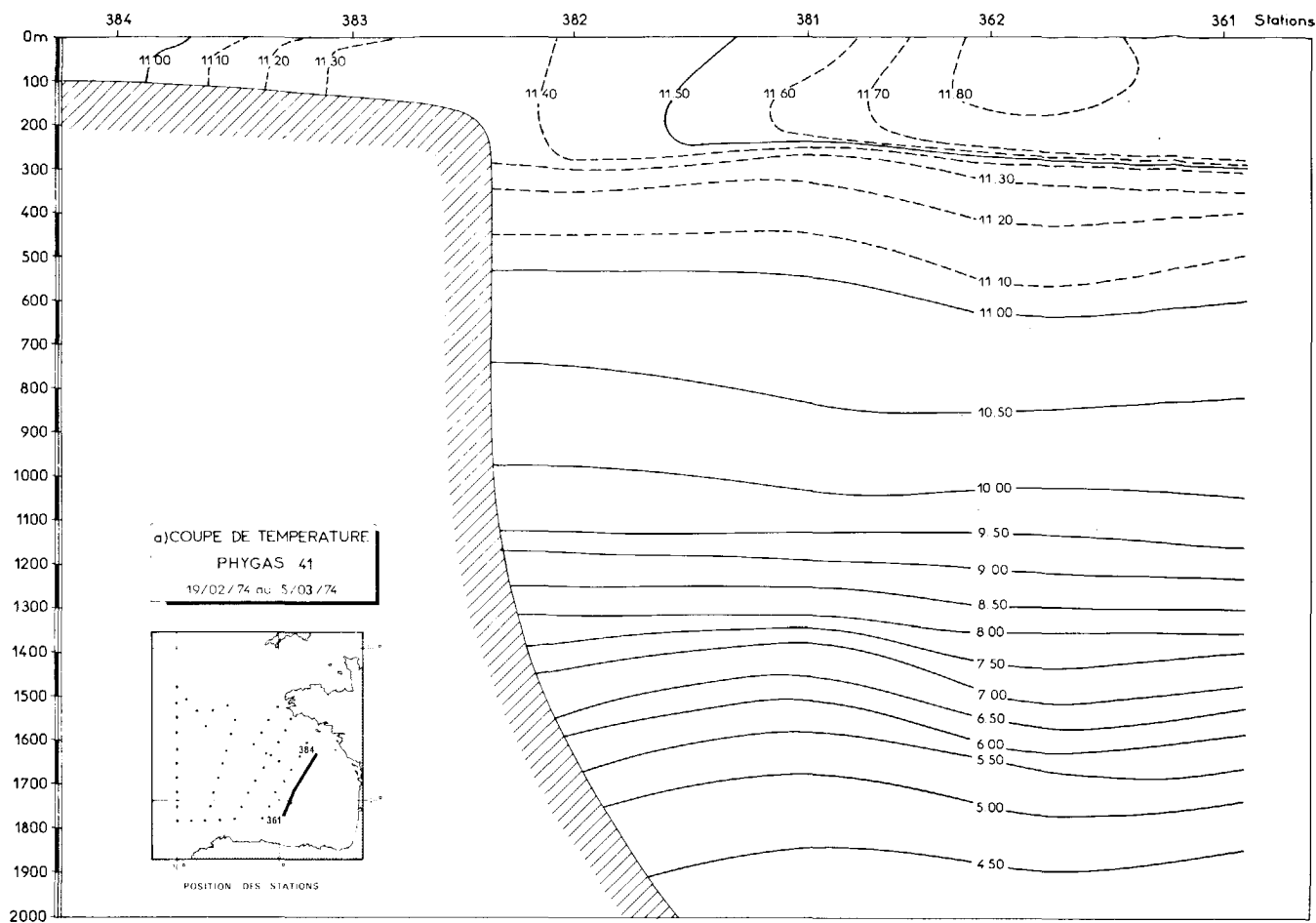
Figures 17a et 17b



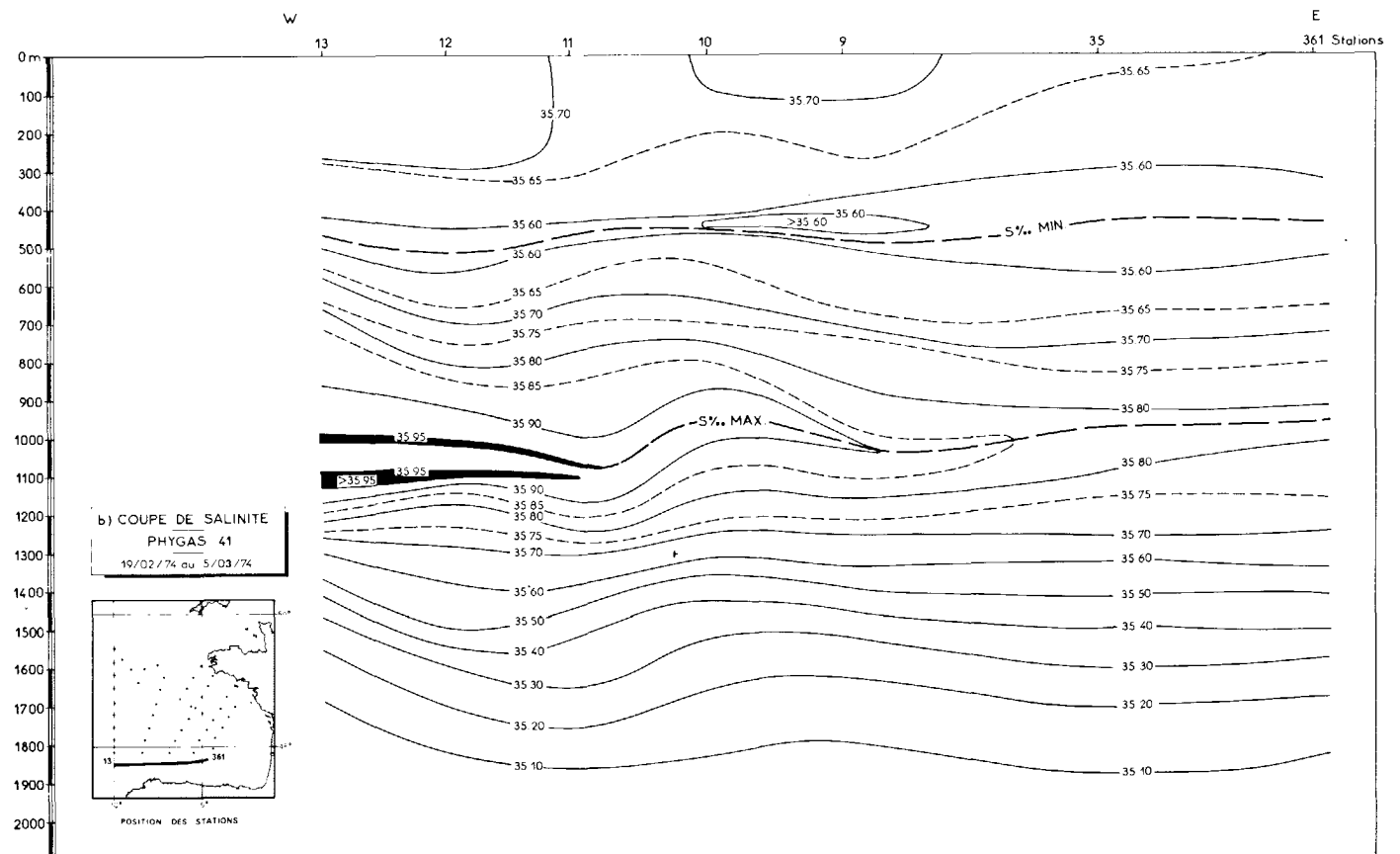
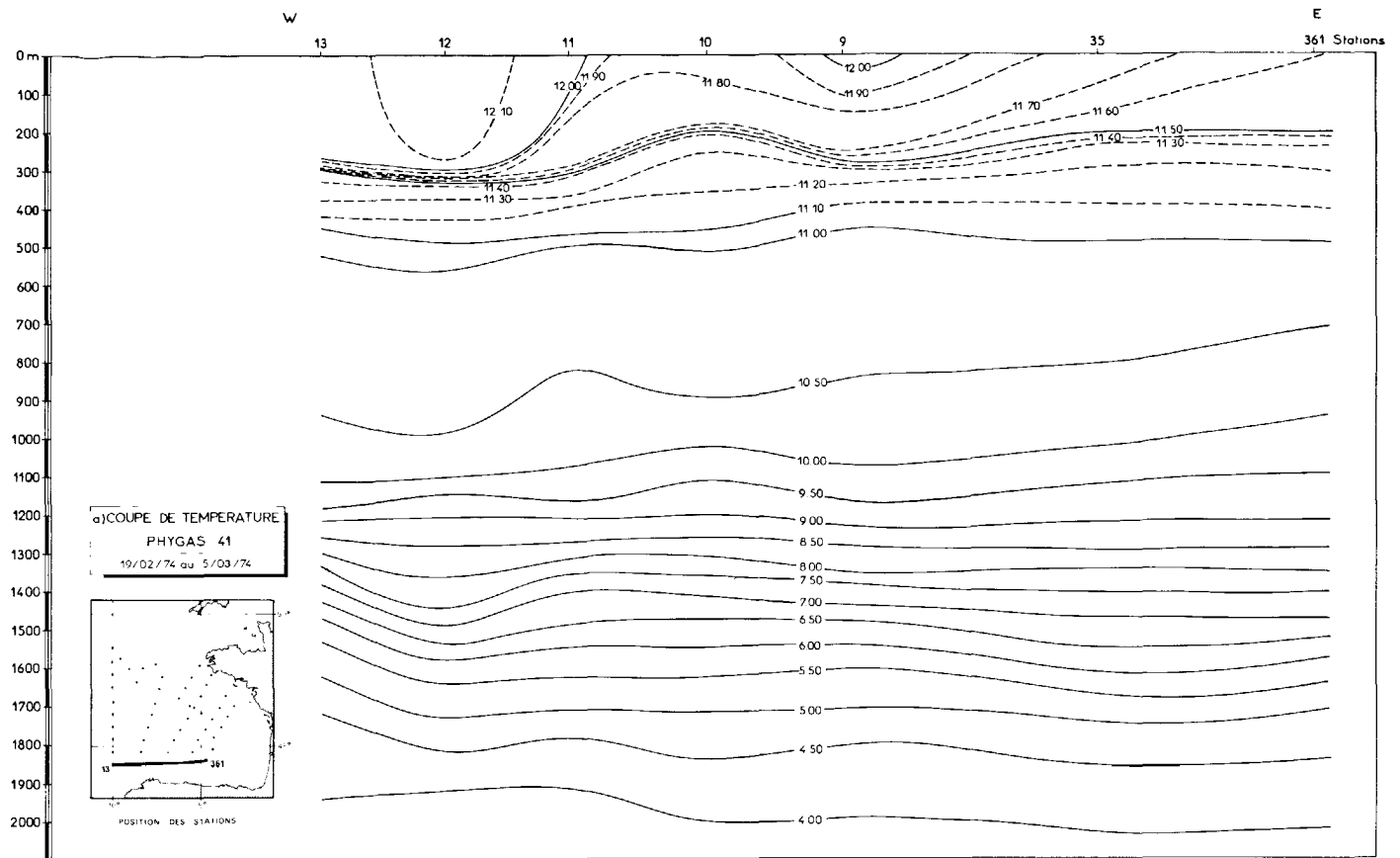
Figures 18a et 18b



Figures 19a et 19b



Figures 20a et 20b



Figures 21a et 21b

PHYGAS 42 (25 juin au 13 juillet 1974)

I - Conditions hydrologiques de surface

A - Températures de surface (Fig.22)

Dans la zone étudiée, les températures sont comprises entre 14.5°C et 18.5°C. Les plus faibles valeurs ont été mesurées en bordure du plateau continental ($\phi = 49$ N, $G = 12$ W) et les plus élevées au sud-est dans le Golfe de Gascogne.

Au nord du 47ème parallèle, comme cela fut déjà observé pendant les campagnes précédentes, les isothermes sont parallèles à l'isobathe 200 m qui marque la bordure du talus continental. Dans le Golfe de Gascogne les isothermes sont orientés nord-est, sud-ouest ; la température croît quand on se dirige vers le sud-est.

Entre 9 W et 12 W, au sud du 47ème, les températures restent inférieures à 16.0°C et descendent à 15.5°C au niveau du cap Finisterre ; cette zone froide a souvent été liée à un phénomène d'upwelling. Pendant cette campagne, la grande extension de la poche de température inférieure à 15.75 °C et l'absence dans cette zone de courants à composante sud permet plutôt de penser que ces eaux ont été formées plus au sud (le long des côtes du Portugal ?) et transportées vers le nord sous l'action des courants.

Il faut de plus remarquer que dans toute la partie "océanique", c'est-à-dire à l'ouest d'une ligne Brest-La Corogne, les températures de surface sont anormalement basses pour cette saison et sont inférieures de 1 à 2°C aux normales saisonnières.

B - Salinités de surface (Fig.22)

L'isohaline 35.50 coïncide avec la limite au plateau continental français et isole les eaux peu salées du plateau ($S^{\circ}/\text{‰} \leq 35.50$) des eaux océaniques ($S^{\circ}/\text{‰} > 35.50$). On observe à la latitude de l'embouchure de la Gironde une poche d'eau très dessalée ($S^{\circ}/\text{‰} < 35.10$) dans laquelle furent mesurées les températures les plus élevées et de faibles teneurs en oxygène dissous (O_2 ml/l ≤ 5.2 ml/l).

L'isohaline 35.70 est rencontrée au sud-ouest de la zone étudiée, elle marque la limite sud d'une vaste zone dans laquelle les salinités restent

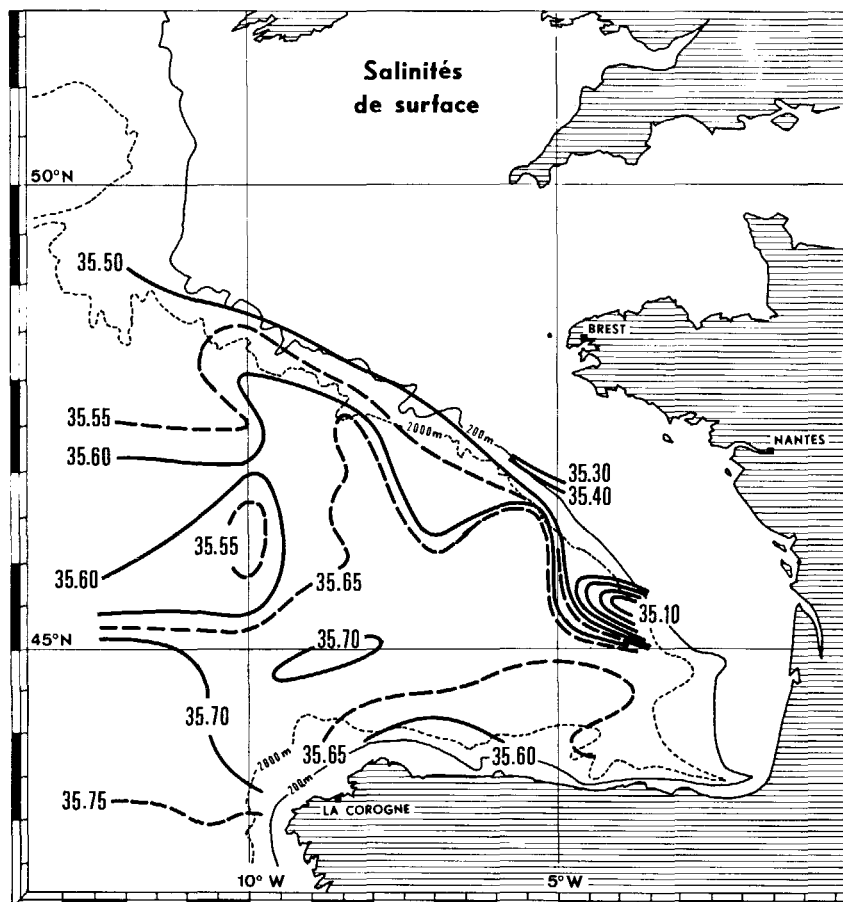
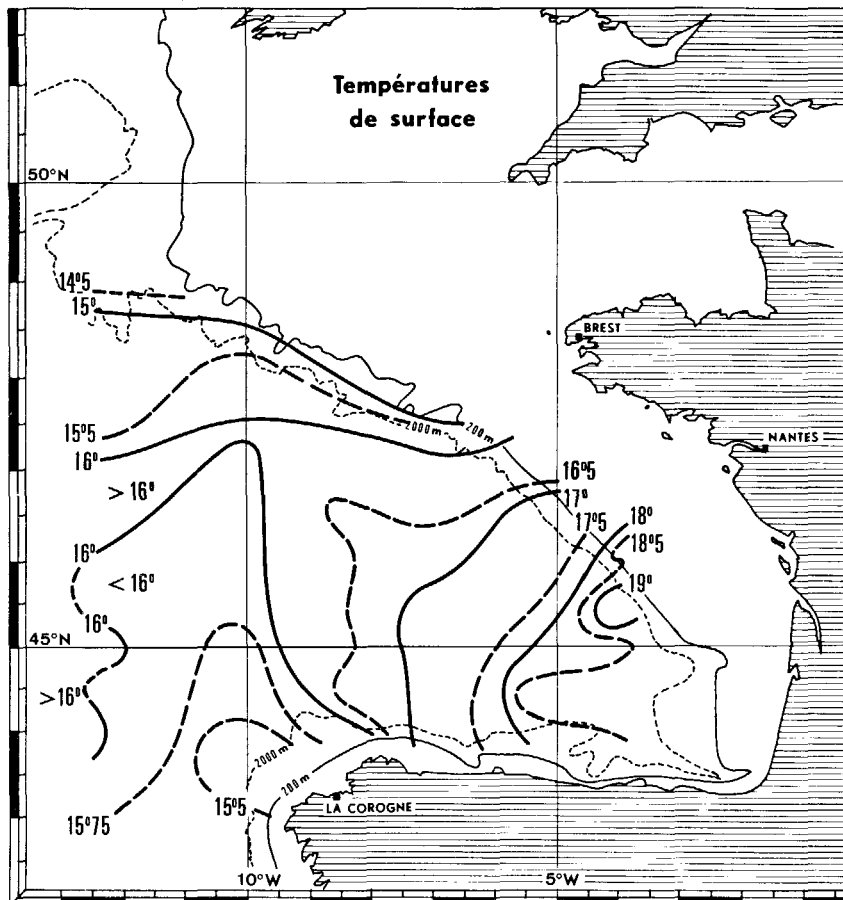


Figure 22

comprises entre 35.50‰ et 35.70‰ et où le tracé des isolignes est peu significatif.

La grande dissemblance entre ces deux cartes (températures et salinités de surface) montre bien que les contrastes observés sont purement thermiques et ne résultent pas d'une circulation générale bien établie. Le seul trait commun à cette saison est la séparation des eaux du plateau et océaniques. Au nord du 47ème, elle est marquée par les isolignes 35.50‰ et 15°C.

Dans toute cette zone les salinités de surface varient très peu au cours de l'année. La carte des salinités moyennes en surface faite à partir des onze campagnes saisonnières est présentée sur la Fig.23 . Les valeurs sont calculées à l'intérieur de chaque carreau de 1° de côté ; on a également indiqué le nombre de valeurs utilisées pour le calcul de cette moyenne ainsi que l'écart type à la valeur moyenne. On constate qu'entre 12 W et les côtes françaises où le nombre de stations est le plus important, la salinité de surface reste le plus souvent constante à ± 0.05 ‰ près. Les écarts sont les plus importants dans les carreaux qui englobent des stations effectuées sur le plateau continental.

II - Courants de densité (Fig.24)

Comme pour les campagnes effectuées en 1972 et 1973, ils ont été calculés par rapport à la surface 550 décibars. Cette surface coïncide avec celle du minimum de salinité qui marque la frontière entre les eaux supérieures et celles d'origine méditerranéenne. En toutes zones les courants sont très faibles et souvent inférieurs à 1 cm/s ; les vitesses maximales calculées atteignent seulement 3.5 cm/s. Entre 12 W et 9 W, on observe un mouvement général des eaux vers l'est. Un calcul de flux effectué pour les 550 premiers mètres par 12°W entre les latitudes 43 et 49 N, donne une valeur de $0.9 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$., soit une vitesse moyenne de 0.25 cm/s.

Plus à l'est, la topographie dynamique devient complexe. On détecte l'amarce d'un vaste tourbillon anticyclonique qui occuperait le fond du Golfe de Gascogne. Au niveau du Cap Finisterre, il y a entrée d'eau en surface dans le Golfe de Gascogne (mouvement général vers l'est).

.../...

SALINITES MOYENNES EN SURFACE

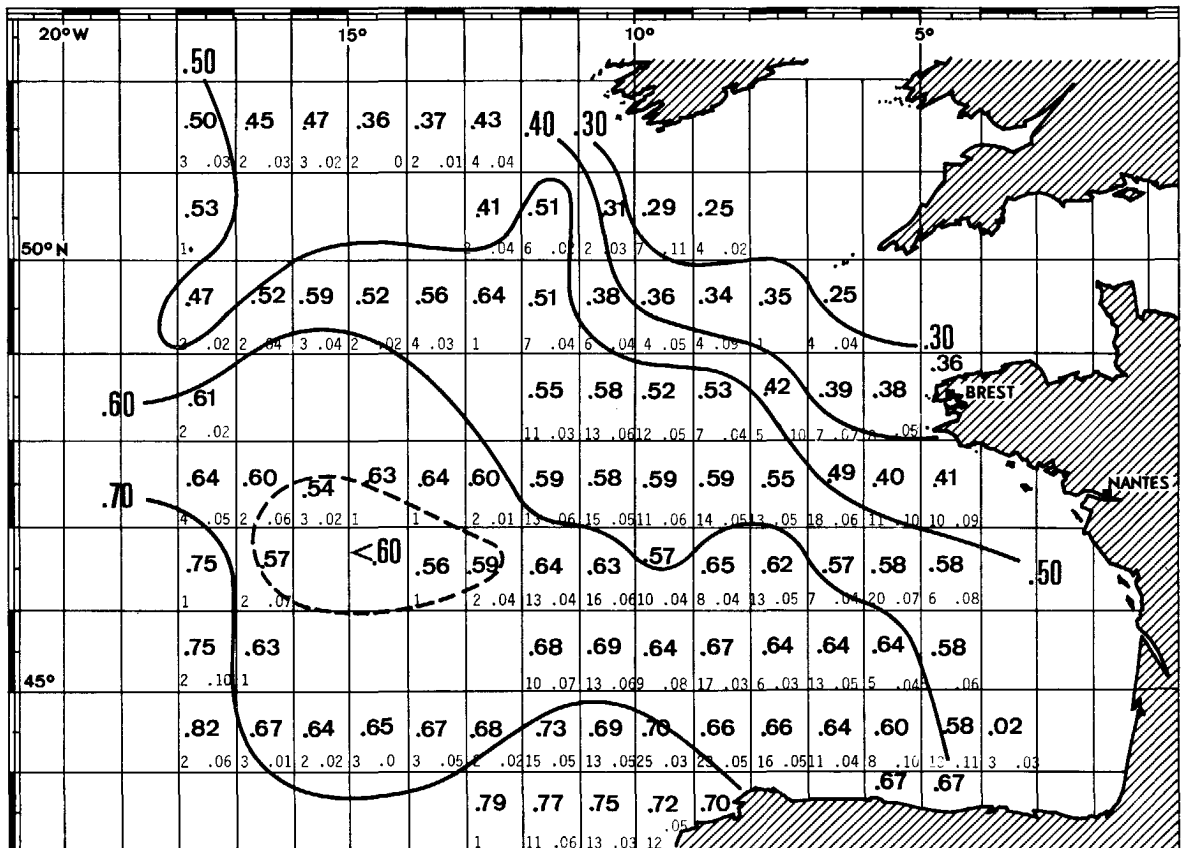


Figure 23

PHYGAS 42

Topographie dynamique
0-550 db

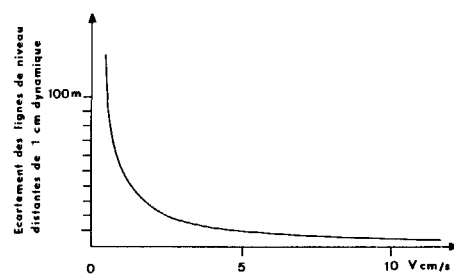
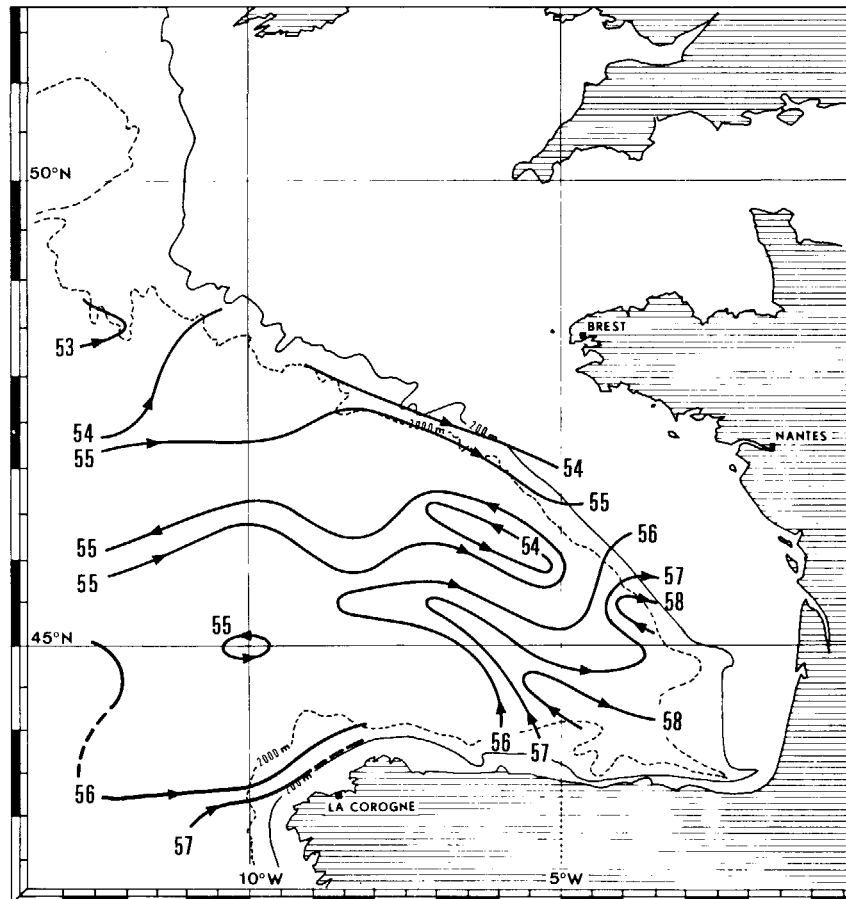


Figure 24

III - Structure hydrologique

A - Couche superficielle

Comme dans un article précédent, nous la définirons comme constituée des eaux comprises entre la surface et la partie supérieure de la thermocline saisonnière ; c'est donc la couche mélangée de surface. A cette période de l'année, son épaisseur reste en toutes zones comprise entre quelques mètres et 15 mètres, sauf aux stations proches du Cap Finistère où elle atteint 40 m (station 16). Ceci traduit l'absence de brassage mécanique dû au vent. Les gradients dans la thermocline sont beaucoup plus faibles ($0.1^{\circ}\text{C}/\text{m}$) que ceux observés l'année précédente qui atteignaient $0.2^{\circ}\text{C}/\text{m}$, ce phénomène est également lié aux températures de surface anormalement basses.

B - Eaux supérieures

Entre la limite inférieure de la thermocline saisonnière et le minimum profond de salinité (situé vers 550 m en général), se trouvent des eaux pour lesquelles les variations avec la profondeur de la température et de la salinité sont faibles.

L'étude des diagrammes TS (voir Fig.25) conduit à distinguer 3 zones :

- une zone sud-ouest limitée par une ligne passant par les stations 11 et 20 puis rejoignant le Cap Finistère dans laquelle on retrouve une structure du type eau centrale nord Atlantique. Les points représentatifs s'alignent sur un segment de droite limité par les points $T = 11^{\circ}\text{C}$, $S = 35.60^{\circ}/\text{‰}$ et $T = 12.40^{\circ}\text{C}$, $S = 35.80^{\circ}/\text{‰}$. Cette région est influencée par la circulation générale nord-Atlantique (St 12).

- une zone située au nord du 47ème parallèle qui correspond à des eaux quasi homogènes en température et en salinité (St 45).

- une zone intermédiaire qui sert de transition entre les deux précédentes (St 42).

Si on observe maintenant les coupes verticales nord-sud qui ont été effectuées sur les méridiens 12 W, 10 W, 8.30 W, 7 W, 5.30 W et 4 W, et en particulier celles de salinités, on constate que la poche de salinité inférieure à $35.60^{\circ}/\text{‰}$ est toujours plus épaisse au nord des coupes et y vient même jusqu'en surface. L'hypothèse suivante peut alors être formulée. En hiver, du fait de l'évaporation et du brassage mécanique, les eaux

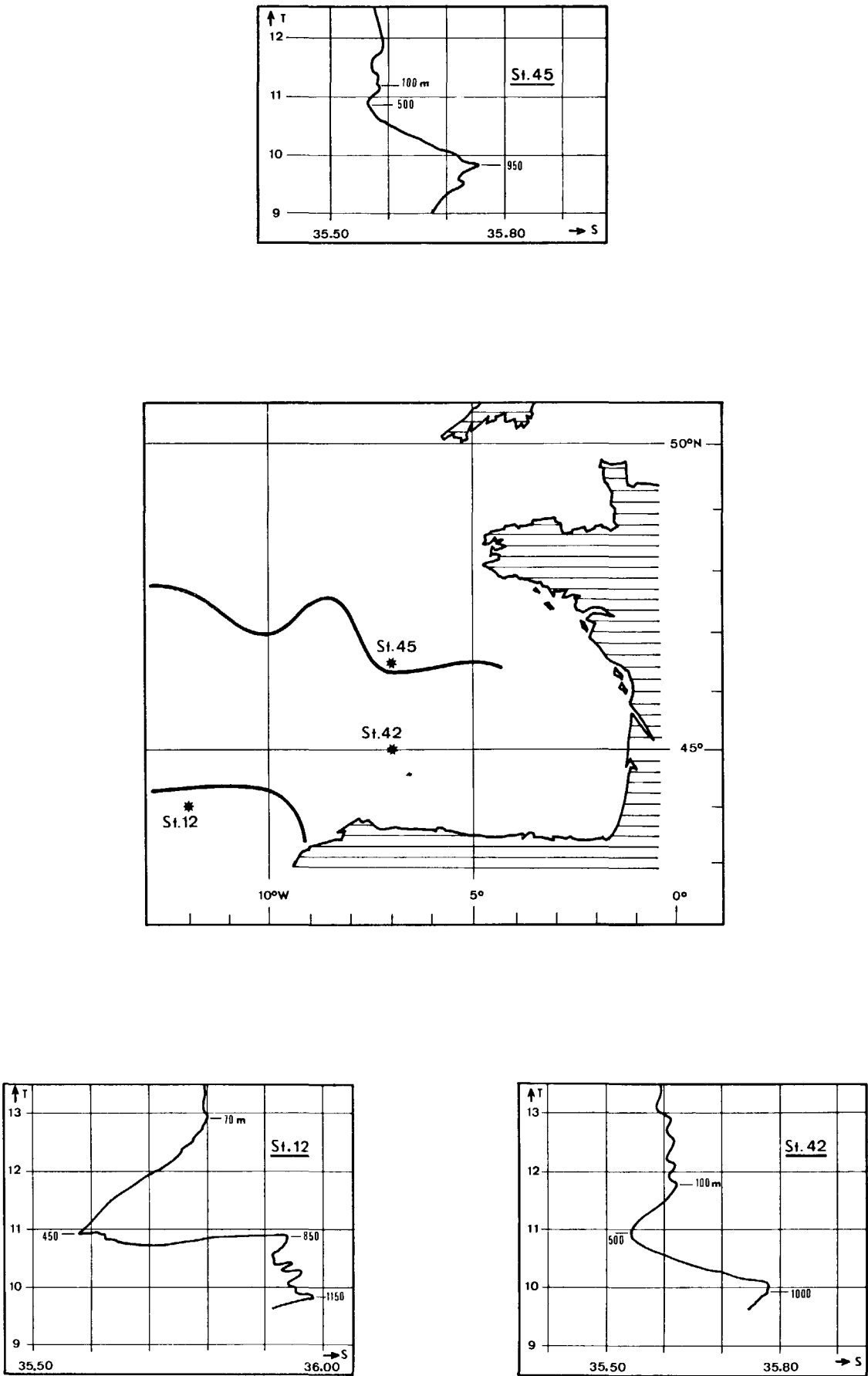


Figure 25

Valeur du maximum de salinité méditerranéenne

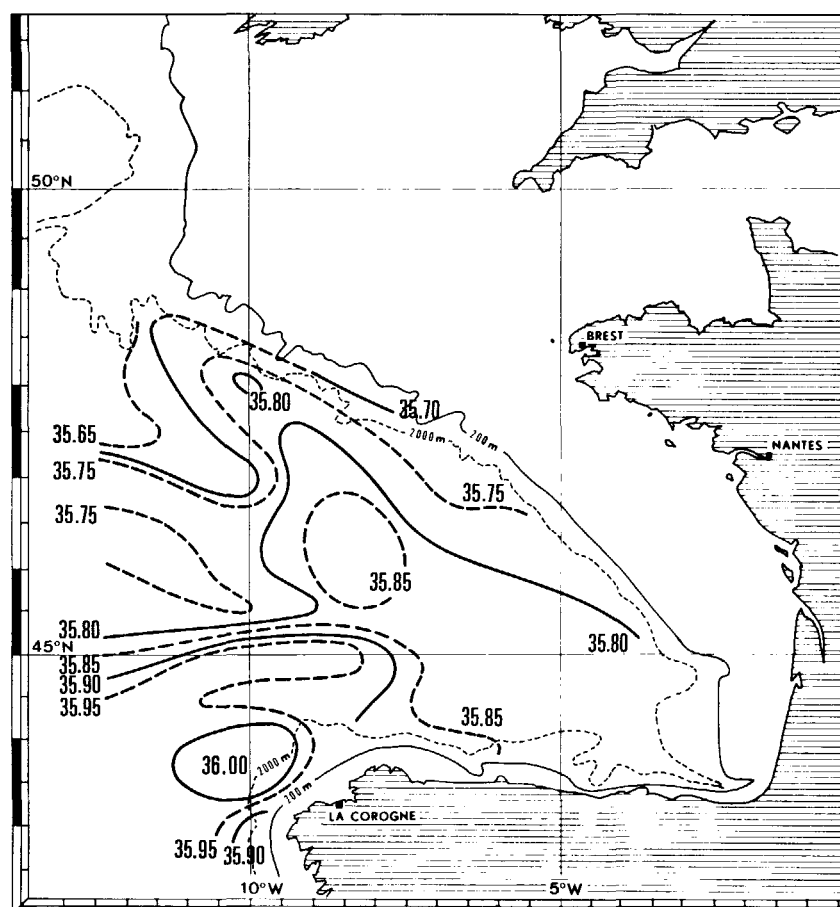


Figure 26

du plateau continental atteignent des densités supérieures à celles du large ($\sigma_t \geq 27.25$ sur le plateau, $\sigma_t \geq 27.20$ au large). Un phénomène de cascading peut donc prendre naissance et se propager jusqu'à 500 ou 550 m où cette densité est observée. On remarque en outre sur les coupes verticales d'oxygène dissous que ces "eaux supérieures" sont riches en oxygène dissous ($O_2 \geq 5.75$ ml/l) et ont donc une origine récente. Selon cette hypothèse, la zone nord précédemment définie correspond donc à une zone d'influence des eaux du plateau continental par opposition à la zone sud-ouest qui est purement océanique.

C - La veine d'origine méditerranéenne

Elle est aisément identifiable grâce au maximum profond de salinité qui s'accompagne d'un minimum de teneur en oxygène dissous. A son entrée dans le Golfe de Gascogne (voir Fig.26), c'est-à-dire au niveau du cap Finistère, elle peut être caractérisée, à cette campagne, par les valeurs : $S^{\circ}/\text{‰}_{\text{max}} \approx 36.00$, $T^{\circ}\text{C} = 10.7 \pm 0.1$, O_2 ml/l ≈ 4.25 à 1 000 mètres. Cette même carte ne donne pas par contre d'indication précise sur le trajet suivi par ces eaux, au-delà du cap Finistère ; le tracé des isolignes 35.80 et 35.70 suggère un écoulement en direction du nord-ouest contre le talus continental. L'observation des profils verticaux de salinité montre la structure complexe de cette veine d'eau. Elle est composée de noyaux de volume variable, le plus souvent isolés les uns des autres qui traduisent la nature essentiellement turbulente de cet écoulement.

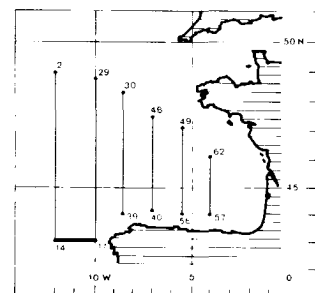
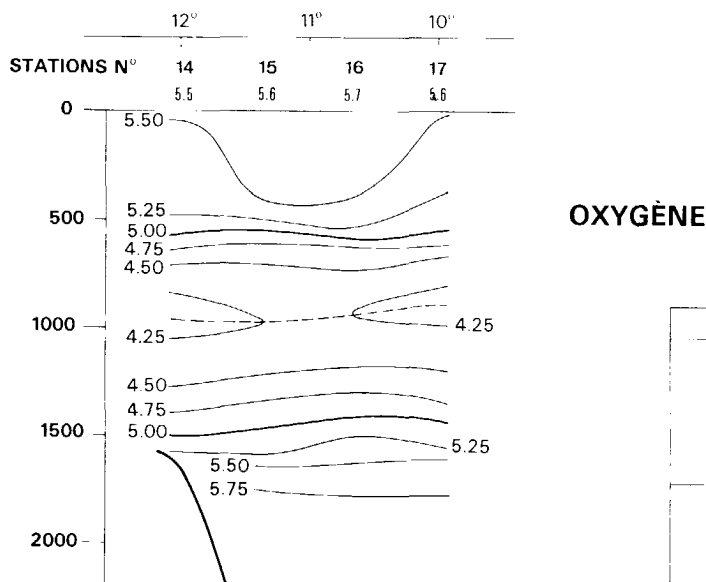
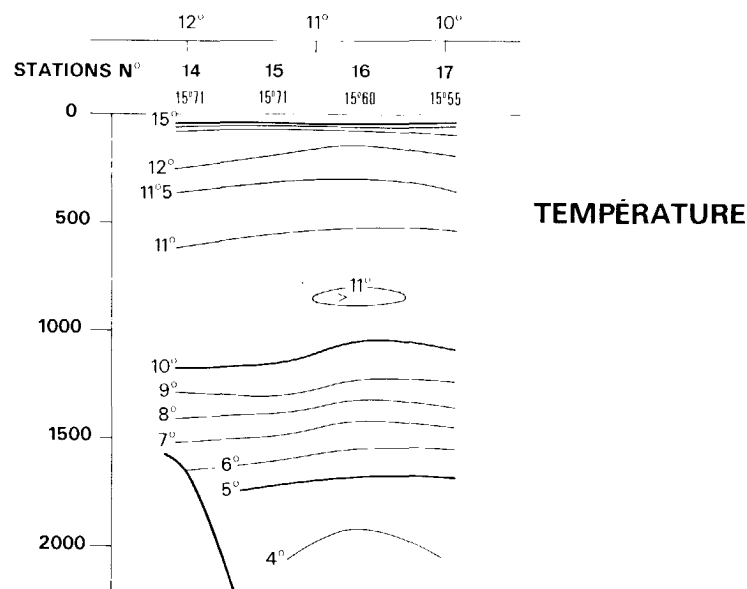
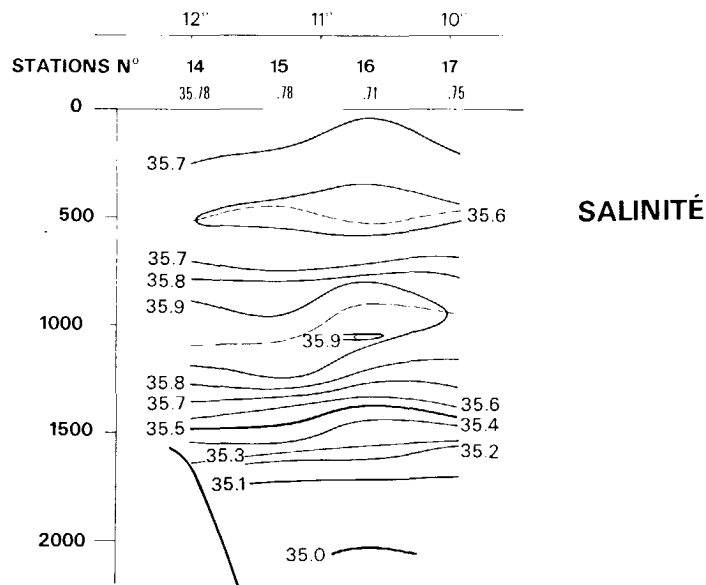


Figure 27

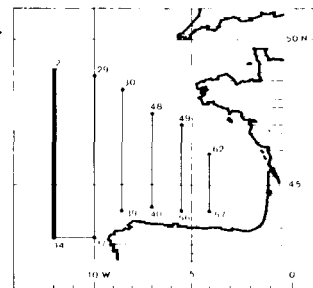
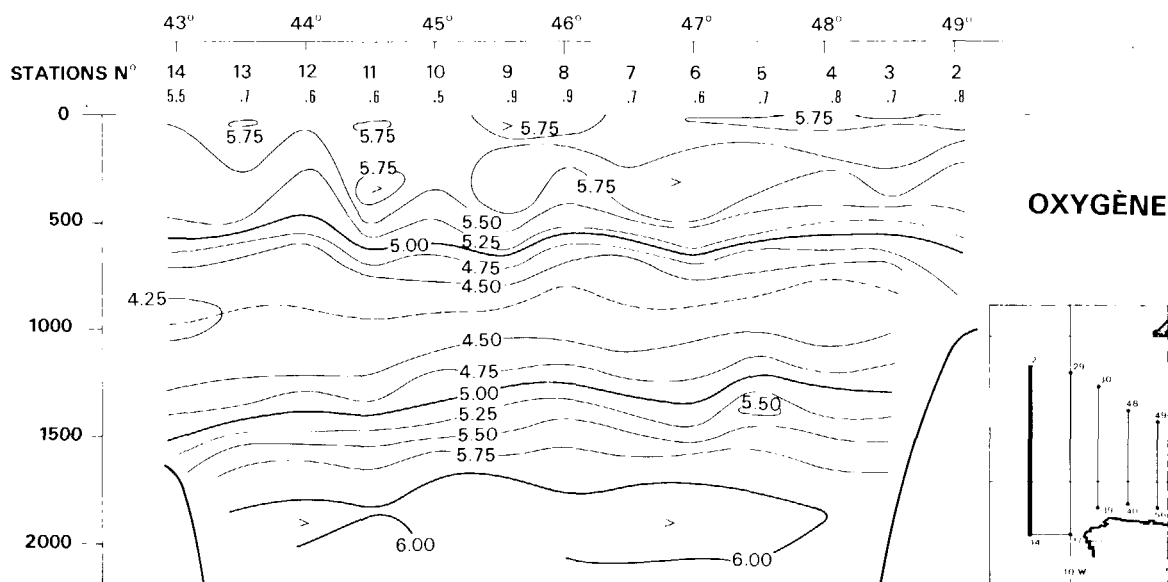
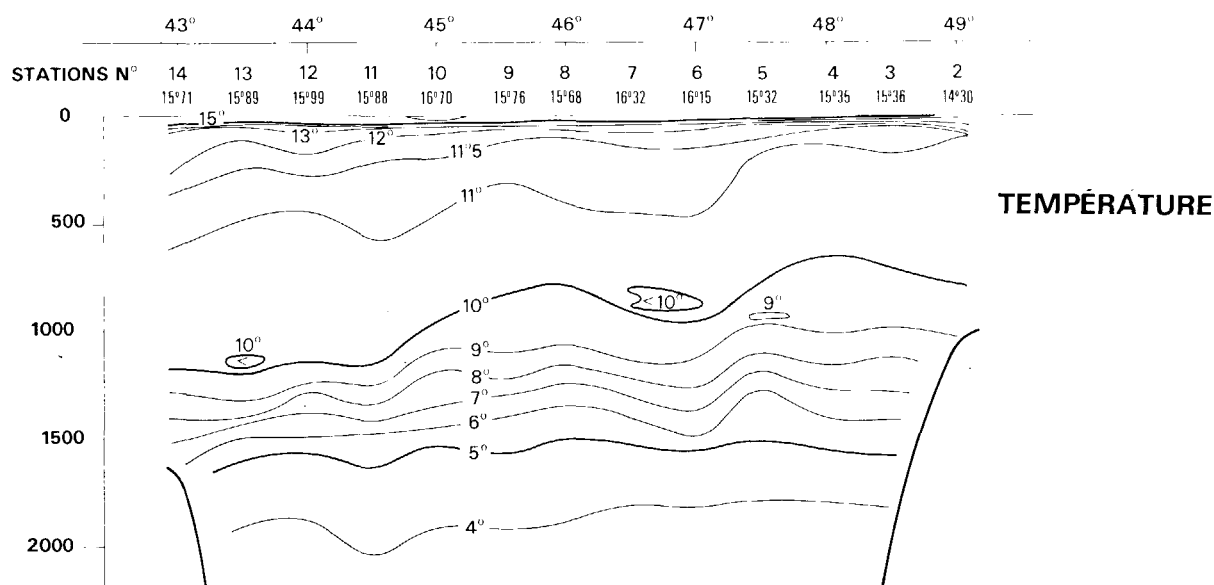
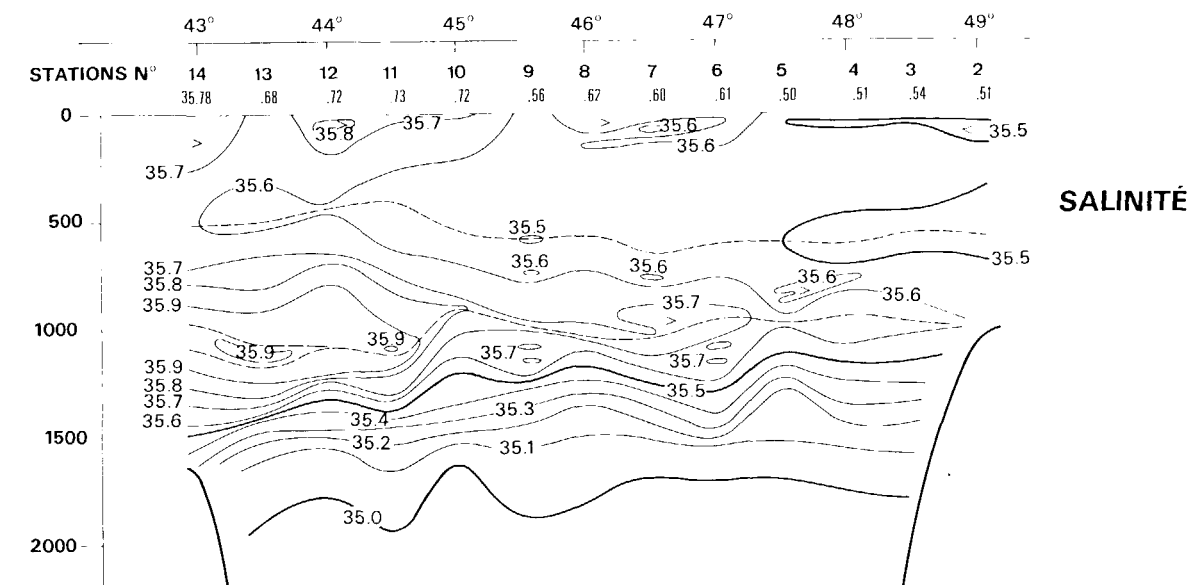


Figure 28a.

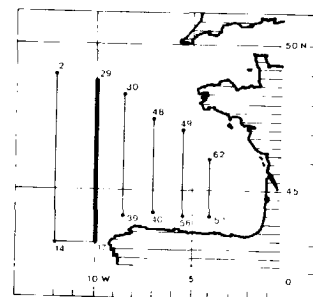
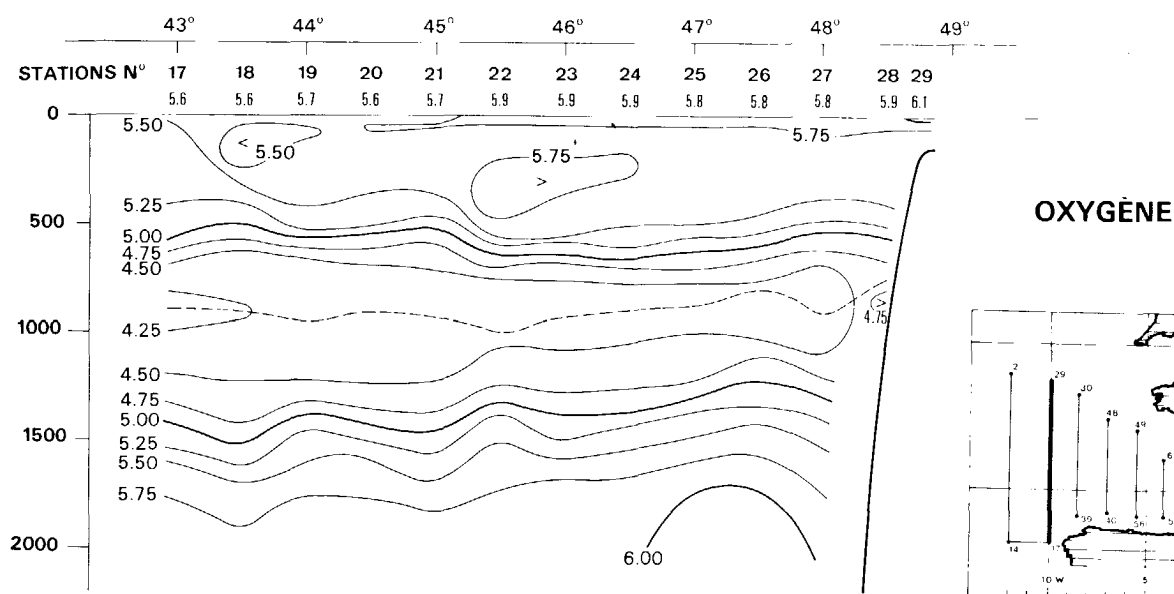
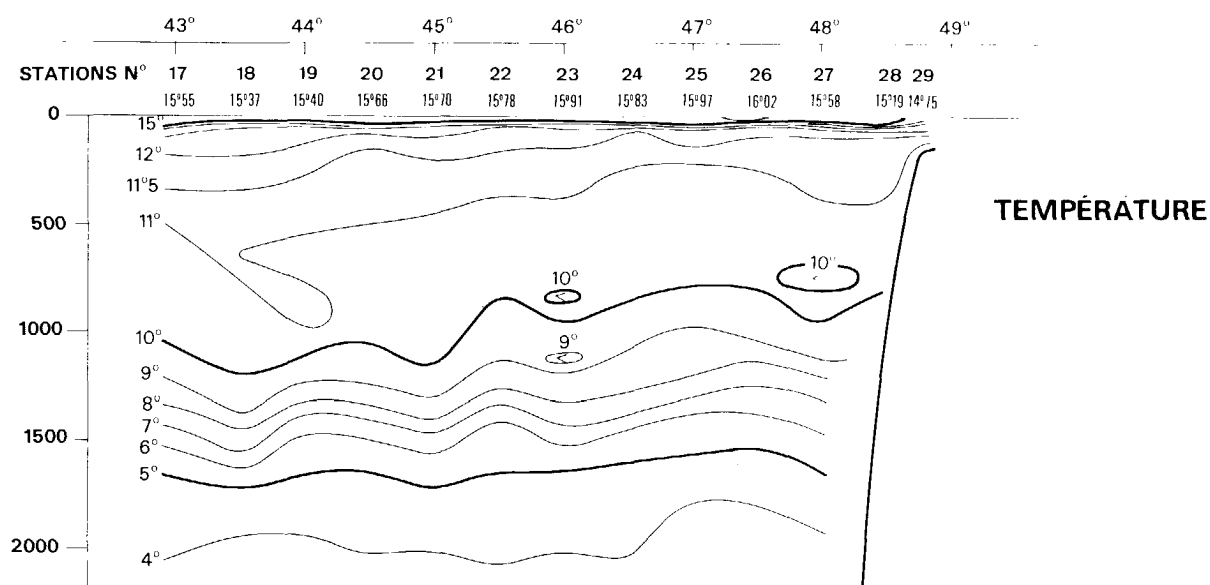
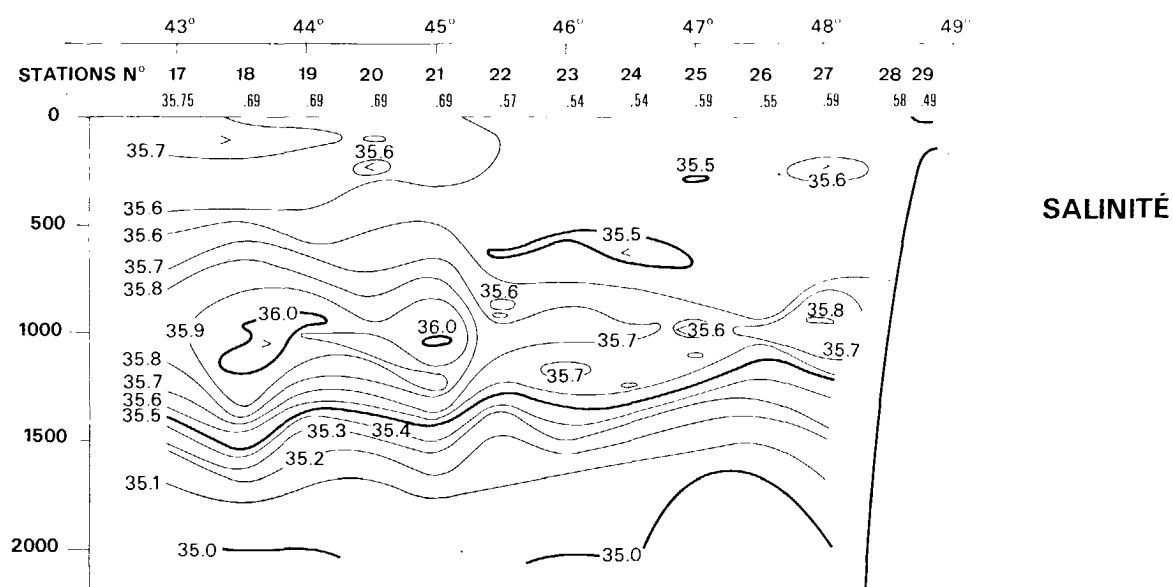
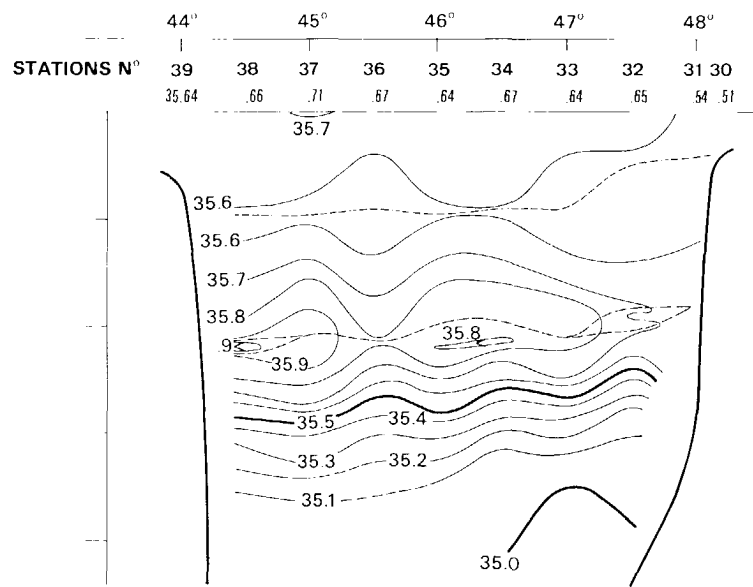
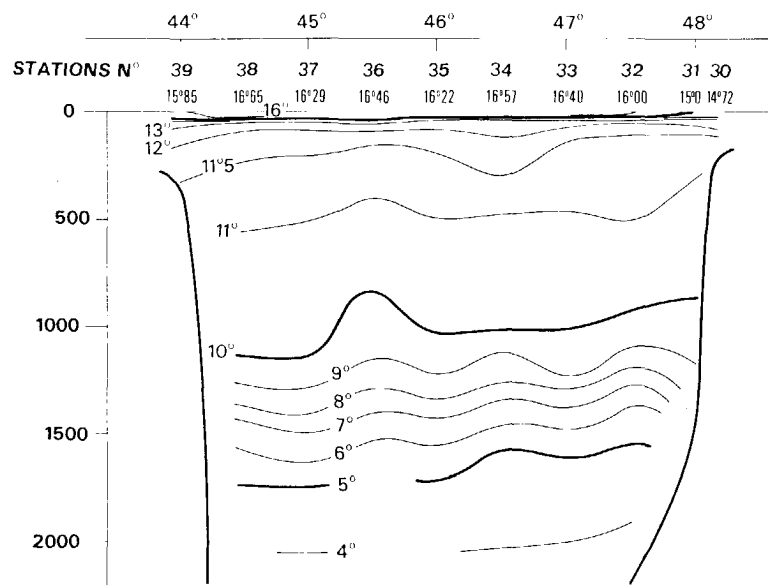


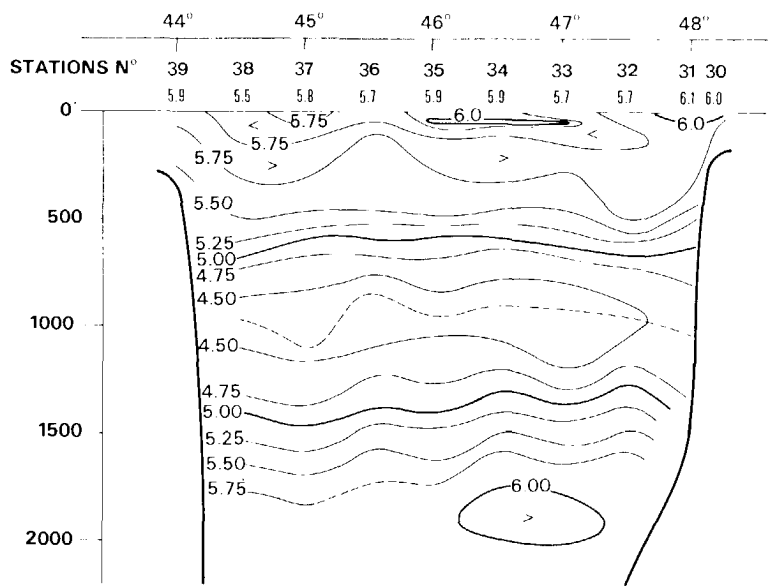
Figure 28b



SALINITÉ



TEMPÉRATURE



OXYGÈNE

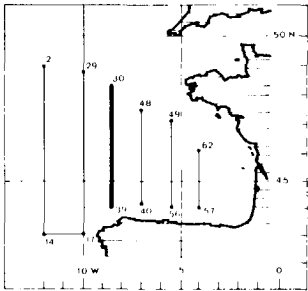


Figure 28c

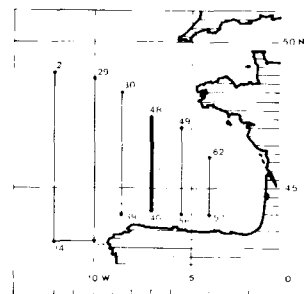
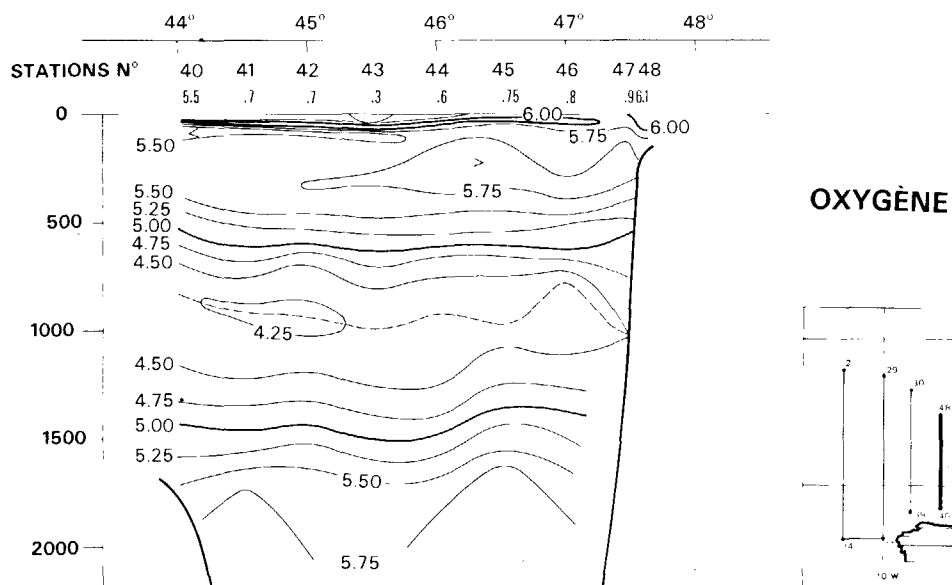
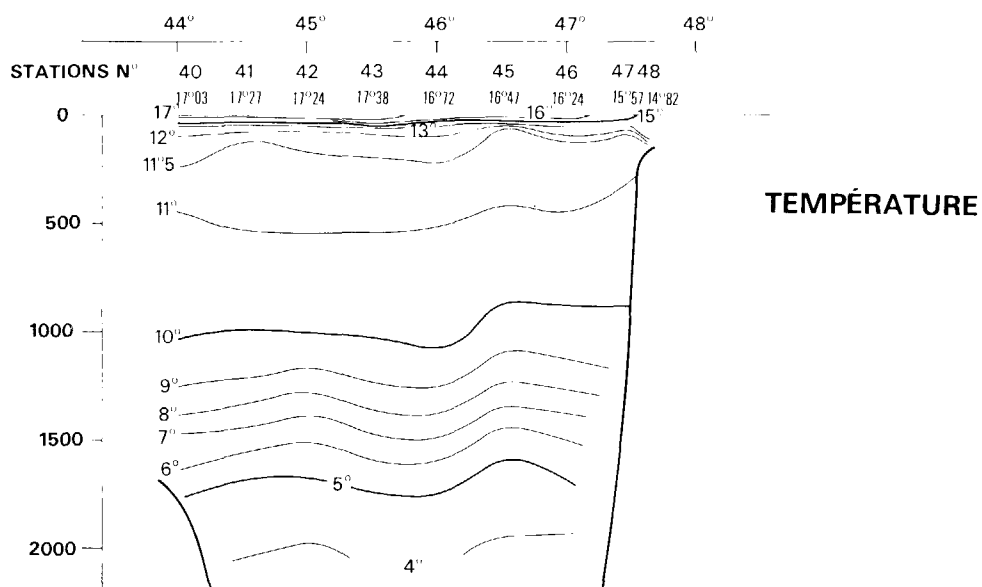
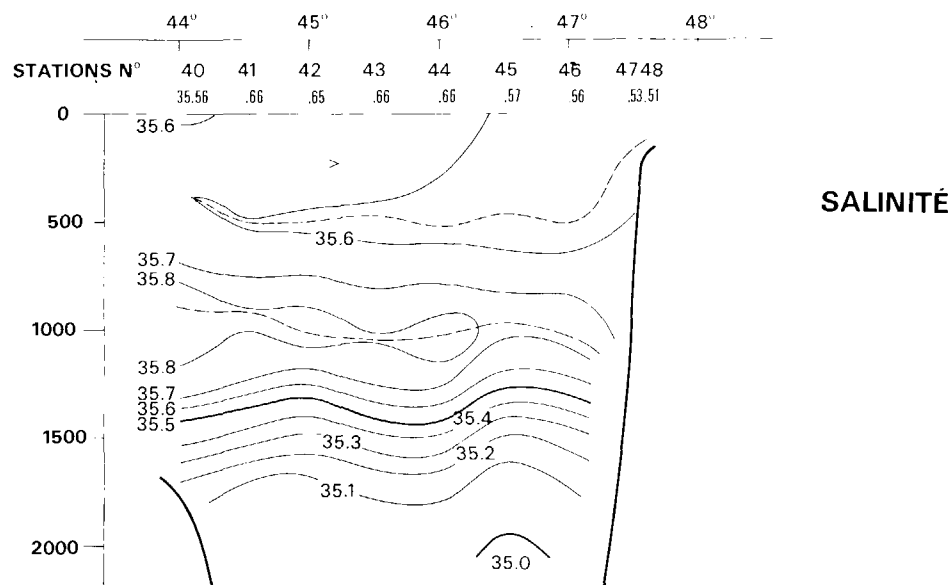
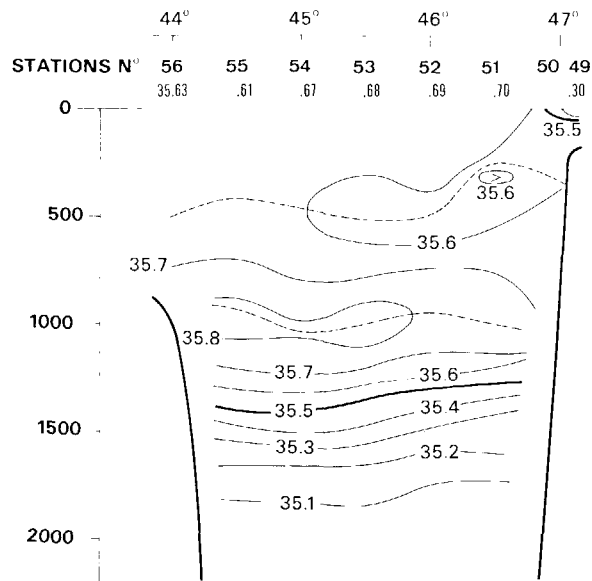
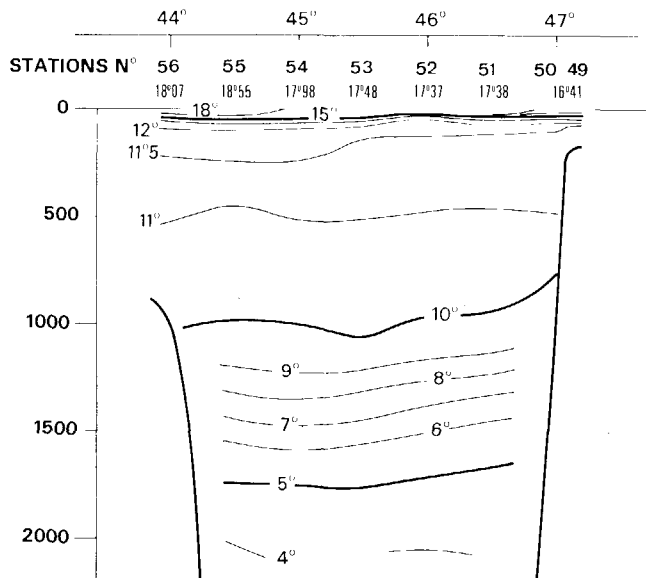


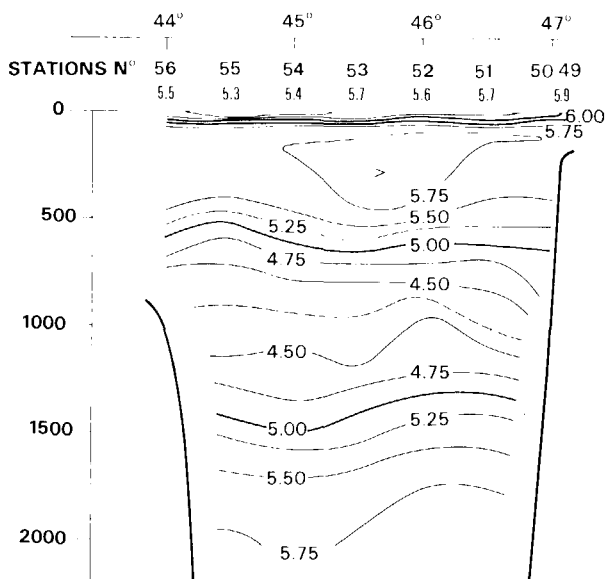
Figure 28d



SALINITÉ



TEMPÉRATURE



OXYGÈNE

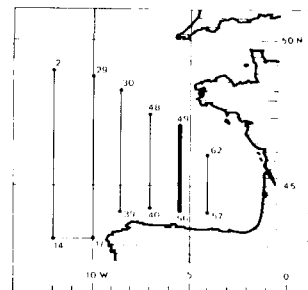
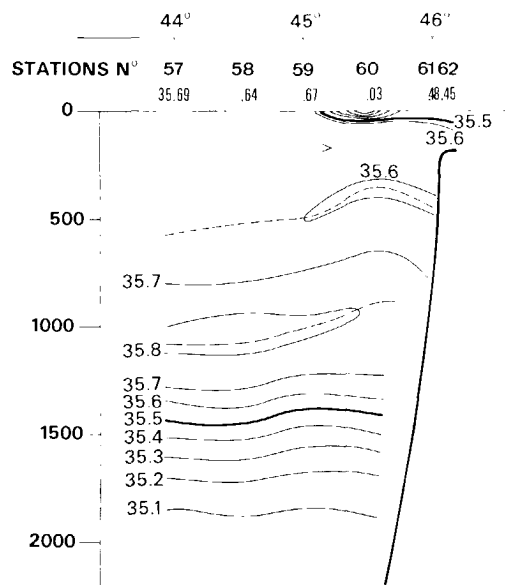
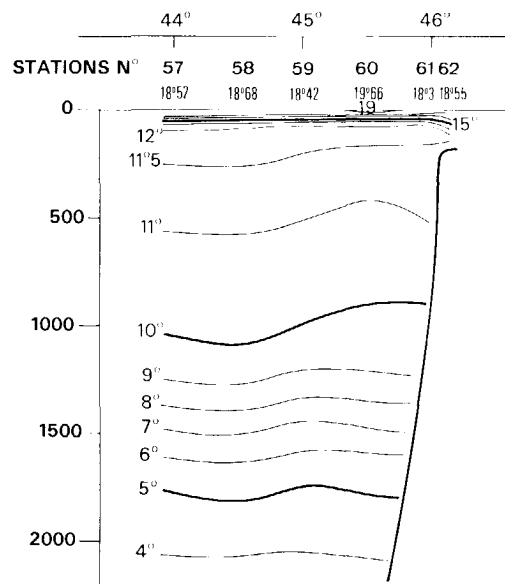


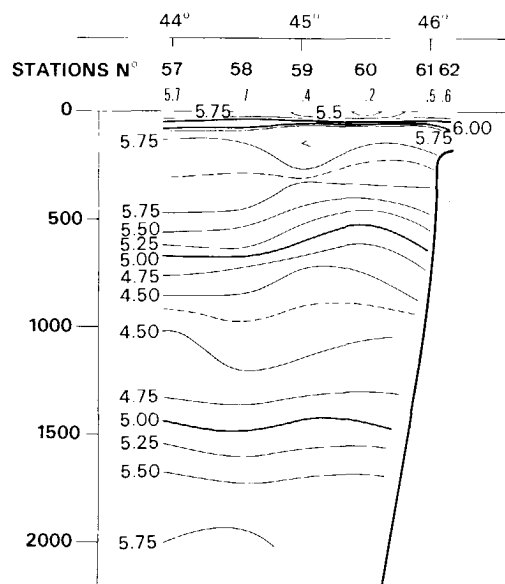
Figure 28e



SALINITÉ



TEMPÉRATURE



OXYGÈNE

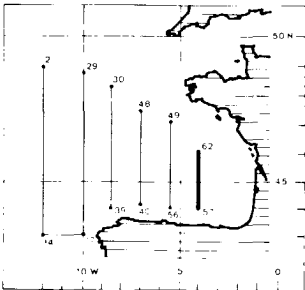


Figure 28r

C. LE ROY, J. LE FLOCH
PHYGAS 43 (5 au 24 septembre 1974)

A) LES CONDITIONS DE SURFACE

1. Hydrologie

Température. Dans leur aspect général (fig. 29), les isothermes sont orientées suivant la direction E-W dans la zone la plus au large de notre étude, avec une tendance à s'aligner au N-E au fur et à mesure que l'on pénètre dans l'intérieur du golfe ; ceci dénote certainement un effet de la configuration des côtes, que l'on pourrait peut-être lier plus directement à la circulation superficielle. Cette remarque ne fait d'ailleurs que confirmer de précédentes observations en période d'été (PHYGAS 34, été 58 d'après DIETRICH - figures 30 et 31). D'autre part, en comparant ces différentes cartes, on s'aperçoit que l'été 74 s'inscrit dans la moyenne d'un été normal, par comparaison avec l'été 73 (PHYGAS 34) qui fut plus chaud. En effet, les températures de surface 74 accusent une baisse moyenne de 1 à 2 degrés par rapport à 73. Il semblerait aussi à première vue que l'inclinaison moyenne des isothermes par rapport aux parallèles dans le fond du Golfe soit en rapport avec leur valeur absolue moyenne (le terme moyen est pris dans le sens de relatif à un été donné).

Un examen plus détaillé des températures de surface de PHYGAS 43 (fig. 29) met en relief des aspects locaux :

- . Un fort gradient de température (3 degrés en 20 milles environ) aux abords du Cap Finisterre, montre la présence d'un upwelling particulièrement marqué. Le vent était alors au Nord-Nord Est de force 3.
- . Une "intrusion" vers le Nord d'eau chaude ($17,3^{\circ}\text{C}$) centrée vers 46°N , 8°W , prolongée par un gradient méridien supérieur à la moyenne générale.

Salinité. Les salinités de surface (fig. 32) s'échelonnent de $35,25\text{ ‰}$ sur le plateau continental Ouest breton à $35,75\text{ ‰}$ dans la région la plus au Sud. Si on les compare à celles de l'année précédente à la même époque (PHYGAS 34), elles apparaissent inférieures dans leur ensemble, tout comme les températures, ce qui est donc à relier directement avec la climatologie à l'échelle du Proche Atlantique.

Malgré un aspect tourmenté des isohalines, on peut néanmoins observer :

- . des salinités légèrement plus faibles que celles avoisinantes vers le fond du Golfe, alors que l'on constate à ce même endroit un accroissement de la température.
- . Une poche de faible salinité d'épaisseur 50 mètres à la station 34 ($-0,1\text{ ‰}$), qui semble difficilement interprétable par un apport d'eau douce dû aux précipitations.

Une poche de salinité élevée centrée sur 46°N , 8°W et qui correspond donc géographiquement à l'intrusion d'eau chaude relevée ci-dessus. L'explication de ces phénomènes nécessiterait un examen approfondi des conditions climatiques sur ces zones pendant l'été 74 avant de les interpréter comme des conséquences de la circulation. Il semble cependant intéressant de relever la ressemblance, hormis ces aspects locaux, entre les salinités de surface de l'été 58 (fig.31 ,b d'après DIETRICH) et celles de 74, et notamment une langue salée (isohaline, $35,70 \text{ ‰}$) au large du Cap Finistère.

2. Décomposition spatiale de la couche superficielle d'après BARY.

Comme nous l'avons déjà signalé lors de l'étude de PHYGAS 41, la méthode de BARY consiste à considérer les points T-S de surface et à caractériser ainsi d'après les regroupements sur le diagramme, différentes masses d'eau. Ce diagramme (fig. 33) met en évidence pour notre campagne, 4 masses d'eau appelées d'après BARY - eau Méridionale - eau de transition - eau océanique à faible salinité - eau côtière dont on voit la répartition géographique sur la carte de la figure 34. BARY avait en outre observé la présence de poches à forte ou faible salinité que nous retrouvons ici dans notre cas particulier.

Il est à noter cependant, que les limites de ces masses d'eau restent arbitraires, compte tenu du fait que leurs caractéristiques (en particulier la température) évoluent graduellement en fonction des saisons et de leur position géographique, donc des conditions extérieures climatiques, le mélange n'intervenant que pour une faible part ; il s'en suit que le terme "masse d'eau" apparaît ici un peu erroné.

3. Circulation.

Dès que l'on aborde la circulation, il se pose de nombreux problèmes : en effet, le seul moyen que nous possédons de connaître les courants à partir des campagnes PHYGAS est de supposer l'approximation géostrophique applicable. Cette hypothèse étant admise, les difficultés ne sont pas pour autant surmontées, il nous faut en plus effectuer un calage des vitesses obtenues pour chaque couple de stations.

Pour le Golfe de Gascogne, tenant compte de la lenteur présumée des mouvements dans les couches profondes, notre laboratoire a été amené à considérer la surface atteinte la plus profonde, ici 2000 m, comme la surface de moindre mouvement ; nous avons donc admis en première approximation, la surface $z = 2000 \text{ m}$, comme une surface de mouvement nul.

D'autres considérations, comme le mouvement propre des différentes masses d'eau en présence, l'annulation du débit total à travers une section méridienne barrant le Golfe ont conduit pour PHYHAS 43 à admettre l'éventualité d'une couche

de mouvement nul aux environs de 600 m, c'est-à-dire à la base de la masse d'eau quasi-homogène.

Nous reproduirons donc, par la suite, les topographies dynamiques par rapport à 2000 m et 600 m, de manière à les comparer.

Les cartes (fig. 35 et 36) montrent que les courants de surface calculés sont en général assez faibles, ceux-ci étant encore nettement plus faibles lorsque la surface de référence est choisie à 600 m. Dans leur aspect général, les lignes de courants sont semblables, à savoir une entrée d'eau longeant le 45ème Parallèle puis obliquant vers le Nord pour se diriger vers la pointe de Penmarch, et un courant portant au Sud-Est au large du Cap Finisterre.

Dans le secteur Nord, les différences entre ces deux schémas se font plus marquées, notamment en ce qui concerne le tourbillon cyclonique centré sur 46°30'N et 8°W, qui n'apparaît pas sur la topographie de 0/600 decibars. On peut également approcher la circulation de surface en période d'été en traçant la topographie de l'isopycne $\sigma_t = 27,10$ (bas de la thermocline), qui utilise la schématisation de MARGULES en supposant la couche inférieure immobile. Nous ne l'avons pas reproduite car elle n'est qu'une approximation de la dynamique géostrophique de 0/600 db.

Toutes ces dynamiques montrent également un excès de débit entrant en surface dont l'annulation ne pourrait être satisfaite que par une sortie hypothétique sur le plateau continental sud breton.

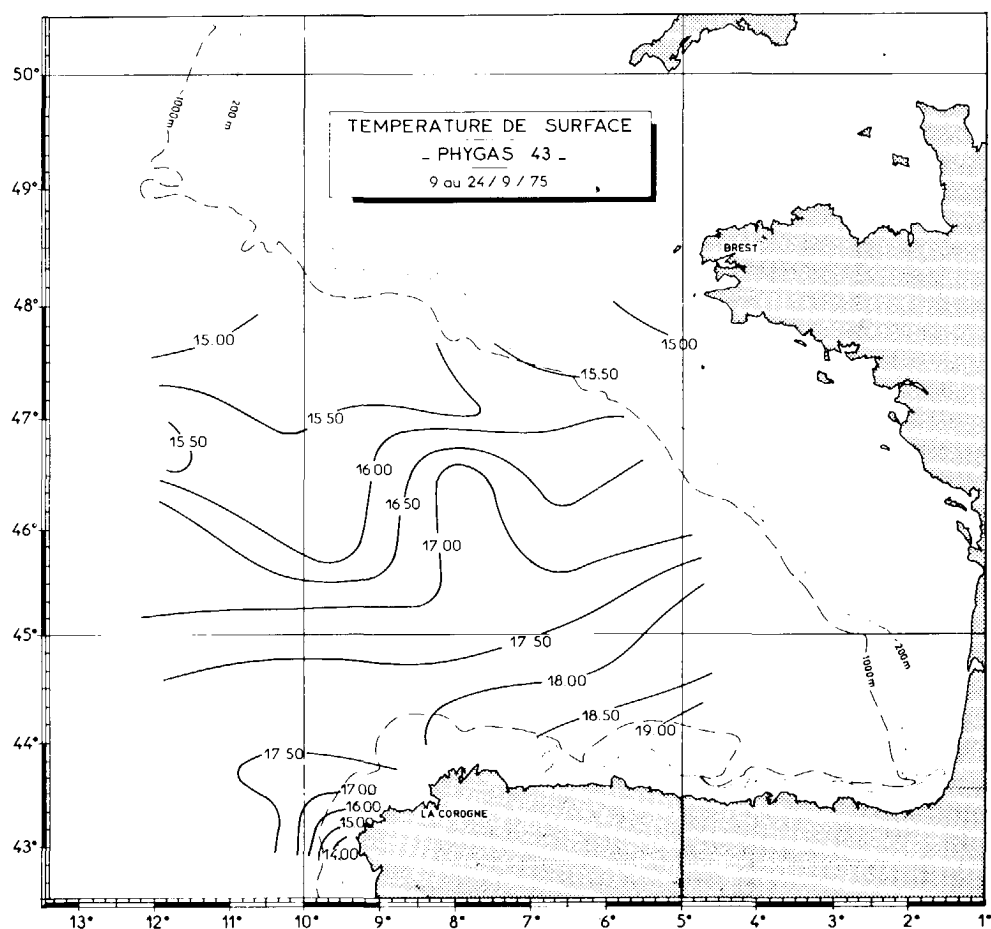


Figure 29

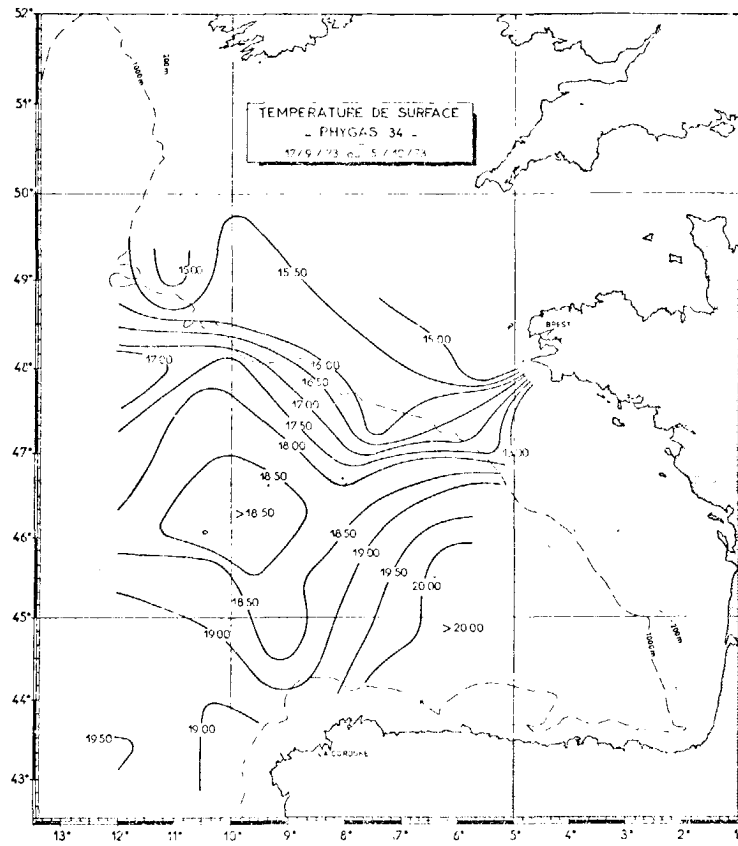


Figure 30

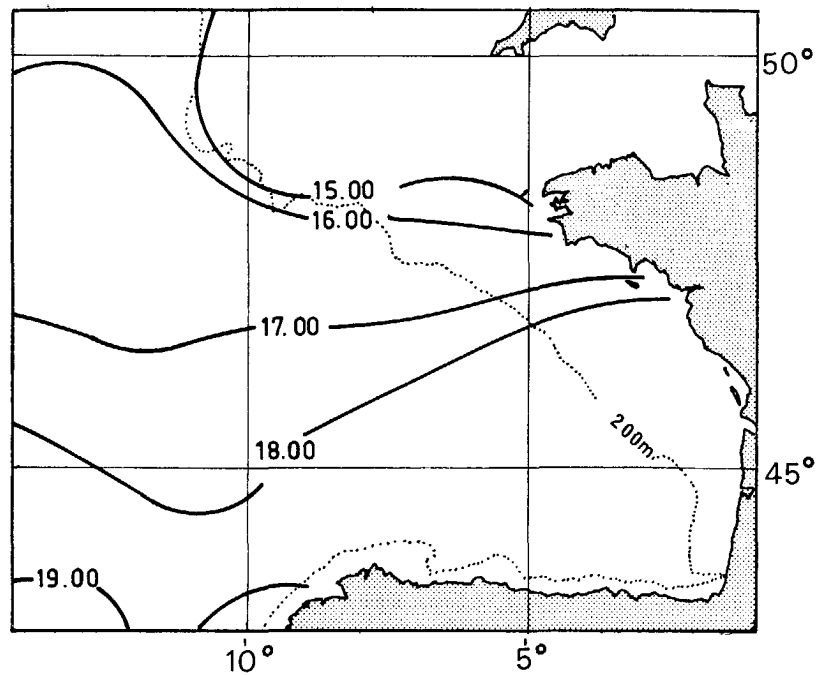


Figure 31a
 Température de surface - Eté 1958 - (d'après DIETRICH)

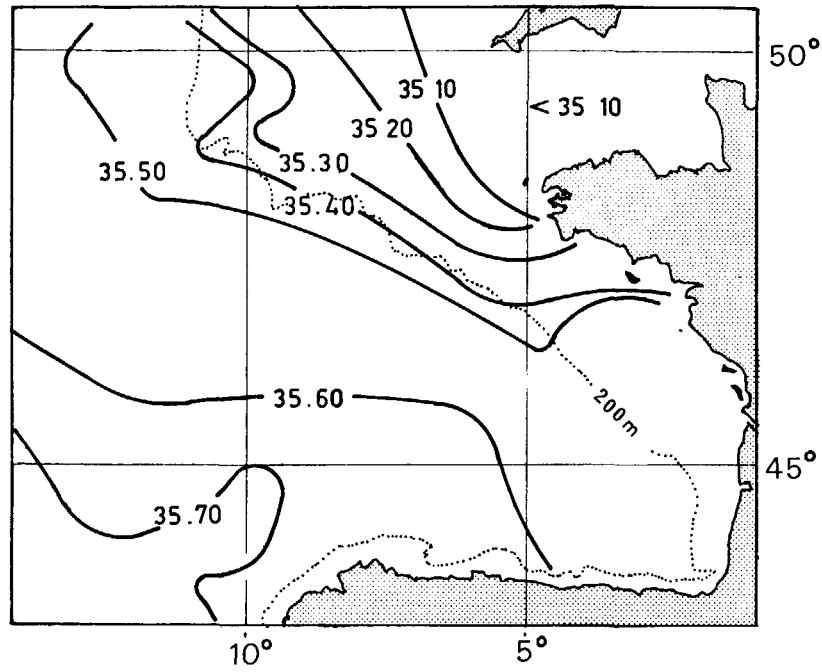


Figure 31b

Salinité de surface - Eté 1958 - (d'après DIETRICH)

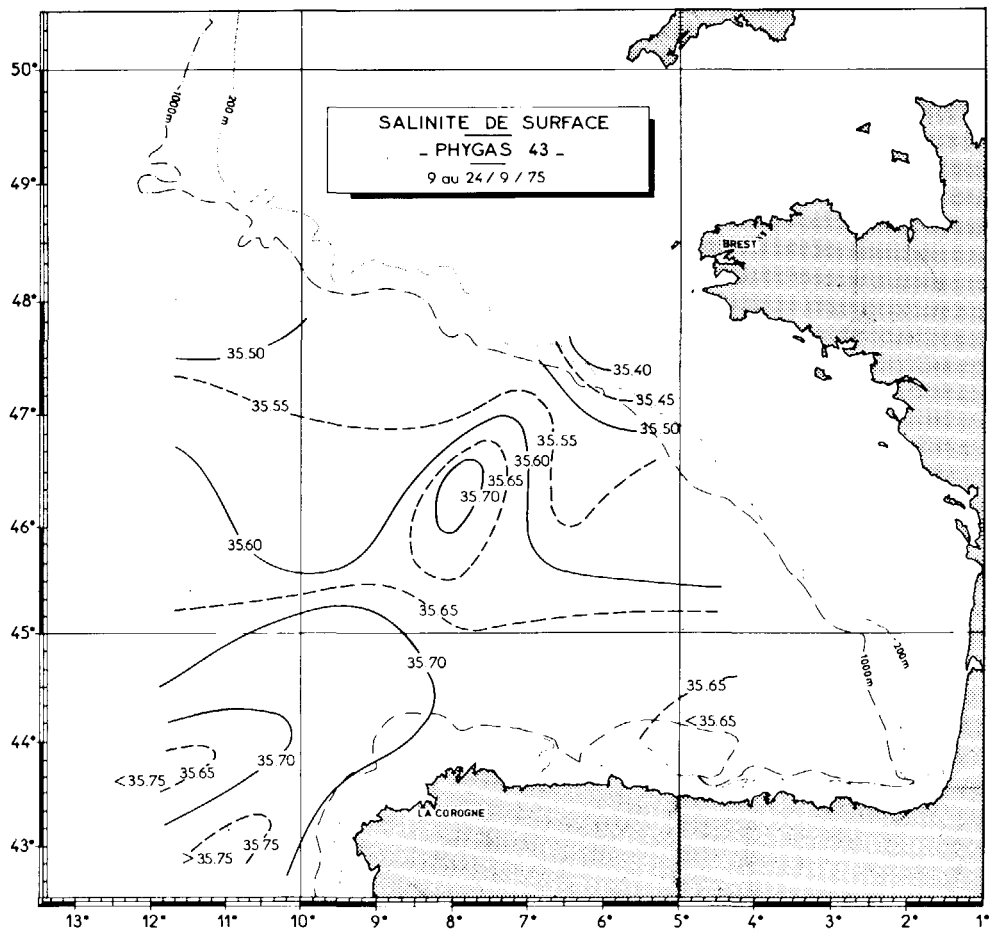


Figure 32

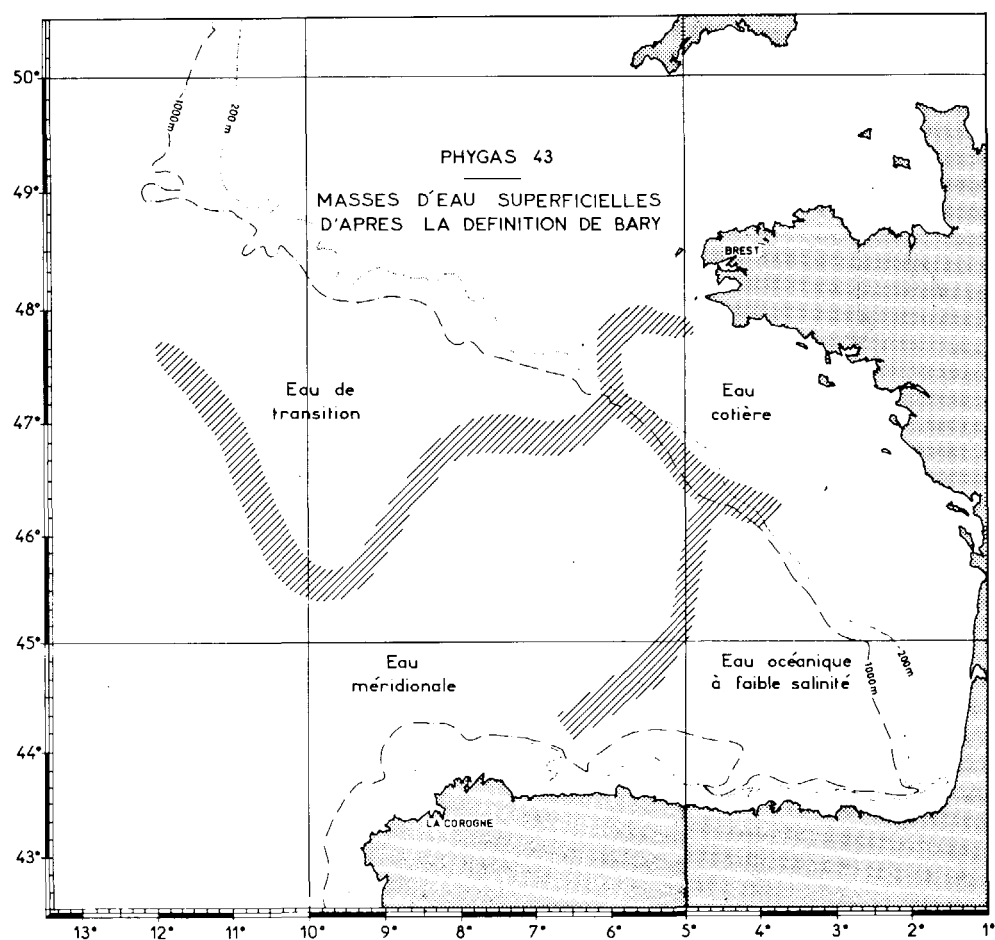
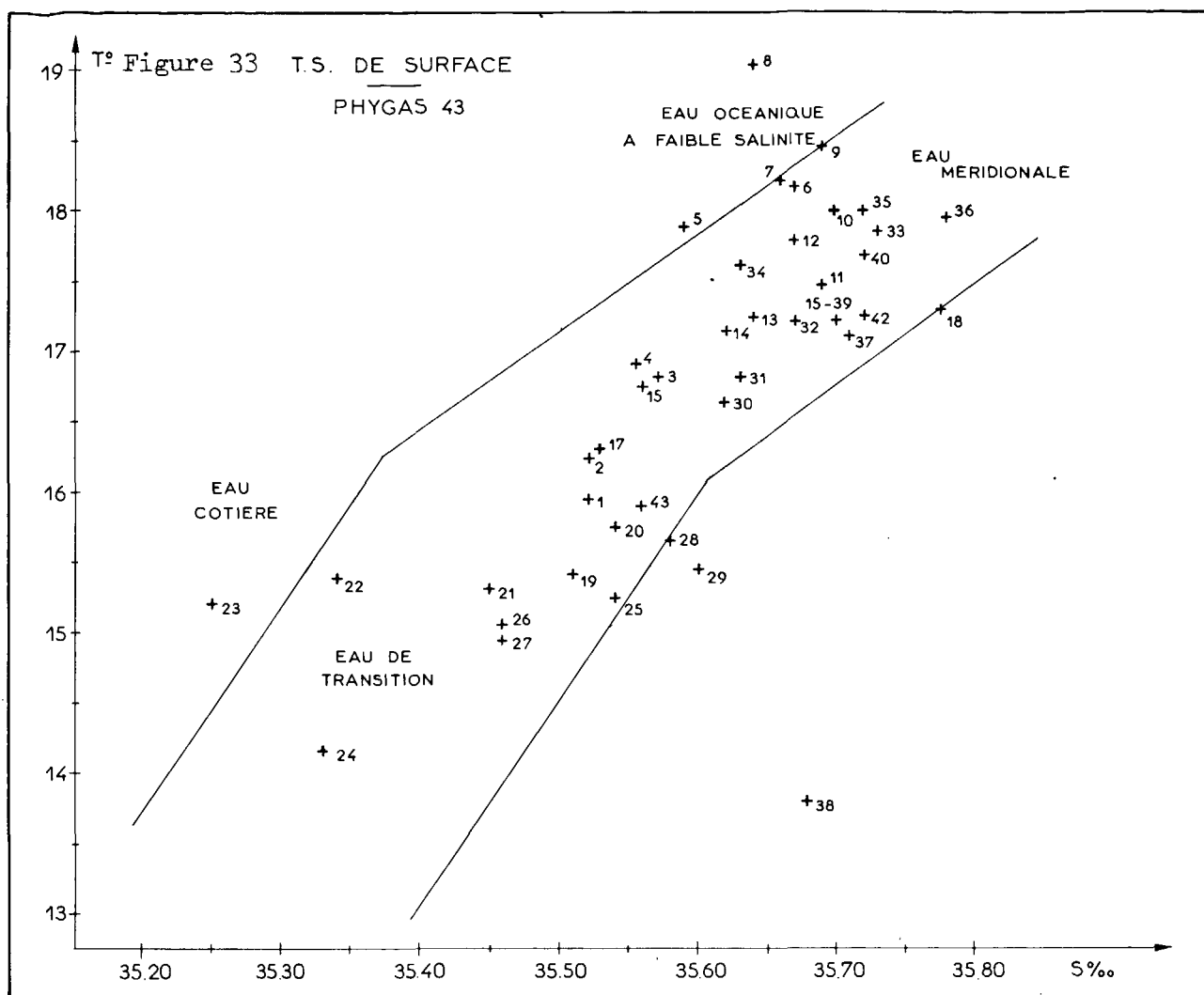


Figure 34

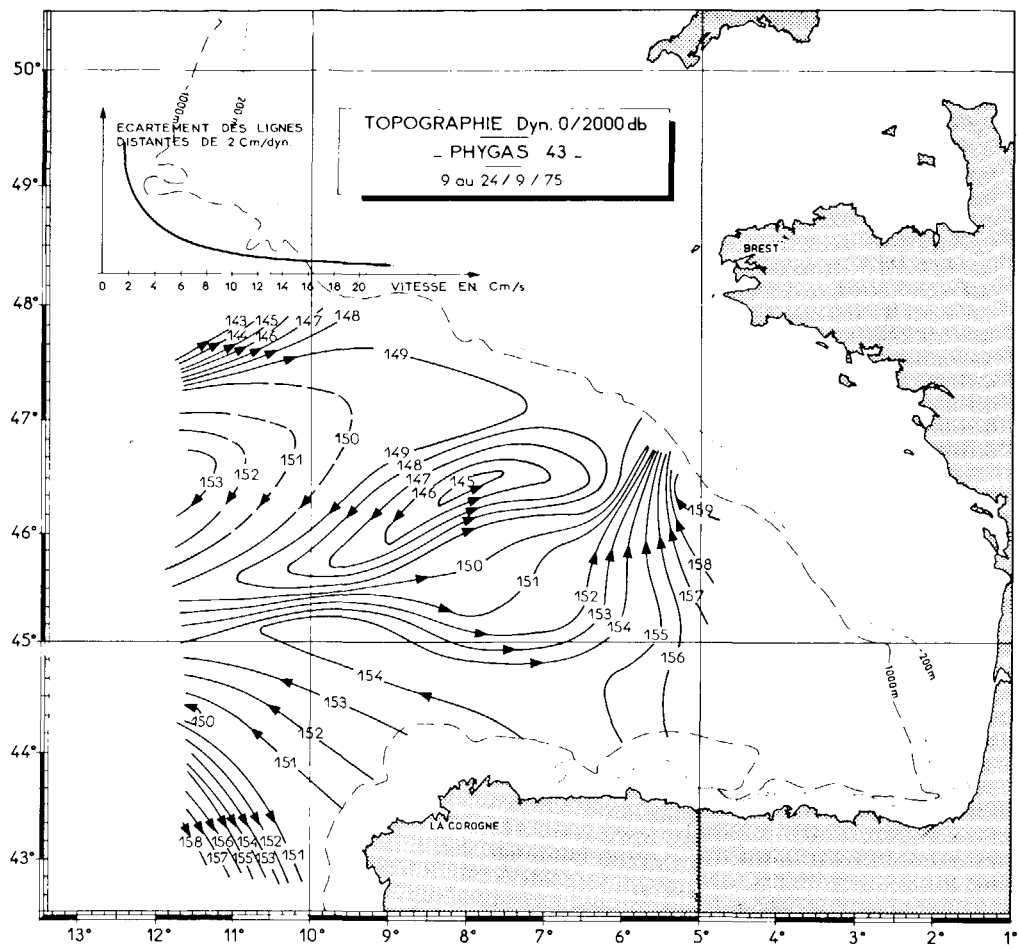


Figure 35

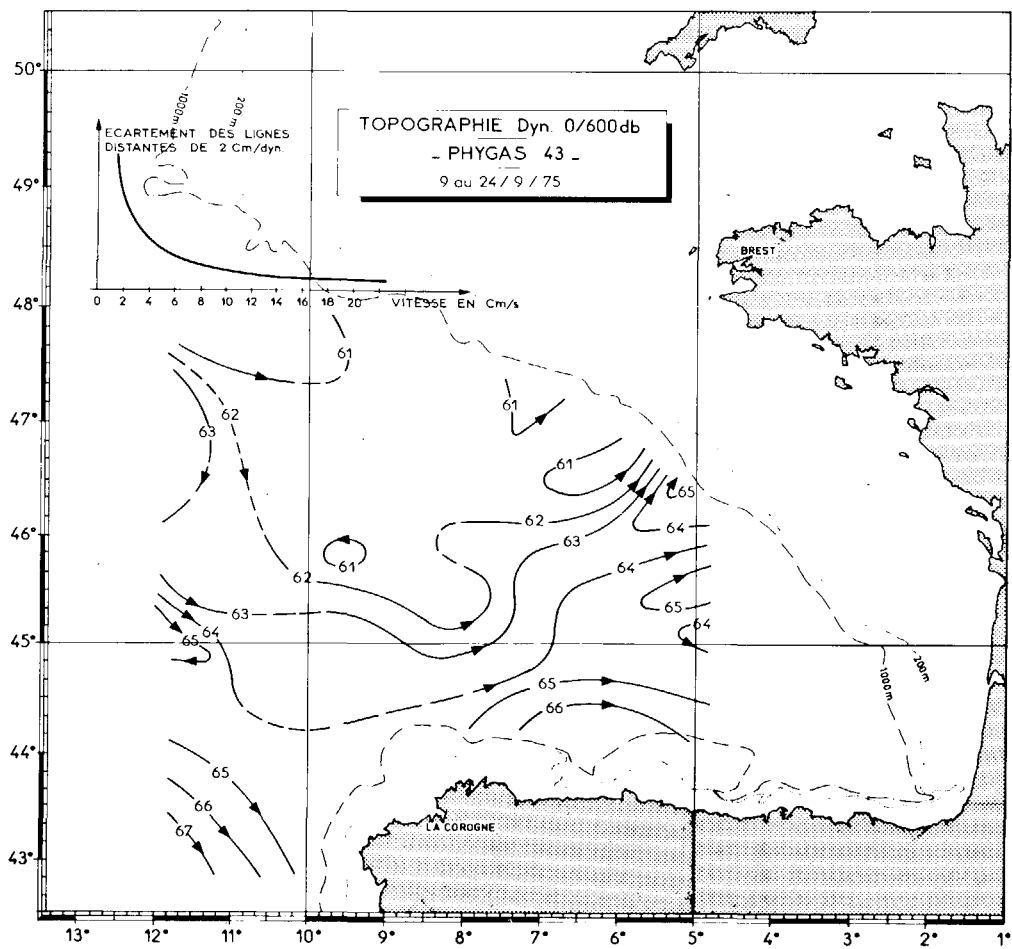


Figure 36

B) LES COUCHES SUPERIEURES EN DESSOUS DE LA THERMOCLINE SAISONNIERE

Dans cette partie nous nous attacherons à la description de la couche d'eau située entre la thermocline saisonnière et le minimum de salinité situé vers 500 mètres en moyenne.

Auparavant, nous allons énoncer les quelques résultats obtenus sur le plateau continental.

1. Sur le plateau continental

Lors de la campagne PHYGAS 43, nous avons pu effectuer une radiale de 4 stations entre le voisinage Est du haut fond de la Chapelle et l'île de Sein (fig. 37). Malgré la faible densité des mesures, nous avons observé quelques caractères en relation avec des mesures antérieures:

.La présence d'un "bourrelet froid" qui, si on le limite par l'isotherme $11,7^{\circ}\text{C}$ nous apparaît ici très étroit (la largeur calculée par l'interpolation linéaire entre stations est cependant dans notre cas sujette à caution). Ceci confirme, néanmoins la distinction, géographiquement déterminée par un fort rétrécissement au niveau de PENMARCH, des bourrelets Sud Bretagne et Mer Celtique. (Travaux de VINCENT et KURC de l'I.S.T.P.M. et G. HENAFF et notre laboratoire).

.L'absence sur notre coupe d'un front thermique, normalement observé en cette saison au niveau de la station 24. Notons que l'existence d'un tel gradient est conditionné par la valeur des températures au large qui sont plus faibles dans notre cas que lors de la campagne PHYGAS 34 où un fort gradient thermique était apparu.

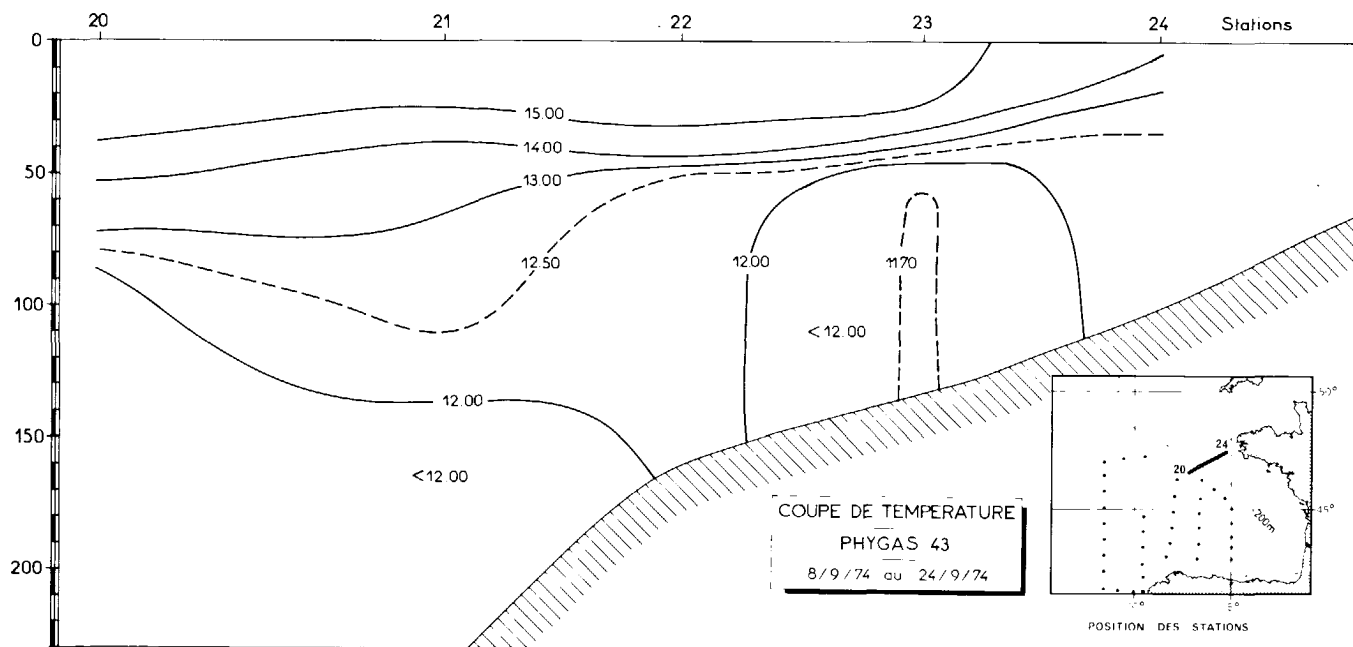


Figure 37

2. Dans le secteur large.

a) Hydrologie

Celles-ci, nous l'avons vu, peuvent être limitées par la thermocline saisonnière et le minimum de salinité.

. La limite supérieure est donc fonction des conditions climatiques locales ; en effet, la couche de mélange située au-dessus de la thermocline varie de 20 à 70 m suivant les régions en été, et disparaît quasiment en hiver.

. La limite inférieure caractérisée par le minimum de salinité (fig. 33) se situe vers 400 m au centre du Golfe, puis s'enfonce de part et d'autre pour atteindre 700 m dans la région la plus Nord de la zone étudiée. Dans la région Sud, cette limite apparaît aussi peu profonde, ceci étant à mettre en rapport direct avec l'apport d'eau méditerranéenne aux alentours de 1000 m, dont la forte salinité influence les couches supérieures par diffusion. On peut d'ailleurs caractériser de manière grossière dans la partie Sud, l'influence méditerranéenne par la topographie de ce minimum de salinité. Celle-ci confirme d'ailleurs le fait que l'eau méditerranéenne soit plaquée le long de la côte espagnole et oblique à droite pour pénétrer dans le Golfe de Gascogne.

On s'aperçoit, en tenant compte de cette définition (limites supérieure et inférieure) que cette couche est beaucoup plus épaisse dans le secteur Nord-Ouest qu'au centre du Golfe et au Sud, l'épaisseur de la couche de mélange superficielle influant peu.

Ces remarques tendraient alors à mettre en évidence pour la partie Nord-Ouest et Ouest du large, une sorte d'opposition d'influence entre eaux de la couche supérieure et eau méditerranéenne et donc à admettre comme probable un mouvement relatif opposé pour les deux couches en question ; il s'en suit que l'hypothèse d'une couche de mouvement nul vers 600 m est à envisager du moins dans la zone large.

Lorsque nous traçons, d'autre part, les isohalines dans la couche du minimum de salinité (fig. 39), on observe un aspect général se rapprochant des lignes d'égal niveau de ce minimum, avec un certain décalage pour les extrêmes du centre du Golfe.

Il est possible alors d'interpréter ce phénomène comme une perte des caractéristiques de la couche supérieure (épaisseur, faible salinité), au fur et à mesure que celle-ci pénètre dans l'intérieur du golfe, avec une inversion au centre de celui-ci. Ce renversement supposerait alors l'intervention d'un autre phénomène, car un accroissement de l'influence de cette couche semble à exclure après un affaiblissement, à moins que ce phénomène ait un caractère temporaire.

Différentes interprétations intuitives peuvent être proposées comme l'accès difficile de l'eau méditerranéenne dans le fond du Golfe, stagnation des différentes couches ou mouvements tourbillonnaires fermés.

Il faut cependant se méfier de ces raisonnements intuitifs basés sur des constatations hydrologiques dont la dynamique associée est fort mal connue.

b) Circulation

J. LE FLOC'H avait montré lors d'études précédentes que l'on pouvait schématiser la circulation des couches supérieures par une représentation de la topographie de l'isotherme 11°C pour l'intérieur du Golfe, l'isotherme 11°C représentant la base de la couche. A l'étude de cette carte (fig. 40), on s'aperçoit effectivement que l'isotherme 11°C est pratiquement confondu avec le minimum de salinité à l'Est de la droite PENMARCH- LA COROGNE. Par contre à l'Ouest ces deux propriétés divergent surtout dans le secteur Nord-Ouest. Il en résulte alors que le schéma de circulation déduit de cette méthode ne peut être représentatif de la couche supérieure dans cette région.

La dynamique géostrophique par rapport à 2000 m nous montre à ce niveau des lignes de courant fort complexes caractérisées principalement par deux tourbillons qui entraînent une entrée d'eau par le centre du Golfe.

Si l'on prend 600 m comme surface de référence, les courants calculés sont bien sûr nuls à ce niveau, mais sont aussi très faibles à 300 ou 400 mètres, étant donné que cette couche (200-600 m) est quasiment homogène, et il est pratiquement impossible de déceler un mouvement général. Il serait sans doute plus exact, si l'on suppose un mouvement différencié des couches supérieure et méditerranéenne, de prendre 700 ou 800 m comme surface de mouvement nul.

c) Relation avec l'Eau Centrale Nord Atlantique

Ce paragraphe, dont l'objet est la couche supérieure, demande pour être plus complet de définir l'origine hydrologique de celle-ci, c'est-à-dire à préciser son rattachement ou non à l'Eau Centrale Nord Atlantique (E.C.N.A.). Les auteurs du précédent rapport portant sur PHYGAS 31 et 34, auquel nous voulons en fait apporter un prolongement, ont remarqué la présence d'E.C.N.A. dans les régions Sud et l'absence de celle-ci au Nord. Cette eau est caractérisée sur les diagrammes T.S. par une droite (TCHERNIA, cours d'Océanographie régionale) du fait de sa formation même. En étudiant certains de nos diagrammes T.S., nous pouvons constater effectivement l'existence d'une portion de cette droite dont la direction coïncide parfaitement et dont le décalage n'excède pas 0.5°C en température ou $0,05\text{ ‰}$ en salinité. Les régions les plus soumises à l'influence de

l'E.C.N.A. semblent alors être les zones Ouest et Sud-Ouest, ainsi que le Golfe de Gascogne lui-même. Par contre les abords du plateau continental Nord dans sa partie Ouest, ne font pas apparaître une telle caractéristique (stations 19, 25, 26, 27), comme on peut le voir sur les figures 56 et 57.

Ces dernières constatations suggèrent alors une entrée d'Eau Centrale Nord-Atlantique le long du 45ème méridien, ainsi qu'une descente orientée au Sud au large du Cap Finisterre. A l'intérieur du Golfe, on ne peut définir de schéma de circulation, mais il semble que le secteur Nord-Ouest soit tenu à l'écart du mouvement présumé de cette couche supérieure.

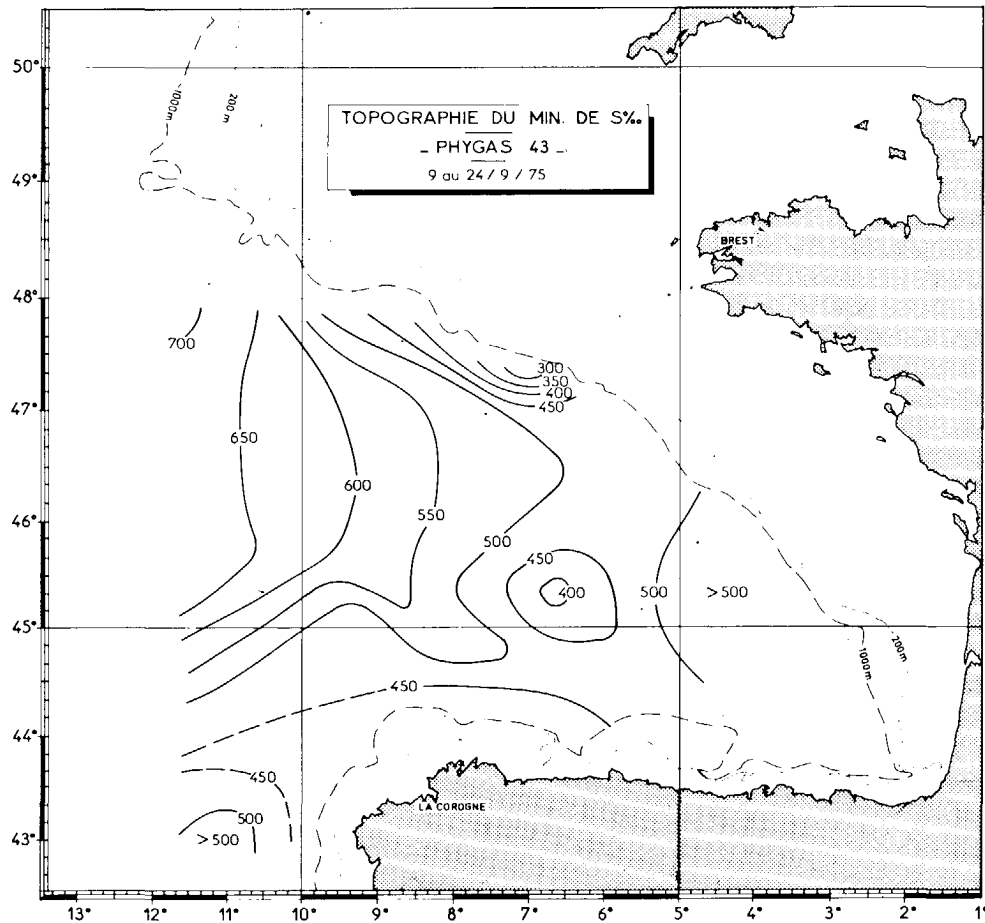


Figure 38

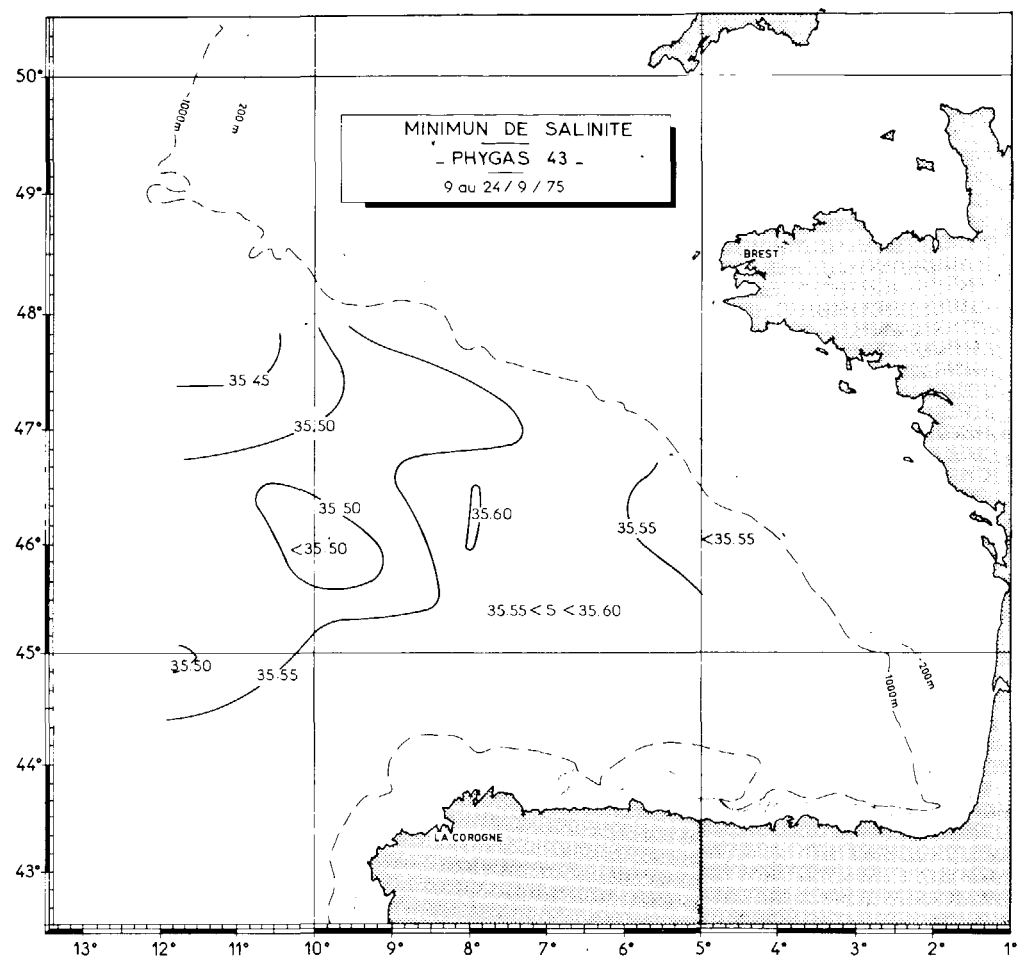


Figure 39

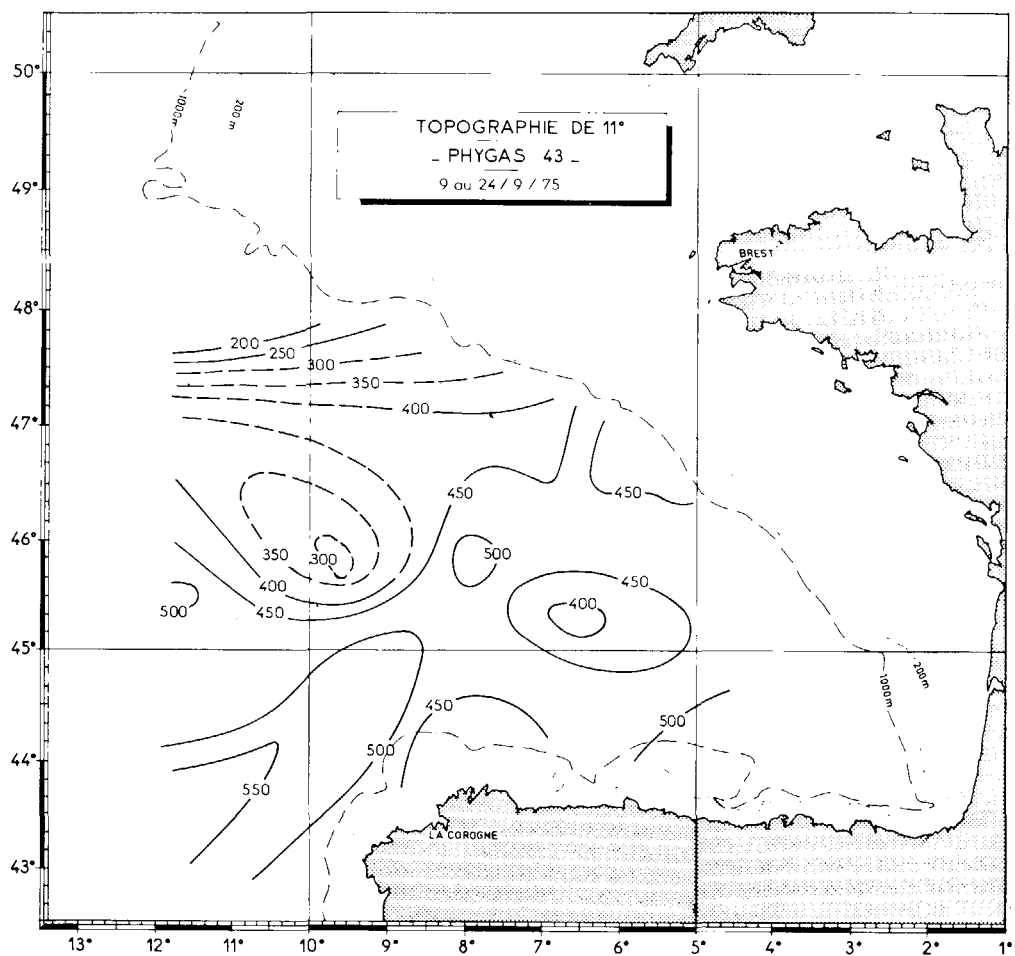


Figure 40

C) L'EAU MEDITERRANEENNE ET L'EAU PROFONDE

1. Hydrologie

L'existence, dans le Golfe de Gascogne, d'eau méditerranéenne est un phénomène fort bien connu. Celle-ci se caractérise principalement par une salinité élevée de l'ordre de 36,00 à 36,10 ‰ en face du Cap Finisterre, et s'atténuant ensuite du fait de la diffusion.

La perte de salinité au niveau du maximum (fig. 41) dans le Golfe lui-même, semble assez lente, relativement au fort gradient que l'on observe à ce niveau dans la zone Nord-Ouest. Celui-ci semble avoir un caractère quasi-permanent, comparativement aux autres régions (voir PHYGAS 31 et 34) ; Cependant, il apparaît beaucoup moins accentué pour ces dernières campagnes.

La présence d'un tel gradient horizontal nous amène alors à supposer l'existence d'un phénomène particulier dans cette région, la diffusion n'ayant aucune raison de s'atténuer si ce n'est que par la présence d'un courant d'une intensité supérieure à ceux existants dans le Golfe. On observe d'ailleurs en consultant la carte de la topographie du maximum de salinité (fig.42) une brusque remontée de celui-ci, toujours dans cette même zone.

Par contre, au Nord du 45e parallèle et à l'Est du 10°W, la lenteur de l'évolution spatiale à ce niveau se fait sentir le plus souvent par la présence de "bulles" de forte salinité, dont il est difficile de calculer l'étendue, l'interpolation linéaire entre stations étant douteuse dans le cas de fonctions non monotones.

2. Circulation

Le tracé des isohalines des salinités maximales fait apparaître dans le Sud deux langues salées dont les axes sont dirigés vers l'intérieur du Golfe.

A l'Ouest du Cap Finisterre, le maximum de salinité est plaqué contre la côte espagnole. Ces faits démontrant l'effet de la force de Coriolis, entraînent donc une vitesse orientée vers le Nord puis vers l'Est au niveau méditerranéen. Or l'observation de la topographie de 1000/2000 db (fig. 43) montre une vitesse vers le Sud. Cette constatation tend vers le choix d'une autre surface de mouvement nul du moins dans cette région. L'aspect du profil de courant moyen entre les stations 36 et 37 conduit à l'hypothèse d'un mouvement nul au-dessus de 1000 m. Nous avons choisi 600 mètres, cette surface correspondant à la base de la couche centrale Nord Atlantique. Ce choix suppose alors des déplacements différents pour les deux eaux adjacentes.

Nous avons reproduit sur les figures 43 et 44, les topographies dynamiques de 1000/2000 db et 1000/600 db. Quelque soit la référence choisie, les vitesses sont très faibles ; si l'on ne tient pas compte de la zone Nord-Ouest, elles atteignent au maximum 5 cm/s. D'autre part, le sens des mouvements obtenus est bien souvent contradictoire sur ces deux cartes.

Le choix d'une couche de mouvement nul à 2000 m entraîne des courants géostrophiques entrant le long du 45° N et sortant de part et d'autre et notamment par le Sud. Quant à la topographie dynamique par rapport à 600 m, les courants qui s'en déduisent pénètrent d'une manière générale par le Sud pour s'épanouir dans le centre du Golfe. Il semble donc que la deuxième hypothèse soit plus conforme à la réalité et à l'idée intuitive déduite de la configuration en langues des isohalines au maximum de salinité.

Une remarque s'impose cependant à la vue de ces cartes : les vitesses obtenues entre les stations 2 et 3 au Sud-Ouest de la Bretagne, apparaissent relativement élevées et aberrantes en ce sens qu'elles ont une direction perpendiculaire au talus continental. Le choix de la surface de moindre mouvement à 600 m n'élimine pas non plus ce problème, mais le déplace vers les couches plus profondes (voir fig. 45) ce qui en fait, ne fait que l'accentuer.

Cette contradiction peut toutefois s'expliquer par la méthode employée pour le calcul des vitesses. En effet, l'approximation géostrophique ne tient pas compte des termes de frottement, ici le long d'une paroi (ce qui entraîne des gradients horizontaux de vitesse importants, eux aussi négligés), ni de la marée, ni des ondes internes en général et dont LACOMBE dit "qu'il est probable qu'elles sont particulièrement intenses au voisinage des talus continentaux". Cette contradiction s'explique en effet, mais ne résout pas pour autant le problème des vitesses, et au contraire, on se demande aussi dans quelle mesure, ces termes négligés n'interviennent pas sur le reste de la zone étudiée.

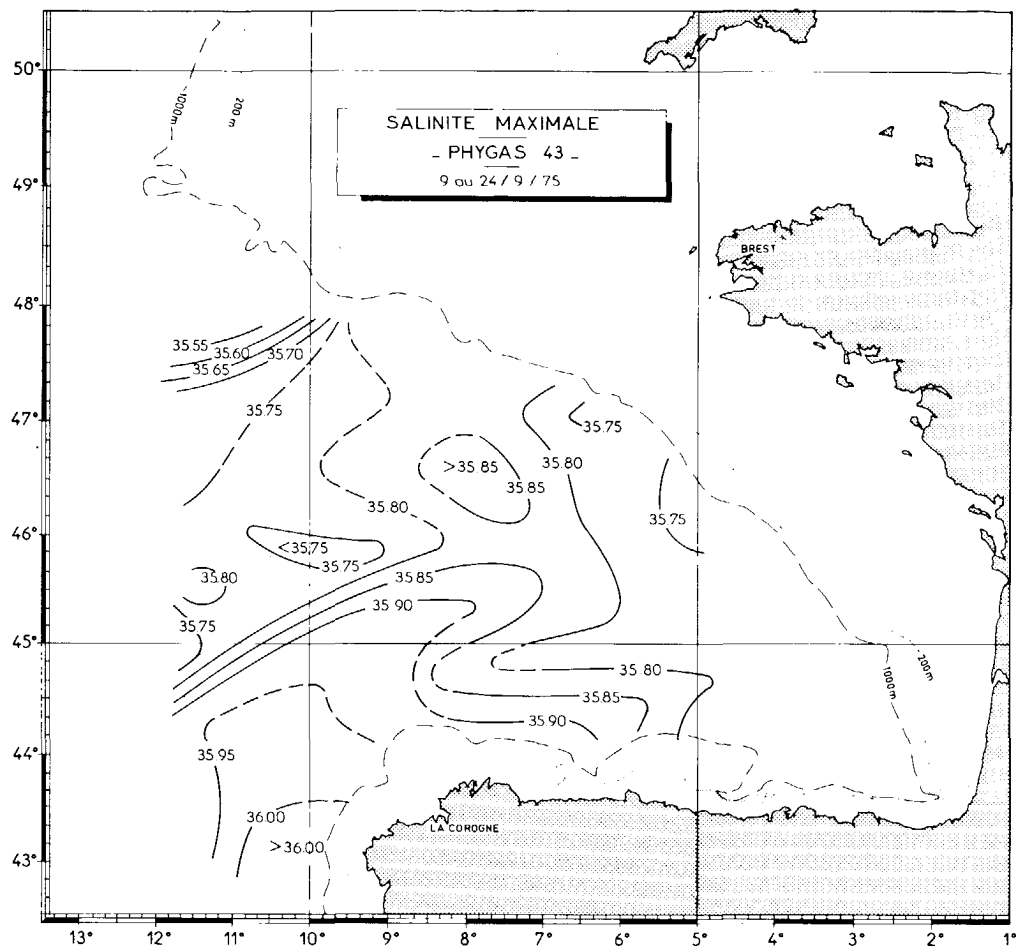


Figure 41

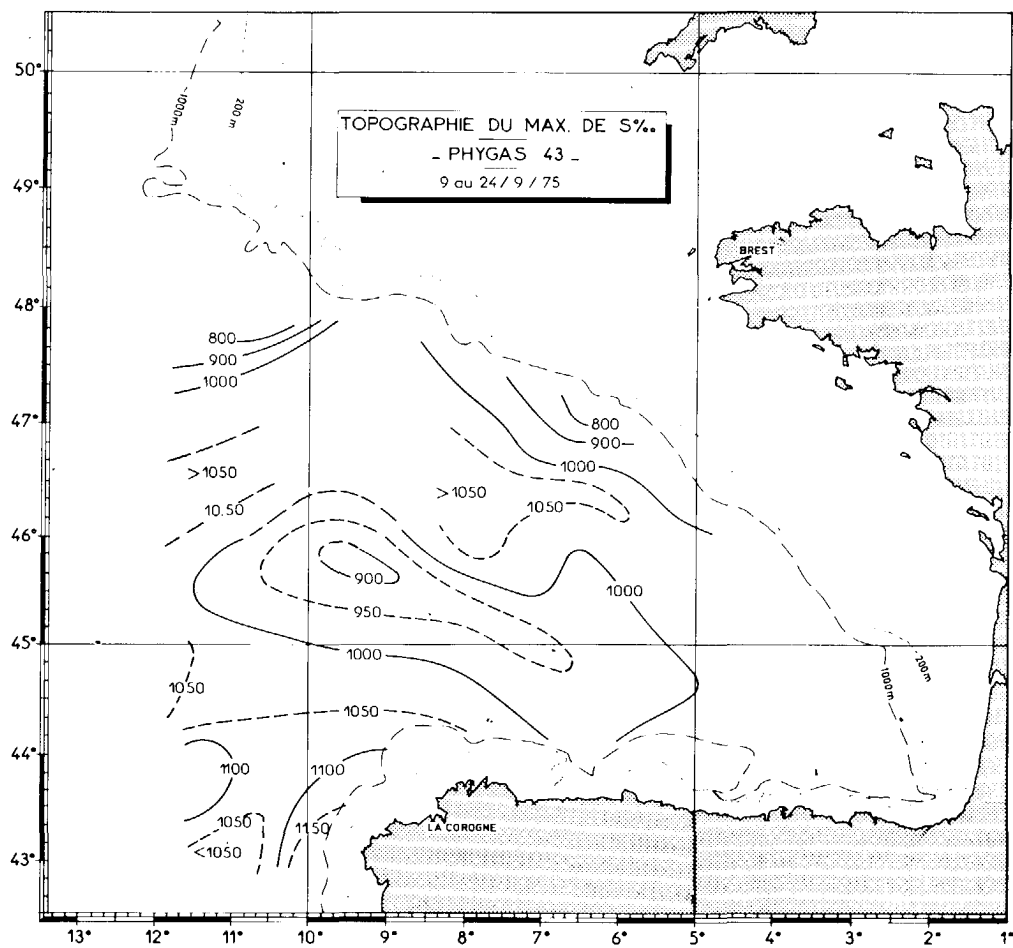


Figure 42

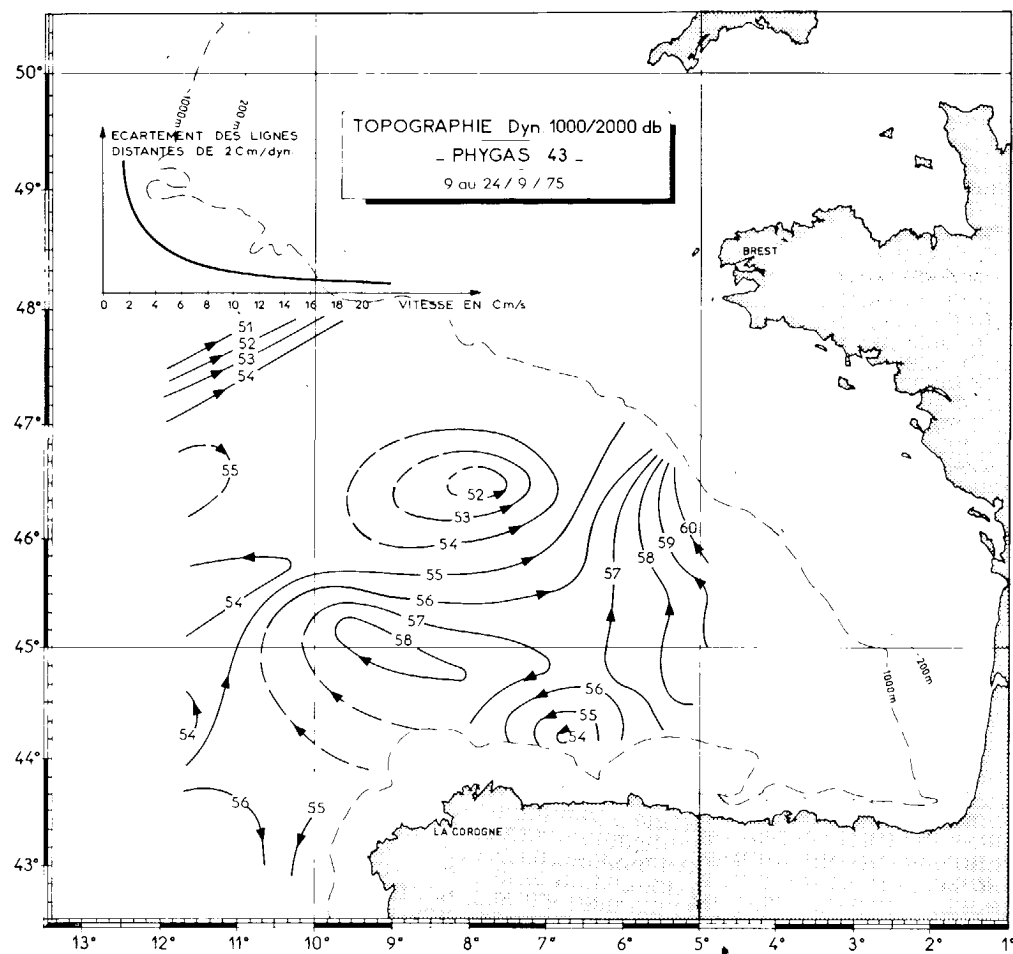


Figure 43

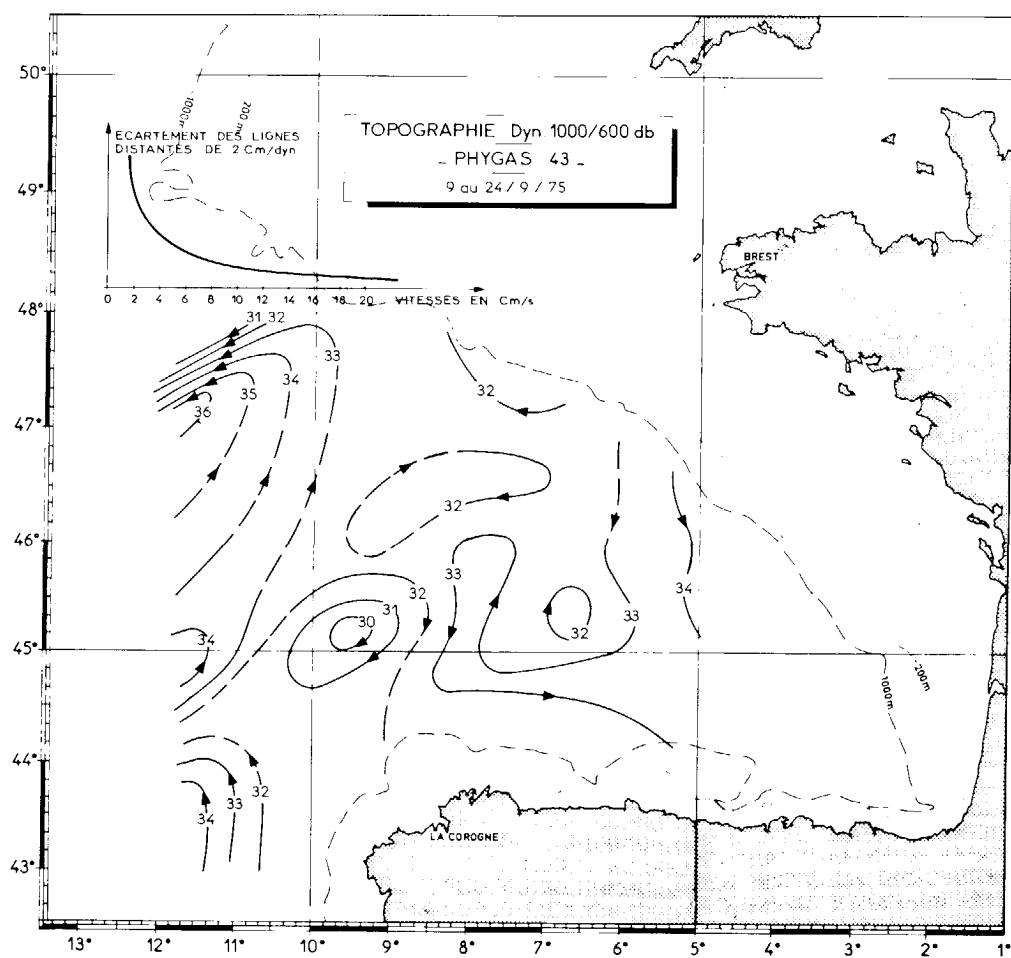


Figure 44

3. L'eau profonde

L'eau profonde, eau située au-dessous de la couche méditerranéenne dans le Golfe de Gascogne, si elle possède des caractéristiques hydrologiques bien définies ($4^{\circ}\text{C}.35,00 \text{ ‰}$) se délimite de l'eau méditerranéenne de manière beaucoup moins nette que la couche supérieure. L'aspect des diagrammes T-S, assimilable à une droite de mélange sur l'épaisseur 1000-2000 m le prouve. L'hypothèse de mouvements lents à grande profondeur (ici 2000 m) ne semble pas en défaut si l'on choisit 600 m comme surface de référence, en effet les vitesses déduites alors à 2000 m sont toujours inférieures à 10 cm/s. Cependant, le fait qu'ils soient plus forts en moyenne qu'à 1000 m, en ayant souvent la même direction, est difficilement explicable.

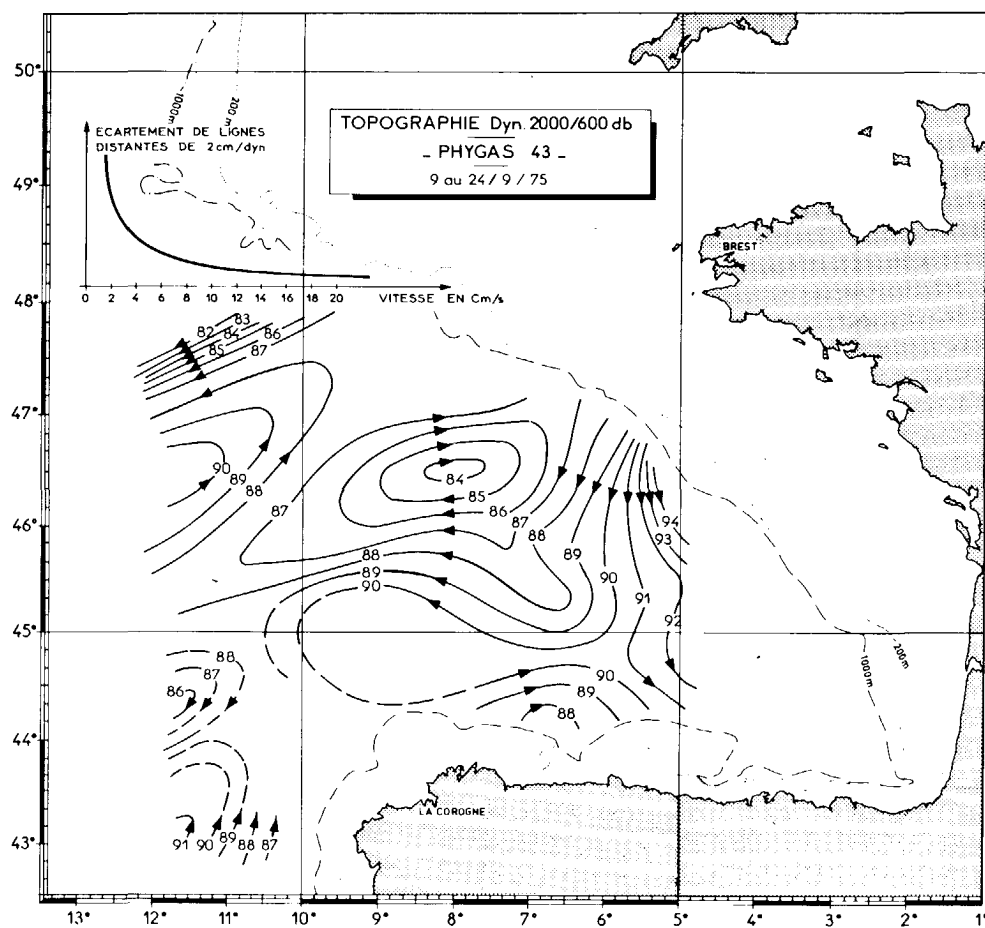


Figure 45

D - REMARQUES SUR LES COUPES HYDROLOGIQUES

Celles-ci constituent une sorte de visualisation spatiale des distributions de température et salinité et par conséquent elles reprennent, en les reliant les remarques précédentes. D'autre part, elles peuvent faire apparaître certains aspects généraux ou particuliers.

En parcourant de manière globale, ces différentes coupes hydrologiques, on s'aperçoit que celles-ci apparaissent moins tourmentées au fur et à mesure que l'on s'enfonce dans le Golfe de Gascogne, moins tourmentées en ce sens que les extrêmes isolés se font de plus en plus rares et de plus en plus faibles. On assiste à une sorte d'uniformisation spatiale. Ces remarques sont d'ailleurs confirmées par les campagnes antérieures PHYCAS 31, 34 et 41.

En regardant de plus près, nous pouvons globalement situer ces particularités au niveau du maximum de salinité et dans la partie située immédiatement au-dessus, c'est-à-dire dans la zone de mélange entre les eaux supérieure et méditerranéenne. Or ces particularités traduisent intuitivement un caractère de turbulence à grande échelle, c'est-à-dire des sortes de tourbillons de grand rayon. Nous avons alors été amenés à penser d'après la localisation de ces phénomènes (abords du Golfe aux niveaux 600-1200 m) à une confrontation dynamique turbulente des masses d'eau méditerranéenne et supérieure. Ceci confirmerait donc le schéma grossier de circulation selon lequel l'eau méditerranéenne remonte vers le Nord et l'eau Centrale Nord-Atlantique descend en direction du Sud-Est. Si l'on poursuit ce raisonnement vers l'intérieur du Golfe, on note alors un affaiblissement de ces remous à grande échelle, c'est-à-dire qu'il n'y aurait plus de création de telles particularités, mais au contraire dissolution. Ceci fait alors penser soit à un alignement en direction et sens aux niveaux 400-1500 m, soit à un affaiblissement des vitesses dans ce secteur.

- La première hypothèse amènerait donc l'idée de mouvements identiques pratiquement de 0 à 2000 m, ce qui a déjà été observé par J. PICAUT qui en a alors déduit la présence de tourbillons induits par la topographie du fond dans l'intérieur du golfe ;

- La deuxième hypothèse, qui d'ailleurs n'infirmes pas la première, se comprend très bien (si l'on suppose un mouvement propre à chaque masse d'eau à l'entrée du golfe) du fait de l'éloignement des sources de celles-ci, sources qui ne peuvent que se situer à la bordure ouverte sur l'océan du golfe.

Nous pouvons d'ailleurs remarquer à l'allure des diagrammes T-S une confirmation (et un complément en ce qui concerne ces mêmes particularités à échelle moyenne) de ces quelques idées. En effet, aux stations : 4.5.6.7.8.13 (fig.58), les T.S. sont relativement uniformes et semblables dans leur aspect à ceux que la théorie des mélanges prévoit. Or, cette théorie ne tient compte que des effets de diffusion verticale au sein de 3 masses d'eau superposées.

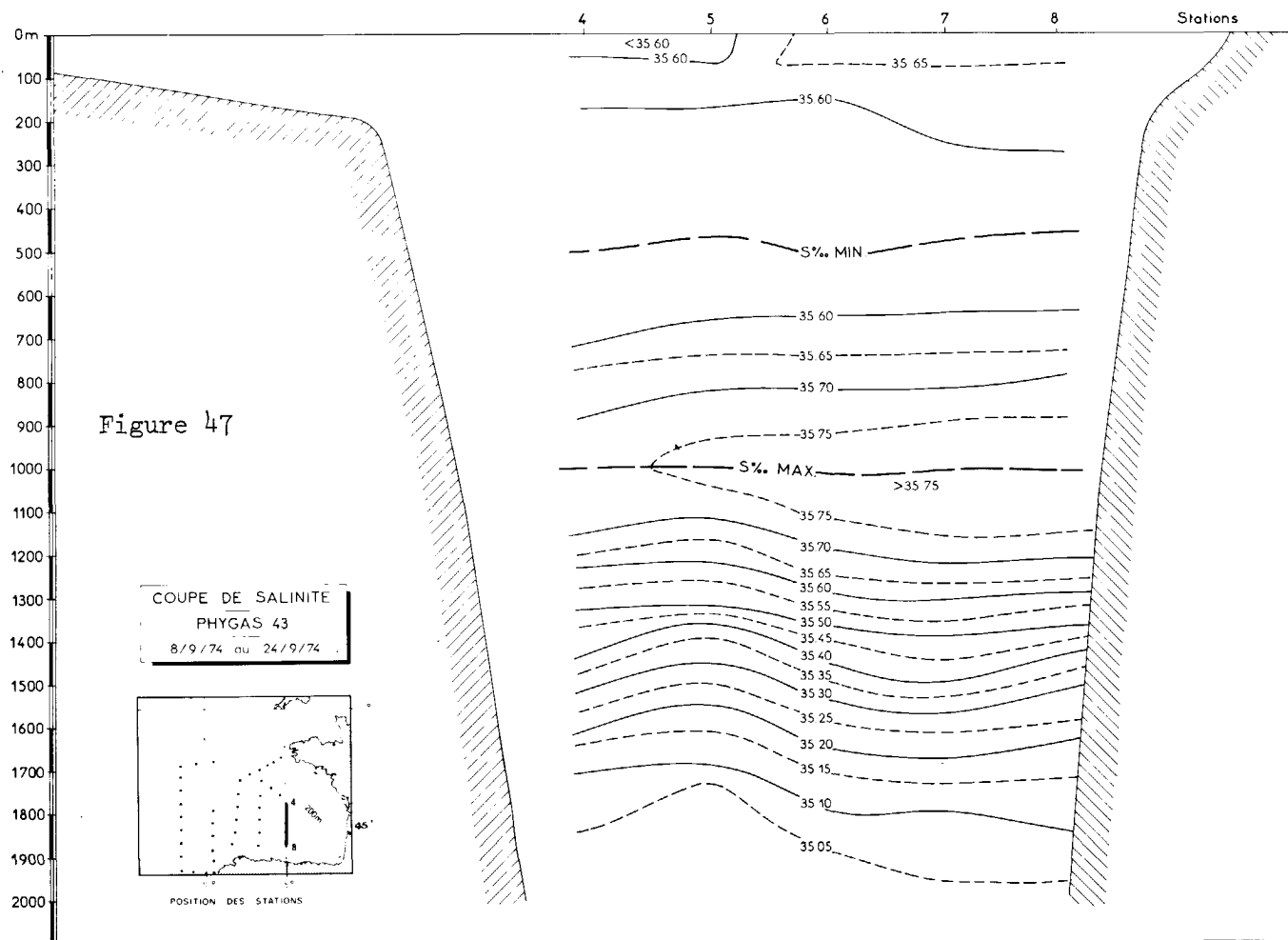
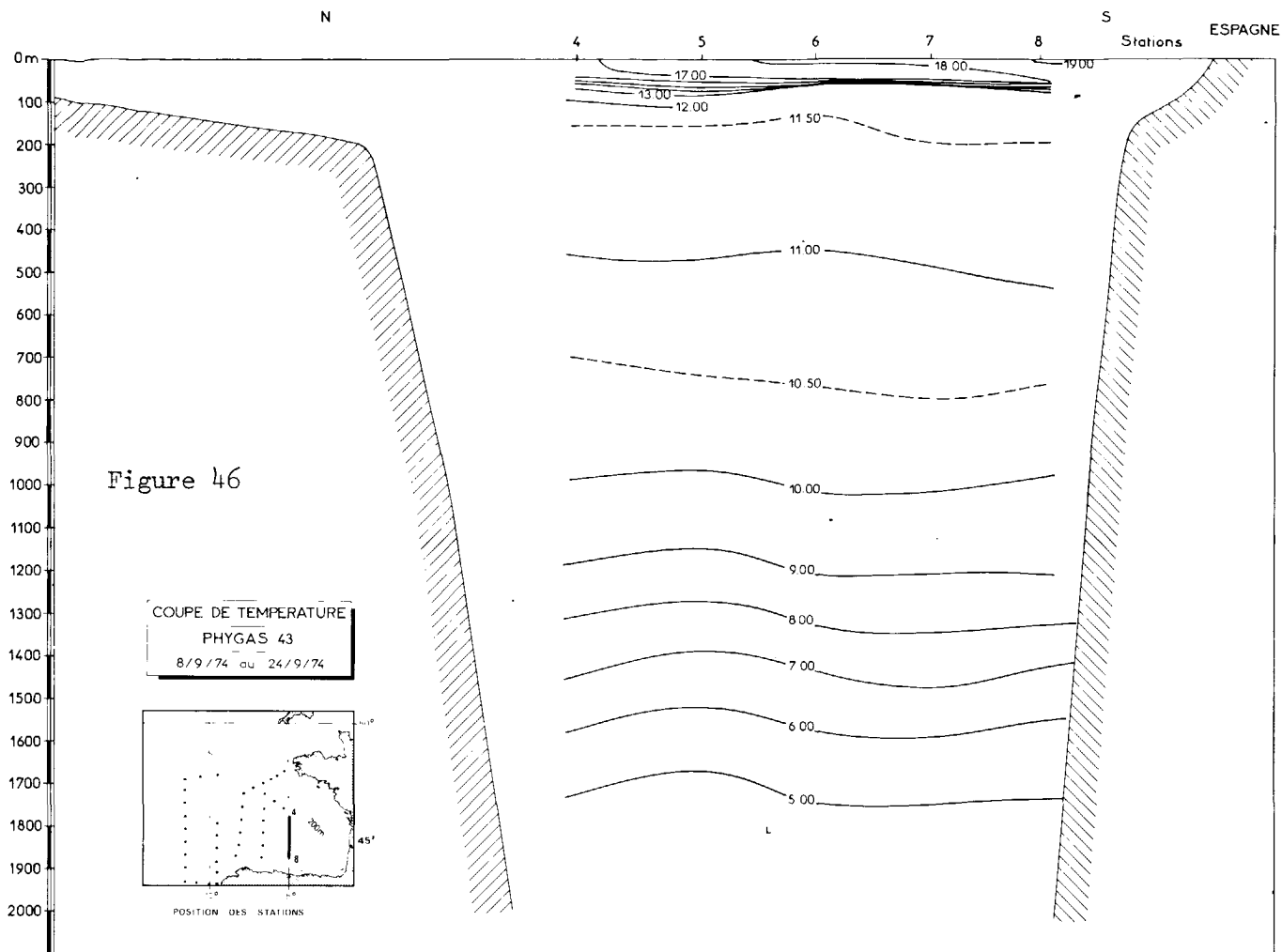
Les remarques précédentes, ne tiennent cependant, que si l'on admet qu'une bonne part de ces singularités soient produites sur le lieu même de notre étude. Une autre possibilité est donc que ces "bulles", les plus importantes sans doute, soient formées en d'autres régions et en particulier à la sortie même de l'eau Méditerranéenne à Gibraltar, résultant des effets de marées.

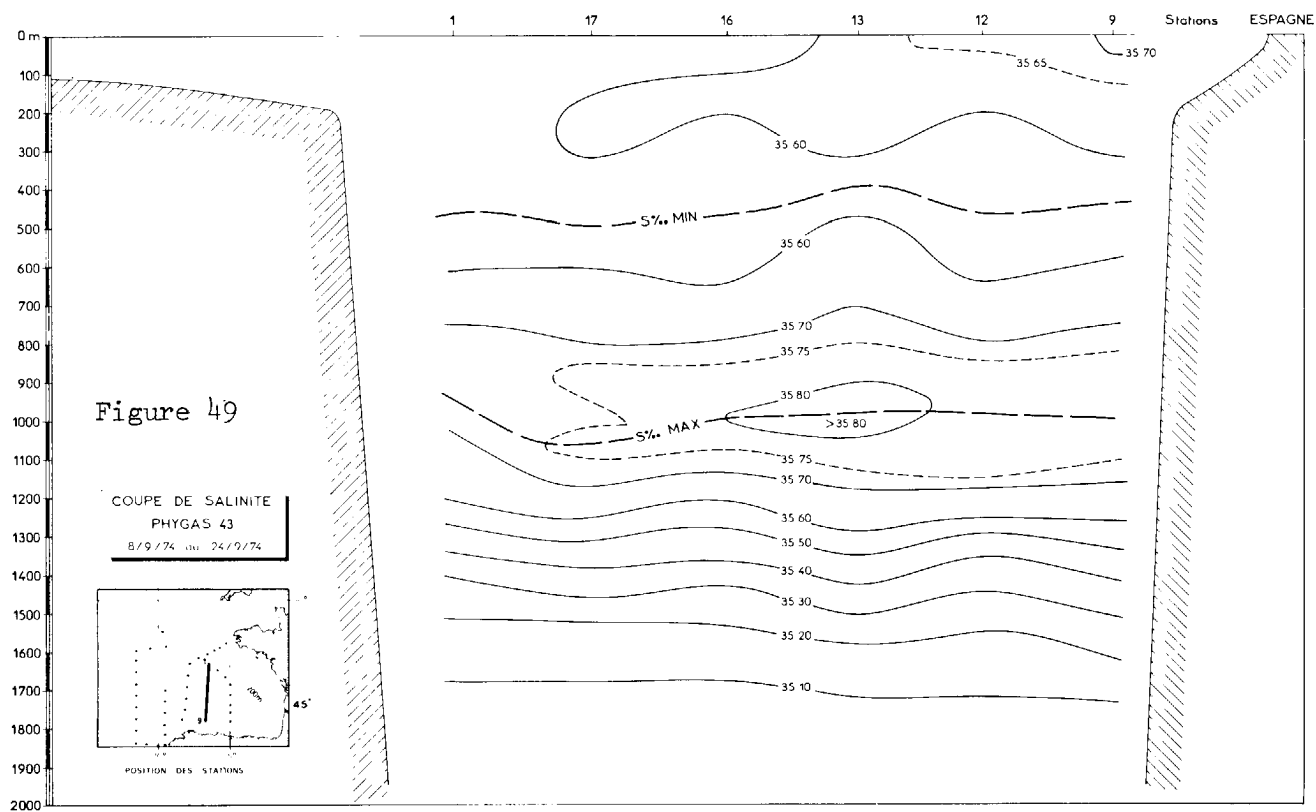
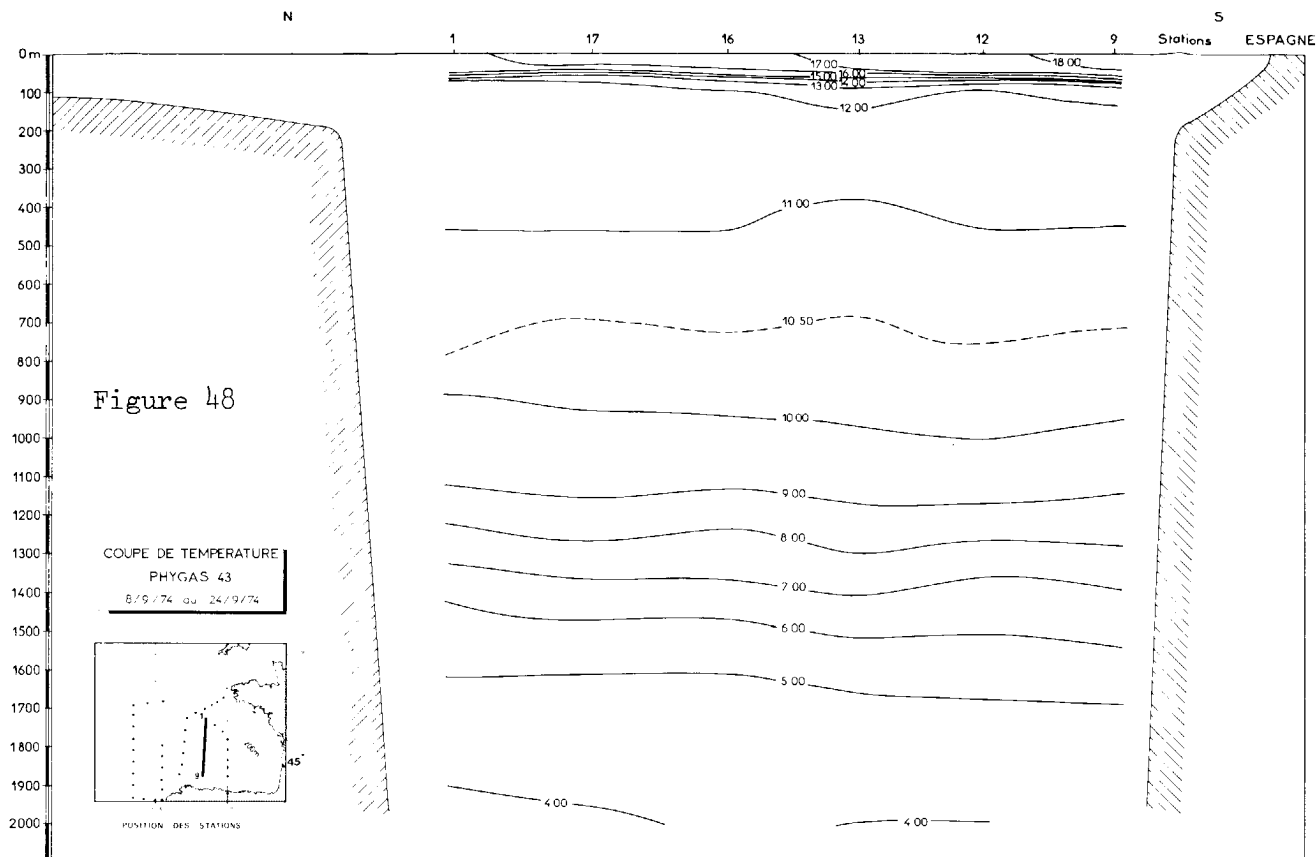
On peut néanmoins remarquer sur les figures 56,57,58 que si dans le secteur Sud-Ouest, les extrémums à grande échelle existent, ceux à échelle moyenne sont relativement rares par rapport au secteur Nord Ouest.

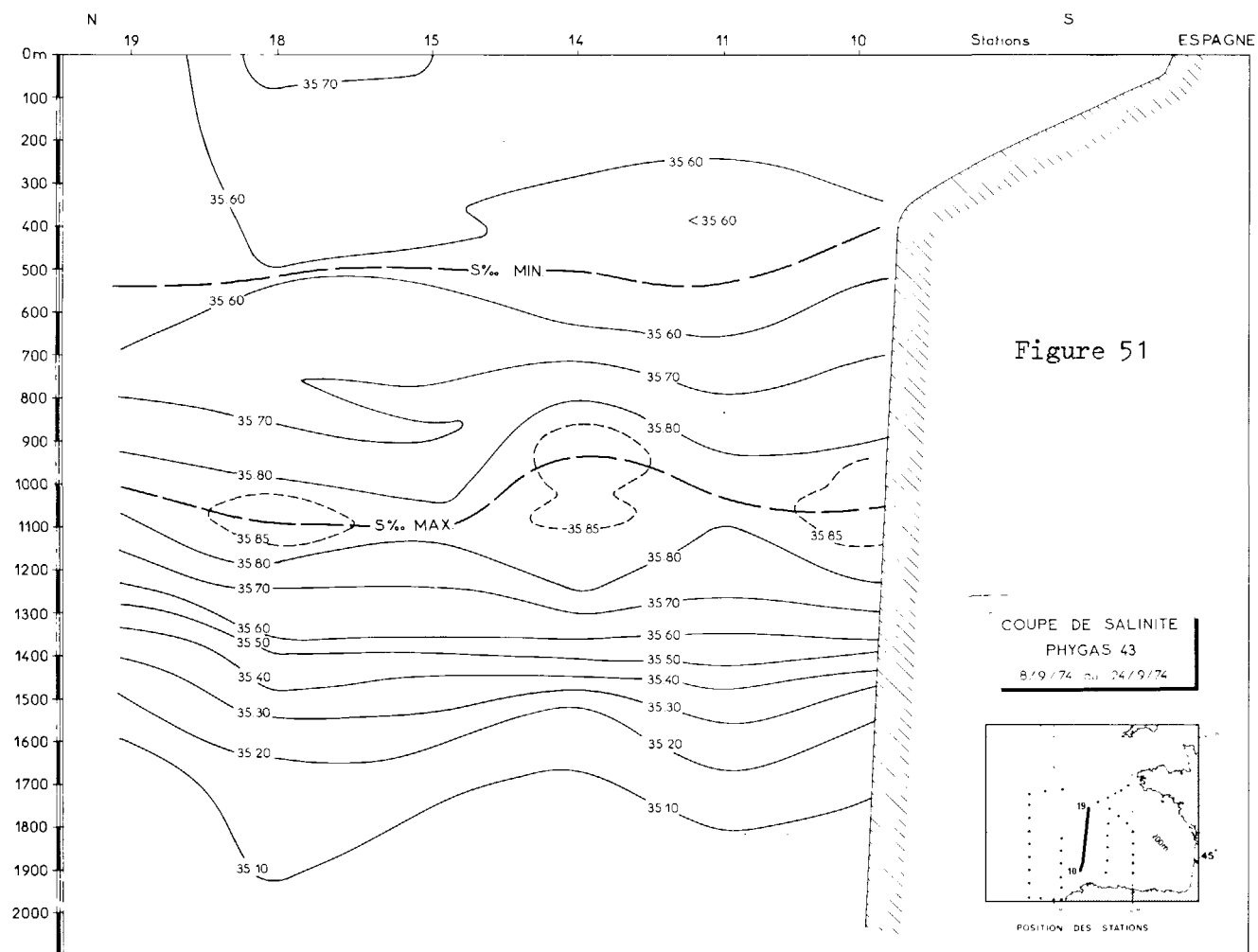
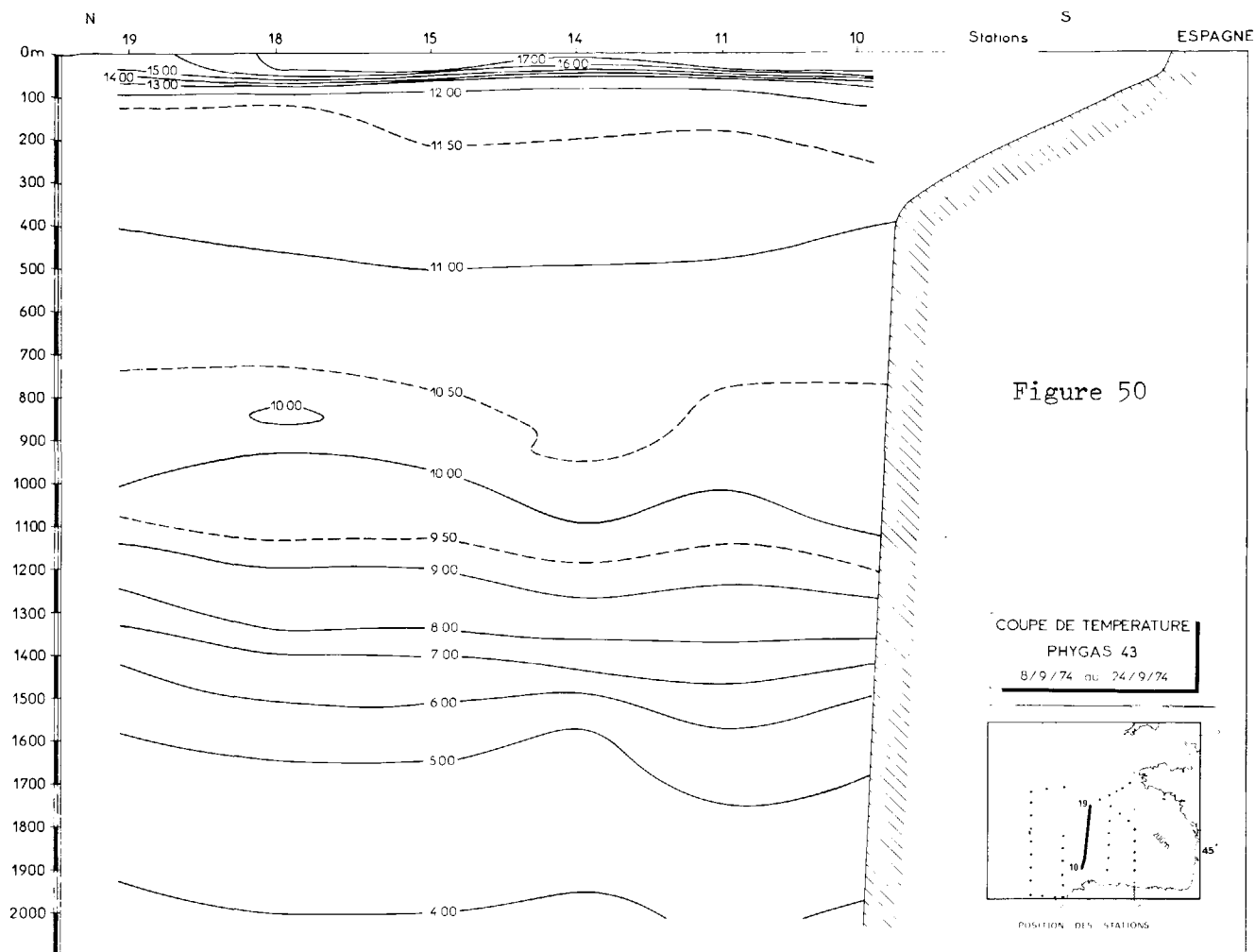
De toute évidence, ces déductions intuitives, s'il reste à les relier de manière plus rigoureuse aux courants traduisent une grande variabilité. En effet, remous et turbulence à grande ou moyenne échelle, découlent obligatoirement de processus aléatoires et donc variables dans le temps. Il en suit alors que des études quantitatives dans les couches profondes et en particulier au niveau méditerranéen ne peuvent s'effectuer que par l'utilisation d'un modèle moyen (approche d'un modèle stationnaire) de toutes les campagnes PHYGAS.

Si l'on en vient aux aspects particuliers des différentes coupes, la radiale 10-19 attire notre attention en ce qui concerne les salinités à la station 18. Celles-ci apparaissent en effet plus élevées sur toute la couche explorée de la surface, où elle atteint 35,75 ‰, jusqu'au fond à 35,09 ‰. Ces fortes salinités sont aussi observées dans les 500 premiers mètres à la station 15. Ce phénomène ne peut s'expliquer que par l'influence simultanée des eaux de surface et des eaux méditerranéennes, dont la coïncidence semble assez étonnante. Remarquons, toutefois, que cette singularité est accentuée par la remontée générale des isothermes et des isohalines en profondeur le long du talus continental Nord, et ceci sur les 3 radiales les plus à l'extérieur.

Une dernière remarque concerne l'upwelling du Cap Finistère déjà bien connu, mais ici particulièrement intense. Les salinités, sur le plateau continental, apparaissent plus élevées au fond qu'en surface, ce qui tend à prouver que cette eau de surface provient bien d'une couche subsuperficielle, mais aussi que le brassage mécanique généralement observé aux abords des côtes a ici une faible influence, et qu'il s'agit donc bien d'un phénomène d'upwelling.







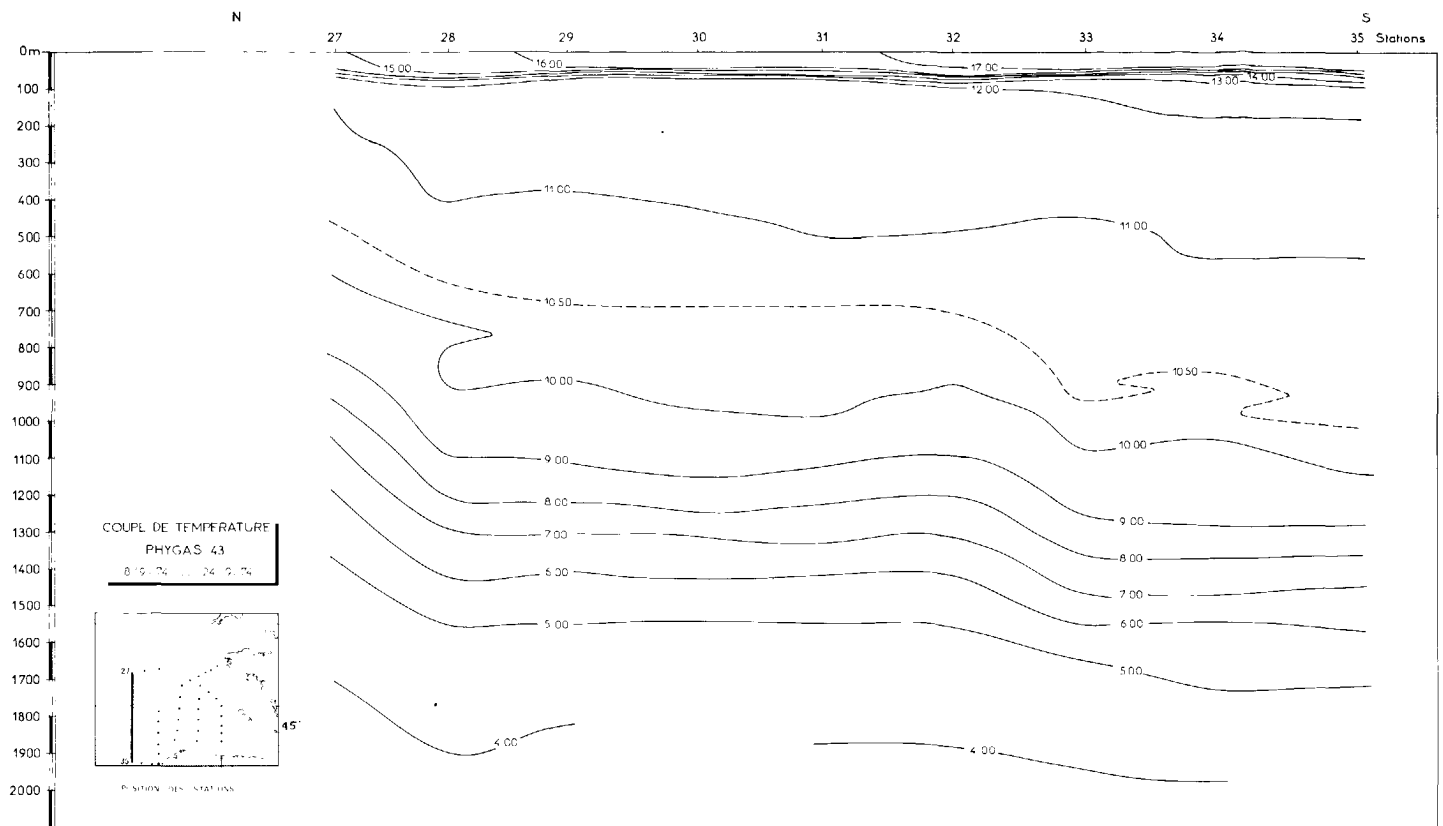


Figure 52

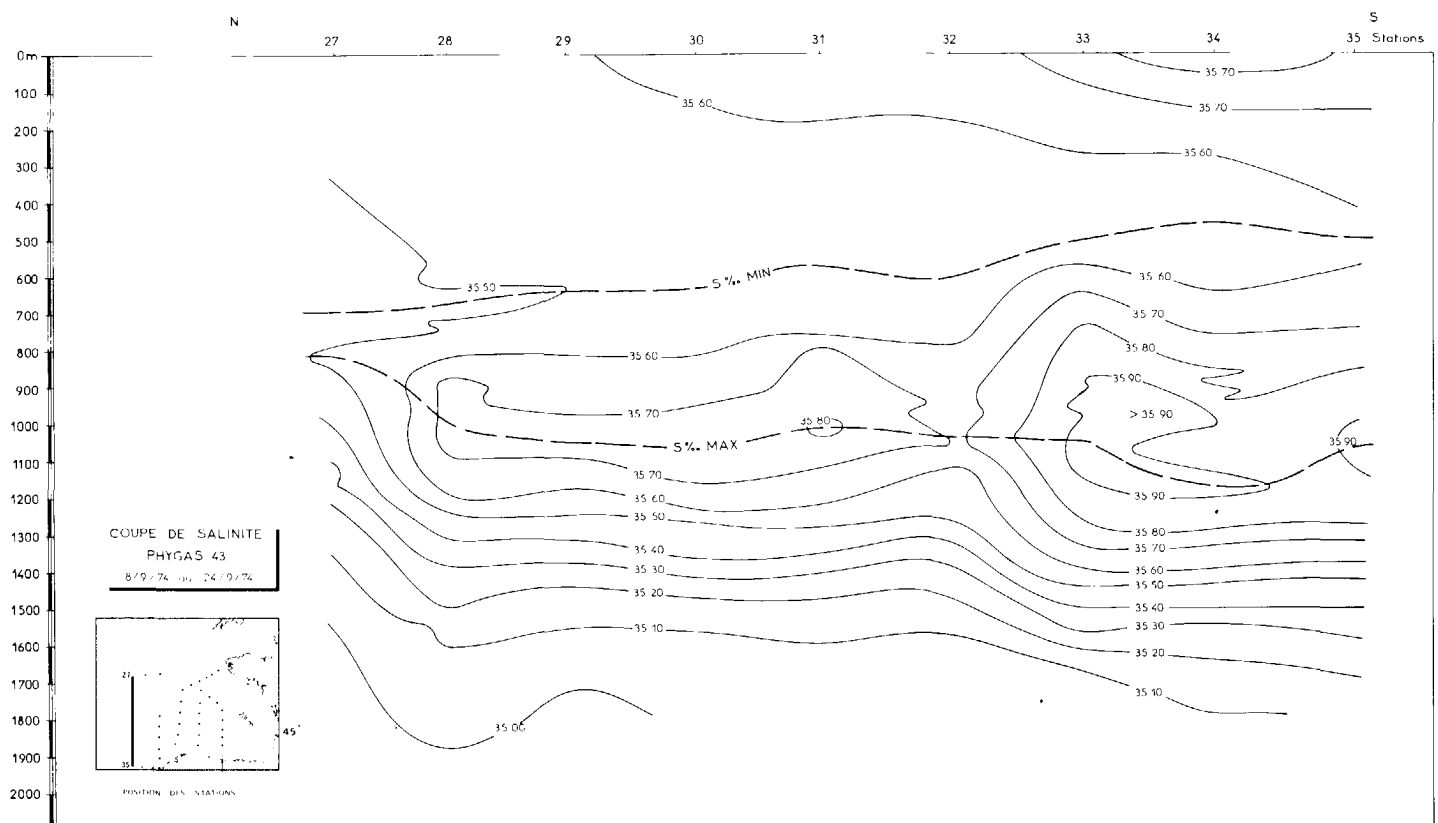
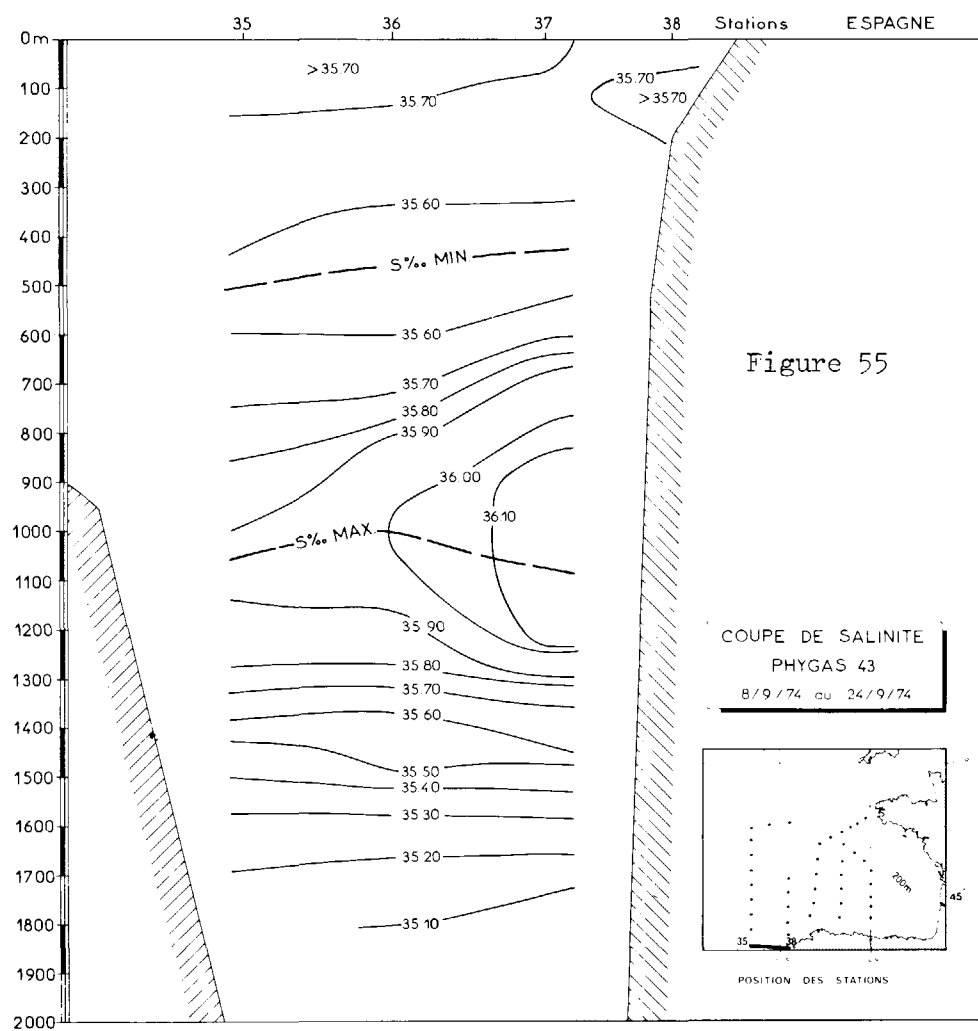
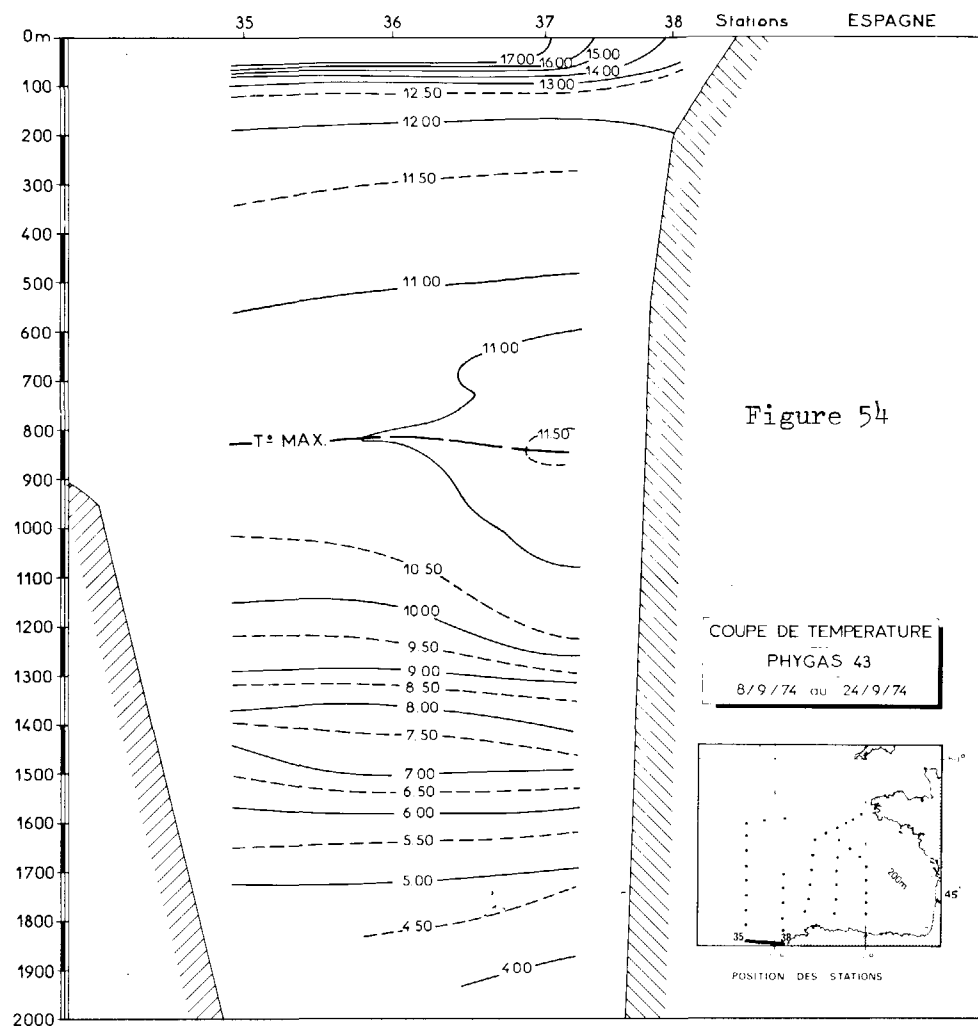
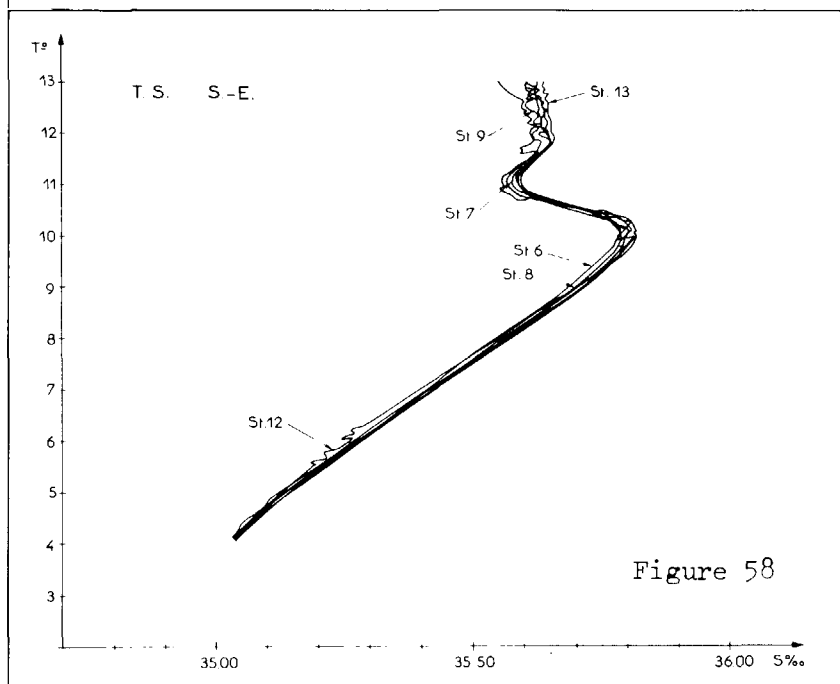
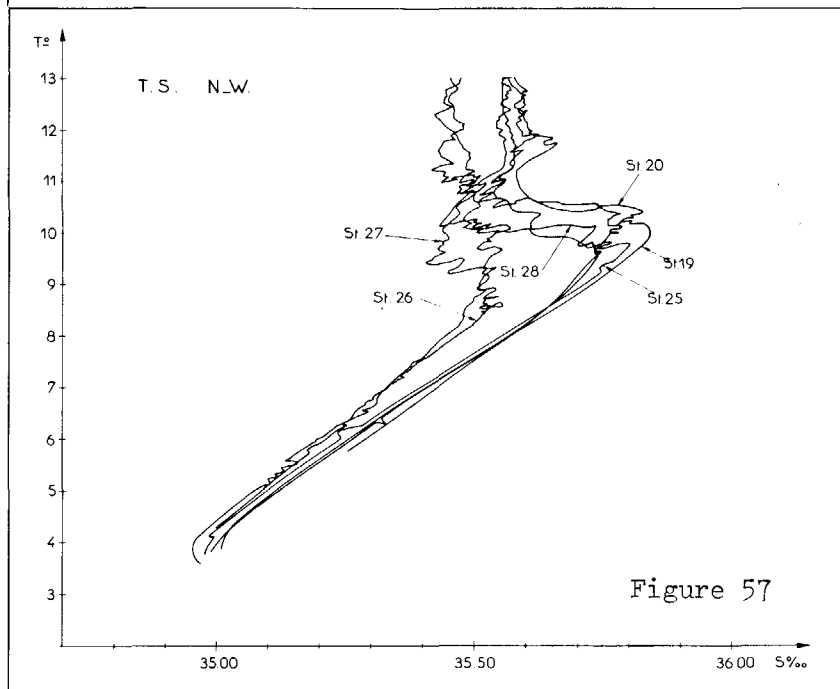
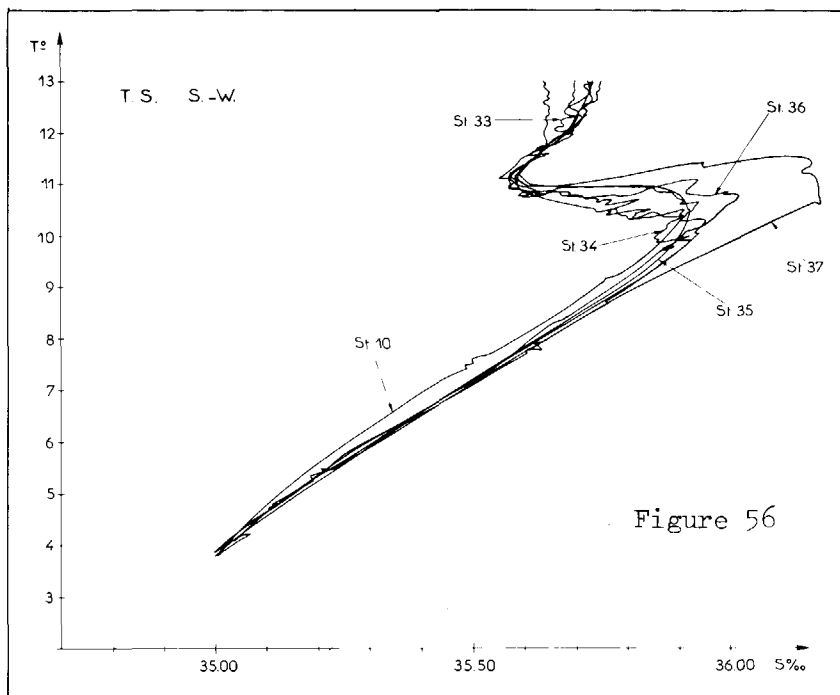


Figure 53





B. FRUCHAUD-LAPARRA

PHYGAS 44 (10 décembre 1974 au 3 janvier 1975)

Conditions hydrologiques de surface. Températures de surface (Fig.59)

Les températures de surface croissent du nord au sud. De 11.5°C aux accores du talus continental, elles atteignent près de 13.5°C au large du Cap Finistère.

Les isothermes sont parallèles au plateau français, mais l'isoligne 13°C montre la présence d'une langue d'eau légèrement plus chaude ($+ 0.3^{\circ}\text{C}$) venant de l'ouest. A l'est le gradient de température de surface est très faible; sur la radiale 4°W les températures de surface sont quasi homogènes (entre $44^{\circ}30$ et $45^{\circ}30$ N, la température de surface est égale à $12.81 \pm 0.01^{\circ}\text{C}$).

. Salinités de surface (Fig.60)

Dans l'ensemble les isohalines sont parallèles au plateau continental français.

De 35.50‰ sur le talus, les salinités croissent vers le sud-ouest pour dépasser 35.70‰ au large du cap Finistère. Une légère augmentation de la salinité correspond à la poche de température plus élevée observée sur la carte des températures de surface par 45°N . Cet accroissement simultané de la température et de la salinité traduit une entrée par l'ouest d'eau d'origine océanique.

Par 10°W , on observe entre $45^{\circ}30$ N et 46°N , un gradient horizontal de salinité relativement prononcé (0.13‰ en 30 milles). Ce resserrement des isohalines indique la frontière entre deux types d'eau différents. Il marque la limite entre la zone sud-ouest où l'influence de la dérive nord-atlantique est très nette et la partie plus au nord où elle semble beaucoup plus faible. Cette frontière a déjà été observée lors de précédentes campagnes. Elle sera également observée lors de l'étude de la couche supérieure (100-600 m).

. Courants de densité en surface

De la même manière que pour les campagnes précédentes, la topographie dynamique de la surface est calculée en considérant l'isobare 550 db comme surface de référence de mouvement nul.

.../...

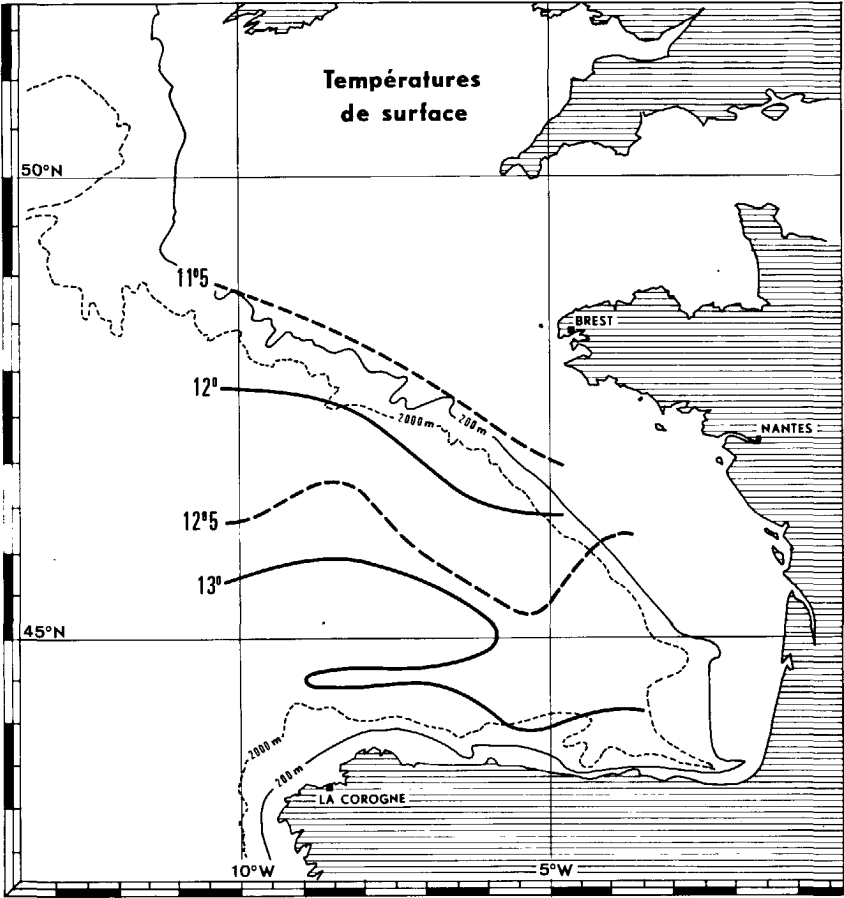


Figure 59

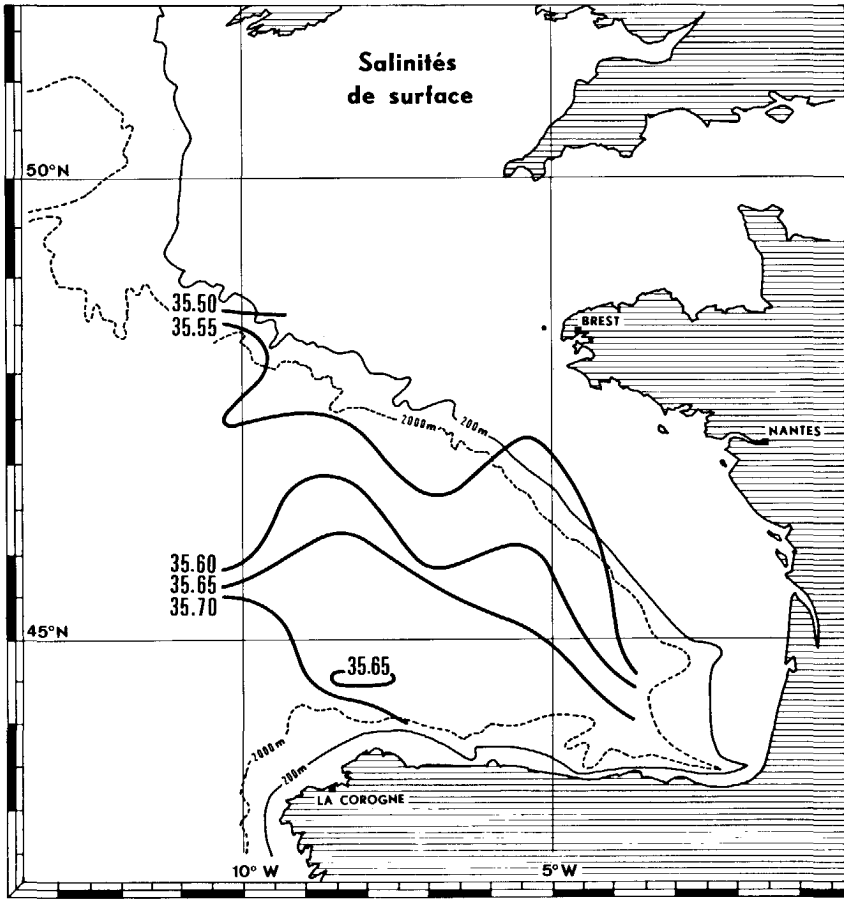


Figure 60

La carte n°61 montre les différences de hauteur dynamique entre la surface de la mer et ce niveau de référence. Dans l'ensemble, les courants sont faibles ou même pratiquement nuls (comme par 9°W, 44° 45°N), si bien que le tracé des isolignes comporte une part d'interprétation personnelle. Les vitesses maximales ont été calculées au sud des radiales 4°W et 7°W, elles atteignent 5.5. cm/s.

Au nord du 45^e parallèle, le courant général porte à l'est sud-est, puis est dévié vers 7°W par un vaste tourbillon cyclonique (centré vers 6°W, 46.30°N). Plus au sud, sauf pour les stations proches du cap Finisterre, le courant général porte à l'est, et le fond du golfe est occupé par un tourbillon également cyclonique.

Eaux superficielles

Sur la presque totalité de la zone, on observe une couche superficielle très homogène dont l'épaisseur atteint ou dépasse une centaine de mètres. La présence de cette épaisse couche homogène limitée à sa partie inférieure par une thermocline plus ou moins nette suivant les régions indique que la période de refroidissement maximum n'est pas encore atteinte. Plusieurs constatations peuvent être faites concernant cette couche superficielle :

- Son épaisseur est plus faible au sud qu'au nord. Pratiquement, on observe une couche homogène de plus de cent mètres au nord du parallèle 45°30 N, et de moins de 100 mètres au sud de ce parallèle, sauf aux 3 stations 38,39 et 40 pour lesquelles l'épaisseur de la couche dépasse 120 mètres.

- L'épaisseur de la couche superficielle est d'autant plus grande que la différence de température entre cette couche isotherme et l'eau sous-jacente (à 200 m par exemple) est faible. Cet enfoncement et cette atténuation de la thermocline sont le résultat du brassage mécanique dû au vent et des pertes de chaleur par évaporation. L'hiver est donc plus avancé au nord de la zone étudiée. Une telle précocité du refroidissement dans le secteur nord a également été observée lors des années précédentes (PHYGAS 24)

- Plus au sud et dans le golfe, où en période d'été (PHYGAS 33) on observe de très forts gradients de densité au niveau de la thermocline, le phénomène d'enfoncement est ralenti, bien que l'abaissement de température de surface soit important ($\Delta T \approx 4.5^\circ \text{ à } 5.5^\circ \text{C}$) entre 43° et 44° N.

PHYGAS 44

Topographie dynamique
0-550 db

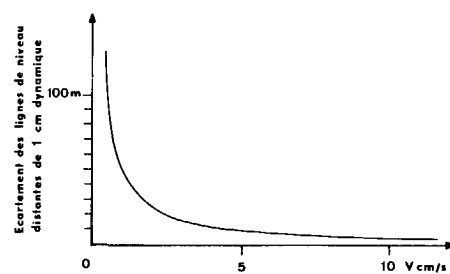
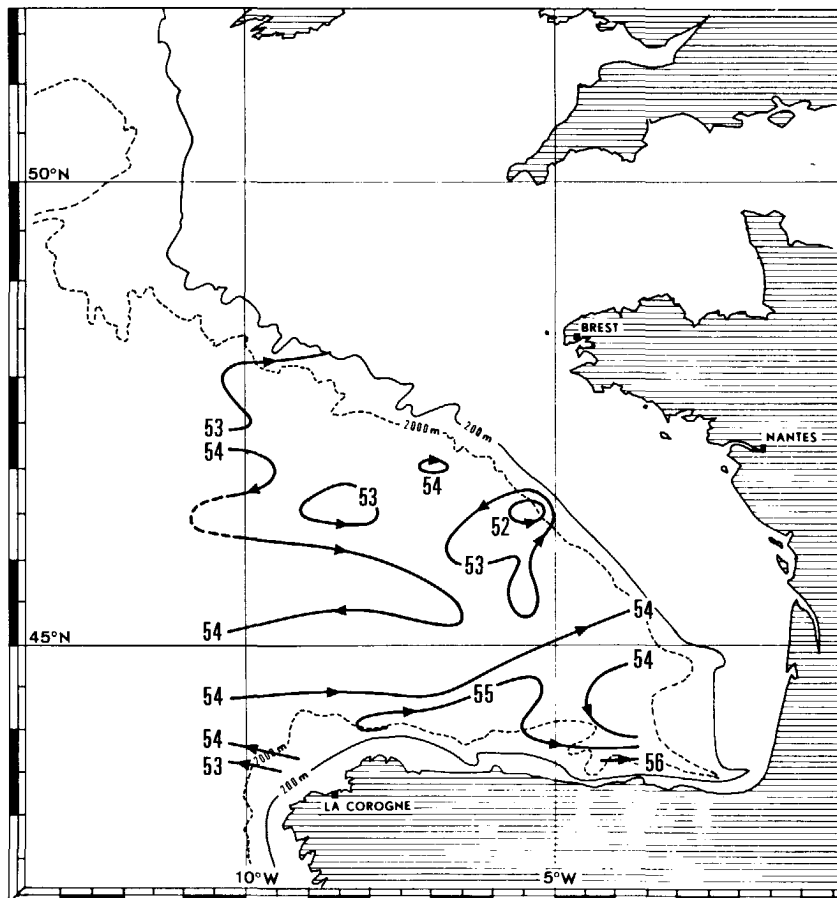


Figure 61

**Ecart maximum de salinité
dans les eaux superficielles**

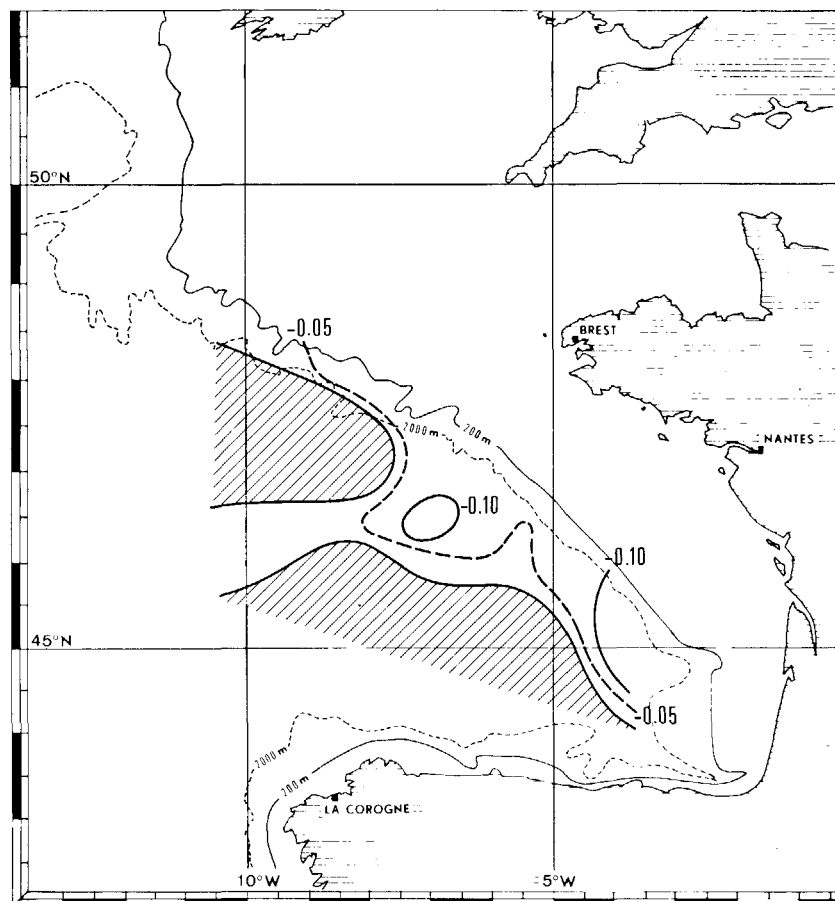


Figure 62

PROFILS VERTICAUX (T,S)

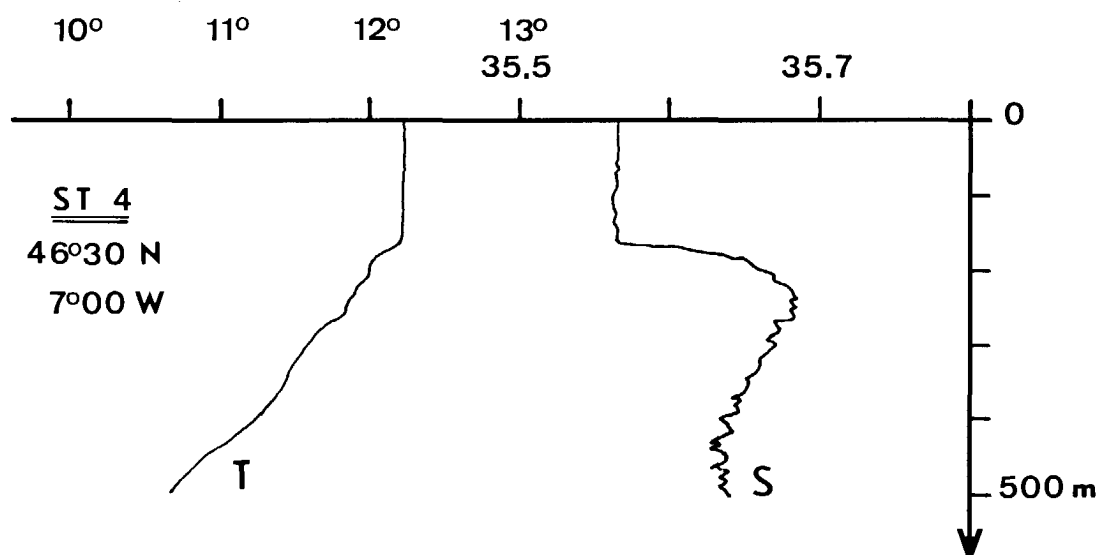
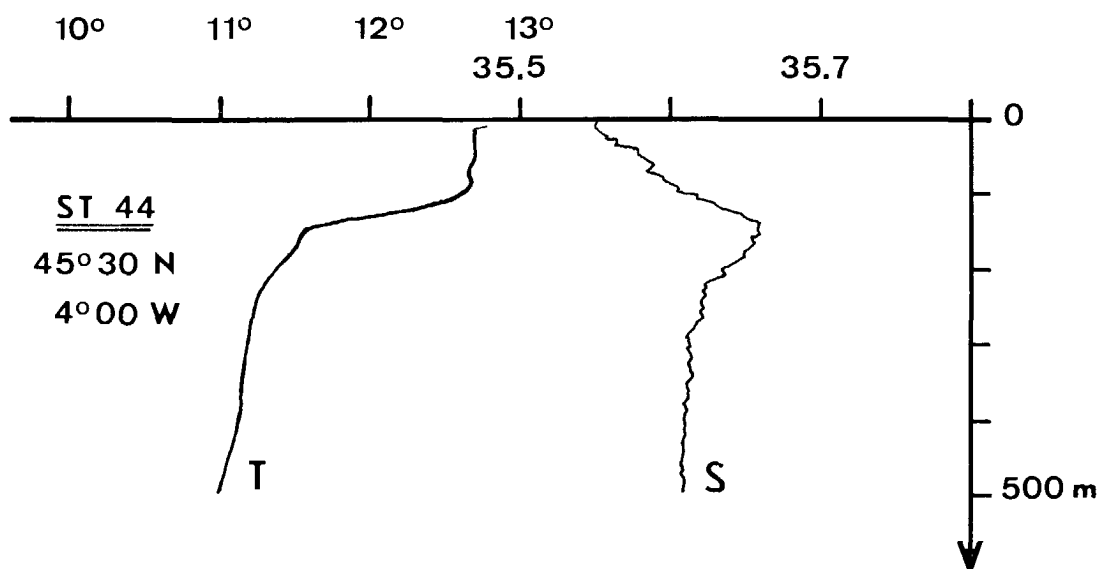


Figure 63

- Près du cap Finisterre, la couche homogène est pratiquement inexistante ; on observe une décroissance régulière de la température jusqu'à 250 mètres.

- Une autre constatation peut être faite sur cette couche homogène. Sur une bande atteignant 50 milles de large le long du plateau continental, les valeurs de salinités de la couche de surface sont inférieures à celles observées à la base de la thermocline. La figure n° 62 représente l'écart de maximum de salinité, dans la région où un tel maximum existe. Les écarts les plus importants ($\Delta S \geq 0.1\text{‰}$) sont observés par 4°W au nord de la radiale et par 7°W vers $46^\circ 30\text{ N}$ (Fig. 63, stations 4 et 44). Deux phénomènes distincts semblent coexister :

- . d'une part en surface, mélange avec les eaux dessalées du plateau ($S \leq 35.5\text{‰}$),
- . d'autre part, entre 200 et 500 mètres, accroissement de la salinité à certaines stations. Ces fortes salinités étaient observées en surface quelques mois auparavant comme en témoigne la carte des salinités de surface de PHYGAS 43 (Fig. 37).

Des poches de salinité et de température élevées sont observées sur la plupart de nos campagnes ainsi que sur d'autres missions effectuées antérieurement dans cette région du proche Atlantique (Helland Hansen and Nansen). Elles semblent avoir été "piégées" lors de modifications de la structure hydrologique superficielle et se maintiennent sur des durées de plusieurs mois.

Eaux supérieures

Sous la thermocline et jusqu'à 550 mètres (immersion du minimum de salinité) se trouvent, comme aux précédentes campagnes, des eaux relativement homogènes en salinité et température. Comme pour PHYGAS 42, l'examen des diagrammes TS et des coupes hydrologiques permet de dégager 3 régions.

- La zone sud-ouest ou océanique, pour laquelle le diagramme TS des eaux supérieures est un segment de la droite caractéristique de l'eau centrale nord atlantique. Cette zone est limitée par une ligne passant entre les stations 27 et 28 puis 10 et 11 et rejoignant ensuite la côte espagnole (Fig. 64, St 31)
Les écarts en température et salinité restent cependant faibles :

$$\begin{aligned} \Delta T &< 2^\circ\text{C} && \text{entre 11 et 13}^\circ\text{C} \\ \Delta S &< 0.15\text{‰} && \text{entre 35.60 et 35.75‰.} \end{aligned}$$

.../...

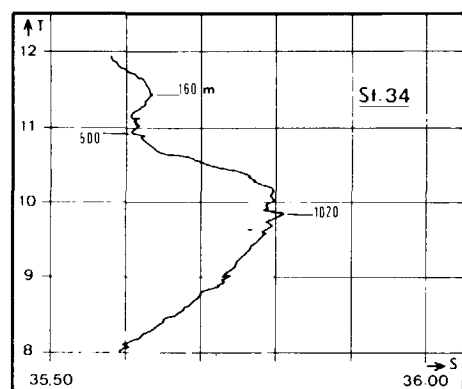
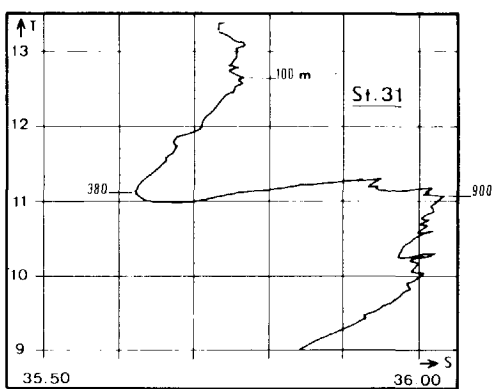
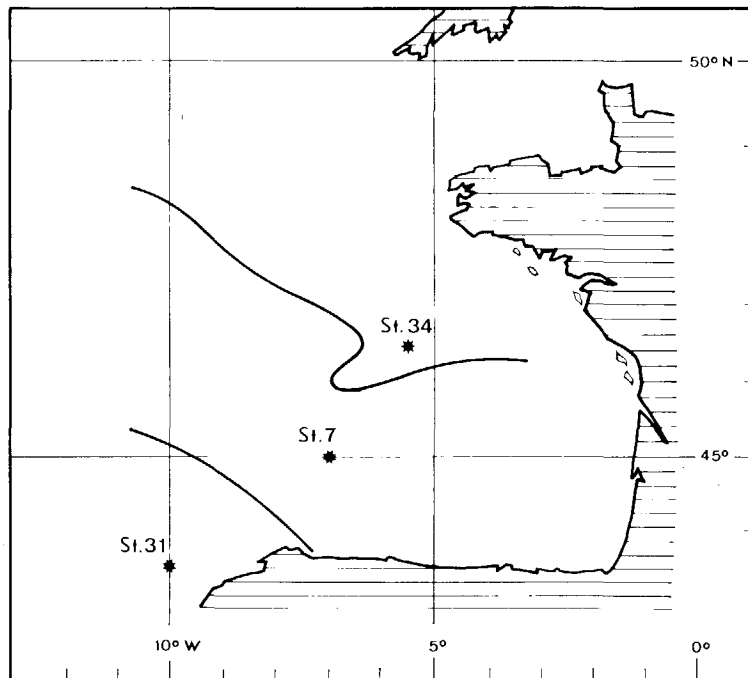
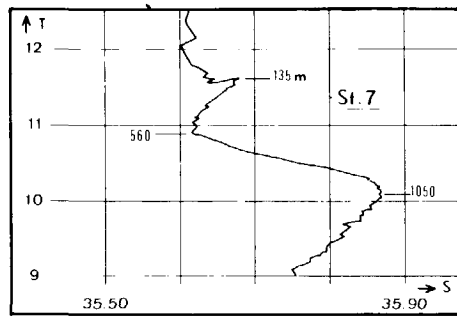


Figure 64

- La zone nord, le long du talus continental, particulièrement homogène en température et salinité (Fig. 64 Station 34) $\Delta T \leq 0.5^{\circ}\text{C}$, $\Delta S \leq 0.05^{\circ}/\text{‰}$ entre la base de la thermocline et 500 m.

- La partie centrale, zone de transition entre les deux précédentes. Les écarts en température demeurent inférieurs à 1°C entre 11 et 12°C , et en salinité inférieurs à $0.1^{\circ}/\text{‰}$ entre 35.6 et $35.7^{\circ}/\text{‰}$. Dans la partie est de cette zone, les profils verticaux présentent une grande identité qui se traduit sur les coupes verticales par 4°W par des isolignes parallèles entre elles (Fig. 64, st 7).

Eaux méditerranéennes (fig. 65)

L'influence des eaux d'origine méditerranéenne se manifeste vers 1 000 m d'immersion par des salinités supérieures à $35.80^{\circ}/\text{‰}$ sur la majeure partie de la zone étudiée. Il n'y a que dans le secteur nord-ouest que cette présence ne soit pas signalée par un maximum aussi fort ($S_{\text{max}} \neq 35.70^{\circ}/\text{‰}$).

Les coupes verticales et la carte du maximum de salinité méditerranéen montrent une veine de forte salinité, au niveau du cap Finistère, qui est déviée ensuite vers l'est sous l'action de la force de Coriolis. On observe un noyau de salinité élevée (centré par $46^{\circ}30\text{ N}$, $8^{\circ}30\text{ W}$, $S = 35.91^{\circ}/\text{‰}$) dû probablement à un débit variable de l'écoulement au niveau méditerranéen provoquant des "bouffées" d'eau de salinité élevée. De telles poches ont également été observées lors de précédentes campagnes.

Valeur du maximum de salinité méditerranéenne

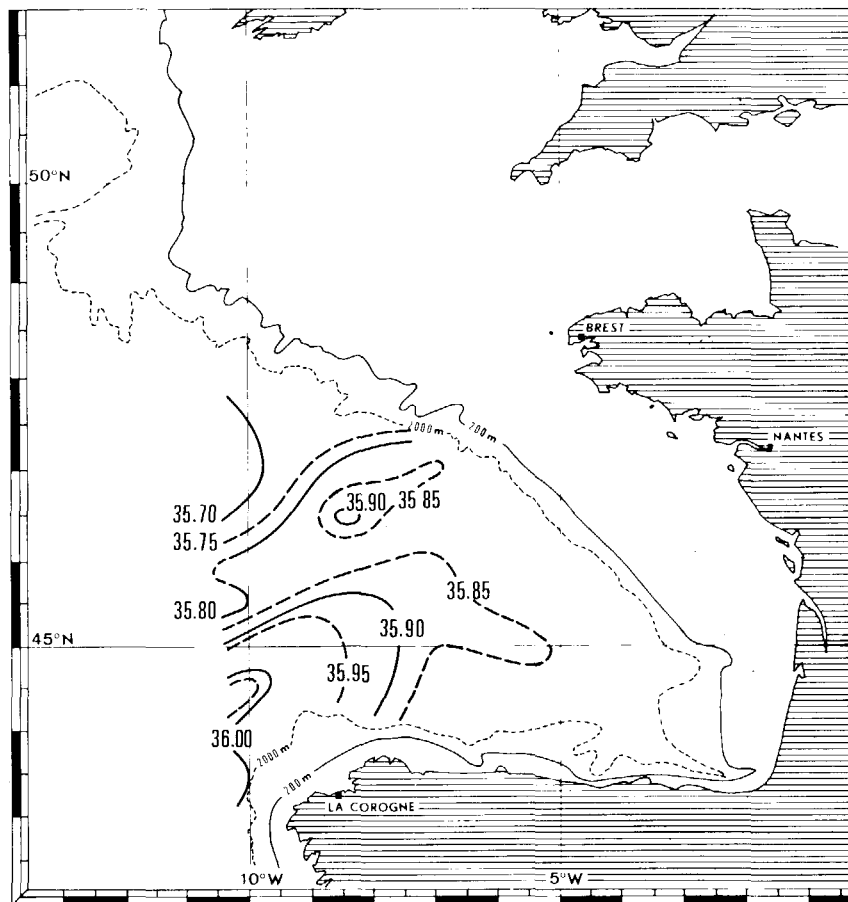


Figure 65

PHYGAS 44

COUPES VERTICALES

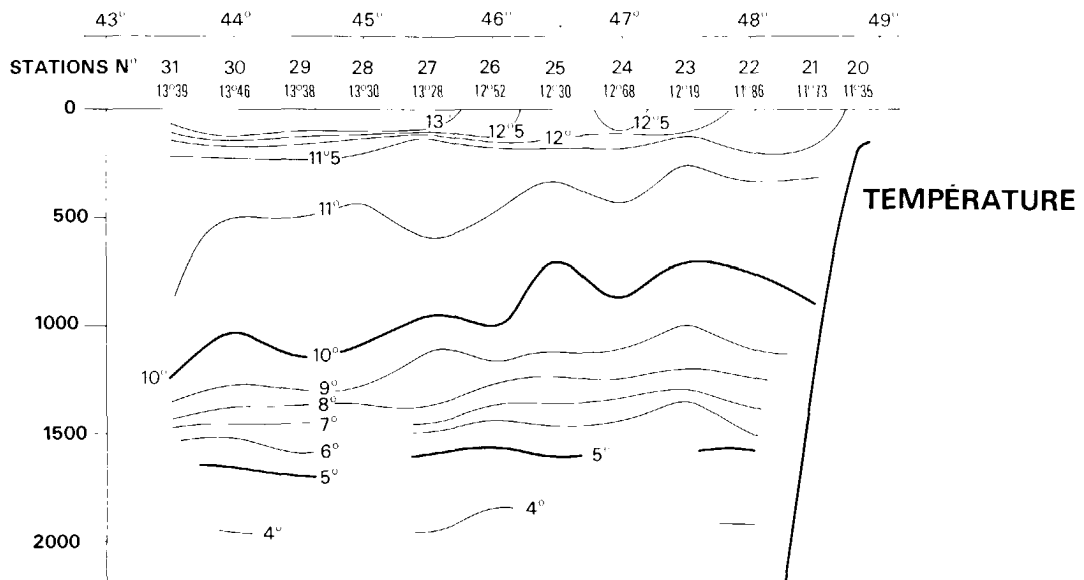
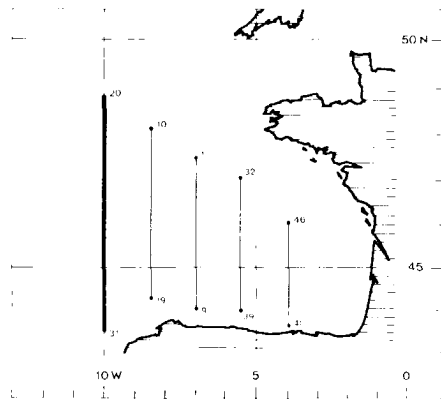
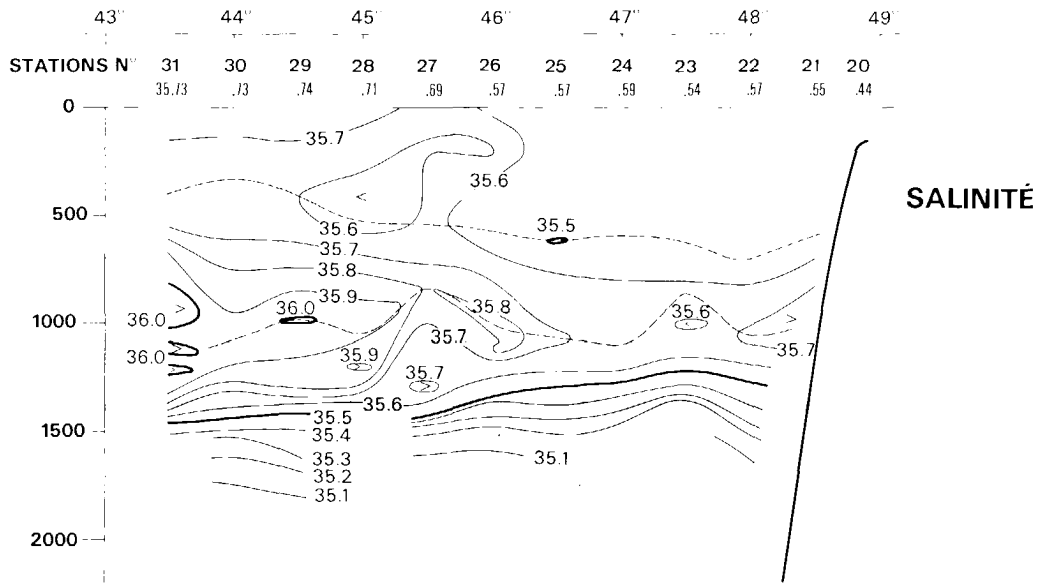


Figure 66

PHYGAS 44

COUPES VERTICALES

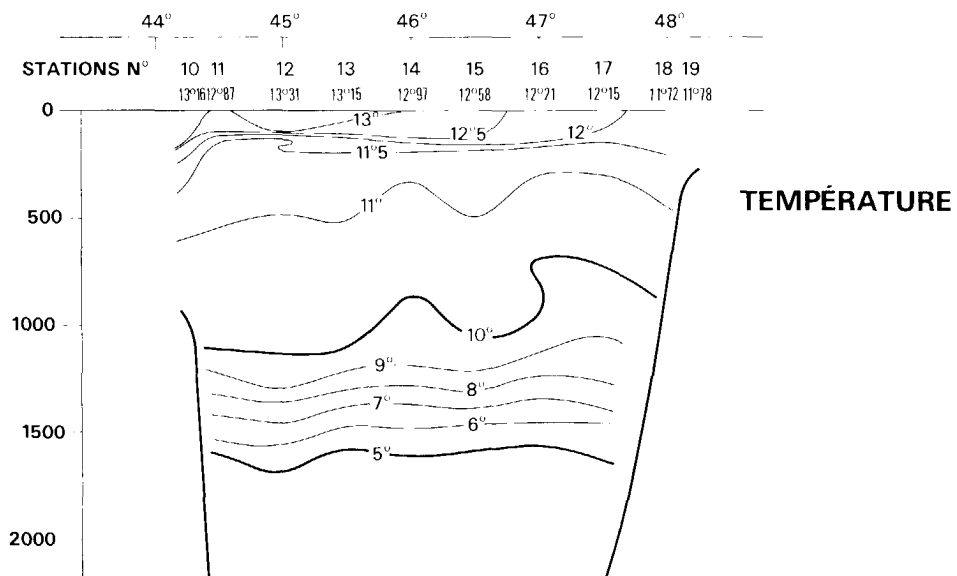
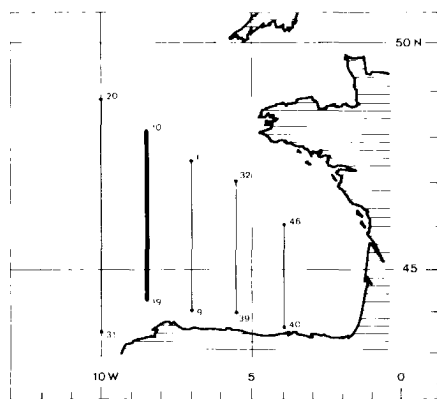
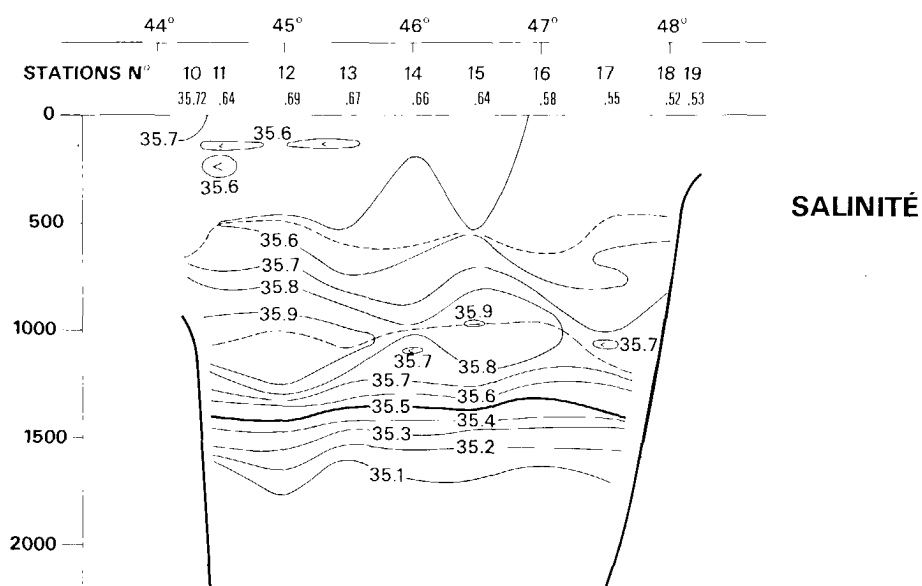


Figure 67

PHYGAS 44

COUPES VERTICALES

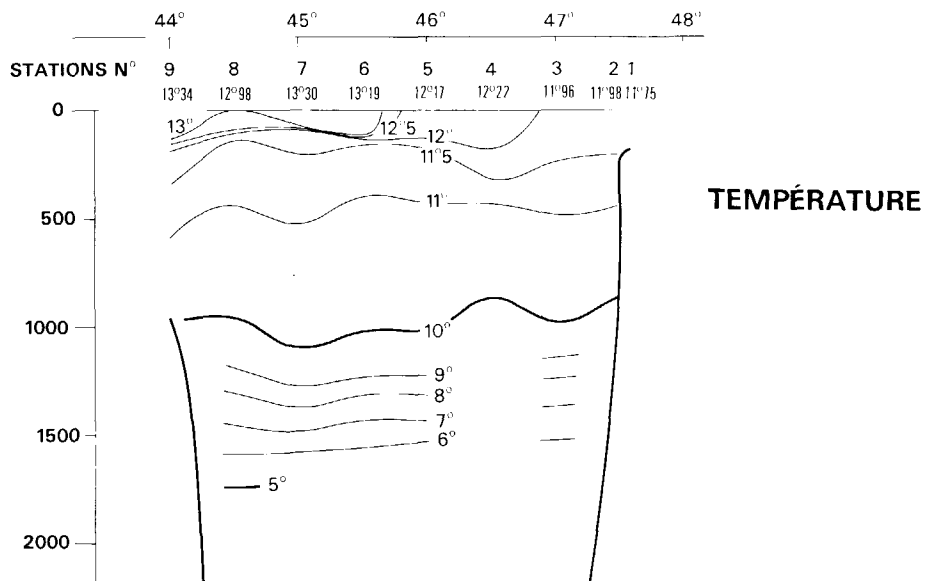
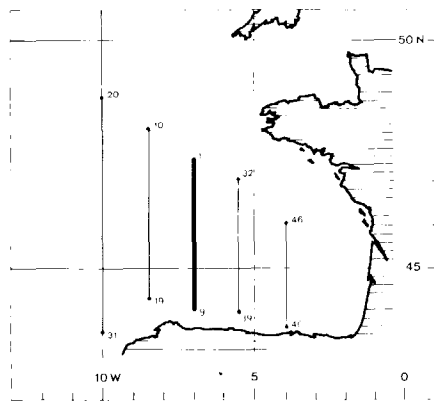
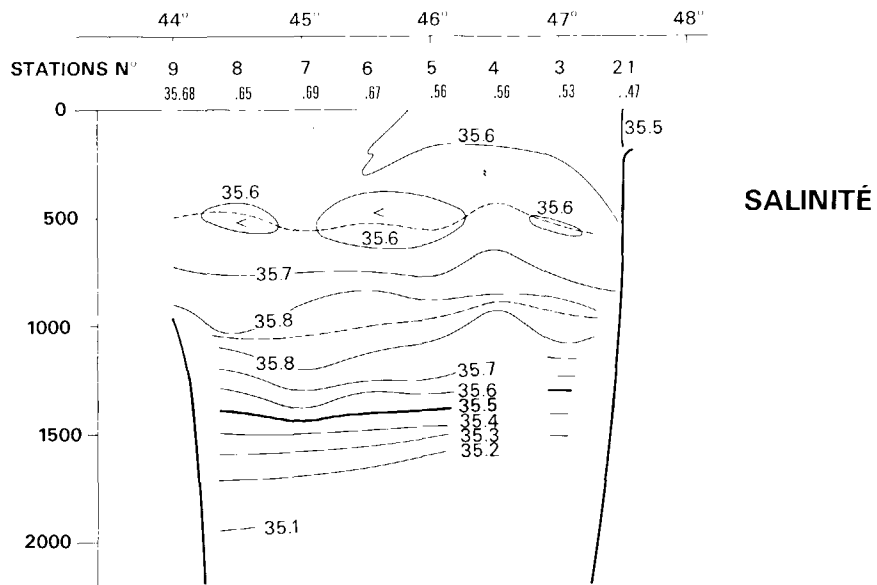


Figure 68

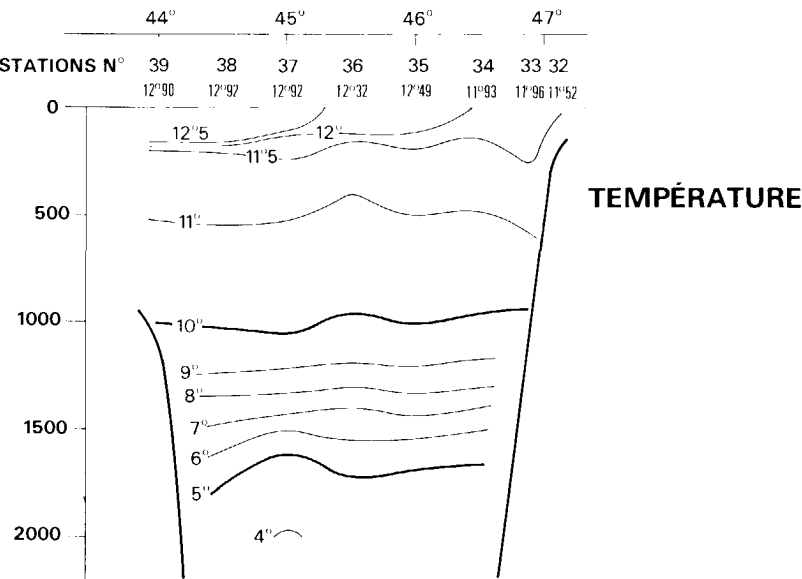
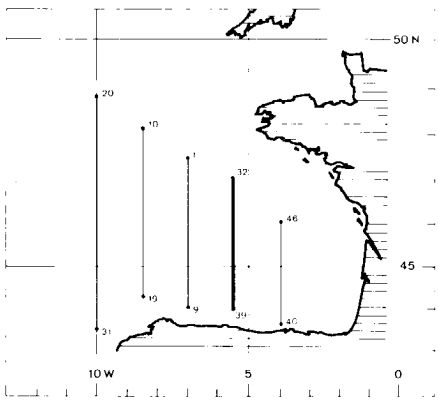
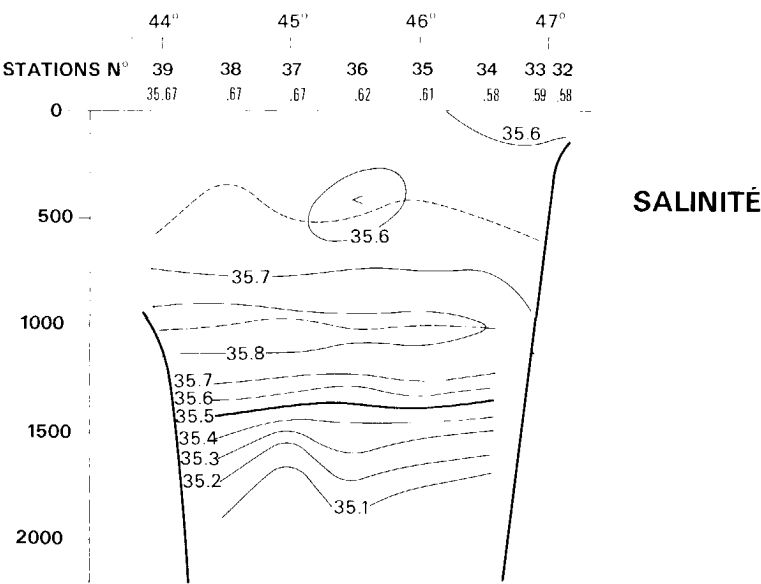


Figure 69

PHYGAS 44

COUPES VERTICALES

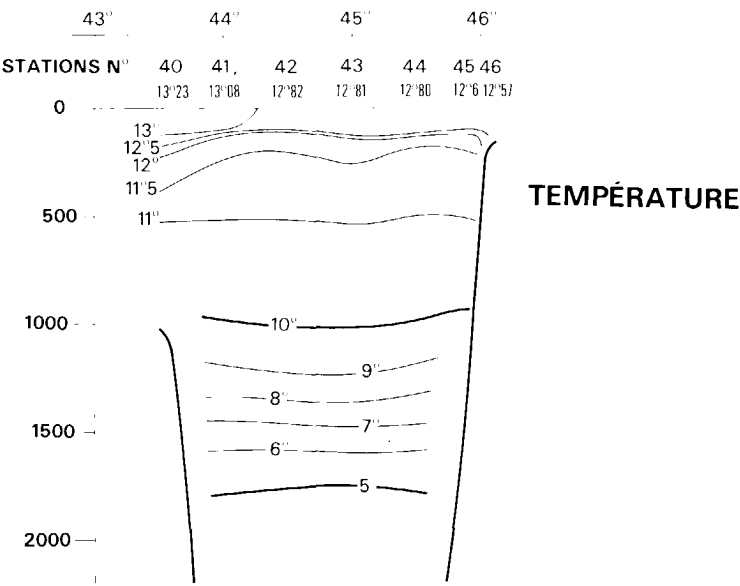
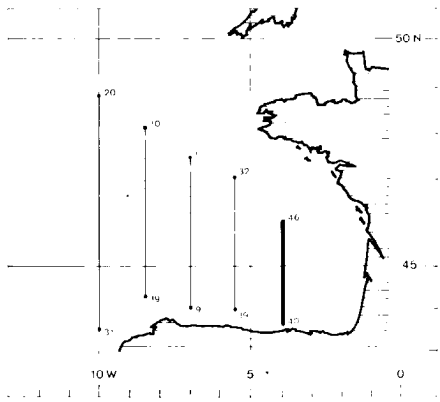
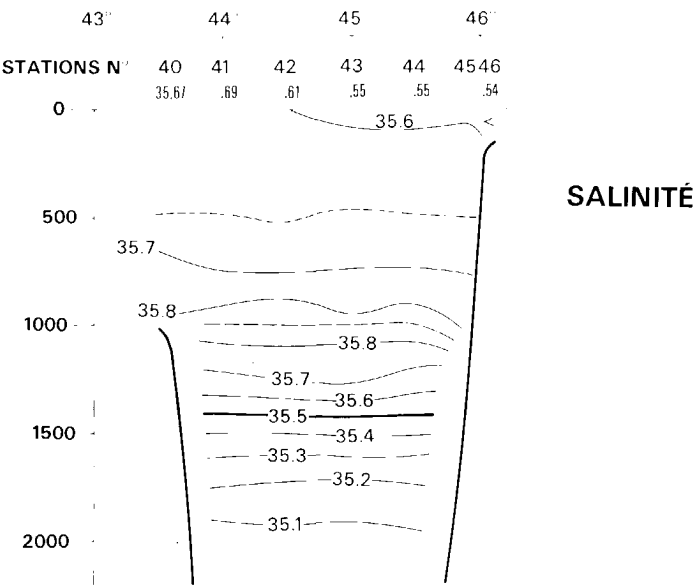


Figure 70

Variations saisonnières

B. FRUCHAUD-LAPARRA - F. MADELAIN

I - Evolution au cours de l'année 1974

La température de surface est un paramètre essentiellement fluctuant car elle est directement soumise aux variations à courte période des conditions météorologiques. C'est ainsi que pendant la campagne PHYGAS 33 (4-23 juillet 1973), à la suite d'un fort coup de vent, les températures de surface ont baissé de 1°C à cause du brassage mécanique dû au vent et de l'enfoncement de la thermocline. Le contenu thermique des 250 premiers mètres est par contre resté inchangé.

L'étude des variations saisonnières a été, pour cette raison, entreprise en considérant l'évolution annuelle du contenu thermique des 250 premiers mètres. Les cartes du "contenu thermique" pour les quatre campagnes effectuées en 1974 sont présentées sur les figures 71a à 71d. Afin de faciliter la discussion qui va suivre, des cartes montrant l'évolution de ce contenu thermique entre deux campagnes consécutives ont également été tracées (Fig. n° 72). Au cours de chaque campagne, les stations n'ont pas toujours été faites en des positions identiques. Il a donc été nécessaire de procéder à un certain nombre d'interpolations.

- La première campagne, PHYGAS 41, a été effectuée fin février, début mars, un mois environ avant la période de froid maximum. Les contenus thermiques croissent du nord au sud, de 280 à 300 Kcal/cm²/250 mètres. Ces valeurs correspondent à des températures moyennes égales respectivement à 11.2°C et 12°C

$$T_M = \frac{1}{\rho c} \frac{Q_T}{250 \times 10^2} \quad \text{où } Q_T \text{ est exprimé en calories et } \rho c \equiv 1.$$

A cette saison, la thermocline saisonnière a pratiquement disparu ou est très profonde, si bien que les valeurs de T_M sont très proches des températures de surface (cf Fig. n°6a)

.../...

CONTENU THERMIQUE
0-250 m

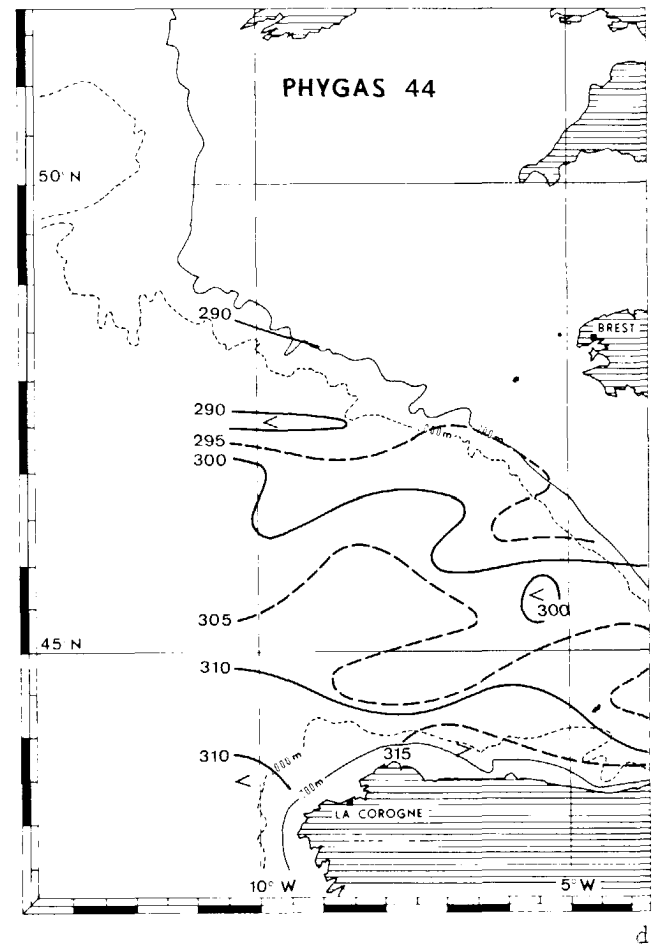
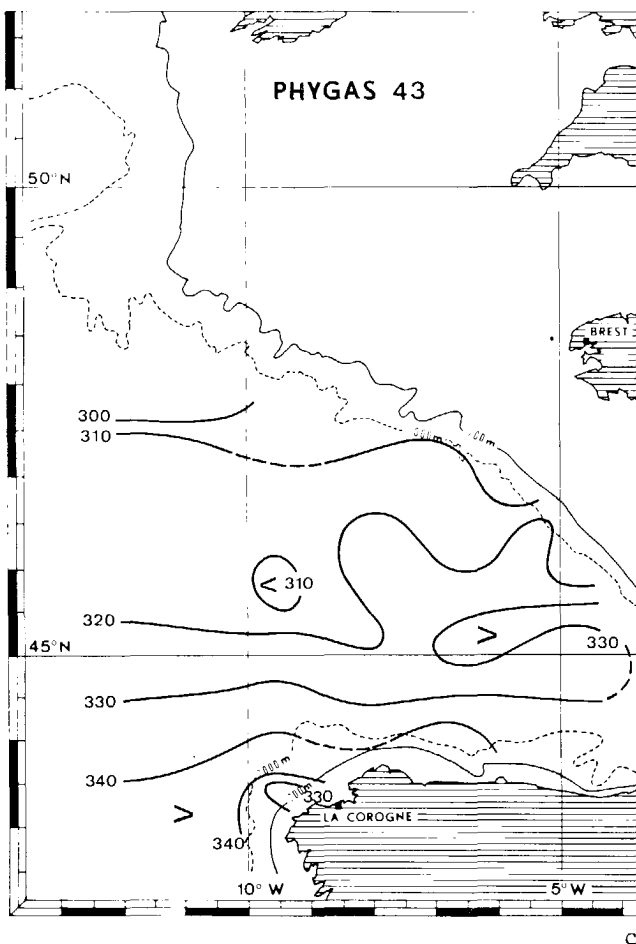
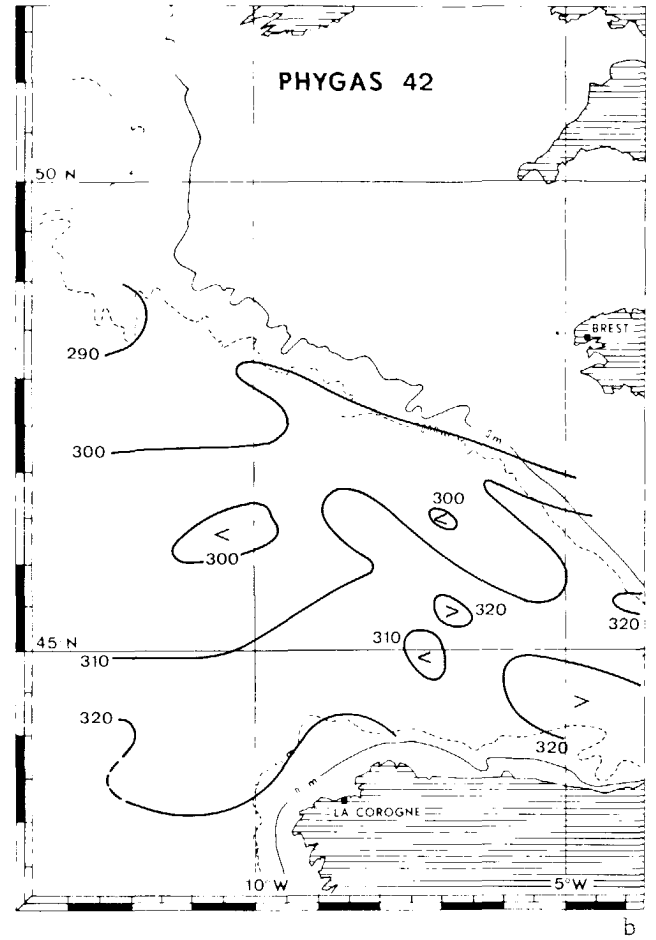
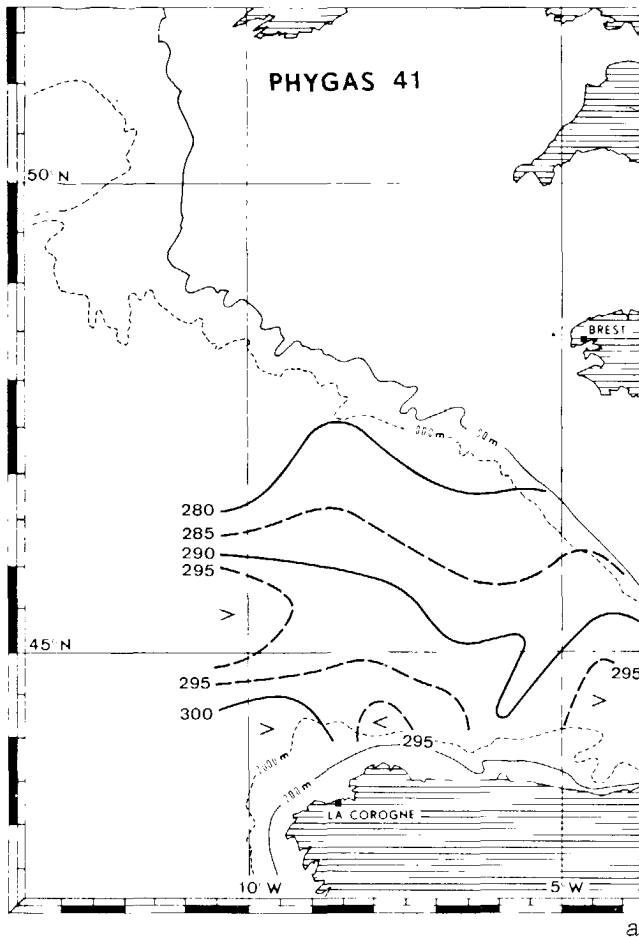


Figure 71

EVOLUTION DES CONTENUS THERMIQUES EN 1974

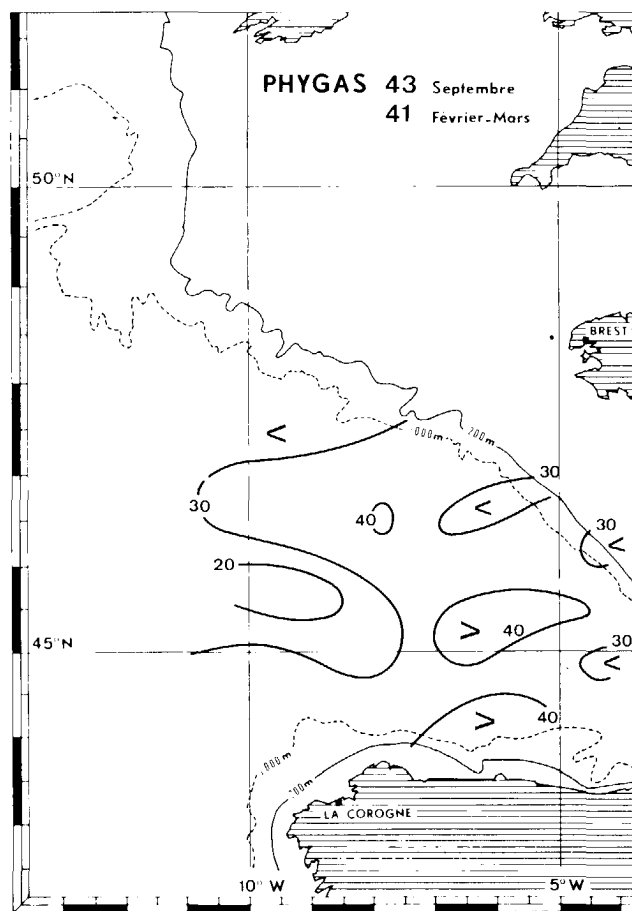
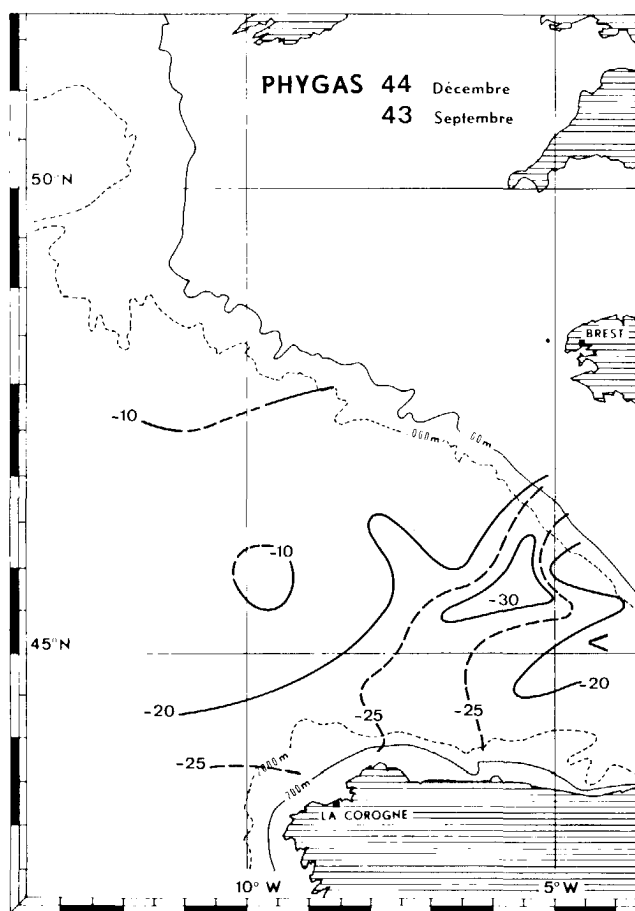
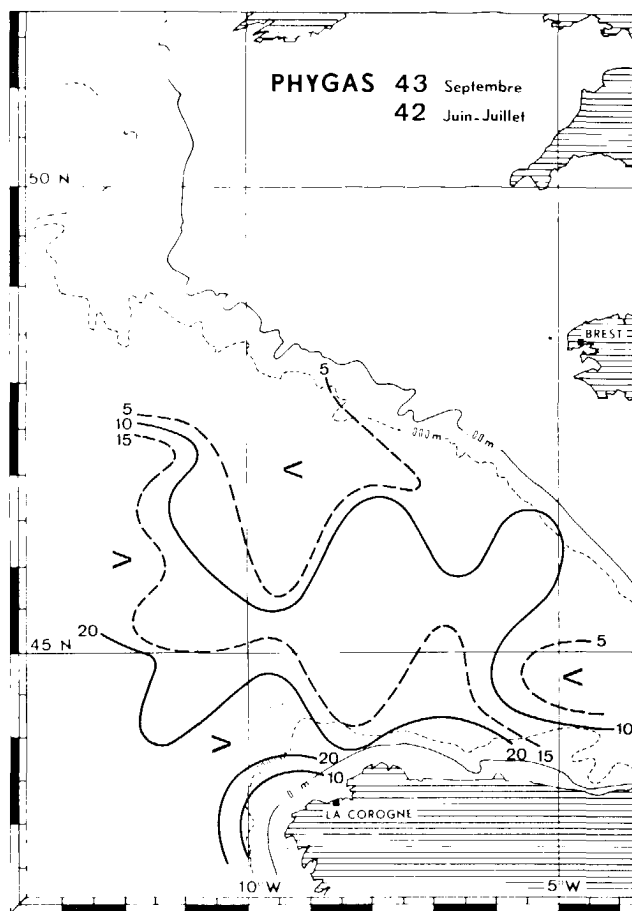
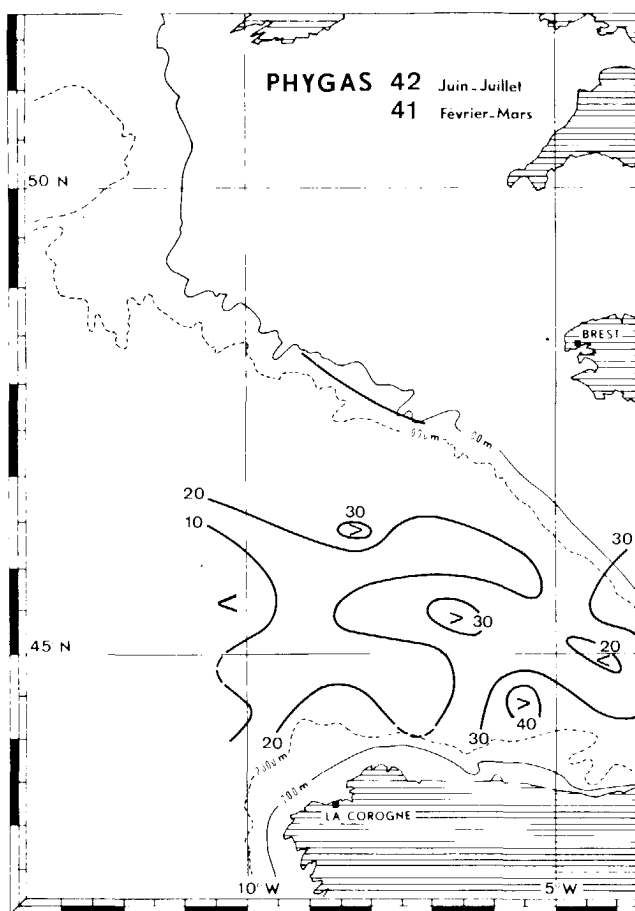


Figure 72

- Quatre mois plus tard (PHYGAS 42, 25 juin au 13 juillet), il y a eu un réchauffement important en toutes zones qui atteint 20 à 30 Kcal/cm²/250 m. Les isolignes montrent, comme pour la campagne précédente, qu'il y a augmentation du contenu thermique du nord au sud. Leur tracé est assez sinueux, il apparaît cependant qu'à latitude constante les valeurs calculées sont plus élevées à l'est qu'à l'ouest. Ce phénomène est particulièrement net sur la figure qui montre l'évolution du contenu thermique entre les campagnes PHYGAS 41 et PHYGAS 42. Les bilans de chaleur (gains-pertes) atteignent 30 et même 40 Kcal dans le Golfe de Gascogne et seulement 10 Kcal à l'ouest du 10^{ème} méridien.

- La carte des températures de surface de PHYGAS 42 (cf Fig.22a) confirme ce phénomène. Les écarts de température entre le Golfe de Gascogne et le 12°W atteignent à la même latitude 3°C.

La carte de contenu thermique pour la campagne PHYGAS 43 (9-14 septembre 1974) montre un tracé des isolignes assez complexe. Il y a toujours cependant augmentation du nord au sud. Les écarts extrêmes enregistrés atteignent 48 Kcal alors qu'ils ne dépassaient pas 37 Kcal à la campagne précédente. Il existe au niveau du Cap Finistère une "poche froide" très localisée.

La carte des "gains en calories" par rapport à la campagne précédente nous apprend qu'ils ont été importants dans le sud et le sud-ouest ($Q_T \geq 15$ Kcal) alors qu'au nord et à l'entrée du Golfe de Gascogne ils sont restés inférieurs à 5 Kcal/cm²/250 m.

- La dernière de ces campagnes (PHYGAS 44) a été effectuée du 10 décembre 1974 au 3 janvier 1975. Le refroidissement se traduit par une baisse des températures de surface et un enfoncement de la thermocline, qui est couramment observé entre 80 et 100 mètres.

Entre cette campagne et la précédente (Fig.72c), les pertes les plus élevées ont été calculées au large du Cap Finistère et dans une bande de 50 milles de large environ, orientée sud-ouest/nord-est, qui isole le Golfe de Gascogne de la zone océanique. Elles sont plus faibles au nord, là où les gains avaient été réduits entre les mois de juillet et septembre (Fig.72b).

.../...

II - Evolution annuelle moyenne dans trois carreaux de la zone étudiée

Les études hydrologiques qui viennent d'être faites, ainsi d'ailleurs que celles qui ont été présentées antérieurement (B. FRUCHAUD, 1974 ; B. FRUCHAUD-LAPARRA, LE FLOCH, LE TAREAU, TANGUY, 1975) ont montré que cette zone pouvait être divisée en trois régions caractérisées (pour la couche 0-600 m) par trois types de structures verticales. A partir de cette idée, des courbes ont été tracées pour montrer quelle était, pour chacune de ces zones, l'évolution annuelle moyenne du contenu thermique. Chaque valeur représentative d'une campagne a été obtenue en faisant la moyenne des valeurs mesurées à l'intérieur d'un carreau de 30 milles sur 60 milles en zone océanique et de 60 milles de côté dans le Golfe de Gascogne. L'emplacement de ces carreaux est reporté sur la Fig.73 . On a également tenu compte dans leur définition de la répartition géographique des stations pendant les trois années de mesures, de façon à pouvoir utiliser pour chaque campagne un nombre maximum de stations. Chaque carreau est repéré par les symboles suivants :

$\left. \begin{array}{l} 47^{\circ} \leq \varphi \leq 48^{\circ} \text{N} \\ 10^{\circ} \leq G \leq 13^{\circ} \text{W} \end{array} \right\}$	<p>Z.O.N. zone océanique nord.</p> <p>Elle est un peu plus réduite que celle qui a été utilisée lors des précédentes études.</p> <p>L'influence de la circulation générale nord atlantique y est faible.</p>
$\left. \begin{array}{l} 44^{\circ} \leq \varphi \leq 45^{\circ} \text{N} \\ 10^{\circ} \leq G \leq 13^{\circ} \text{W} \end{array} \right\}$	<p>Z.O.S. zone océanique sud.</p> <p>Elle est directement soumise à la circulation générale nord atlantique.</p>
$\left. \begin{array}{l} 44^{\circ} \leq \varphi \leq 46^{\circ} \text{N} \\ 3^{\circ}30' \leq G \leq 6^{\circ}30' \text{W} \end{array} \right\}$	<p>Z.G.G. zone Golfe de Gascogne</p> <p>Elle fait partie de la zone de transition précédemment définie.</p>

Les points utilisés pour le tracé de ces courbes montrent une dispersion plus ou moins importante autour d'une courbe moyenne dont le tracé comporte alors une part d'incertitude. On peut cependant faire les constatations suivantes :

.../...

EVOLUTION DU CONTENU THERMIQUE SUR 250 m

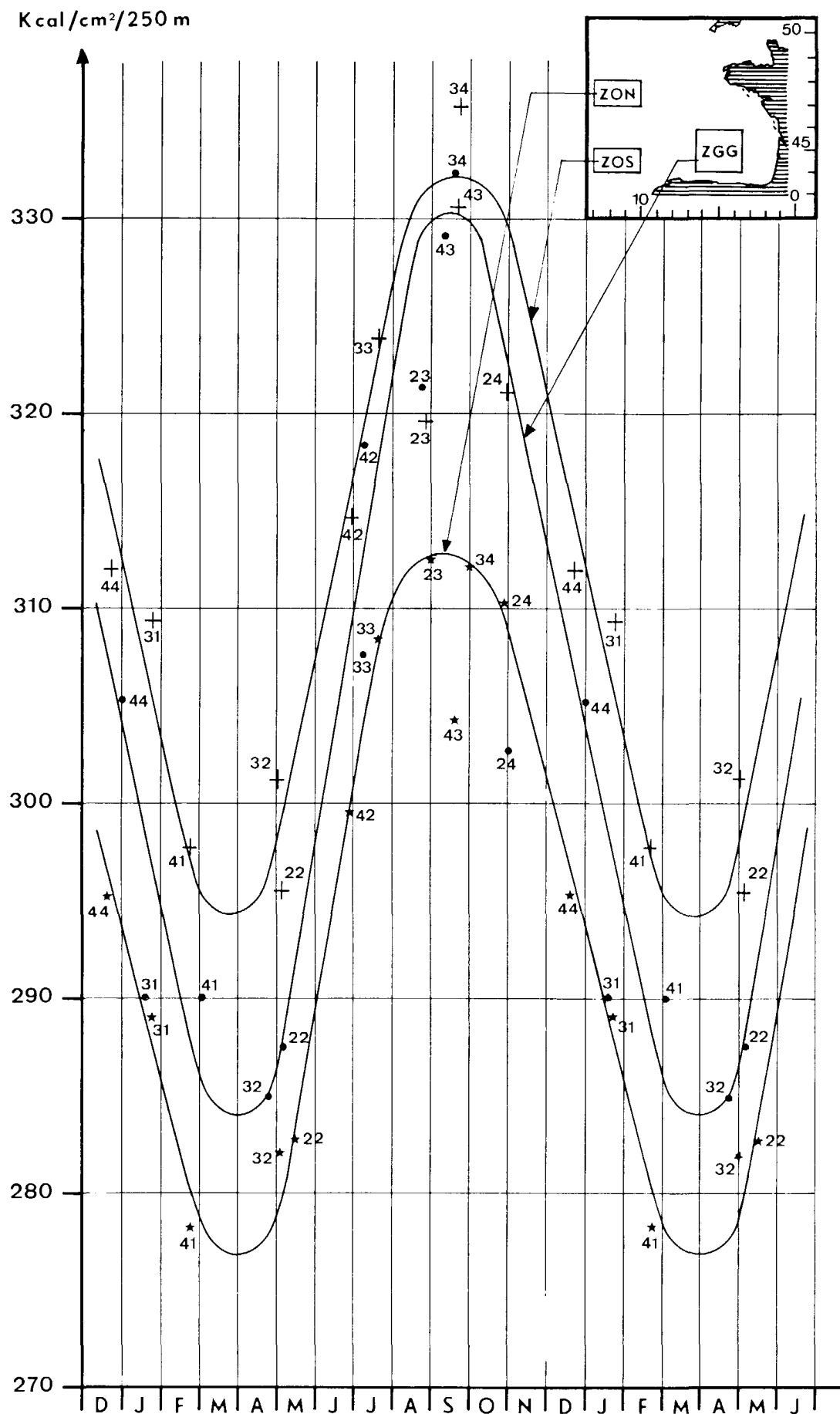


Figure 73

- les trois courbes sont décalées l'une par rapport à l'autre. Les deux courbes des zones Z.O.S. et Z.O.N. sont les plus semblables ;

- c'est dans la zone Z.G.G. que l'amplitude des variations saisonnières est la plus grande $\Delta Q_T = 46.2$ Kcal. Elle est respectivement égale à 36 Kcal et 38 Kcal pour les carreaux Z.O.N. et Z.O.S. ;

- le réchauffement maximum est atteint vers le 15 septembre dans les trois zones ;

- la période de froid maximum peut être fixée vers le 1er avril.

Aucune campagne n'a cependant été effectuée en période de froid maximum si bien que les valeurs de Q_{Tmin} ne sont données que par extrapolation. L'étude de profils verticaux de température obtenus de part et d'autre de cette période laisse cependant supposer que ces valeurs minimales sont proches de la réalité. Elles correspondent pour le carreau Z.O.N. à une température de surface de 11.07°C , en admettant qu'il y a mélange jusqu'à 250 m. Pour les carreaux Z.O.S. et Z.G.G., on peut calculer les valeurs suivantes :

$$T_{min}(ZOS) = 11.77^\circ\text{C}$$

$$T_{min}(ZGG) = 11.36^\circ\text{C}$$

- les gains et les pertes de calories en périodes de réchauffement et de refroidissement rapides sont résumés dans le tableau ci-après :

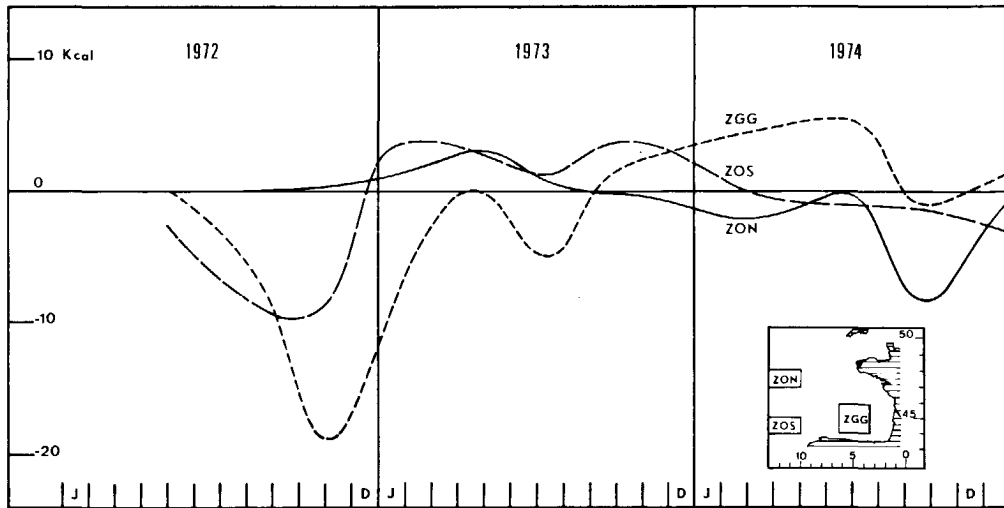
$\frac{dQ_T}{dt}$ Kcal/cm ² /250 m/mois	Période de réchauffement rapide (mai-juin-juillet)	Période de refroidissement rapide (nov.-déc.-janvier-février)
Z.O.S.	9.6	8.6
Z.G.G.	11.8	9.2
Z.O.N.	10.7	7.6

C'est dans le carreau Z.G.G. que le réchauffement le plus rapide est observé ($11.8 \text{ Kcal/cm}^2/250 \text{ m/mois}$). Le réchauffement est plus rapide dans le carreau Z.O.N. que dans Z.O.S., par contre en hiver il se situe à mi-chemin entre ces deux régions.

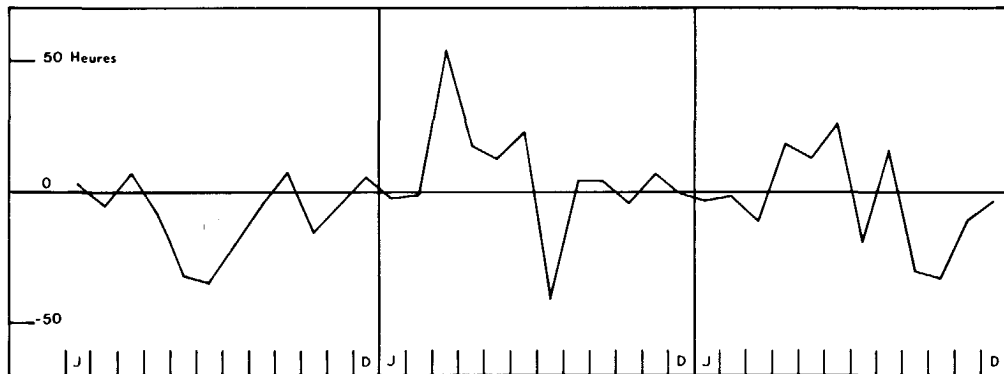
.../...

ECARTS A LA MOYENNE

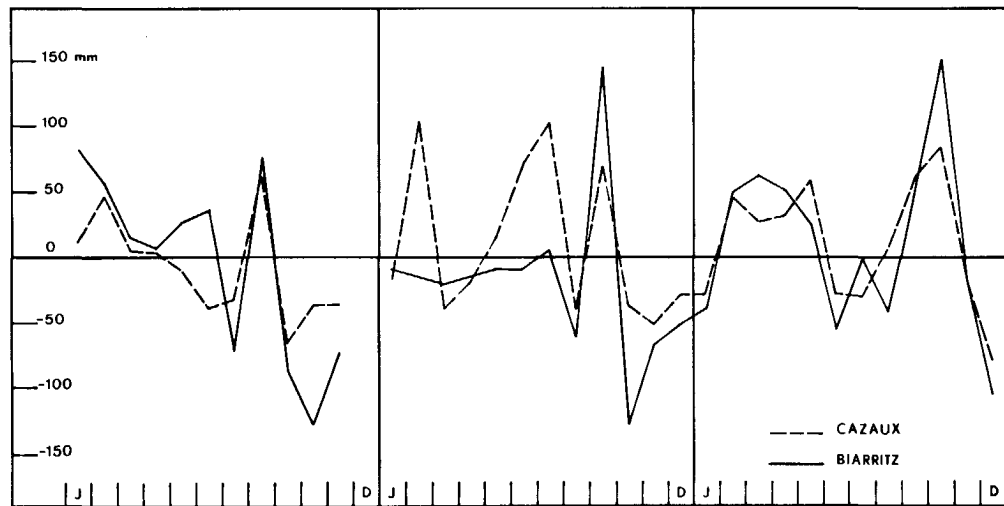
Contenus thermiques



Insolations



Précipitations



Précipitations

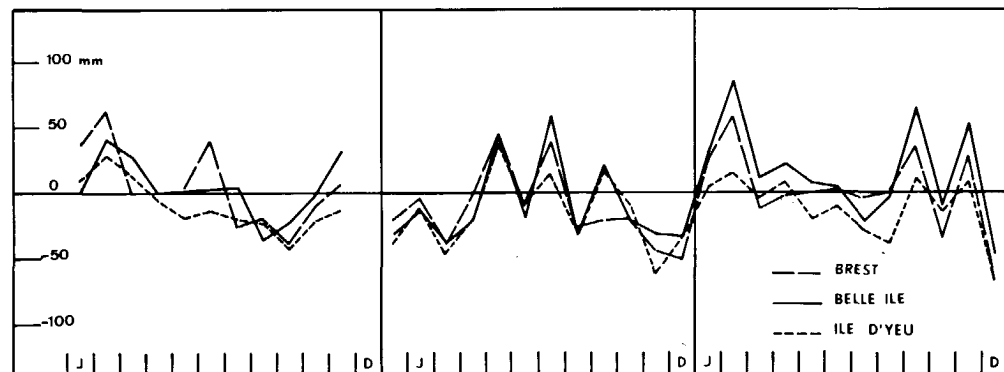


Figure 74

Dans chaque zone et pour chaque campagne, l'écart à la courbe moyenne de contenu thermique a été calculé. Ces écarts sont reportés pour chaque zone Fig. 74 . Les stations n'ont pas toujours été faites aux mêmes positions, des écarts importants entre campagnes peuvent donc être dus à la répartition et au nombre de stations dans les carrés considérés. Ces trois courbes doivent donc être interprétées avec prudence.

On remarque que les écarts les plus importants sont observés sur la zone Z.G.G. et les plus faibles sur Z.O.N..

La zone Z.G.G. est celle qui, comme nous l'avons vu précédemment, présente la plus grande différence de contenu thermique entre l'hiver et l'été. Le réchauffement et le refroidissement y étant donc plus rapides, du fait de la proximité de masses continentales, des situations climatologiques différentes d'une année sur l'autre provoquent un écart de contenu thermique par rapport à la normale plus grand que sur une autre zone.

Par ailleurs, on a calculé, pour les cinq stations côtières déjà utilisées chapitre I, les écarts par rapport à leur courbe moyenne d'insolation (sur 5 ans). La moyenne de ces écarts est reportée sur la même figure (Fig. 74)

On remarque qu'une certaine analogie existe entre la courbe d'écarts d'insolation et les courbes d'écarts de contenu thermique :

- en 1972, le déficit en insolation de toute la période de réchauffement se retrouve fin août sur la courbe d'écarts de contenu thermique pour les zones Z.G.G. et Z.O.S. ;

- en octobre, le très faible contenu thermique de Z.G.G. ne semble pouvoir s'expliquer que par une prépondérance des pertes par évaporation sur le gain par rayonnement qui est encore déficitaire par rapport à la normale. Le déficit en insolation ad'ailleurs été, en septembre, plus important à Biarritz et Cazaux qu'aux trois autres stations plus nord ;

- nous attribuons aux très fortes insulations de mars 1973 un retour à des valeurs proches ou supérieures à la normale du contenu thermique très faible de fin 1972, dans les zones Z.G.G. et Z.O.N. ;

- une nouvelle chute des écarts de contenu thermique par rapport à la moyenne reflète le déficit en heures d'insolation de juillet 1973 ;

.../...

- après un retour à la normale en hiver, les fortes insolutions d'avril, mai et juin 1974 ne se répercutent de manière sensible que sur les contenus thermiques de Z.G.G. (et Z.O.N.) ;

- le déficit de contenu thermique des zones Z.G.G. et Z.O.N. en septembre 1974 est lié aux faibles insolutions de cette période.

Comparons maintenant les courbes d'écarts de contenu thermique et d'écarts de précipitations par rapport aux conditions normales (Fig. 74). En période d'évaporation (automne), on constate que des précipitations excédentaires ne coïncident pas toujours avec un contenu thermique déficitaire (forte évaporation). En effet, la coïncidence est bonne en 1974 mais ne l'est pas du tout en 1972 où, malgré un contenu thermique très déficitaire, les pluies ont néanmoins été très faibles.

III - Comparaison entre campagnes effectuées à la même époque

Afin de compléter ces résultats, il est intéressant de comparer entre elles des campagnes effectuées d'une année sur l'autre à une même époque. On pourra ainsi tenter d'expliquer les variations annuelles observées et les relier aux conditions météorologiques moyennes ou les corréler à un paramètre bien précis, tel que le vent, l'insolation, la température de l'air, etc...

Une première difficulté réside dans le fait que les campagnes n'ont pu être effectuées d'une année sur l'autre à une même saison. Une autre est liée à la non simultanéité des mesures. Ainsi, pendant une campagne de 20 jours, le contenu thermique peut évoluer de 7 à 8 Kcal/cm² (Phygas 33 ou 42 par exemple).

- Malgré ces restrictions, il est cependant intéressant de comparer les campagnes 33 et 42 effectuées toutes deux en Juillet à un an d'intervalle.

La carte des différences de contenu thermique entre Phygas 33 et Phygas 42 est présentée fig. n°75. Seules des différences de contenu thermique négatives ou supérieures à 10 Kcal peuvent avoir une valeur significative, en effet ces deux campagnes se placent en période de réchauffement rapide et trois semaines de décalage entre deux stations effectuées au même point sont la cause d'un écart de 9 Kcal environ (fig. n°73). On peut cependant remarquer que le Golfe de Gascogne (à l'Est d'une ligne Penmarch-La Corogne), étudié aux mêmes dates les deux années, n'avait acquis en Juillet 73 que peu de calories par rapport à l'année suivante.

La partie à l'Ouest du 9°W et au Sud du 46°30N, effectuée en 1973, trois semaines plus tard, a par contre emmagasiné une quantité de chaleur plus importante en 1973 (car elle dépasse 10 Kcal), spécialement entre 45°N et 46°N.

Les cartes de températures de surface montrent une répartition très différente des isothermes aux deux campagnes (fig.76a et fig. 76b), ce qui traduit des situations hydrologiques très différentes.

Ces cartes suggèrent l'influence d'eaux venant du Sud pendant la campagne Phygas 42, si bien que le réchauffement saisonnier n'est apparent que dans le Golfe de Gascogne. Entre 45° et 46°N, à l'Ouest, un phénomène d'advection plus intense à Phygas 33 qu'à Phygas 42 pourrait expliquer cet écart de contenu thermique. Cette arrivée d'eau par l'Ouest est confirmée par le fait qu'aux stations de cette région on observe à Phygas 33 une structure type eau centrale Nord Atlantique entre 100 et 600 m beaucoup plus marquée (station 8 de Phygas 42 et station 46 de Phygas 33 , fig. 77).

.../...

Ecart de contenu thermique sur 250 m
entre Phygas 33 et Phygas 42

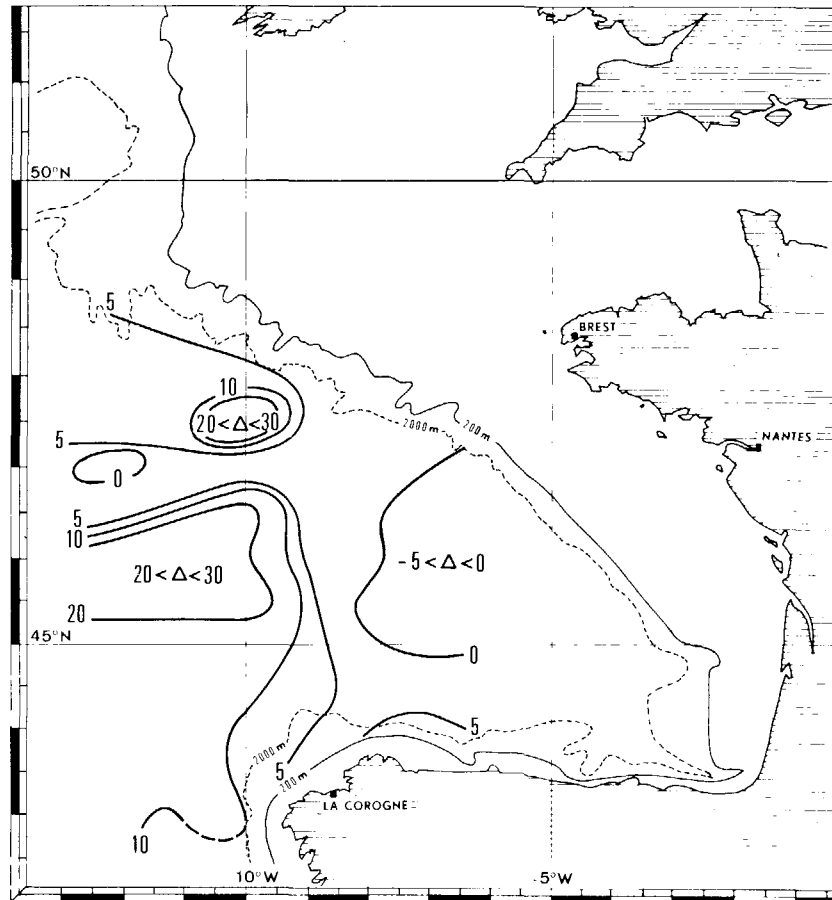
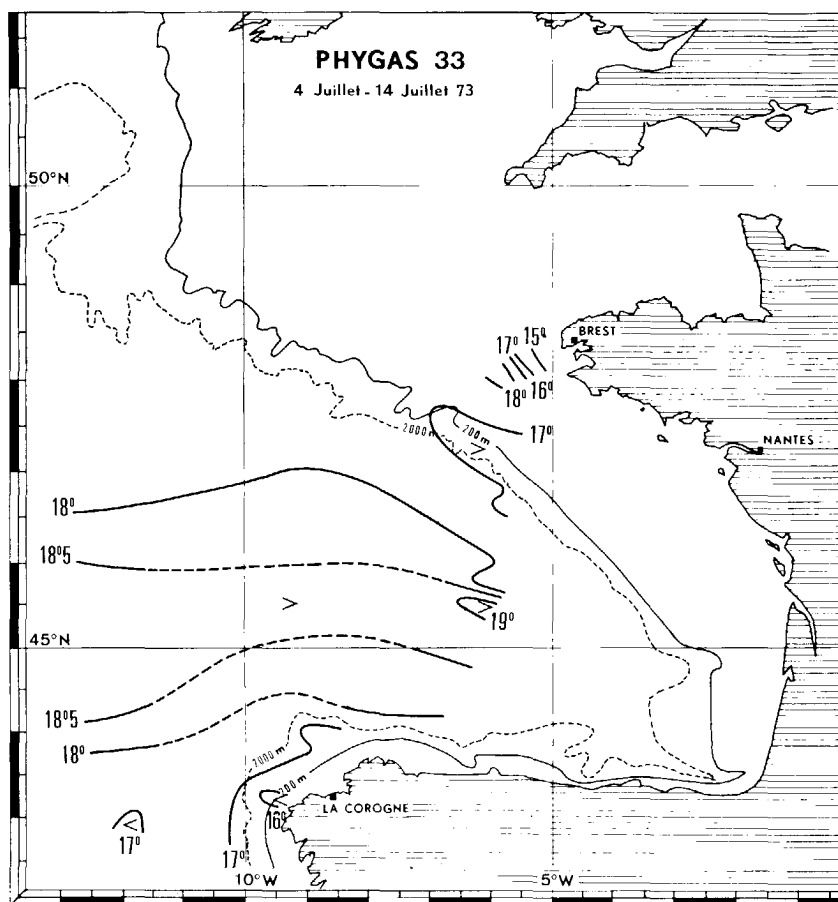
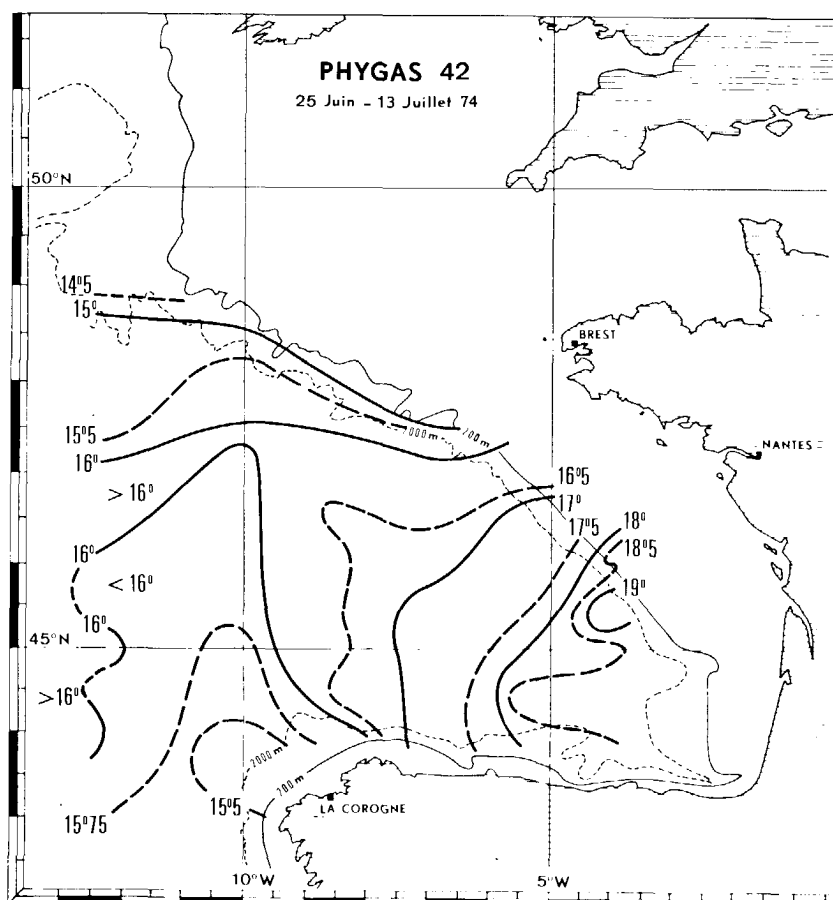


Figure 75

Températures de surface



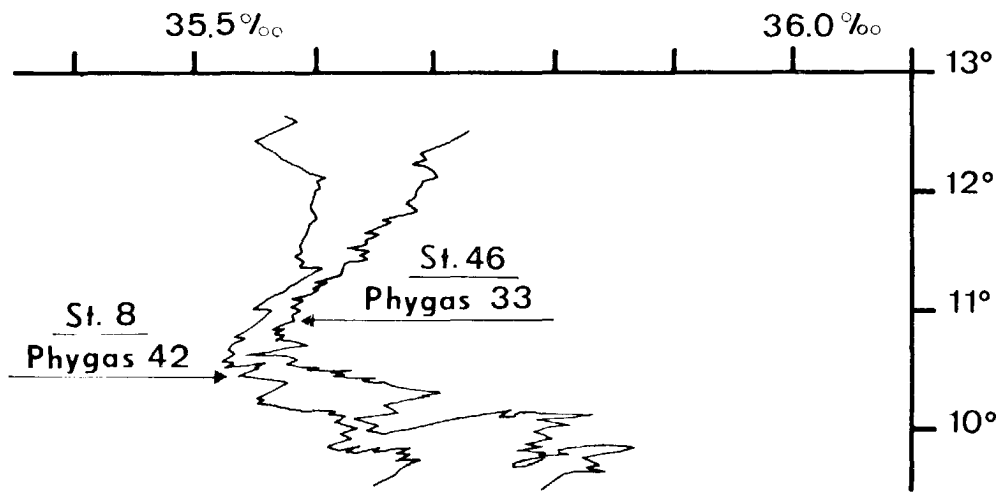
a



b

Figure 76

Diagrammes T S



Profils de température

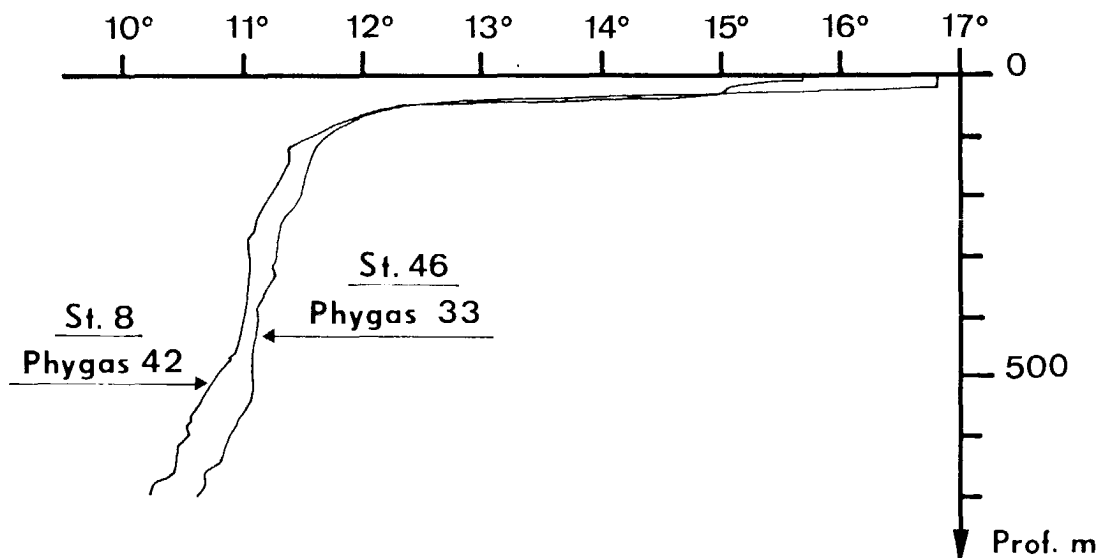


Figure 77

- Les campagnes Phygas 34 et Phygas 43 peuvent être considérées comme faites toutes deux en période de réchauffement maximum bien que la mission de 1974 se soit déroulée une dizaine de jours plus tôt que celle de 1973. En effet la situation climatologique du mois de Septembre 1974 (températures et durées d'insolation très déficitaires, vents plus forts) semble arrêter le phénomène de réchauffement qui l'année précédente s'était prolongé jusqu'à la seconde quinzaine de septembre.

Les cartes de température de surface publiées par la Météorologie Maritime pour le proche Atlantique (fig. n°78) indiquent qu'en 1973 la surface de la mer n'a commencé à se refroidir que la 2e décade de Septembre, alors que l'année suivante ce refroidissement a débuté dès la première décade.

Les cartes de température de surface de Phygas 34 et 43 montrent une différence notable entre les deux années. Sur toute la zone elles sont supérieures en 1973 de 1 à 2°C (fig.79)

La carte des différences de contenu thermique montre inversement qu'en fin septembre 74 certaines zones avaient un contenu thermique plus élevé que celui de 1973. En particulier à la latitude du Cap Finistère, ces contenus thermiques élevés sont obtenus à des stations pour lesquelles les faibles températures de surface sont associées à une thermocline plus profonde. Ceci traduit l'influence du brassage mécanique du au vent (fig.80).

- Les deux campagnes Phygas 22 et Phygas 32 effectuées toutes deux fin Avril, début Mai peuvent également être comparées.

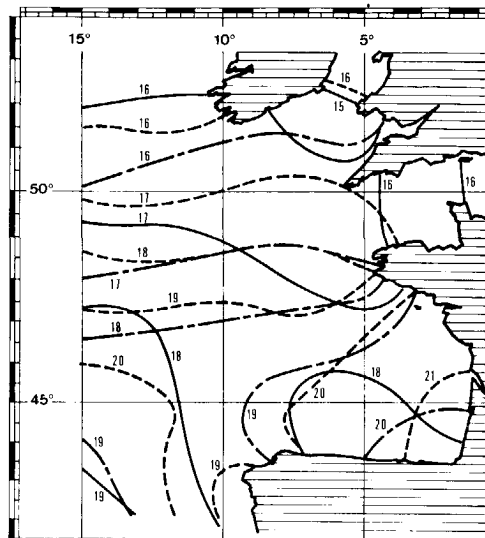
Bien que la campagne de 1973 se soit déroulée une semaine plus tôt que celle de 1972, et que l'on soit en période de réchauffement, les températures de surface et les contenus thermiques obtenus à la campagne Phygas 32 sont cependant plus élevés que ceux de Phygas 22 (fig. n° 81).

Les conditions climatologiques de la période précédant ces campagnes sont la cause des différences observées. En effet en Mars et Avril 1973 l'insolation fut beaucoup plus importante qu'en 1972. Ces résultats sont confirmés par les cartes de températures de surface établies par la Météorologie Maritime sur lesquelles on peut voir la période de réchauffement débiter plus tôt et plus rapidement en 1973 (fig.82).

TEMPERATURES DE SURFACE

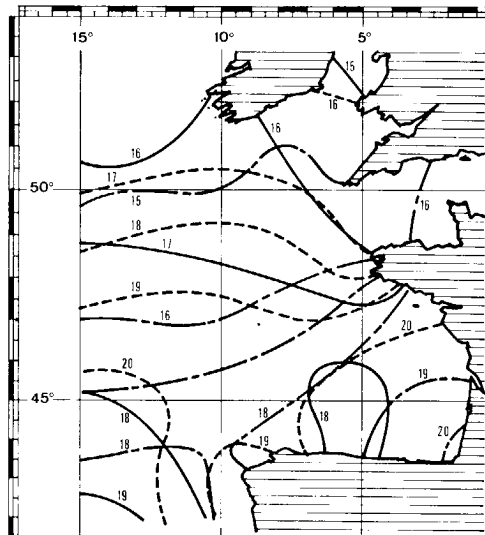
D'APRES LA METEOROLOGIE NATIONALE

AOÛT 3^e DECADE



— 1972
- - - 1973
- . - 1974

SEPTEMBRE 1^{re} DECADE



SEPTEMBRE 2^e DECADE

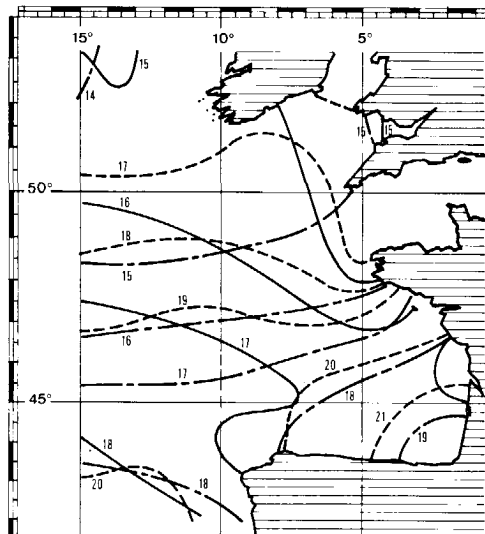


Figure 78

Températures de surface

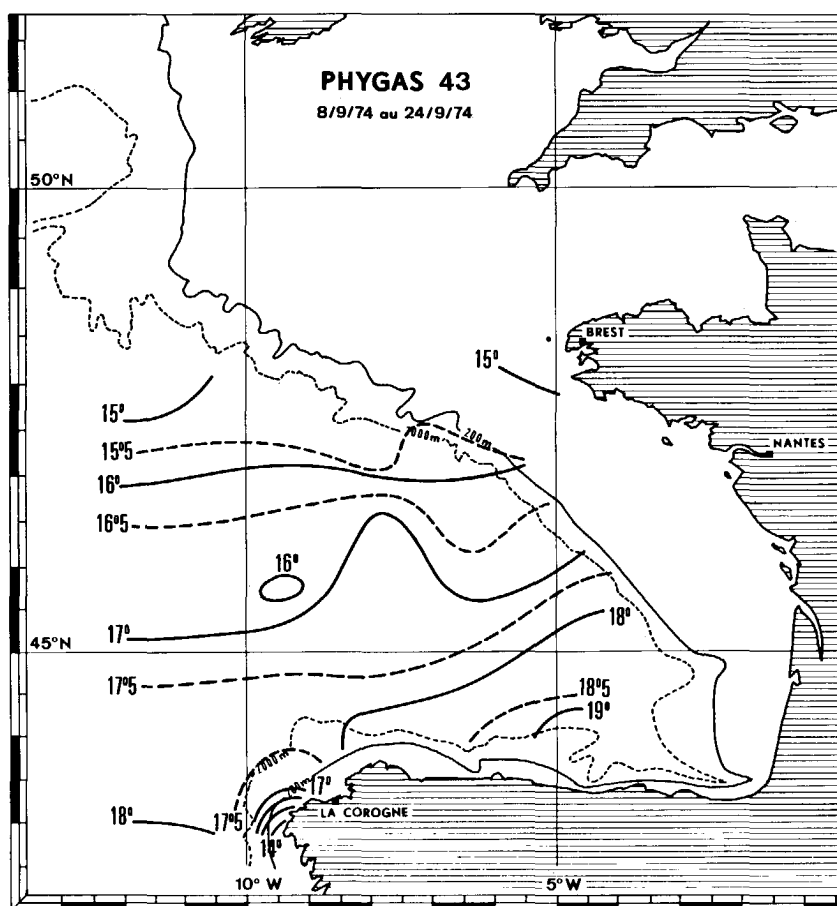
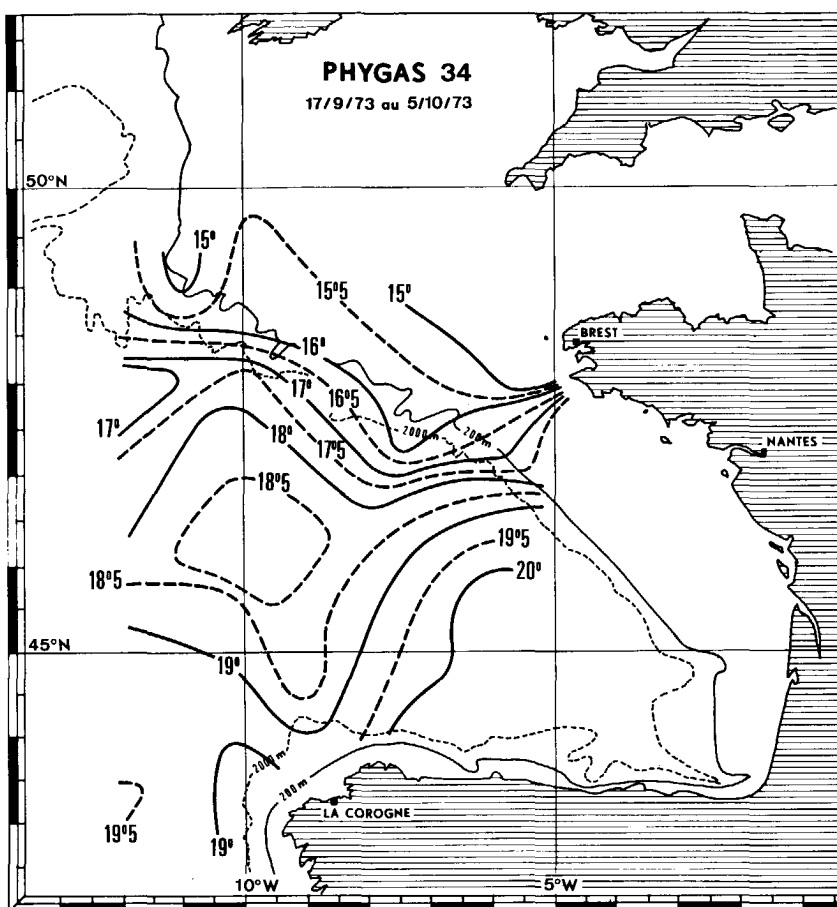


Figure 79

**Ecart de contenu thermique sur 250 m
entre Phygas 34 et Phygas 43**

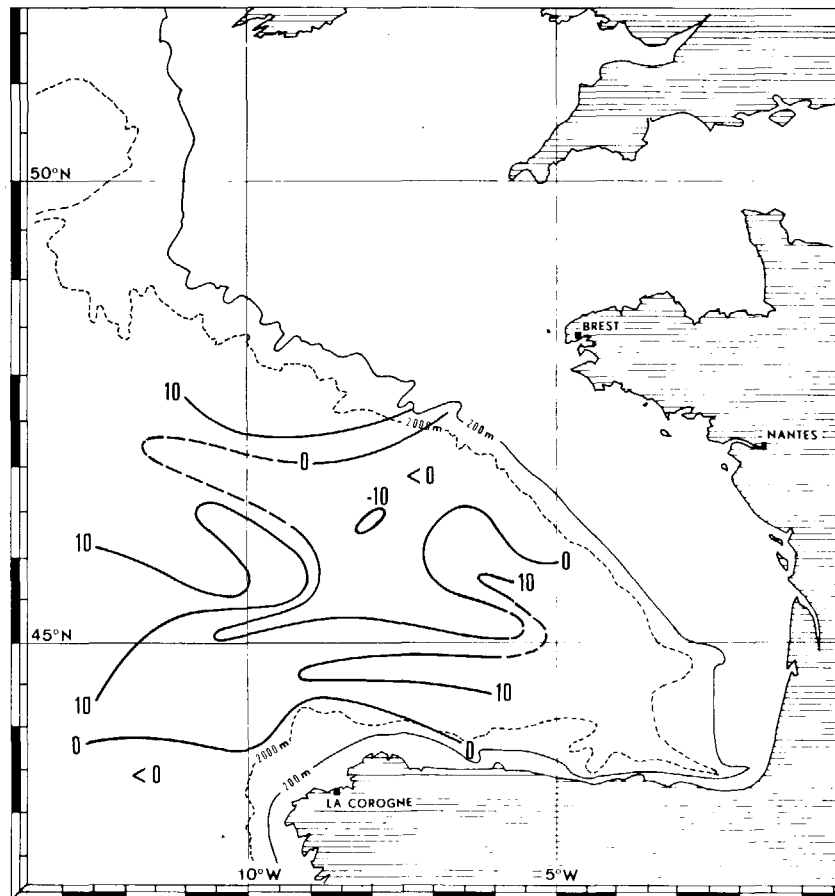


Figure 80

Contenu thermique des 100 premiers mètres

----- Phygas 22
——— Phygas 32

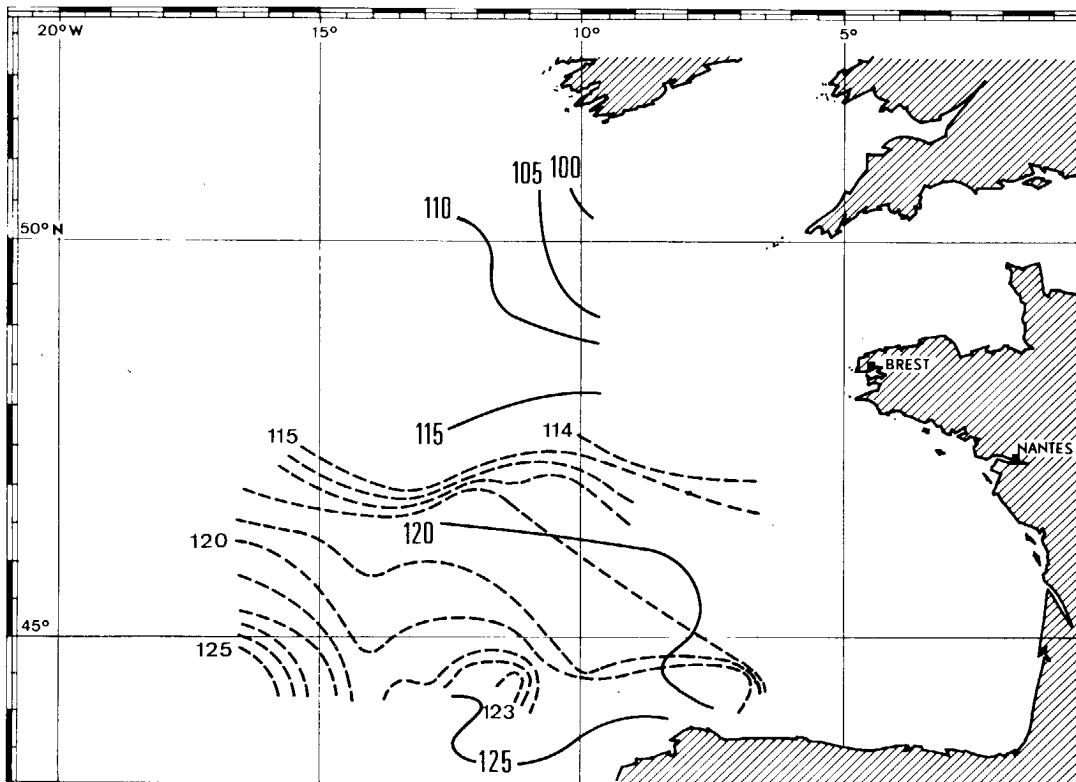
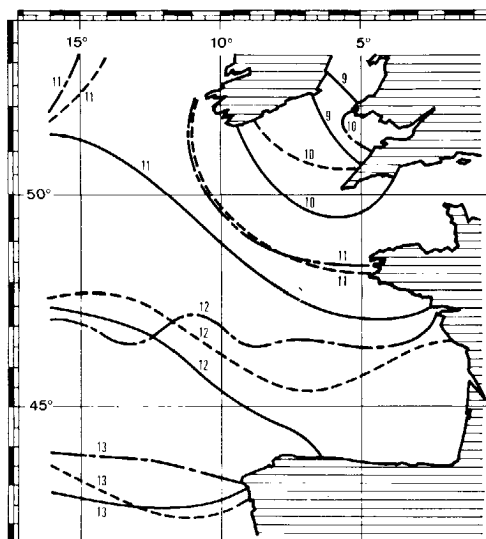


Figure 81

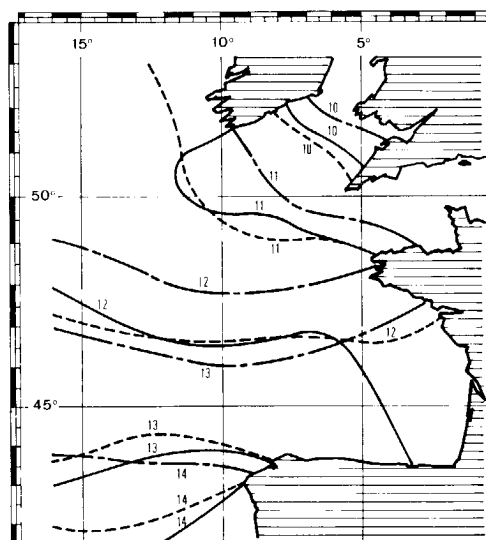
TEMPERATURES DE SURFACE

D'APRES LA METEOROLOGIE NATIONALE

1972



1973



—————	AVRIL 3 ^e DECADE
- - - - -	MAI 1 ^e DECADE
- . - . -	MAI 2 ^e DECADE

Figure 82

CONCLUSION

Les quatre études hydrologiques de ce rapport sur les campagnes effectuées en 1974, ont montré que l'ensemble de la zone ne constitue pas un tout homogène.

- Les différentes méthodes d'approche utilisées ont conduit à distinguer :
 - . Une zone Sud Ouest soumise à la dérive Nord Atlantique. Sa frontière Nord est nette et se déduit aisément de l'étude des diagrammes TS.
 - . Une zone océanique Nord, influencée en surface par des eaux côtières.
 - . Une zone de transition entre ces deux secteurs qui comprend le Golfe de Gascogne et dans laquelle les diagrammes TS évoluent lentement d'Ouest en Est.
 - En toutes zones les courants de surface calculés par rapport à la surface 550 ou 600 dbars sont faibles et mal définis.
 - L'étude des variations saisonnières a été abordée à partir de trois "zones types" :
 - . Le Golfe de Gascogne, du fait de la proximité des masses continentales et de la faiblesse des courants, réagit plus vite que la zone océanique aux modifications climatologiques. Cette zone est celle qui acquiert la plus grande quantité de chaleur entre l'hiver et l'été (25 % de plus que sur les deux autres zones).
 - . La zone océanique Nord présente des écarts très faibles par rapport à sa courbe moyenne d'évolution de contenu thermique au cours de l'année.
 - . La zone océanique Sud, soumise à des phénomènes d'advection plus prononcés que dans les autres secteurs, est celle qui réagit le moins aux modifications de l'insolation.
 - La comparaison des courbes d'écarts à la moyenne de contenu thermique et d'insolation montre que si dans certains cas l'insolation explique le déficit ou au contraire l'excédent de contenu thermique, ce n'est pas le seul facteur intervenant dans le processus de réchauffement de l'eau. Un contenu thermique déficitaire en Automne (forte évaporation) n'est pas toujours lié à une pluviométrie excédentaire.
 - La comparaison des différentes campagnes effectuées d'une année sur l'autre est faussée d'une part par les décalages dans le temps des différents trajets et d'autre part par le fait que les stations n'ont pas toujours été effectuées à la même position.
- Ces comparaisons montrent cependant que des différences importantes des températures de surface ne reflètent pas toujours des écarts importants des quantités de chaleur emmagasinées dans la couche superficielle.

L'examen des deux campagnes Phygas 33 et 42 montre l'importance des phénomènes d'advection.

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

- BARY, B. Mck, 1963 -
Temperature salinity and plancton in the North-Atlantic and coastal waters of Britain, 1957.
I. The characteristics and distribution of surface waters.
(J. Fish. Bd. CANADA, 20 (3), p. 789-826),
- DIETRICH, G., 1969 -
Atlas of the Hydrography of the Northern North Atlantic Ocean,
- FRUCHAUD, B., 1973 -
Etude hydrologique et variations saisonnières dans le Proche Atlantique en 1972.
(Contribution 263 du D.S. du Centre Océanologique de Bretagne),
- HENAFF, G., 1973 -
Contribution à l'étude de l'Océanographie physique du secteur Nord Gascogne,
(Thèse de 3ème Cycle - Faculté des Sciences de Brest),
- LE FLOC'H, J., 1968 -
Quelques propriétés des eaux d'origine méditerranéenne dans le Golfe de Gascogne,
(Travaux du C.R.E.O., vol. VII, fasc. 3 et 4),
- LE FLOC'H, J., 1968 -
Sur la circulation de l'eau d'origine méditerranéenne dans le Golfe de Gascogne et ses variations à courte période.
C.I.E.S.M., Monaco 1968
(C.O.E.C., XXI, 7, Juillet-Août 1969),
- LE FLOC'H, J., 1970 -
Evolution rapide de régimes de circulation non permanents des couches d'eaux superficielles dans le secteur Sud-Est du Golfe de Gascogne.
(C.O.E.C., XXII, 3, Mars 1970).
- LE FLOC'H, J., LE TAREAU, J.Y., TANGUY, A., 1975 -
Campagnes 1973 : PHYGAS 31 et 34.
Rapport scientifique C.N.E.X.O. - U.B.O.
- FRUCHAUD-LAPARRA, B., LE FLOC'H, J., LE TAREAU, J.Y. et TANGUY, A., 1975 -
Etude hydrologique et variations saisonnières dans le Proche Atlantique en 1973. Publications du C.N.E.X.O. (Rapports scientifiques et techniques du C.N.E.X.O.) - A paraître.
- LE MAGUERESSE, A., 1974 -
La structure thermique sur le plateau continental dans le secteur Ouest-Bretagne, son évolution annuelle et quelques aspects de sa variabilité dans une zone frontale.
(Thèse de 3ème cycle - Faculté des Sciences de Brest).
- MADELAIN, F., FRUCHAUD-LAPARRA, B., 1975 -
Variations saisonnières dans le Golfe de Gascogne et le Proche Atlantique.
XVIème Assemblée Générale de l'U.G.G.I., GRENOBLE, 1975.
Contribution n° 400 du Département Scientifique du Centre Océanologique de Bretagne.
- MADELAIN, F.,
Influence de la topographie du fond sur l'écoulement méditerranéen entre le détroit de Gibraltar et le Cap St Vincent.
(Cah. Océanogr., XXII (1), Janvier 1970, p. 43-61).

PICAUT, J., 1972 -

Influence de la topographie du fond sur la circulation générale dans le Golfe de Gascogne.

(Thèse de 3ème cycle - Faculté des Sciences de Brest).

VINCENT, A., 1973 -

Les variations de la situation thermique dans le Golfe de Gascogne en 1969 et 1970.

(Rev. Trav. Inst. Pêches Marit., 37 (1)).

VINCENT, A., et KURC, G., 1969 -

Hydrologie - Variations saisonnières de la structure thermique du Golfe de Gascogne en 1967.

(Rev. Trav. Inst. Pêches Marit., 33 (1), p. 79-96).

VINCENT, A. et KURC G., 1969 -

Les variations de la situation thermique dans le Golfe de Gascogne et leur incidence sur l'écologie et la pêche de la sardine en 1968.

(Rev. Trav. Inst. Pêches Marit., 33 (2), p. 203-212).

Edité par
Imprimerie Commerciale et Administrative
21-23, rue Jean Jaurès
29200 Brest

Décembre 1976

Toute demande de cette publication devra être adressée au

SERVICE DOCUMENTATION
CENTRE OCEANOLOGIQUE DE BRETAGNE
B.P. 337 - 29273 BREST