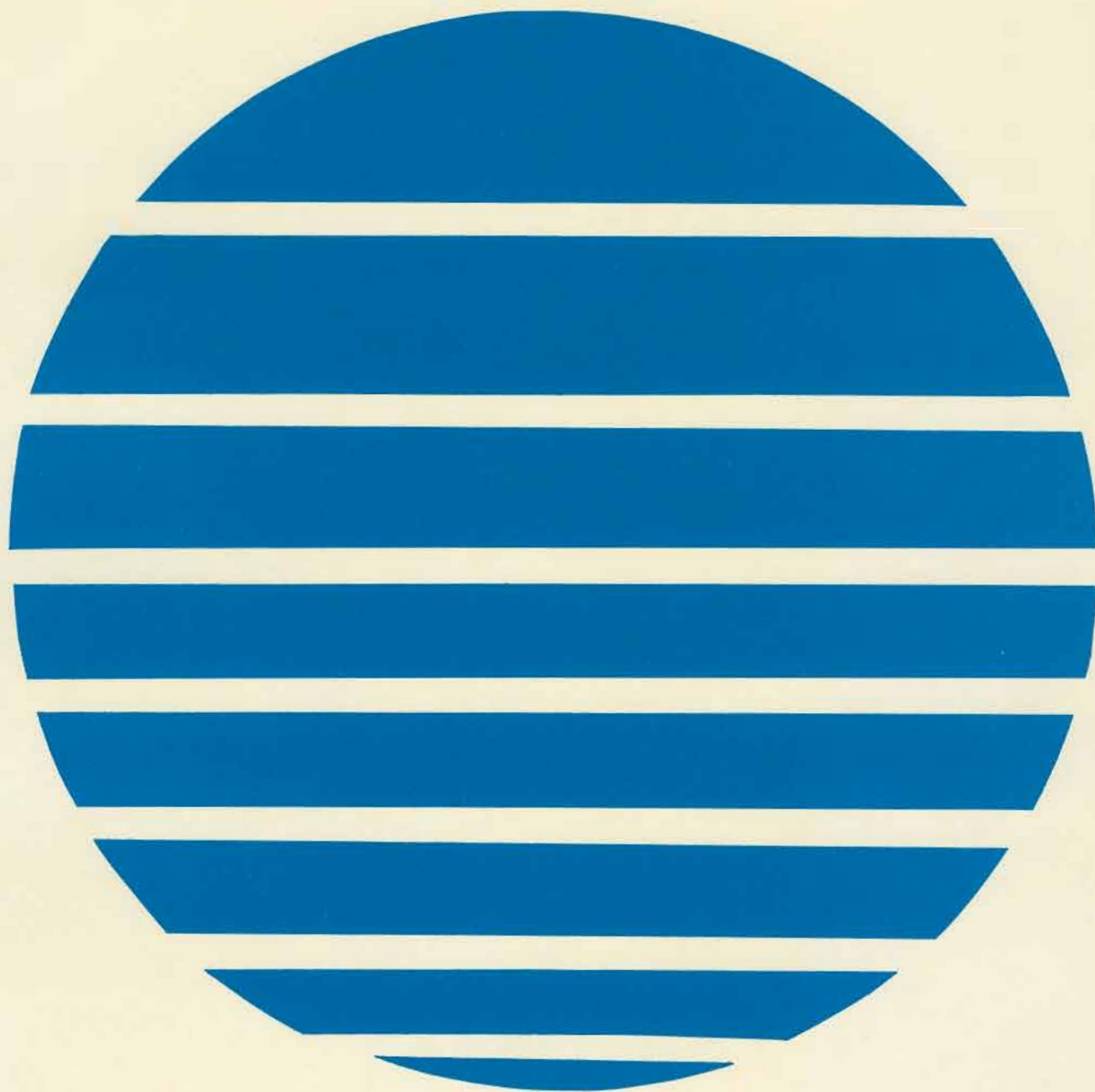


# ANNALES HYDROGRAPHIQUES

5ème Série - Vol. 7, fasc. 2 - 1979

N° 752



Service Hydrographique  
et Océanographique de la Marine - Paris

- Toute correspondance relative au contenu de cette publication, et notamment à l'insertion d'articles, doit être adressée au Service Hydrographique et Océanographique de la Marine, 3, avenue Octave-Gréard, 75200 Paris Naval.
- Toute correspondance relative au service de cette publication doit être adressée à l'Établissement Principal du Service Hydrographique et Océanographique de la marine, 13, rue du Chatellier, B.P. 426, 29275 Brest Cedex.

# ANNALES HYDROGRAPHIQUES

---

## TABLE DES MATIÈRES

|  | Pages |
|--|-------|
| <b>Première partie</b>   |       |
| Contribution à l'étude de la formation et de l'évolution du front thermique sur le plateau continental breton, par Mme Silvia L. GARZOLI, Laboratoires d'Océanographie physique du Muséum National d'Histoire Naturelle et de l'Université de Bretagne occidentale . . . . . | 5     |
| Etude de la variation du niveau moyen en Manche, par M. B. SIMON, Ingénieur Civil sous contrat, Etablissement Principal du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine. . . . .   | 27    |
| <b>Deuxième partie</b>   |       |
| Bureau d'Etudes Océanographiques (1 <sup>er</sup> août 1969 - 15 décembre 1971), par M. J. VICARIOT, Ingénieur en chef de l'Armement (hydrographe) . . . . .   | 49    |



*PREMIÈRE PARTIE*

---



# CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE LA FORMATION ET DE L'ÉVOLUTION DU FRONT THERMIQUE SUR LE PLATEAU CONTINENTAL BRETON

par

Mme Silvia L. GARZOLI (\*)

Laboratoires d'Océanographie Physique du Muséum National et d'Histoire  
et de l'Université de Bretagne Occidentale

## RESUME

Nous avons étudié, grâce à un modèle théorique simple, l'hypothèse suivant laquelle le front thermique, sur le plateau continental breton, est lié à la turbulence engendrée par les courants de marée.

Nous avons défini un critère de formation de ce front en considérant un paramètre où interviennent l'amplitude maximum du courant de marée et la profondeur de la mer. Une valeur critique du nombre de Richardson ( $Ri_c = 0,05$ ), établie à partir des données hydrologiques, caractérise la frontière entre régimes stratifié et homogène.

Le processus de formation du front thermique a été étudié par un modèle qui considère que, dans les régions homogènes, le réchauffement tend à se répartir uniformément entre la surface et le fond et que, dans les régions stratifiées, l'agitation marine liée aux courants de marée ne suffit pas à détruire la structure thermique que nous prédisons grâce à un modèle élémentaire de thermocline.

Deux coupes ont été étudiées théoriquement et il y a bon accord entre les différentes valeurs théoriques et celles provenant des mesures.

Nous avons étudié la variation de  $Ri$  avec le temps au cours du cycle annuel en fonction de l'amplitude des courants de marée ; le front thermique se déplace vers l'Ouest entre les mois de juin et de novembre.

Une partie des écarts entre la réalité marine et les résultats de modèle semble imputable à l'advection.

## ABSTRACT

The hypothesis that the thermal front, on the continental shelf of Brittany, is generated by tidal effects, is studied on a simple theoretical model. A criterium for its formation is derived on considering a Richardson number based on the tidal stream amplitude. A critical value ( $Ri_c = 0.05$ ), which marks the boundary between mixed and stratified regimes, is inferred from observations.

The front formation is reproduced by a model which considers that, in the mixed regime, the flux across the surface is distributed along the whole water column, while in the stratified regime ; the turbulence due to tides is not strong enough to destroy the thermal structure, predicted by a simple model.

Two cross sections were studied and the comparison between measurements and theory was done. In the stratified regions, there is a good agreement between observations, average values and predicted surface temperature values. In the non-stratified regions, the theoretical curve passes through the points given by observations.

Predicted surface temperatures were obtained with an error less than  $1^\circ\text{C}$  in both cases. Theoretical temperatures on the bottom are smaller than those measured by about  $2^\circ\text{C}$ .

Taking into account the horizontal diffusion does not improve the results substantially.

The variation of  $Ri$  along the year gives the displacement of the thermal front during the year ; it moves towards the west between June and November.

Part of the discrepancy between the actual situation and the results of the model seems to be due to advection.

(\*) Travail effectué dans le cadre du contrat CNEXO n° 76/1489 passé avec l'Université de Bretagne Occidentale.  
Manuscrit reçu le 8 novembre 1978.

## I. INTRODUCTION

De nombreux auteurs ont mis en évidence l'existence d'une zone frontale thermique bien marquée, globalement orientée Nord-Sud, au large de  $G = 5^{\circ}00' W$  et au Nord du 48<sup>ème</sup> parallèle. On peut citer entre autres Dietrich (1950), Cooper (1967), Bary (1963), Southward (1962), Graff et Le Fèvre (1971), Pingree (1975) et Pingree, Holligan, Mardell et Head (1976).

Plus récemment, l'observation du front a pu être faite à bord du N.O. *Capricorne* aux mois de septembre et

d'octobre 1975 par le Laboratoire d'Océanographie Physique de la Faculté des Sciences de Brest. Les résultats de cette campagne CAPRIROISE ont été présentés par Raillard (1976) et confirmés par des mesures exécutées parallèlement par le Laboratoire de Météorologie Dynamique en utilisant un radiomètre "Aries" aéroporté (Dechambenoy, Le Floch, Pontier, Raillard et Sirou, 1977).

Les résultats obtenus ont été présentés pour les trois périodes suivantes : du 18 au 28 septembre, du 1<sup>er</sup> au 8 octobre et du 20 au 28 octobre (J. Raillard, 1976).

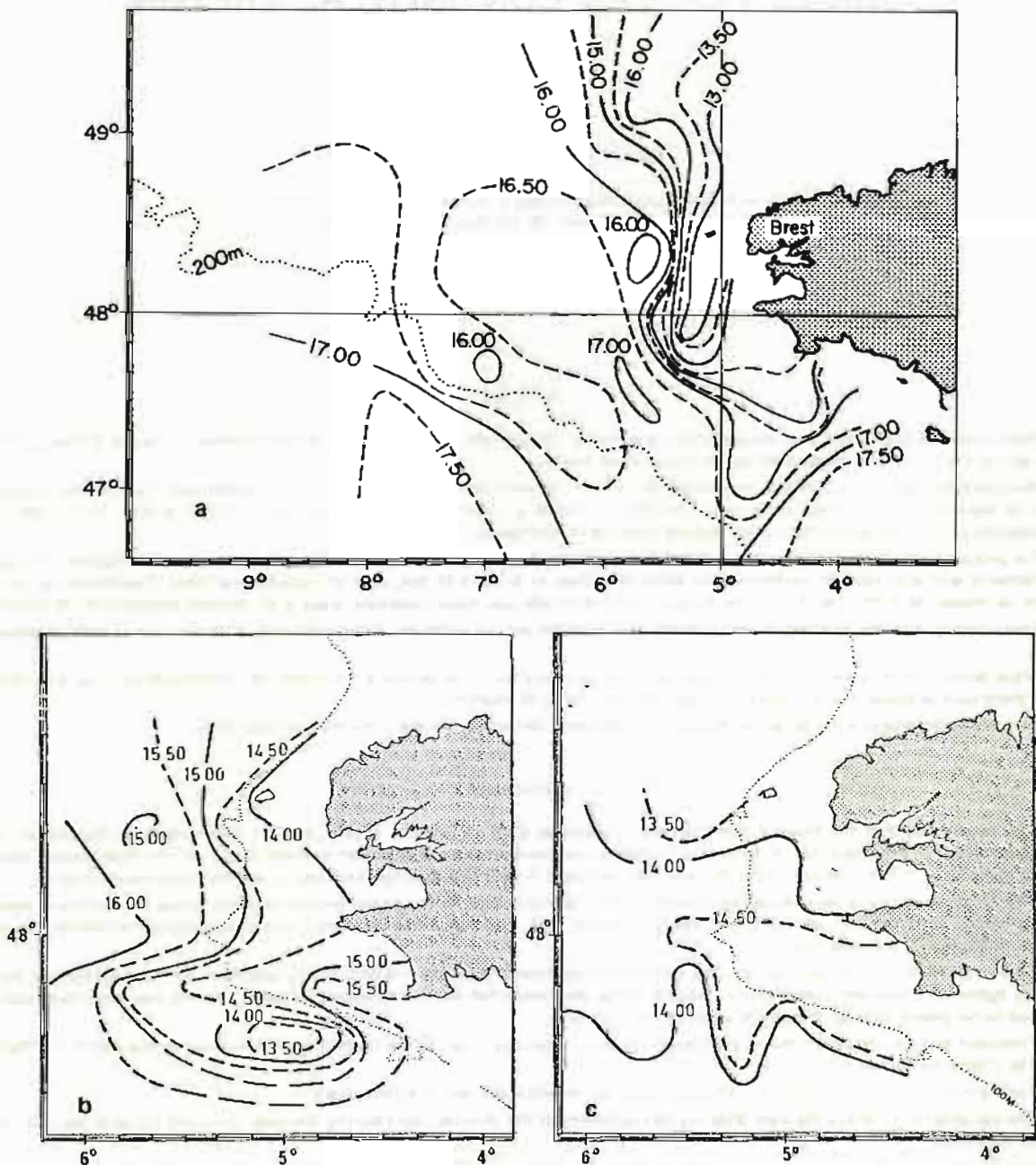


FIG. 1.

Températures de surface - Capriroise. a) 1ère partie : 18 au 28 septembre 1975 ; b) 2ème partie : 1er au 8 octobre 1975 ; c) 3ème partie : 20 au 28 octobre 1975. (d'après Raillard, 1976).

Surface temperature - Capriroise. a) 1st part : 18 to 28 september 1975 ; 2nd part : 1 to 8 october 1975 ; c) 3rd part : 20 to 28 october 1975. (According to Raillard 1976).



Pour la première période (fig. 1-a) l'existence d'une zone frontale thermique bien marquée, globalement orientée Nord-Sud le long du méridien 5°, 5 W au Nord du 48<sup>ème</sup> parallèle et se prolongeant, au Sud de ce parallèle, vers la pointe de Penmarch et la côte Sud de Bretagne a été mise en évidence.

Au cours de la deuxième période (fig. 1-b), le front devient moins intense, pour disparaître complètement au cours de la troisième période (fig. 1-c).

Le mécanisme de formation du front a été décrit par Raillard (1976) de la façon suivante :

"Au large, nous avons deux couches homogènes, l'une en surface, l'autre au fond. Celle de surface est produite par l'action du vent qui a pour effet de distribuer dans toute cette couche l'apport calorifique dû au rayonnement solaire. Au fond, nous trouvons de l'eau dont les caractéristiques ont été acquises pendant les mois d'hiver".

En se rapprochant de la côte et de l'entrée de la Manche, deux phénomènes se superposent, tout d'abord la remontée du fond et d'autre part, l'augmentation de la vitesse des courants de marée. La turbulence engendrée par le frottement sur le fond des courants de marée violents provoque une homogénéisation des eaux en température de la surface au fond. Cette eau est, par rapport aux eaux situées à l'Ouest du front, plus froide que celles de surface mais plus chaude que celles du fond par suite du mélange se produisant dans la zone homogène. Toutes les coupes effectuées perpendiculairement au front devraient donc avoir l'aspect très général de la figure 2. On se propose dans ce travail de trouver un modèle simple pour reproduire le phénomène observé et schématisé dans cette figure, puis, sur la base de ce modèle, d'étudier l'évolution du front thermique, c'est-à-dire son déplacement mois par mois au cours de l'année.

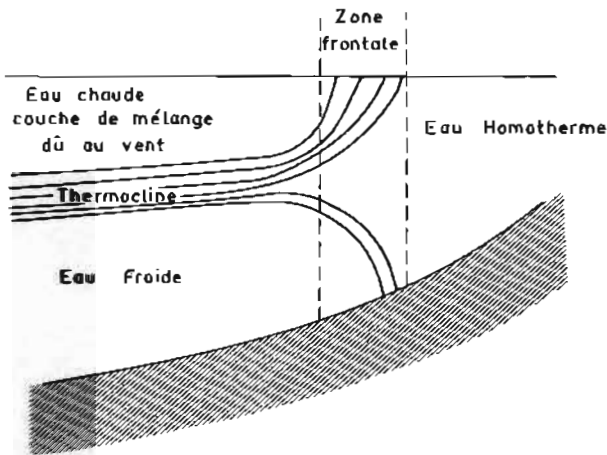


FIG. 2.  
Aspect schématique d'une zone frontale (d'après Raillard)  
Schematic aspect of a frontal zone.

## II. LE NOMBRE DE RICHARDSON COMME PARAMETRE DE STRATIFICATION

Des modèles simples du phénomène ont été proposés pour la Mer d'Irlande par Simpson et Hunter (1974), d'une part, et par Fearnhead (1975), d'autre part. Les auteurs définissent un "paramètre de stratification" en considérant que la transition entre régime stratifié et régime non stratifié est essentiellement régie par l'amplitude des courants de marée.

A partir de différentes observations, nous avons déduit une valeur critique qui marque la limite entre ces 2 régimes. Le nombre de Richardson (Ri) est, pour une couche de fluide donnée, le rapport entre l'énergie potentielle de stratification et l'énergie cinétique turbulente existant dans cette même couche. Si ce rapport est inférieur à une certaine valeur (Ri<sub>c</sub>), de l'ordre de un dans l'océan, l'énergie cinétique de turbulence est assez importante pour détruire la stratification.

Donc, on peut formuler l'hypothèse que le nombre de Richardson

$$Ri = \frac{g}{\rho} \left\{ \frac{\partial \rho}{\partial z} \right\} \left( \frac{\partial u}{\partial z} \right)^{-2} \tag{1}$$

peut rendre compte de la possibilité d'évolution des caractéristiques du mélange.

Si nous considérons les courants de marée dans la zone qui nous occupe, comme facteur déterminant de mélange, le nombre de Richardson qui rend compte de la frontière entre système stratifié et système homogène sera lié directement à leur amplitude, c'est-à-dire que nous pouvons considérer la valeur de  $u$  en (1) comme donnée pour l'amplitude maximale du courant de marée, pour la vive-eau moyenne (coefficient 95).

L'équation (1) s'écrit alors :

$$Ri = \frac{g}{\rho_0} \frac{\Delta \rho}{\Delta z} \frac{(\Delta z)^2}{(\Delta u)^2} \tag{2}$$

Dans l'expression de la densité

$$\Delta \rho = \rho - \rho_0 = \alpha \Delta T + \beta \Delta S$$

avec  $\alpha \approx -2 \times 10^{-4}$  et  $\beta \approx 8 \times 10^{-4}$ , on peut négliger le terme dépendant de la salinité car les variations de salinité sont faibles ( $\Delta S \approx 0.2^{\text{‰}}$ ) par rapport à celles de la température.

Par suite du frottement sur le fond, on peut supposer  $u_f = 0$  et le nombre de Richardson devient :

$$Ri = 0,196 \times \Delta T \times \frac{h}{u^2} \tag{3}$$

où  $\Delta T = \Theta_s - \Theta_f$  ;

et  $(\Delta u)^2 = (u_s - u_f)^2 = u_s^2 = u^2$

$h$  : profondeur de la mer

$\Theta$  : température potentielle et les indices  $s$  et  $f$  correspondent respectivement à la surface et au fond.

Aux points de mesure, le nombre de Richardson a été calculé à partir des données hydrologiques obtenues pendant la première partie de la campagne CAPRIROISE (18-28 septembre 1975) et des valeurs des courants de marée publiées par le Service Hydrographique de la Marine (1970). La vitesse  $u$  dans les équations (2) et (3) correspond à l'amplitude maximale du courant de marée.

La figure 3 montre les valeurs de  $Ri$  et de  $\Delta T$ . Si l'on considère que pour  $\Delta T \leq 0,25^\circ\text{C}$  il n'y a pas de stratification (océan homogène), nous pouvons supposer  $Ri$  critique ( $Ri_c$ ) égal à 0,05.

Le choix de cette valeur de  $\Delta T$  est arbitraire ; mais on notera que si on prenait  $\Delta T = 0,5^\circ\text{C}$ , le front serait pratiquement au même emplacement (Fig. 3).

La limite supérieure à laquelle le mouvement turbulent disparaît est donnée, en théorie, par  $Ri = 1$ . Cependant en réalité, des valeurs plus petites sont suffisantes (Defant, 1961). Les recherches théoriques et expérimentales faites par Taylor (1931) sur des petites oscillations dans un fluide stratifié en considérant une décroissance linéaire de la vitesse, ont démontré que la limite peut être prise pour  $Ri = 0,25$ . Dans notre cas ( $T = 0,25^\circ\text{C}$ ), la valeur critique obtenue  $Ri = 0,05$  apparaît comme admissible.

A partir de  $Ri_c = 0,05$ , nous pouvons calculer les valeurs de  $u^2/h$  pour lesquelles le mélange est tel que la stratification est impossible (océan homogène) :

$$Ri = 0,196 \times \Delta T \times \frac{h}{u_s^2} < 0,05$$

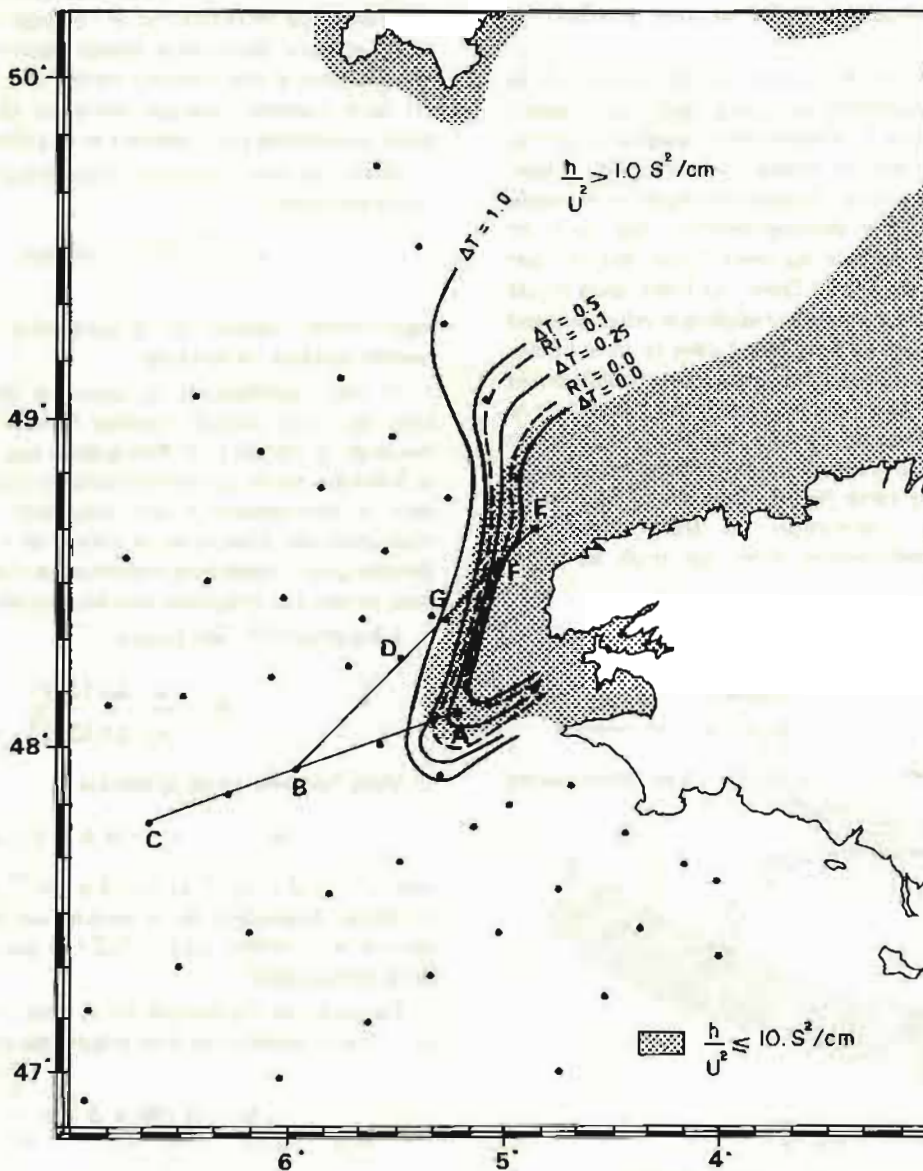


FIG. 3.

Lignes d'égalité valeur de  $Ri$  (—) et de  $\Delta T$  (---) obtenues à partir des données de la première partie de la Campagne Capriroise. Dans la région où  $h/u^2 \leq 1.0 \text{ s}^2/\text{cm}$ , il n'y a pas de stratification ( $\Delta T \leq 0,25^\circ\text{C}$ ). La région où  $h/u^2 > 1.0 \text{ s}^2/\text{cm}$  correspond à un régime stratifié.

Richardson number,  $Ri$  (—) and  $\Delta T$  (---) contours obtained from the first part of the Capriroise cruise.  $h/u^2 \leq 1.0 \text{ s}^2/\text{cm}$ , the regime is homogeneous ( $\Delta T \leq 0,25^\circ\text{C}$ ). The stratification occurs at  $h/u^2 > 1.0 \text{ s}^2/\text{cm}$



ce qui conduit, avec  $u$  en cm/s et  $h$  en cm à :

$$\frac{h}{u^2} < 1 \frac{\text{cm}}{(\text{cm/s})^2}$$

La figure 3 fournit les aires limitées par l'isoline de  $\frac{h}{u^2} = 1 \text{ s}^2/\text{cm}$  dans la région d'étude de la structure thermique, au large des côtes bretonnes et à l'entrée de la Manche : dans la région où  $h/u^2 \leq 1.0 \text{ s}^2/\text{cm}$ , la stratification est faible ( $\Delta T \leq 0,25^\circ\text{C}$ ). La région où  $h/u^2 \geq 1.0 \text{ s}^2/\text{cm}$  correspond à un régime stratifié.

Pour comparer les résultats avec les valeurs de vitesse obtenues dans la région du front thermique par Simpson et Hunter (1974), on a estimé la vitesse correspondant aux différentes valeurs de la profondeur  $h$  à partir de laquelle le mélange ne se fait plus (vitesse critique  $u_c$  : tableau 1). Ces valeurs sont en bon accord avec les valeurs de  $u$  obtenues par Simpson et Hunter (1974), qui ont trouvé que les vitesses critiques sont comprises entre 75,0 cm/s (pour  $h = 50$  m) et 145,0 cm/s (pour  $h = 200$  m).

Tableau 1

Première partie de la campagne CAPRIROISE  
(Septembre 1975)

| $h$ (m) | $u_c$ (cm/s) |
|---------|--------------|
| 25      | 50,0         |
| 50      | 70,7         |
| 75      | 86,6         |
| 100     | 100,0        |
| 150     | 122,5        |
| 200     | 141,4        |

Nous pouvons également comparer nos résultats, en ce qui concerne la limite de l'emplacement du front (fig. 3), avec ceux de Fearnhead (1975) reproduit sur la figure 4. La comparaison des deux figures 3 et 4 montre aussi un assez bon accord.

En conséquence, nous sommes autorisés à conclure que  $Ri_c = 0,05$ , ou  $h/u^2 = 1,0 \text{ s}^2/\text{cm}$  sont les valeurs critiques à partir desquelles le mélange dû aux marées est suffisamment important pour empêcher l'apparition de stratification.

### III. FORMATION DU FRONT THERMIQUE

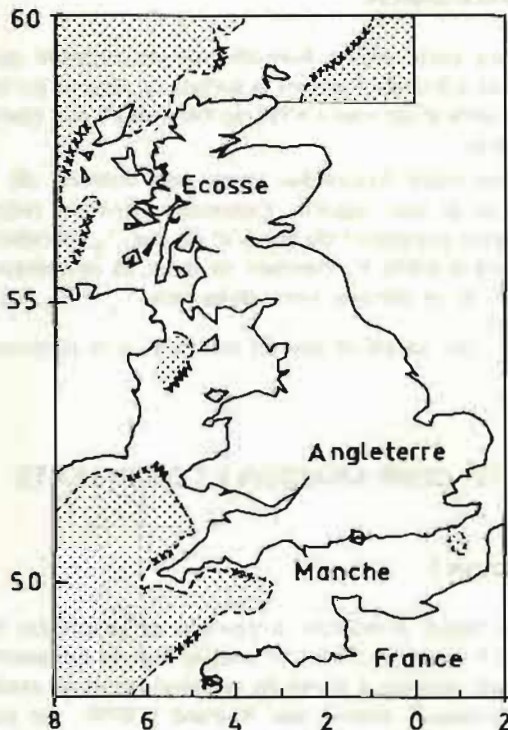
A partir du critère précédent pour établir l'existence de stratification ou sa disparition sous l'effet de mélange dû à de forts courants de marée, nous tenterons dans ce paragraphe de proposer une solution théorique simple qui permette de reproduire la formation du front thermique.

Ce projet est fondé sur la juxtaposition, dans la région considérée, d'une aire occidentale où s'établit une thermocline saisonnière et d'une aire, située plus à l'Est, dans laquelle la thermocline s'efface en toute saison du fait du brassage des eaux, relativement peu profondes, par d'énergiques courants de marée. Cette aire de transition est déterminée par la valeur critique de  $h/u^2$ .

En conséquence, nous avons choisi dans la région deux coupes, I et II, qui franchissent le front thermique (fig. 3). Elles ont la particularité de passer d'une région où la formation de la thermocline saisonnière est possible à une autre région où, en raison du critère établi précédemment, l'océan est homogène.

Chacune de ces coupes est étudiée de la façon suivante :

- calcul de la valeur de  $h/u^2$  en chacun des points de la coupe préalablement choisie ;
- si  $h/u^2 < (h/u^2)_c$ , c'est-à-dire si la formation de la thermocline saisonnière est possible, calcul de la température en fonction de la profondeur au moyen d'un modèle simple de prévision de la thermocline saisonnière ;
- si  $h/u^2 > (h/u^2)_c$ , prévision de la température fondée sur l'hypothèse qu'il existe un mélange sur toute la colonne d'eau ;



#### LEGENDE

- Eau stratifié
- Fronts connus
- Fronts prédits

FIG. 4.

Emplacement de fronts possible  
(d'après Fearnhead, 1975).

Predicted boundaries between mixed and stratified regimes with the location of possible fronts from Fearnhead, 1975.



- à partir des résultats ainsi obtenus, on trace les coupes théoriques que l'on compare à celles qui proviennent des données obtenues dans le secteur.

**a) Préviation de la thermocline saisonnière.**

Nous appliquons le modèle proposé par Lacombe (1973) à la préviation de la thermocline saisonnière.

Ce modèle fut établi à partir des hypothèses suivantes :

Les mouvements de convection jouent un rôle essentiel dans la genèse de la couche de mélange. L'agitation mécanique due au vent n'aurait qu'un rôle négligeable au-dessous de celle-ci.

La diffusion thermique est négligeable ; la thermocline est un écran efficace ; les mouvements de convection entraînent une homogénéisation instantanée de la couche de mélange ; il n'y a pas d'ondes internes ; pas d'advection de chaleur par les courants.

Une énergie radiative  $I_0$  venant du soleil et du ciel franchit pendant l'unité de temps chaque centimètre carré de la surface marine.

Le flux radiatif vers le bas suit la loi  $l(z)$  en fonction de l'immersion  $z$ . Pendant ce temps, la surface marine perd une énergie  $P_0$  dont les effets se limitent à la couche de mélange.

On prend dans ce modèle, pour le coefficient global d'extinction  $k$ , une valeur moyenne constante suivant  $z$ , ce qui entraîne alors :

$$l(z) = I_0 e^{-kz}$$

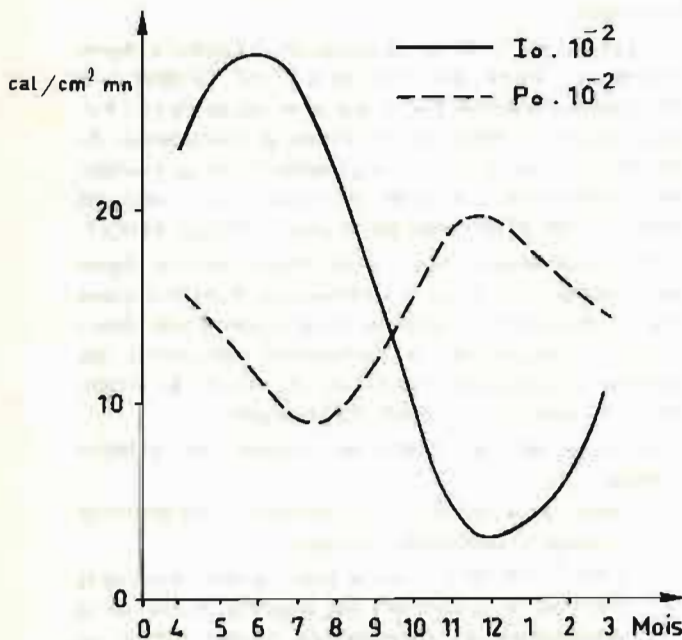


FIG. 5.

Bilan thermique à la surface ( $I_0$  et  $P_0$ ) d'après Le Magueresse et aménagé de façon que la moyenne annuelle soit nulle.

Heat balance at the surface ( $I_0$  and  $P_0$ ) from Le Magueresse. The values have been adjusted so as to have a zero annual budget.

Pour effectuer le calcul, il nous suffit de connaître les données mensuelles du bilan thermique à la surface, la valeur du coefficient global d'extinction du rayonnement solaire et la structure initiale avant la période d'échauffement.

Pour les valeurs du bilan thermique à la surface, nous avons utilisé celles données par Le Magueresse (1974) qui utilise les résultats de Albrecht (1940) et Dietrich (1950) : les valeurs ont été aménagées de façon que leur moyenne annuelle soit nulle, puisque l'on suppose l'absence d'advection (fig. 5). La valeur du coefficient global d'extinction  $k$  utilisé est  $k = 6 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$ .

Comme situation initiale, il est possible de prendre celle qui existe fin mars, où l'eau est à peu près homotherme jusqu'à 100-150 m. Les données de température sont extraites, d'une part de l'Atlas publié par le Deutsches Wetterdienst Seewetteramt (DWS), Hambourg (1954), d'autre part, de l'étude statistique réalisée par Servain (1976).

**b) Préviation de la température dans la région homotherme**

Dans cette région homotherme on suppose que le flux net d'énergie à travers la surface se répartit sur toute la colonne d'eau sous l'effet du mélange dû aux courants de marée.

Dans cette hypothèse, pour une colonne de profondeur  $h$  sur laquelle s'exercent l'énergie radiative incidente provenant du soleil et du ciel,  $I_0$ , pendant un mois et la perte  $P_0$  pendant ce mois, la température à la fin de la période considérée sera  $T_2 = T_1 + (I_0 + P_0) \frac{\Delta t}{h}$  où  $\Delta t$  est le pas du temps et  $h$  la profondeur.

**IV. COMPARAISON ET RESULTATS**

**a) Coupe I**

La figure 3 montre la position géographique de la coupe I (point A, B et C) choisie afin de comparer les résultats obtenus à partir de la théorie avec les résultats hydrologiques donnés par Raillard (1976) ; les points A, B et C de la coupe I coïncident avec les stations hydrologiques 29, 32 et 34, respectivement, de la campagne CAPRIROISE (1<sup>ère</sup> partie 18 au 28 septembre 1976).

Tableau II

| Point | $\phi$<br>(N) | G<br>(W) | Prof.<br>(m) | $h/v^2$<br>(s <sup>2</sup> /cm) |
|-------|---------------|----------|--------------|---------------------------------|
| A     | 48° 10'       | 5° 10'   | 110          | 0,83                            |
| B     | 47° 55'       | 6° 00'   | 125          | 1,64                            |
| C     | 47° 45'       | 6° 40'   | 158          | 5,88                            |

Les caractéristiques des points A, B et C sont données sur le Tableau II.

Pour les points B et C,  $h/u^2 > 1.0 \text{ s}^2/\text{cm}$ . Nous nous trouverions alors dans le cas d'un océan stratifié, en accord avec le critère établi antérieurement. Le modèle de Lacombe y permet donc la prévision thermique.

Nous choisissons pour point de départ des calculs une situation initiale à peu près homogène, obtenue à partir des résultats de l'étude statistique faite par Servain (1976), fin mars, époque à laquelle commence le réchauffement (fig. 6). Nous supposons la profondeur égale à 100 m.

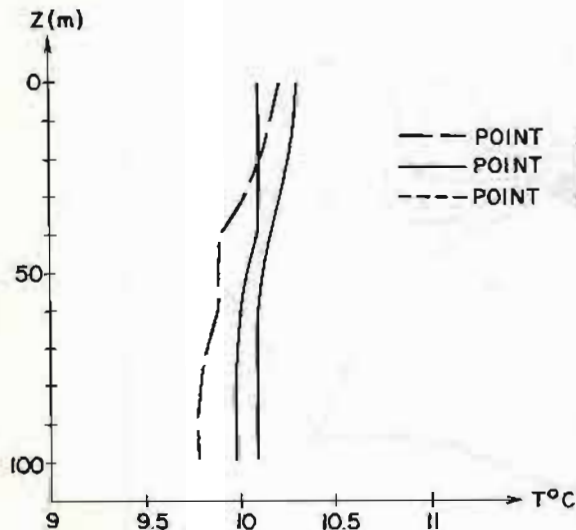


FIG. 6.

Températures de fin mars, aux stations A, B et C, obtenues à partir des résultats de l'étude statistique faite par Servain (1976).

End of March temperatures, at points, A, B and C from Servain (1976) statistical analysis.

A partir de cette date, chaque mois nous résolvons les équations du modèle de Lacombe et déduisons ainsi la température en fonction de la profondeur, mois par mois.

Les résultats obtenus sont portés sur les figures 7 à 10. Les figures 7, 8 et 9, présentent les températures de surface fournies par l'Atlas publié par le DWS (1954), l'étude de Servain (1976), la campagne CAPRIROISE (1975) et les résultats théoriques (modèle Lacombe).

Il y a un bon accord aux points B et C entre les différentes valeurs théoriques et celles provenant des mesures : campagne CAPRIROISE, Atlas et analyse statistique (Servain) (fig. 8 et 9).

La valeur de  $h/u^2$  au point A ( $0.83 \text{ s}^2/\text{cm}$ ) correspond au cas d'un océan non stratifié (mais n'est pas éloignée de la valeur critique). Nous allons donc résoudre l'équation (4) pour  $\Delta t = 1$  mois et  $h = 110$  m.

Pour le point A (fig. 7), dans l'aire homogène, la courbe théorique passe par le point déduit des mesures de la campagne CAPRICORNE (1975). Tandis que les courbes fournies par l'Atlas ou l'analyse statistique

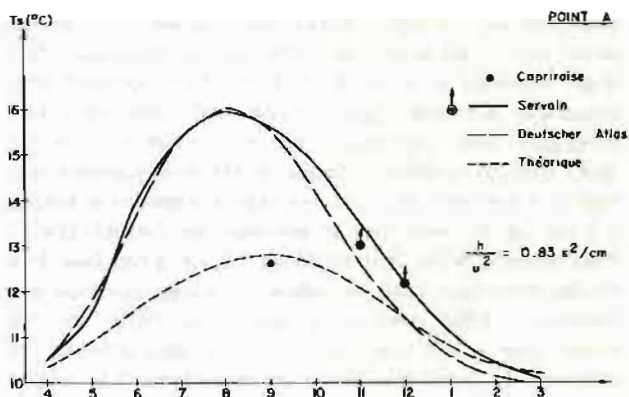


FIG. 7.

Comparaison entre les valeurs théoriques et mesurées de température de surface pour le point A. (régime non stratifié)  
Comparison between theoretical and experimental surface temperature values at point A. (non stratified regime).

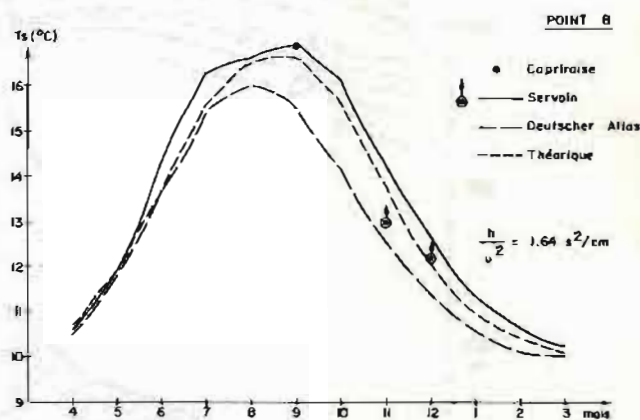


FIG. 8.

Comparaison entre les valeurs théoriques et mesurées de température de surface pour le point B. (régime stratifié)  
Comparison between theoretical and experimental surface temperature values at point B. (stratified regime)

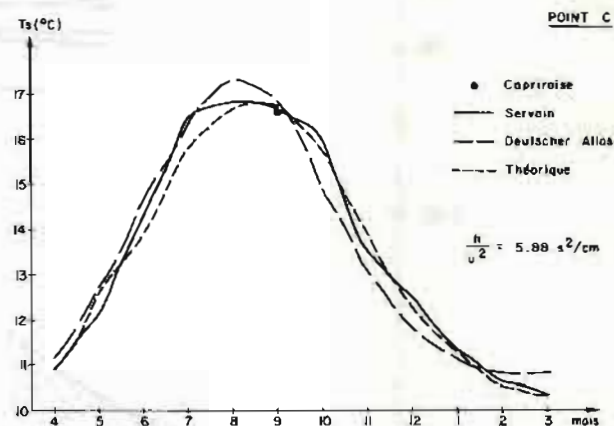


FIG. 9. — Température de surface

Comparaison entre les valeurs théoriques et mesurées de température pour le point C. (Régime stratifié).  
Comparison between theoretical and experimental surface temperature values at point C. (stratified regime).



effectuée par Servain (1976), bien qu'étant en accord entre elles, s'éloignent de cette courbe théorique. Cet écart pourrait être dû au fait que l'on compare une moyenne sur une vaste région ( $10^\circ$  latitude x  $10^\circ$  longitude) avec une mesure en un point et que l'on est assez près de la valeur critique. Il est donc possible que l'on soit très près du front, qui statistiquement se trouve à l'Est de A, mais non au moment de CAPRICORNE (Septembre 1975). Sur la figure 10, on a représenté la coupe théorique I et, en même, la coupe obtenue par Raillard (1976) (section 2, septembre 1976) dans la même région. On retrouve les mêmes phénomènes. La position du front thermique est sensiblement la même.

Les températures de surface sont de même ordre. La différence de température de surface mesurée entre les points A et B est de  $\Delta T = 3,5^\circ\text{C}$  et la différence théorique est  $\Delta T_{st} = 3,8^\circ\text{C}$ . Les températures théoriques dans la région située au-dessous de la thermocline sont un peu plus basses que les températures mesurées, ce qui implique qu'une partie de la chaleur incidente traverserait la thermocline vraisemblablement par déferlement des ondes internes. Pour le point A, la différence entre la température mesurée en surface et au fond ( $T_s - T_f = 0,5^\circ\text{C}$ ) n'apparaît pas sur la coupe théorique, ce qui est dû au fait que nous avons supposé l'océan homogène au point A.

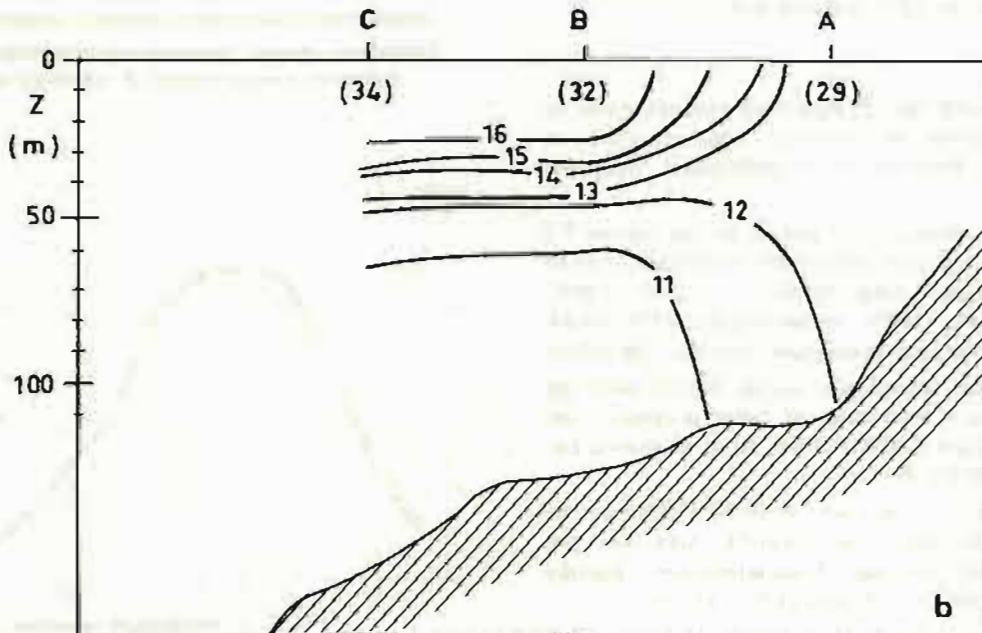
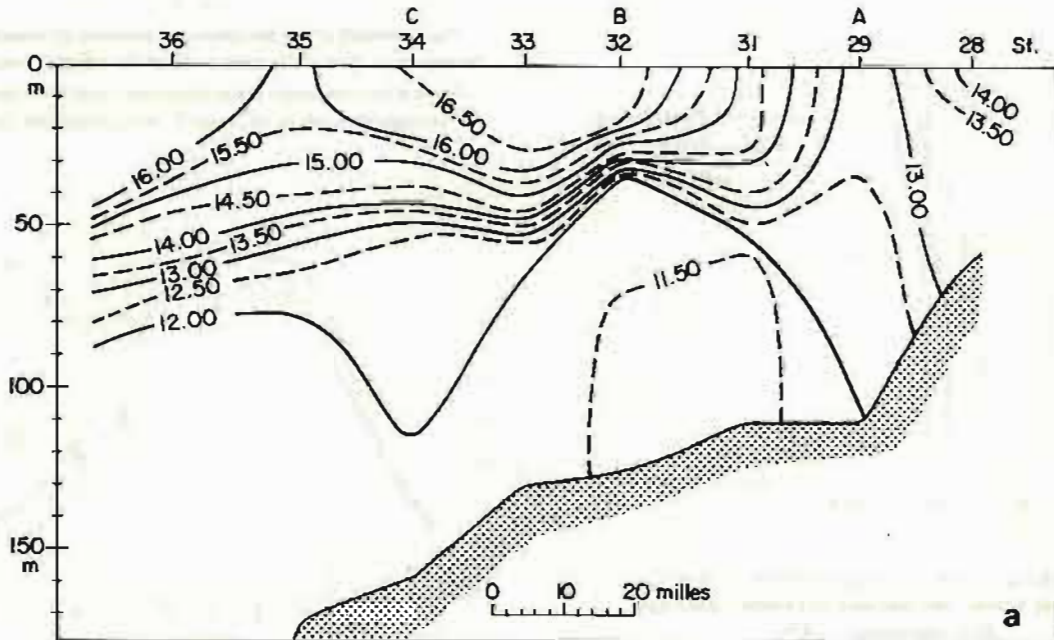


FIG. 10.

Comparaison entre les valeurs obtenues par Raillard (1976) (a) et les résultats théoriques (b) (coupe I). (mois : 9)

Comparison between Raillard's (1976) measurements (a) and theoretical results (b) (section I).



**b) Coupe II.**

Sur la figure 3, on a représenté la position de la coupe II. On a choisi cinq points (B, D, G, F, E) qui coïncident avec les stations hydrologiques de la campagne CAPRIROISE (1<sup>ère</sup> partie), respectivement st. 32, 48, 49, 67 et 66. Les caractéristiques de ces cinq points de la coupe I sont données sur le Tableau III.

**Tableau III.**

| Point | $\phi$<br>(N) | G<br>(W) | Prof.<br>(m) | $h/u^2$<br>(s <sup>2</sup> /cm) | $T_3$<br>(°C) |
|-------|---------------|----------|--------------|---------------------------------|---------------|
| B     | 47° 55'       | 6° 00'   | 158          | 4,0                             | 10,12         |
| D     | 48° 17'       | 5° 27'   | 120          | 1,09                            | 10,00         |
| G     | 48° 24'       | 5° 15'   | 100          | 0,64                            | 10,05         |
| F     | 48° 33'       | 4° 59'   | 95           | 0,71                            | 9,85          |
| E     | 48° 40'       | 4° 50'   | 95           | 0,61                            | 9,80          |

La température moyenne fin mars,  $T_3$ , est utilisée comme valeur initiale des calculs et extraite des différences valeurs disponibles (Servain, Atlas DWS).

Certaines valeurs fournies par la campagne PHYGAS IROISE ont été utilisées pour vérifier les résultats théoriques. Cette campagne hydrologique fut effectuée dans la même région et à la même époque (16-26 septembre 1975) que CAPRIROISE, à bord du CRYOS, par l'équipe du COB et ses résultats ont été traités au Laboratoire d'Océanographie de l'Université de Brest.

La prévision thermique aux points G, F et E a été faite en considérant un océan homogène ( $h/u^2 < 1.0 \text{ s}^2/\text{cm}$ ). Le modèle de Lacombe a permis de prévoir la thermocline saisonnière pour les points B et D ( $h/u^2 > 1.0 \text{ s}^2/\text{cm}$ ; océan stratifié).

Dans l'ensemble, il y a un bon accord entre les températures de surface mesurées au cours de la campagne Capriroise et les températures théoriques.

Au point D, les variations annuelles de la température de surface, obtenues à partir du modèle de Lacombe, sont en excellent accord avec celles obtenues par Servain (1976) et en accord relativement bon avec les données fournies par l'Atlas du DWS. La température de surface mesurée pendant la campagne CAPRIROISE (1975) est pour le mois de septembre  $T_{st} = 16,1 \text{ °C}$ ; la température théorique est  $T_{st} = 16,5 \text{ °C}$ .

Le tableau IV ci-après donne les valeurs de la température de surface obtenues pendant les différentes campagnes effectuées dans la région au mois de septembre (points G, F et E), et celles fournies par les résultats théoriques.

**Tableau IV.**

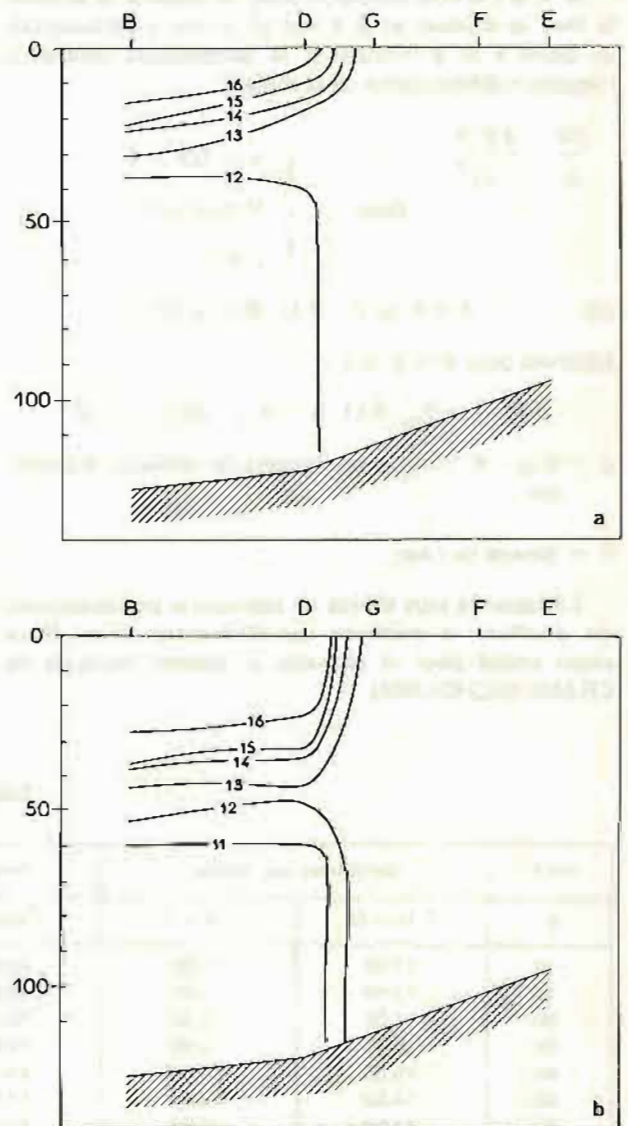
| Point                | G     | F     | E     |
|----------------------|-------|-------|-------|
| Théorie              | 12,96 | 12,87 | 12,87 |
| Capriroise (1975)    | 12,94 | 12,67 | 12,72 |
| Phygas Iroise (1975) | 13,00 | 13,00 | 13,00 |

Température de surface en °C      mois : septembre

La figure 11 présente les résultats obtenus pour la coupe II à partir de la théorie, d'une part, des données hydrologiques de la CAPRIROISE, d'autre part.

Le même phénomène se reproduit. Le front thermique apparaît entre les stations D et G dans les deux cas. La différence de température de surface mesurée entre les points D et G est de  $\Delta T = 3,20 \text{ °C}$ ; la différence calculée d'après le modèle est de  $\Delta T_t = 3,70 \text{ °C}$ .

La thermocline théorique est située entre 30 et 60 m tandis que la thermocline observée se trouve entre 15 et 40 m. Les températures théoriques du fond ( $T_{tf} = 10,1 \text{ °C}$ ) sont nettement inférieures aux températures moyennes du fond mesurées ( $T_{mf} = 12,0 \text{ °C}$ ).



**FIG. 11.**

Résultats obtenus pour la coupe II à partir des données hydrologiques de la campagne Capriroise (a) et de la théorie (b). (mois : 9).

Results obtained, at section II, from the Capriroise cruise (a) and from theory (b). (month of september)

## V. PRISE EN CONSIDERATION DE LA DIFFUSION HORIZONTALE

Dans notre modèle, nous n'avons pas tenu compte entre autres de la diffusion horizontale. Nous incluons désormais la diffusion horizontale mais nous maintenons nulle la diffusion verticale à travers la thermocline.

### a) Le problème du flux de chaleur.

Soit une masse d'eau de température  $T$  qui échange de la chaleur avec le milieu environnant ; nous considérons en outre que le flux, ou diffusion horizontale de chaleur se fait sur une dimension.

Si  $x$  est la coordonnée le long de laquelle se produit le flux de chaleur et si  $\theta = \theta(x, t)$  est la température au point  $x$  et à l'instant  $t$ , la température satisfait à l'équation différentielle de la chaleur :

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\sigma}{\rho} \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \quad \text{pour} \quad \left\{ \begin{array}{l} \sigma = \text{Cte} > 0 \\ 0 \leq x \leq 1 \\ t \geq 0 \end{array} \right.$$

où :  $\theta = \theta(x, t)$  ;  $\theta(x, 0) = \psi(x)$

(donnée) pour  $0 \leq x \leq L$  ;

$$\theta(0, t) = \theta_{0t}, \theta(1, t) = \theta_{1t}, \text{ pour } t > 0.$$

$\sigma = K/\rho$  ;  $K = A_x =$  coefficient de diffusion horizontale ;

$\rho =$  densité de l'eau.

La façon la plus simple de résoudre le problème posé est d'utiliser la méthode des différences finies. Nous avons utilisé pour le résoudre le schéma implicite de CRANK-NICHOLSON.

Ainsi, connaissant les conditions à l'instant initial, c'est-à-dire  $u_0$  et  $v_0$ , nous pouvons déduire la situation à l'instant  $t + h$  à partir de la situation à l'instant  $t$ .

### b) Application aux coupes antérieurement étudiées.

Considérons maintenant l'effet de la diffusion horizontale de chaleur sur les coupes théoriques antérieurement étudiées.

Nous commencerons par établir les conditions aux limites en chaque cas, ainsi qu'un nouveau système d'unités, de telle sorte que l'espace  $0 \leq x \leq 1$  corresponde à l'intervalle  $(0, 1)$ . Nous appliquons ensuite l'équation de la chaleur à une dimension pour calculer les évolutions dues à cette diffusion pendant un mois.

#### Coupe I

Afin d'établir les conditions aux limites, la Coupe I a été étendue aux latitudes  $G = 8^{\circ}00'W - \phi = 47^{\circ}30'N$ . Le bord occidental de la coupe ( $x = 0$ ) se trouve ainsi en dehors du plateau continental. En ce point, l'évolution thermique annuelle moyenne est bien connue (LE MAGUERESSE, 1974). Ce sont ces valeurs que nous utiliserons comme conditions aux limites :  $T^{\circ}(x = 0, z, t)$ .

Nous satisferons à la condition aux limites en  $x = 1$  en supposant que la limite se trouve dans la zone homogène où la valeur de la température est celle établie au moyen du modèle sans diffusion. La coupe ainsi délimitée a 300 km de long. Nous prenons donc 300 km comme unité de longueur et le mois comme unité de temps dans notre étude de l'évolution thermique et nous résolvons numériquement l'équation de diffusion de chaleur avec ces conditions.

Les résultats obtenus pour la Coupe I (septembre) figurent dans le Tableau V. Les températures aux points C et B correspondent aux valeurs obtenues pour  $x = 0,62$  dans l'espace.

Tableau V.

| Prof.<br>$z$ | Conditions aux limites |            | Température mesurée ( $^{\circ}C$ ) |         | Température théorique ( $^{\circ}C$ ) |                    |
|--------------|------------------------|------------|-------------------------------------|---------|---------------------------------------|--------------------|
|              | $T(x = 0)$             | $T(x = 1)$ | Point C                             | Point D | Point C $x = 0.42$                    | Point B $x = 0.62$ |
| 0            | 17.50                  | 12.80      | 16.57                               | 16.88   | 16.7                                  | 16.1               |
| 10           | 17.00                  | 12.80      | 16.38                               | 16.87   | 16.7                                  | 16.7               |
| 20           | 17.00                  | 12.80      | 16.24                               | 15.70   | 16.7                                  | 16.1               |
| 30           | 16.50                  | 12.80      | 15.02                               | 13.23   | 15.8                                  | 15.3               |
| 40           | 15.50                  | 12.80      | 14.13                               | 11.67   | 13.7                                  | 13.4               |
| 50           | 14.50                  | 12.80      | 12.65                               | 11.57   | 12.1                                  | 12.0               |
| 60           | 13.50                  | 12.80      | 12.19                               | 11.53   | 11.3                                  | 11.3               |
| 70           | 12.70                  | 12.80      | 12.08                               | 11.50   | 10.8                                  | 10.9               |
| 80           | 12.50                  | 12.80      | 12.03                               | 11.49   | 10.5                                  | 10.8               |
| 90           | 12.20                  | 12.80      | 12.02                               | 11.45   | 10.5                                  | 10.7               |
| 100          | 12.20                  | 12.80      | 12.01                               | 11.45   | 10.5                                  | 10.7               |

mois : septembre



## Coupe II

Nous procéderons de façon analogue à la précédente pour cette coupe.

Nous considérons une coupe de 250 km qui coïncide avec la coupe théorique II mais étendue dans une zone stratifiée jusqu'à  $G = 6^{\circ} 50' E - \phi = 47^{\circ} 30' N$ . Nous prenons donc 250 km comme unité de largeur. Il faut ajouter que  $x = 1$  correspond à l'extrémité orientale de la coupe.

Les conditions aux limites considérées sont :

- en  $x = 1$ , nous sommes dans la zone homogène et nous supposons que la température est celle obtenue avec le modèle sans diffusion ;
- en  $x = 0$ , nous sommes aux confins du plateau continental ; nous obtenons la valeur de la température en interpolant la température donnée par le modèle sans diffusion et celle fournie par les données du fichier hydrologique pour le carreau Marsden 145-86.

Les valeurs de température obtenues à partir de la résolution numérique de l'équation de diffusion de chaleur sous ces conditions sont résumées dans le Tableau VI. Ces résultats sont légèrement plus satisfaisants que ceux obtenus pour la Coupe I.

Tableau VI

| Prof | Conditions aux limites |         | Température mesurée (°C) |         | Température théorique (°C) |                     |
|------|------------------------|---------|--------------------------|---------|----------------------------|---------------------|
|      | T (x=0)                | T (x=1) | Point B                  | Point D | Point C<br>x = 0.48        | Point D<br>x = 0.52 |
| 0    | 17.25                  | 12.80   | 16.9                     | 16.1    | 16.5                       | 16.0                |
| 10   | 17.25                  | 12.80   | 16.9                     | 15.0    | 16.5                       | 16.0                |
| 20   | 17.25                  | 12.80   | 15.7                     | 12.1    | 16.5                       | 16.0                |
| 30   | 16.40                  | 12.80   | 13.2                     | 12.1    | 15.5                       | 15.2                |
| 40   | 14.75                  | 12.80   | 11.7                     | 12.0    | 13.4                       | 13.3                |
| 50   | 13.60                  | 12.80   | 11.6                     | 12.0    | 12.0                       | 12.0                |
| 60   | 12.80                  | 12.80   | 11.5                     | 12.0    | 11.4                       | 11.7                |
| 70   | 12.00                  | 12.80   | 11.5                     | 12.0    | 10.9                       | 11.5                |
| 80   | 11.80                  | 12.80   | 11.5                     | 12.0    | 10.9                       | 11.0                |
| 90   | 11.60                  | 12.80   | 11.4                     | 12.0    | 10.7                       | 10.8                |
| 100  | 11.6                   | 12.8    | 11.4                     | 12.0    | 10.7                       | 10.8                |

mois : septembre

En résumé, le fait d'introduire la diffusion horizontale dans notre modèle apporte une petite correction aux températures de surface et du fond. Cette correction n'explique pas la différence entre les températures mesurées à 100 m et les températures du modèle ou calculées mais elle améliore l'écart. Il faudrait peut-être considérer aussi une faible diffusion verticale, c'est-à-dire considérer qu'une certaine quantité de chaleur traverse la thermocline vraisemblablement par déferlement d'ondes internes, c'est-à-dire que la thermocline ne joue pas totalement un rôle d'"écran" quant aux échanges d'énergie.

## VI. DEPLACEMENT DU FRONT THERMIQUE

Dans ce chapitre nous chercherons, sur la base du modèle proposé antérieurement à étudier le déplacement saisonnier du front thermique. Mais nous y considérons, contrairement à ce qui a été fait plus haut, que  $u$  varie localement en fonction du temps, c'est-à-dire en fonction du mois, proportionnellement au coefficient maximum de marée ayant eu lieu pendant le mois considéré, pour l'année 1975.

Dès lors, non seulement

$$\Delta T = T_s - T_f$$

est fonction de l'espace et du temps, mais également  $u$  et par suite  $Ri$  soit

$$Ri = Ri(x, t)$$

Si nous déterminons un point dans l'espace,  $T$  et  $u$ , et par conséquent  $Ri$ , seront fonctions du temps seulement. Si nous connaissons cette fonction, donc si nous connaissons  $T(t)$  et  $u(t)$ , nous pouvons calculer la variation de  $Ri$  dans le temps pour un point déterminé.

$$\frac{dRi}{dt} = \frac{\partial Ri}{\partial (\Delta t)} \frac{\partial (\Delta T)}{\partial t} + \frac{\partial Ri}{\partial u} \frac{\partial u}{\partial t}$$

Donc, si nous connaissons la valeur de  $Ri$  à un certain point et dans un certain temps, nous pouvons estimer la valeur de  $Ri$  au temps  $t + \Delta t$

$$Ri(t + \Delta t) = Ri(t) + \frac{dRi}{dt} \Delta t$$

Nous pouvons ainsi obtenir les courbes de variations de  $Ri$  avec le temps tout au long de l'année. Si nous considérons que la valeur critique de  $Ri$  ( $Ri_c = 0,05$ ) est constante pour n'importe quelle valeur de  $t$ , le régime sera homogène lorsque  $Ri < Ri_c$  et l'on sera en présence d'un régime stratifié lorsque  $Ri > Ri_c$ .

D'après la figure 3, si, à un point déterminé,  $Ri$  augmente en passant de  $t$  à  $t + \Delta t$ , le résultat est le déplacement de la ligne de valeur critique vers l'Est. D'autre part, une diminution du  $Ri$  se traduira par un déplacement de la frontière entre les régions de régime homogène et celles de régime stratifié, vers l'Ouest. C'est ainsi que le déplacement des lignes d'égale valeur de  $Ri$  nous montrera les mouvements du front thermique.

## VII. ANALYSE DES RESULTATS

La variation de  $Ri$  en fonction du temps a été calculée pour les points qui constituent les coupes III et IV de la figure 12. Les caractéristiques de ces points, pour le mois de septembre, sont présentées dans les tableaux VII et VIII respectivement.

Tableau VII

| Point | Station | Lat.    | Long.  | H (m) | T (°C) | $h/u^2$ (s <sup>2</sup> /cm) | $Ri_c$   |
|-------|---------|---------|--------|-------|--------|------------------------------|----------|
| A     | 32      | 47° 56' | 5° 55' | 125   | 5.41   | 4.0                          | 4.200    |
| B     | 48      | 48° 17' | 5° 27' | 125   | 4.06   | 1.09                         | 0.866    |
| C     | 49      | 48° 24' | 5° 15' | 100   | 0.61   | 0.64                         | 0.038    |
| D     | 67      | 48° 33' | 4° 59' | 95    | 0.01   | 0.72                         | 0.0014   |
| E     | 66      | 48° 40' | 4° 50' | 95    | -0.01  | 0.61                         | -0.00119 |

Tableau VIII

| Point | Station | Lat.    | Long.  | H (m) | T (°C) | $h/u^2$ (s <sup>2</sup> /cm) | $Ri_c$  |
|-------|---------|---------|--------|-------|--------|------------------------------|---------|
| F     | —       | 48° 47' | 6° 30' | 126   | 5.0    | 3.39                         | 3.32    |
| G     | 73      | 48° 48' | 5° 50' | 110   | 5.1    | 2.01                         | 2.01    |
| H     | 68      | 48° 45' | 5° 14' | 100   | 1.7    | 1.23                         | 0.41    |
| I     | 65      | 48° 49' | 4° 52' | 105   | -0.016 | 0.67                         | -0.0021 |
| J     | —       | 48° 50' | 4° 20' | 93    | 0.01   | 0.56                         | 0.0011  |

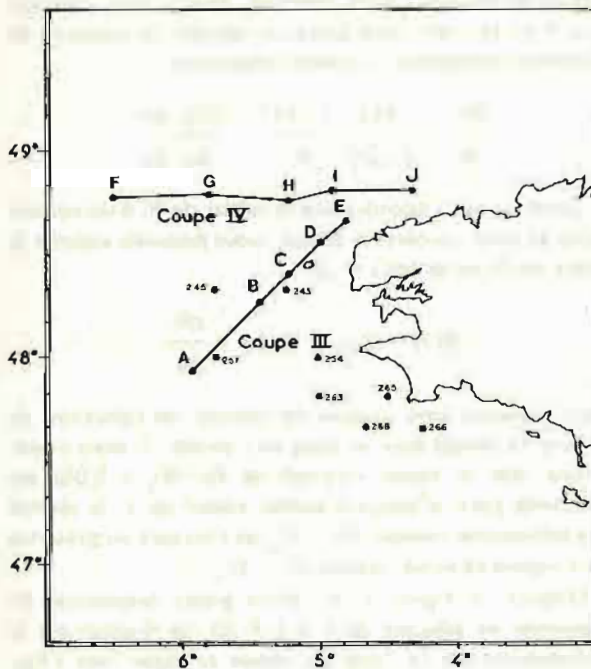


FIG. 12.

Emplacement des coupes étudiées.  
Position of the cross-sections under study.

Le calcul a été fait à partir du mois de septembre en considérant un accroissement dans le temps  $\Delta t = 1$  mois. Les valeurs de  $\Delta T$  pour le mois de septembre proviennent de la campagne CAPRIROISE (Raillard, 1975). La variation de  $\Delta T$  au cours de l'année a été obtenue à partir de l'application du modèle.

La variation de  $u$ , amplitude maximale du courant de marée, provient des données publiées par le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (1975).

Nous analyserons maintenant les résultats obtenus pour chaque coupe.

#### Coupe III

Toutes les courbes de variation de  $Ri$  au cours de l'année, obtenues pour les points de la Coupe III, présentent, en général les mêmes caractéristiques (figures 13a, b, et c).  $Ri$  diminue de juin à janvier et augmente de janvier à juin. C'est ainsi que la frontière entre régimes stratifié et homogène serait à sa position extrême vers l'Ouest en janvier et vers l'Est en juin.

Aux points A et B, le régime reste stratifié tout au long de l'année. Au point C le passage d'un régime homogène à un régime stratifié se produit à la charnière des mois de mars et avril. Cette transition a lieu entre les mois d'avril et mai pour les points D et E, le passage inverse se fait en septembre.

C'est à partir de ces résultats que nous avons étudié l'évolution du front thermique. Le procédé utilisé a consisté dans l'application du modèle de prédiction thermique pour des régimes homogènes ou stratifié d'après la valeur de  $Ri$  déterminée à partir de l'étude de sa variation annuelle. Les résultats obtenus sont présentés sur la figure 14 pour la période allant de mai à décembre. Le reste de l'année, la région connaît un régime homogène. Le front thermique qui commence à se former pendant le mois de juin, atteint son intensité maximale au mois d'août ( $T_{sc} - T_{sd} = 3,8^\circ\text{C}$ ), pour presque disparaître au mois de novembre. Le déplacement vers l'Ouest du front thermique prédit, à partir de l'étude de la variation annuelle de  $Ri$ , devient évident dans la figure 14.

#### Coupe IV

Les résultats obtenus pour la coupe IV (Tableau II) sont analogues à ceux obtenus pour la coupe III. Les



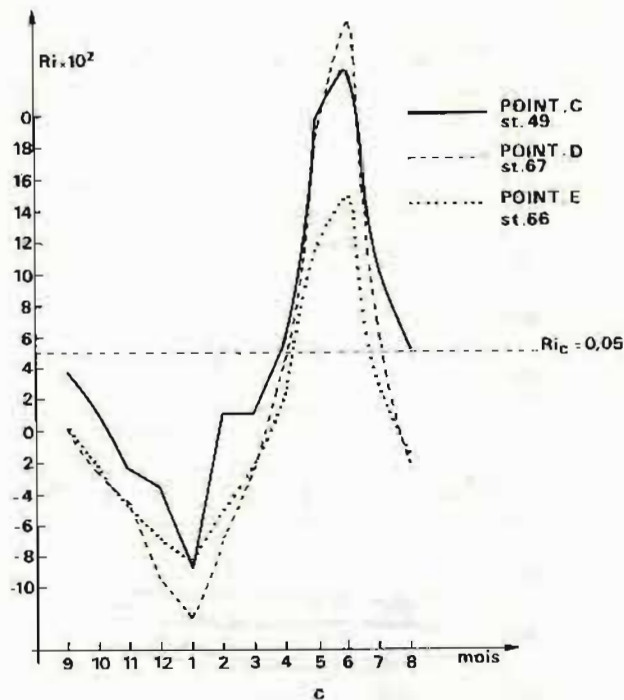
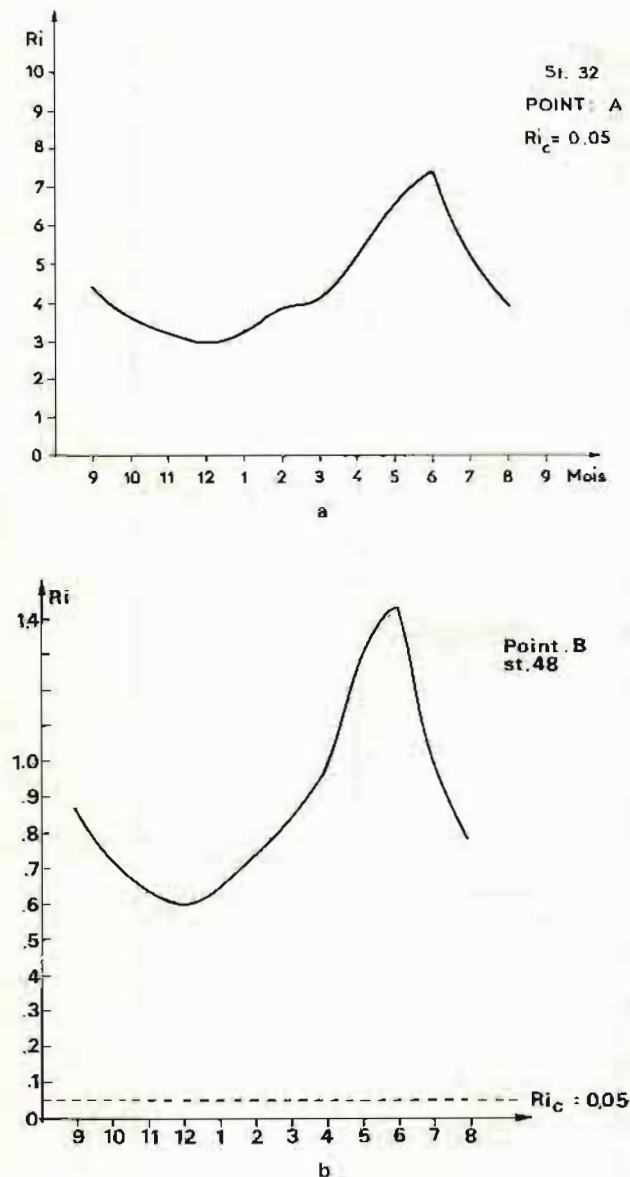


FIG. 13.

Courbes de variation de  $Ri$  au cours de l'année, obtenues pour les points de la coupe I : Point A (a), Point B (b) et Points C, D et E (c).

Variation of  $Ri$  along the year for the different points of cross-section I : Point A (a), Point B (b), and Points C, D and E (c).

### VIII. COMPARAISON AVEC LA REALITE MARINE

Les courbes de variation de  $Ri$  en fonction du temps (figures 15 a, b, c) présentent les mêmes caractéristiques que celle précédemment décrites. La figure 16 montre l'évolution du front thermique le long de la Coupe IV. De nouveau, de juin à novembre, le front se déplace vers l'Ouest.

On peut conclure que le front thermique qui a commencé à se former pendant le mois de juin, se déplace vers l'Est jusque vers le mois de décembre ; il disparaît six mois après et au moment où  $I_0$  commence à augmenter, il se reforme au même endroit que l'année précédente.

Il y a un bon accord entre les résultats obtenus sur le déplacement du front thermique à partir du modèle et ceux qui ont été obtenus par Pingree (1975) et par Guitton et Henrotte-Bois (1974). Ces deux études montrent un déplacement de la frontière de la région homogène vers l'Ouest entre les mois de juillet et novembre.

Nous comparerons, lorsque les mesures seront disponibles, les valeurs de la température de surface obtenues à partir du modèle et les valeurs mesurées.

Pour le mois de septembre, les températures de surface peuvent être comparées directement avec les données de la campagne CAPRIROISE 1<sup>ère</sup> partie (figures 17 a et b). L'accord est excellent pour les deux coupes. Pour le mois d'octobre, la comparaison ne peut être faite que pour la coupe I, les mesures ayant été obtenues au sud de la coupe II.

Dans la figure 18, les températures de surface théoriques ont été comparées avec les données de la campagne CAPRIROISE (pour les points A, B et C) et avec les valeurs obtenues au moyen du radiomètre "Aries" au cours des vols des 1<sup>er</sup> et 3 octobre 1975.

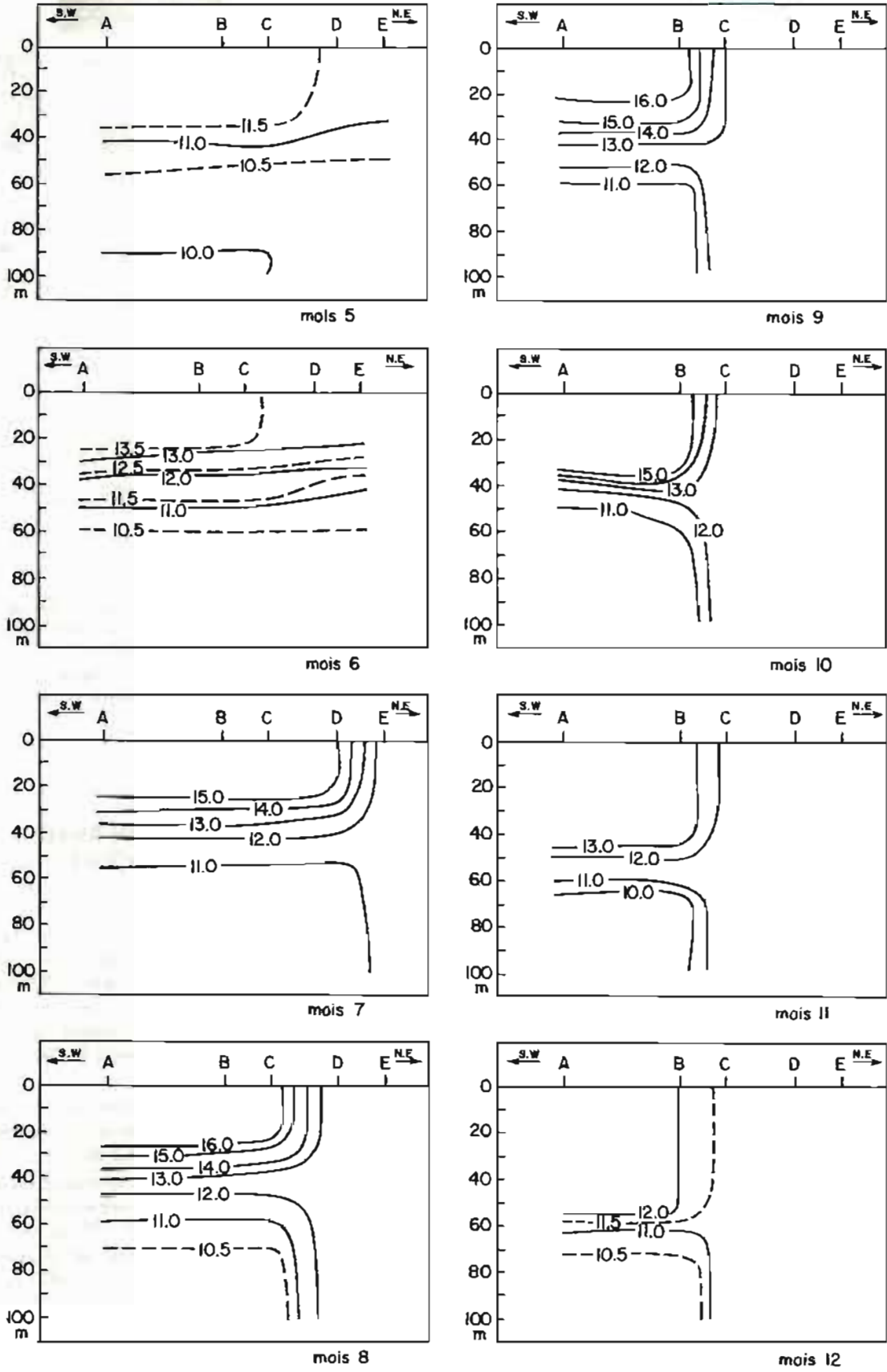


FIG. 14.  
Variation annuelle théorique sur la coupe I.  
Theoretical annual variation for cross-section I.

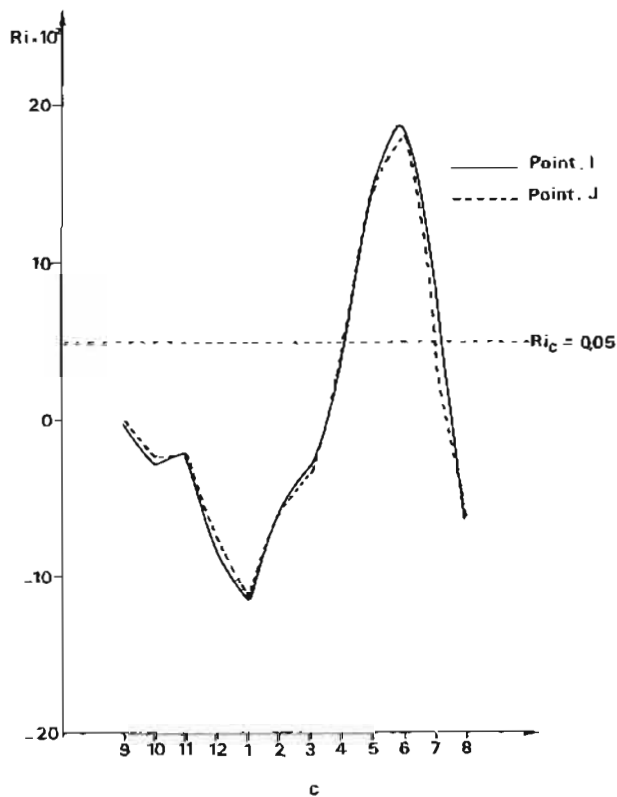
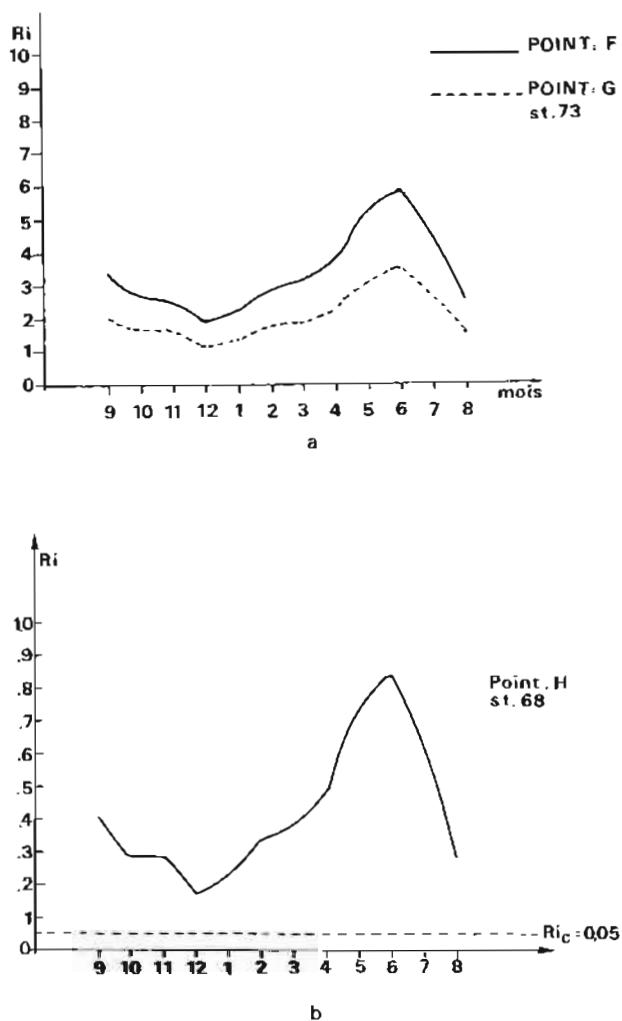


FIG. 15.

Courbes de variation de Ri au cours de l'année, obtenues pour les points de la coupe II : Points F et G (a), Point H (b), Points I et J (c).

Variation of Ri along the year for the different points of cross-section II : Points F and G (a), Point H (b), and Points I and J (c).

Bien que les températures de surface obtenues avec le radiomètre au début du mois présentent une discontinuité entre les points B et C, les données de la campagne CAPRIROISE à la fin du mois d'octobre (du 20 au 28) ne confirment pas ce résultat.

La disparition du front thermique à la fin du mois d'octobre, au Sud du parallèle  $48^{\circ}20'N$ , a été signalée par Raillard (1976).

Le fait que, d'une part, la théorie prévoit l'apparition du front thermique au mois d'octobre alors que, d'autre part, les mesures effectuées pendant cette période, au Sud de  $48^{\circ}20'N$ , montrent la disparition de ce même front, met en évidence le rôle joué dans l'évolution du front thermique par d'autres facteurs que l'influence des courants de marée, notamment sans doute, la venue de l'époque des tempêtes.

## IX. ANALYSE DES DIAGRAMMES $\Theta - S$

Afin d'essayer d'expliquer l'écart observé entre les résultats théoriques et les observations, en particulier pour le mois d'octobre, nous allons étudier les dia-

grammes  $\Theta - S$  des stations situées dans chacune des deux zones, homogène et stratifiée (fig. 3).

Sur la figure 21 il apparaît que les caractéristiques de l'eau de surface de la région stratifiée ( $\Delta T > 0.25^{\circ}C$ ) sont identiques à celles de la masse d'eau de la région homogène ( $\Delta T < 0.25^{\circ}C$ ). Cette masse d'eau homogène ne peut donc être le résultat du mélange des deux couches d'eau de la région stratifiée.

En étudiant l'évolution dans le temps des diagrammes  $\Theta - S$  (fig. 22) on peut remarquer qu'en un même point (septembre : st. 27, octobre : st. 265) la couche d'eau s'est homogénéisée de la surface au fond en conservant les caractéristiques de l'eau de surface qui était présente un mois avant, alors que l'eau du fond a complètement disparu.

Ceci implique la présence d'advection dans la région.

De l'eau de fond froide peut être associée au bourrelet d'eau froide décrit par Henaff (1973). Henaff pense que ce bourrelet d'eau est stationnaire mais il a été mis en évidence (Le Floch, 1977) que, dans certaines conditions, l'on peut observer un déplacement de ce bourrelet.

Le déplacement de l'eau de fond froide et la remontée vers le Nord, le long de la côte, d'eau plus

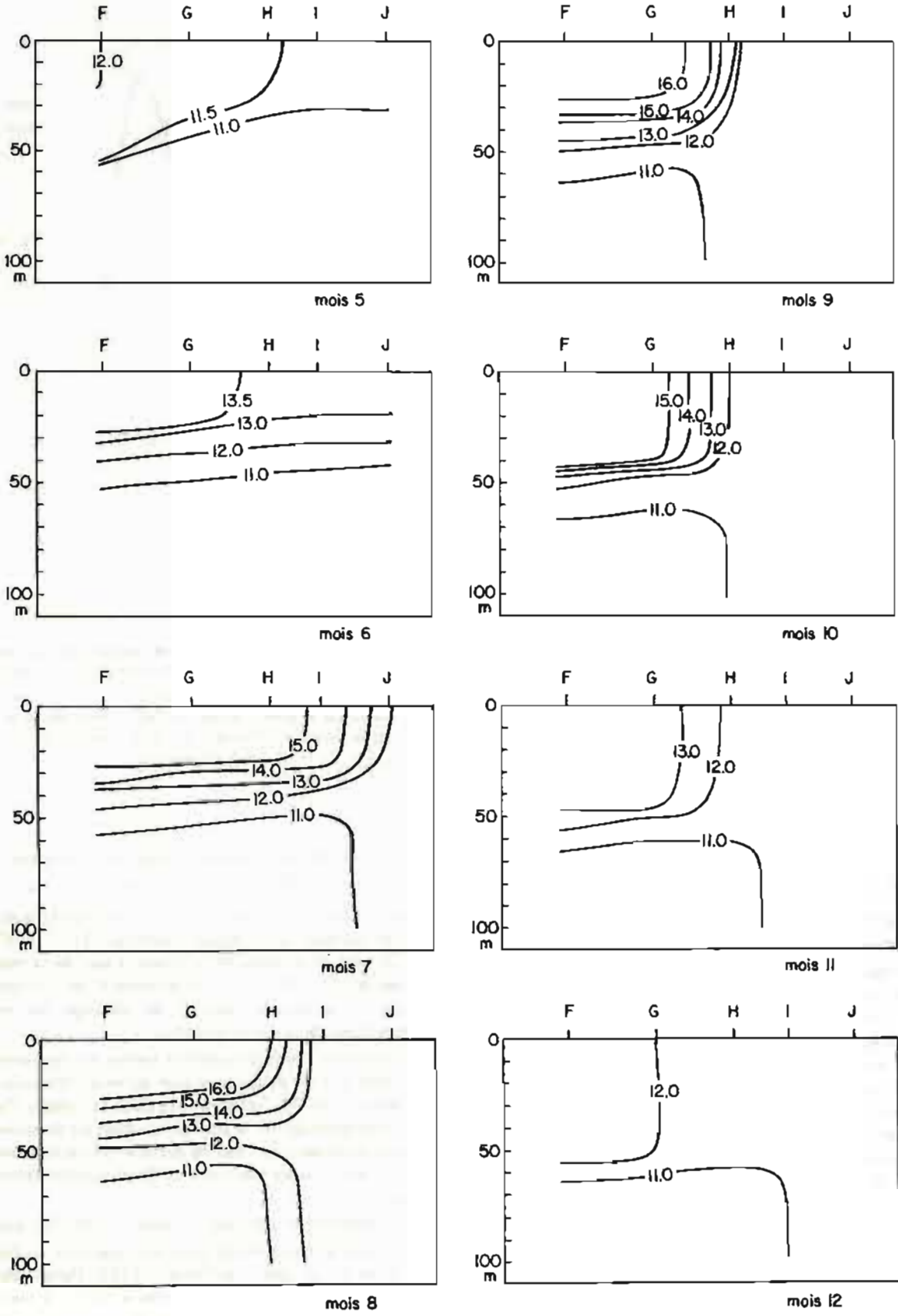


FIG. 16.

Variation annuelle théorique de la coupe II.  
Theoretical annual variation for cross-section II.



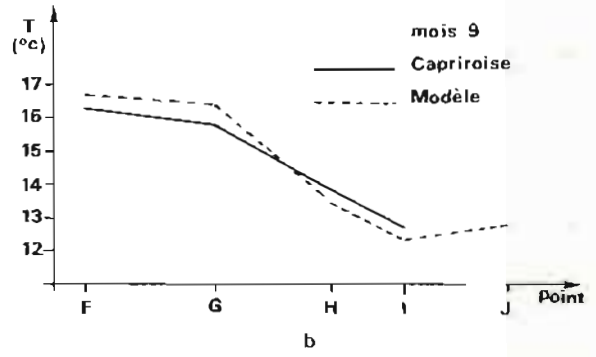
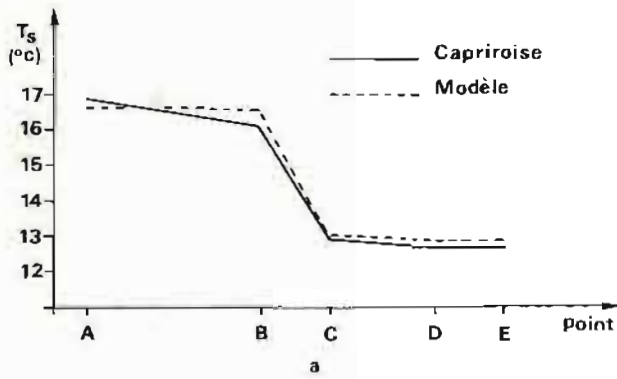


FIG. 17.

a) Comparaison entre les températures de surface obtenues par Raillard (1976) et les températures de surface théoriques ; Coupe I.

Comparison between surface temperatures obtained by Raillard (1976), and theoretical ones ; cross-section I.

b) id. ; coupe II. id. ; cross-section II.

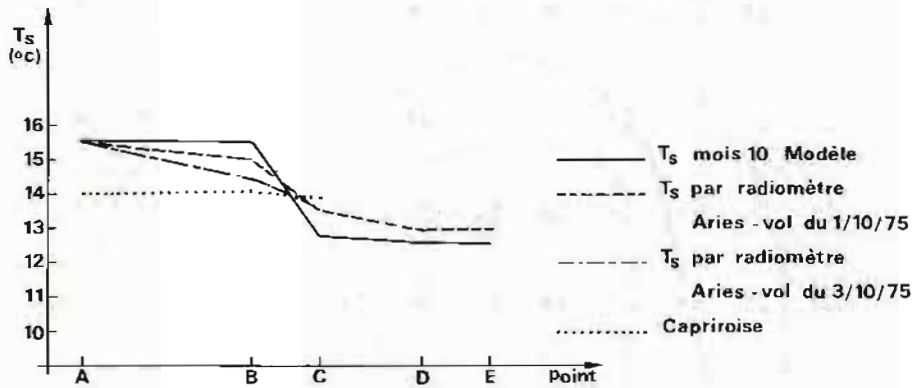


FIG. 18.

Comparaison entre les températures de surface théoriques et celles obtenues par radiomètre et par Raillard (1976) ; coupe I.

Comparison between theoretical surface temperatures and those obtained by radiometer and by Raillard (1976) ; cross-section I.

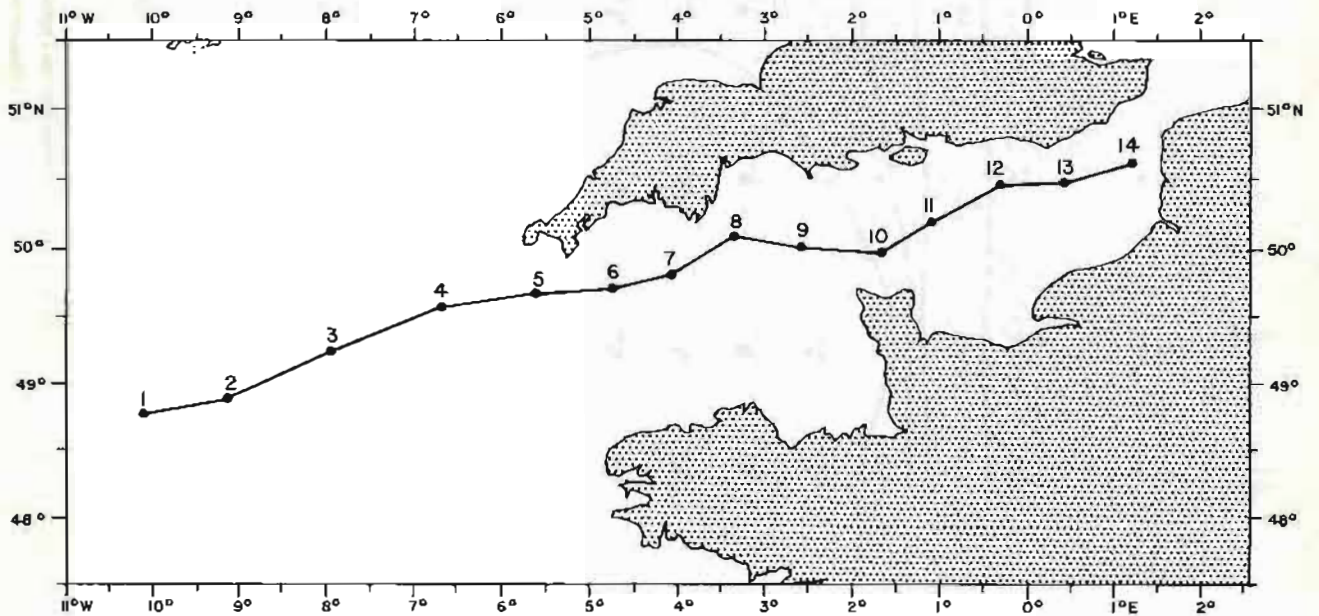


FIG. 19.

Coupe longitudinale de la région de la Manche, étudiée.  
Studied la Manche longitudinal cross-section.

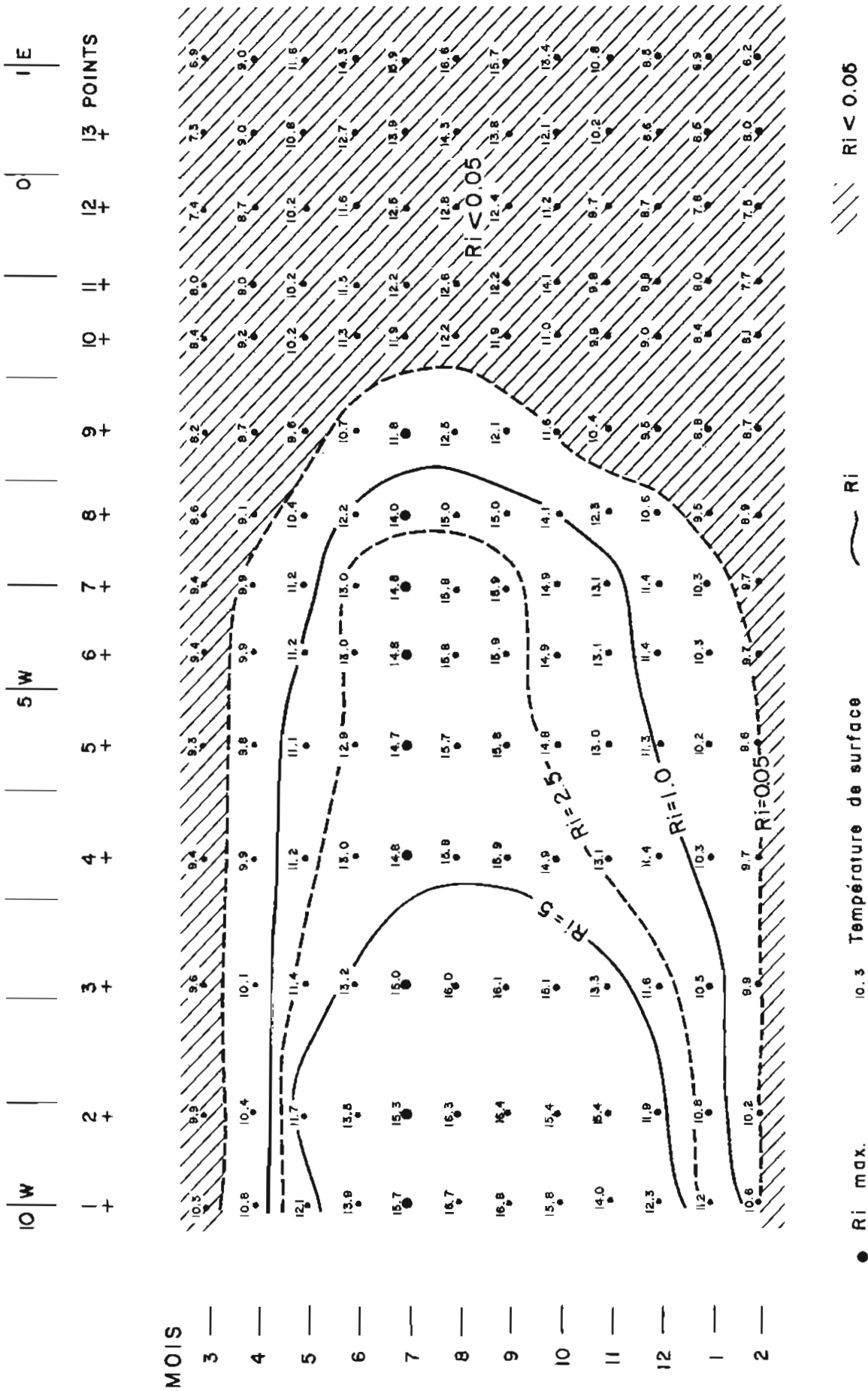


FIG. 20.  
 Résultats de l'application du modèle, à une coupe longitudinale de la Manche.  
 Results from the model applied to the Manche cross-section.

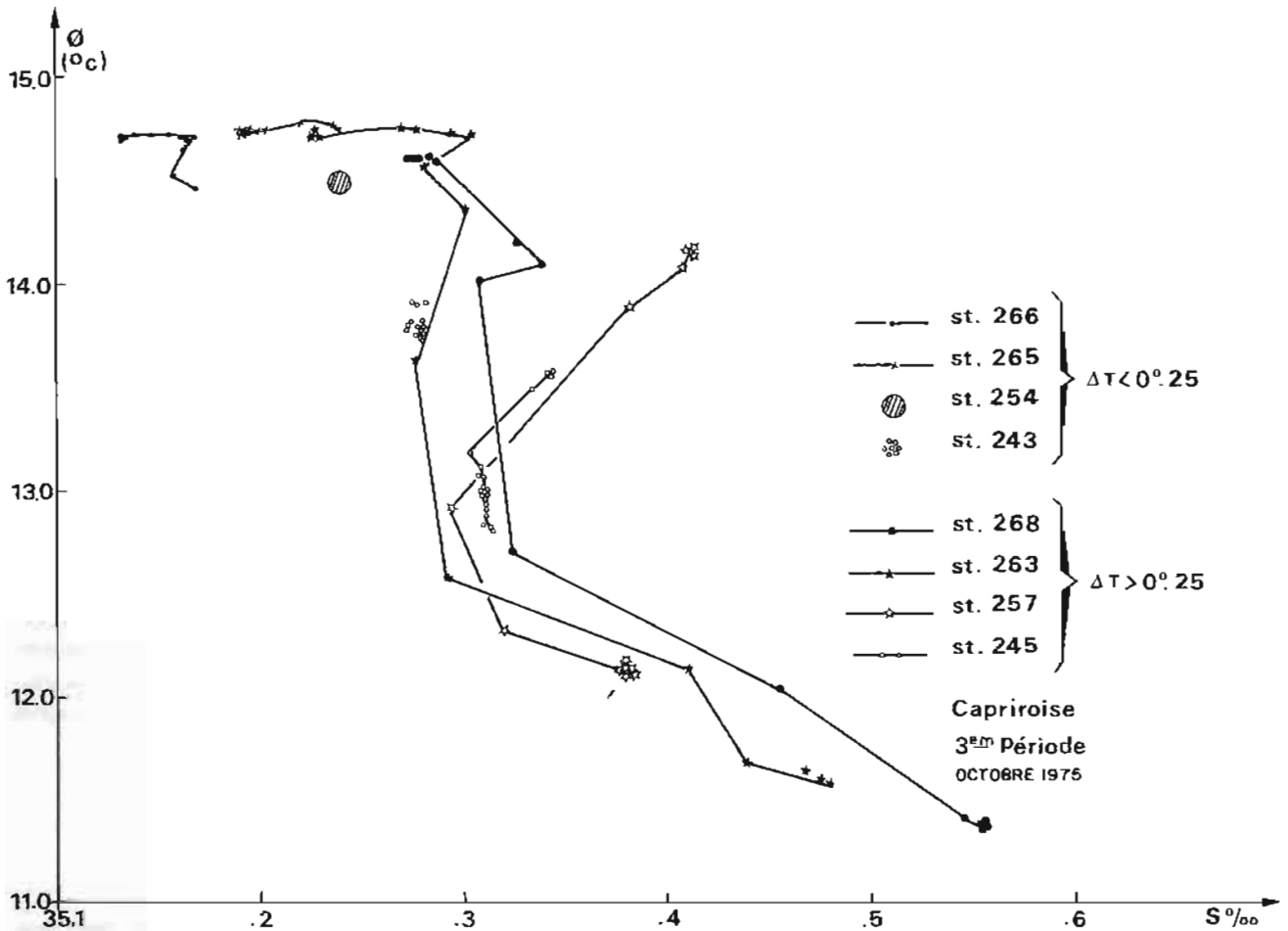
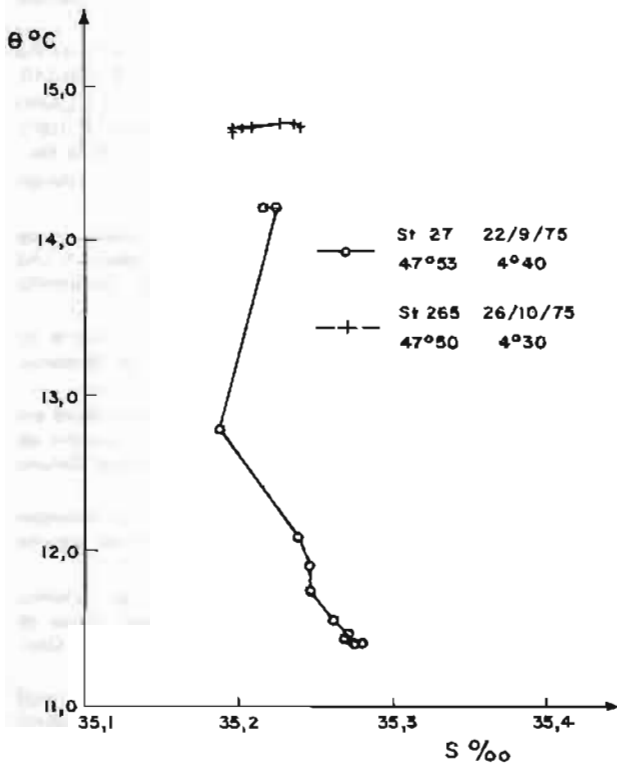


FIG. 21.

Diagrammes  $\theta$ -S dans la région homogène et dans la région stratifiée.  
 $\theta$ -S diagrams in the homogeneous region and in the stratified one.



chaude en provenance du plateau continental de Nord-Gascogne, produisant un réchauffement général des eaux près de la côte (Raillard, 1976), peuvent être cause de la disparition du front thermique au mois d'août.

La présence d'advection dans la région expliquerait le fait que le modèle proposé ne reproduise pas théoriquement la situation à la fin du mois d'octobre.

Les deux coupes étudiées antérieurement ont été choisies, malgré la présence d'un gradient horizontal de courant de marée considérable dû à une forte différence de profondeur et à la présence d'accidents géographiques, car elles rendent possible la comparaison de résultats théoriques avec la réalité marine. La validité du modèle dans la limite des approximations faites ayant été vérifiée, nous avons tenté d'appliquer ce modèle à une coupe longitudinale de la Manche (fig. 19).

FIG. 22.

Diagrammes  $\theta$ -S des stations hydrologiques de même position géographique mais obtenues à différentes périodes de la campagne Capriroise.

$\theta$ -S diagrams of hydrological stations, obtained in the same geographical positions, but at different periods of the Capriroise cruise.



Toutefois, dans un but de simplification, nous avons seulement étudié le cas correspondant aux courants rencontrés en période de vive-eau moyenne, supposée indéfiniment reproduite.

Les résultats obtenus sont schématisés sur la fig. 20 :

a) à l'Est de 2° W, l'eau est homogène toute l'année.

b) il y a un déplacement du front thermique vers l'Est entre les mois d'avril et juillet (Ri augmente) et vers l'Ouest de juillet à octobre.

Les résultats sont encore une fois en bon accord avec ceux de Guitton et Henrotte-Bois et de Pingree.

Pour la période de morte-eau moyenne, on peut s'attendre à trouver des nombres de Richardson locaux 3 ou 4 fois plus grands et il est visible d'après la figure 20 que la zone de transition n'est déplacée que de fort peu et la concordance avec les résultats de Guitton, Henrotte-Bois et Pingree n'est donc pas surprenante.

## X. CONCLUSION

Le front thermique sur le plateau continental breton apparaît directement lié à la turbulence engendrée par les courants de marée qui introduisent un mélange vertical suffisant pour empêcher toute stratification. Le paramètre d'apparition de la stratification que nous avons défini à partir du nombre de Richardson, en considérant l'amplitude maximum du courant de marée, apparaît ainsi comme valable.

Dans les régions stratifiées, les résultats de la prévision thermique sont en bon accord avec les observations (campagne CAPRIROISE) et les valeurs moyennes de température (DWS Atlas et Servain).

Dans les régions non stratifiées, la courbe théorique passe par le point déduit des mesures de la campagne CAPRIROISE mais s'éloigne considérablement des valeurs moyennes. Ceci est certainement dû au fait que nous comparons des mesures ou prévisions en un point déterminé à des valeurs moyennées sur une aire donnée.

La prévision des températures de surface est atteinte avec une marge d'erreur inférieure à 1°C, dans les deux cas.

Les températures théoriques du fond sont inférieures d'environ 2°C aux températures moyennes du fond mesurées.

Pour améliorer les résultats obtenus de la température du fond, nous avons tenu compte de la diffusion horizontale. Le fait d'introduire celle-ci apporte une petite correction aux températures du fond. Cette correction améliore l'écart entre températures théoriques et températures mesurées ( $\Delta T = 1.0^\circ\text{C}$ ), mais est insuffisante pour expliquer le désaccord entre observations et théorie.

Sur la base des résultats obtenus, nous pouvons conclure que, en fonction de la variation d'amplitude des courants de marée, le front thermique à l'Ouest de la Bretagne se déplace vers l'Ouest entre les mois de juin et de novembre.

Au Sud du parallèle 48°20'N, la théorie prévoit, pour le mois d'octobre, l'existence du front thermique dans la région considérée, tandis que les mesures obtenues pendant cette période montrent la disparition totale du front. L'analyse des diagrammes  $\Theta - S$  nous amène à établir la présence d'advection dans cette région au mois d'octobre. L'eau froide proche du fond s'est déplacée vers le large.

L'absence d'advection étant une hypothèse du modèle, il n'y a pas lieu de s'étonner des écarts constatés.

L'application du modèle à l'ensemble de la Manche reproduit assez bien le déplacement raisonné du front thermique tel que le décident les observations.

## REMERCIEMENTS

Je remercie M. le Professeur J. Le Floch' de m'avoir suggéré ce travail.

J'adresse mes sincères remerciements à M. le Professeur H. Lacombe qui m'a fait des suggestions importantes et avec qui j'ai eu de fructueuses discussions.

Je remercie aussi M. J. Raillard qui a mis si aimablement à ma disposition les résultats des campagnes CAPRIROISE.

## BIBLIOGRAPHIE

- ALBRECHT F. (1940). — Untersuchungen über der Wärmehaushalt der Erdoberfläche in verschiedenen klimagebieten. *Reichsanst. f. Wetterdienst. Wiss. Abh. Bd. 8, 2, 1-13.*
- BARRY B Mck. (1963). — Temperature, salinity and plankton in the eastern North Atlantic and Coastal waters of Britain, 1957. I The characterisation and distribution of surface waters. *J. Fish. Res. Bd. Canada, 20, n° 3.*
- COOPER L.H.N. (1967). — The physical oceanography of the Celtic Sea. *Ocean. Mar. Biol. Ann. Rev., 5, 99-110.*
- DECHAMBENOY C., LE FLOCH' J., PONTIER L., RAILLARD J., SIROU F. (1977). — Rapport Scientifique n° 9, UBO, 2de Partie, UER des Sciences de la Matière et de la Mer.
- DEFANT A. (1961). — Physical Oceanography, Vol. 1. Pergamon Press.
- DIETRICH G. (1950). — Die anomale Jahreschwankung de Währmeinhalt im Englischen Kanal, ihre Ursachen und Auswirkungen. *Deutsche Hydrographische Zeitschrift, Band 3, Heft 3/4, 184-201.*
- FEARNHEAD P.G. (1975). — On the formation of fronts by tidal mixing around the British Isles. *Deep Sea Research, 22, 311-321.*
- GRALL J.R., LE FEVRE G. et J. (1971). — Observations sur la distribution du plancton à proximité d'Ouessant en juin 1969 et ses relations avec le milieu physique. *Cahiers Océanographiques, 23, n° 2, 145-170.*
- GUITTON J.P., HENROTTE-BOIS M. (1974). — Contribution à l'étude de l'isothermie en Mer Celtique et en Manche occidentale. N° 92 EPSHOM/E/OC, Brest.
- HENAFF G. (1973). — Contribution à l'étude de l'océanographie physique du secteur Nord-Gascogne. Thèse de 3ème Cycle, 25 juin 1973, Université de Bretagne Occidentale, Brest.
- LACOMBE H. (1973). — Modèles simples de prévision de l'état thermique de la mer et de l'immersion de la thermocline. *Ann. Hydrogr. 5ème série, vol. 2, n° 741, 3-19.*

- LE FLOCH' H. (1977). — Communication privée.
- LE MAGUERESSE A. (1974). — La structure thermique sur le plateau continental dans le secteur Ouest Breton. Thèse de 3ème Cycle. Université de Bretagne Occidentale. Brest.
- PINGREE R.D. (1975). — The advance and retreat of the thermocline on the Continental Shelf. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 55, 965-974.
- PINGREE R.D., PUGH P.R., HOLLIGAN P.M. and FOSTER G.R. (1976). — Summer phytoplankton blooms and red tides along tidal fronts in the approaches to the English Channel. *Nature*, 258, n° 5537, p. 672.
- RAILLARD J. (1976). — Quelques aspects de la structure thermique sur le plateau continental breton. Rapport Scientifique n° 9, Première Partie, U.B.O., UER de Sciences de la Matière et de la Mer.
- SERVAIN J. (1976). — Etude de l'ensemble des données hydrologiques recueillies depuis le début du siècle en Mer Celtique. Thèse de 3ème Cycle. Université de Bretagne Occidentale. Brest.
- SIMPSON et HUNTER (1974). — Fronts in the Irish Sea. *Nature*, 250, August 2.
- SOUTHWARD A.J. (1962). — The distribution of some plankton animal in the English Channel and approaches. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 42, 275-375.
- TAYLOR G.J. (1931). — Internal Waves and turbulence in a fluid of variable density. *Rapp. Proc. Verb.* 74. Copenhagen.

# ÉTUDE DE LA VARIATION DU NIVEAU MOYEN EN MANCHE

par

M. Bernard SIMON

Ingénieur civil sous contrat

Établissement Principal du Service Hydrogéologique et Océanographique de la Marine

## RESUME

Pour l'étude du niveau moyen de la Manche, des méthodes statistiques ont d'abord été utilisées afin de rechercher les corrélations éventuelles entre les variations du niveau observées et les conditions météorologiques locales.

La mise en défaut de ces méthodes aux fréquences relativement élevées nous a amené à mettre au point un modèle numérique destiné à la simulation des divers phénomènes.

La taille limitée de l'ordinateur disponible a imposé l'emploi d'un modèle simple, limitant la précision des résultats qui doivent surtout être considérés comme qualitatifs.

## ABSTRACT

To investigate the mean sea level variability in the English Channel, statistical methods have been applied to derive relations between the observed level and meteorological conditions.

The failure of this approach for high frequency variations (lcpd) has lead to the development of a numerical model.

The limited capacity of the computer has restricted us to a simple model of which results must be considered from a qualitative point of view.

## SOMMAIRE

|  | Pages |   | Pages |
|--|-------|---|-------|
| INTRODUCTION . . . . .   | 28    | 2. Recherche d'une interaction entre niveau moyen et marée d'origine astronomique . . . . . | 30    |
| I. Définition et calcul du niveau moyen . . . . .                                  | 28    | 3. Corrélation entre niveau moyen et paramètres météorologiques . . . . .                   | 32    |
| 1.1. Définition . . . . .  | 28    | 4. Corrélation entre les niveaux moyens dans divers ports . . . . .                         | 35    |
| 1.2. Filtrage numérique . . . . .  | 28    | IV. Modèle numérique de la Manche . . . . .   | 41    |
| 2. Erreurs d'observation . . . . .   | 28    | 1. Formulation . . . . .  | 41    |
| 3. Application du filtrage numérique à l'élimination des erreurs . . . . .         | 29    | 2. Conditions aux limites . . . . .   | 42    |
| II. Situation du zéro hydrographique et du niveau moyen . . . . .                  | 29    | 3. Résolution par les différences finies . . . . .  | 43    |
| 1. Situation du zéro hydrographique . . . . .                                      | 29    | 4. Résultats . . . . .  | 45    |
| 2. Situation du niveau moyen . . . . .   | 29    | Conclusions . . . . .   | 45    |
| III. Etude statistique du niveau moyen et des paramètres météorologiques . . . . . | 30    | Bibliographie . . . . .   | 46    |
| 1. Généralités . . . . .   | 30    |   |       |



## INTRODUCTION

L'étude des niveaux moyens d'abord entreprise pour Le Havre et Cherbourg a débordé son cadre restreint pour englober toute la Manche : c'était en effet le seul moyen de comprendre, dans la mesure du possible, l'origine des variations de niveau observées.

La définition adoptée pour le niveau moyen ainsi que l'utilisation des méthodes statistiques exigent l'élimination complète des composantes périodiques de la hauteur d'eau, ce qui nous a amené à étudier particulièrement diverses procédures de filtrage.

L'utilisation des méthodes statistiques a été précédée d'une recherche des interactions éventuelles entre le niveau moyen et la marée d'origine astronomique. Un tel comportement aurait en effet été susceptible de mettre ces méthodes en défaut.

L'étude statistique a porté d'une part sur la recherche des corrélations entre le niveau et les paramètres météorologiques locaux (vent et gradient de pression), d'autre part sur la recherche de corrélation entre les niveaux moyens dans divers ports. Des formules empiriques simples ont pu être établies. Cependant, les méthodes statistiques se sont révélées inaptes à l'étude des périodes relativement courtes (de l'ordre de la journée) et il est apparu qu'une étude complète du niveau moyen exigeait la mise au point d'un modèle numérique.

La deuxième partie de l'étude présente un modèle de la Manche, qui malgré sa grande simplicité, donne des résultats encourageants.

## I. DEFINITION ET CALCUL DU NIVEAU MOYEN

### 1.1. Définition

Nous avons adopté la définition donnée en [1] : Le niveau moyen est la hauteur de la mer dépouillée de ses variations périodiques d'origine astronomique et de période connue. Cette grandeur n'est pas une valeur moyenne (son appellation est donc impropre), mais présente l'avantage de ne pas dépendre d'une durée arbitraire.

Dans la pratique, cependant, on travaille généralement sur des moyennes pondérées, ce qui revient à effectuer un filtrage numérique.

On supposera que les hauteurs mesurées dans un port sont rapportées à un repère matériel stable et donc cohérentes entre elles aux erreurs de mesure près.

### 1.2. Filtrage numérique

#### 1.2.1. Généralités

Les filtres employés pour les calculs de niveau

moyen sont toujours symétriques de manière à ne pas perturber les phases.

Soit un filtre défini par :

$$v_h = \sum_{\ell=-N}^{\ell=+N} h_{\ell} x_{h+\ell}$$

les coefficients  $h_{\ell}$  sont les poids du filtre ; ici  $h_{\ell} = h_{-\ell}$  ;  $\{x_i\}$  est la suite à filtrer (hauteurs horaires en général) ;  $\{v_i\}$  est la suite filtrée.

La fonction de transfert du filtre est égale à :

$$F(v) = h_0 + 2 \sum_{\ell=1}^N h_{\ell} \cos(2\pi v \ell \Delta) \quad (1)$$

$\Delta$  étant le pas d'échantillage.

#### 1.2.2. Filtres pour le calcul du niveau moyen

Conformément à la définition, on cherche à éliminer les ondes d'origine astronomique, excepté celles dont les périodes sont longues (quelques jours et plus).

Une méthode généralement employée consiste à combiner des filtres simples de fonctions de transfert connues : on peut par exemple faire la moyenne des hauteurs sur 25 heures consécutives, recommencer l'opération et faire enfin la moyenne sur 24 heures consécutives. La moyenne de 25 hauteurs élimine particulièrement l'onde  $M_2$  et la moyenne de 24 hauteurs l'onde  $S_2$ .

L'inconvénient de cette méthode est d'éliminer une partie de l'énergie contenue dans les périodes supérieures à 1 jour et toute l'énergie contenue dans les périodes inférieures à 1 jour (aux résidus près, qu'il vaudrait mieux éliminer complètement).

On peut également se donner une fonction de transfert a priori par ses valeurs pour un certain nombre de fréquences  $v_i$  et résoudre le système d'équations linéaires en  $h_{\ell}$  donné par l'équation (1) appliquée à chaque  $v_i$ . Comme on peut se fixer autant de valeurs de  $i$  que l'on veut, on a intérêt à résoudre un système surabondant par les moindres carrés en donnant éventuellement un poids plus fort aux équations correspondant aux fréquences pour lesquelles on désire une bonne précision de la fonction de transfert.

#### 1.2.3. Calcul du niveau moyen par F.F.T.

La méthode précédente nécessite un grand nombre de coefficients si l'on veut obtenir des fonctions de transfert compliquées ou possédant des variations rapides avec la fréquence ; cela entraîne un allongement des temps de calculs.

Il a semblé plus rapide et plus commode d'utiliser la série de Fourier calculée par l'algorithme "Fast Fourier Transform" ; il suffit d'annuler dans la série de Fourier les fréquences à éliminer (sans oublier les fréquences négatives) et d'appliquer la transformation inverse.

Notons cependant que cette méthode présente l'inconvénient de ne pouvoir être appliquée de manière itérative : si on calcule la F.F.T. sur deux segments sus-



cessifs, on crée une discontinuité à l'extrémité commune des deux segments.

## 2. Erreurs d'observation

Nous avons essayé de tenir compte des principales erreurs que l'on trouve dans les observations [2] ; il est difficile de les imaginer toutes : la liste ci-dessous ne saurait donc être exhaustive.

### 2.1. Mauvais calage en temps des observations

L'effet de ces erreurs se fait sentir principalement dans le groupe semi-diurne et oblige à filtrer complètement la bande de fréquence correspondante. Dans les autres fréquences, leur influence est généralement négligeable.

### 2.2. Défauts d'engrenages sur les marégraphes à tambour

Ces défauts sont particulièrement gênants dans le groupe diurne et se font également bien sentir dans le groupe tiers-diurne. La meilleure méthode pour les éliminer est de soustraire à l'observation une prédiction englobant les ondes artificielles créées par modulation des ondes principales (il est dans ce cas meilleur de prendre les composantes calculées sur les mêmes observations, ce qui revient à un filtrage à bande passante très étroite).

Si cette opération est impossible, on sera obligé de filtrer le groupe diurne complet, ce qui peut masquer certains phénomènes.

### 2.3. Mauvais calage en hauteur des observations

Il se fait sentir presque exclusivement dans les basses fréquences (en supposant que les calages restent constants sur des périodes de quelques jours). Si l'on veut s'affranchir de ces erreurs, il faudra filtrer les basses fréquences. La fréquence de coupure la plus réaliste est de sept jours, durée la plus répandue des marégrammes.

## 3. Application du filtrage numérique à l'élimination des erreurs

### 3.1. Etude des périodes relativement courtes (inférieures à 7 jours environ)

Les marégrammes ont en général une durée de 7 jours. Nous avons donc éliminé les périodes supérieures à 7 jours.

Pour éliminer la marée, on a commencé par effectuer une marée différence, puis on a filtré les périodes inférieures à 0,7 jour.

Les fréquences diurnes ont été éliminées par simple différence avec une prédiction.

Le filtre utilisé a été la F.F.T. : appliquée à 2048 heures d'observations.

### 3.2. Etude des périodes longues

Nous avons utilisé un filtre défini par l'Ingénieur en Chef de l'Armement Damerliac [3] ; ce filtre a des résidus négligeables.

## II. SITUATION DU ZÉRO HYDROGRAPHIQUE ET DU NIVEAU MOYEN

### 1. Situation du zéro hydrographique

Le zéro hydrographique dans ces ports, de même qu'à Brest, est situé trop bas. L'extrapolation des courbes de concordance n'ayant pas grande signification, nous avons travaillé à un niveau voisin de celui des plus basses mers possibles.

Une concordance directe entre Le Havre et Cherbourg (355 jours répartis sur 1974 et 1975) fait correspondre au niveau + 30 cm au Havre le niveau + 25 cm à Cherbourg.

Deux concordances Le Havre-Brest et Cherbourg-Brest, portant sur les années 1943 et 1963 pour Cherbourg et 1938, 1963 et 1964 pour Le Havre donnent les correspondances suivantes au niveau + 30 cm choisi arbitrairement.

|           |         |       |         |
|-----------|---------|-------|---------|
| Le Havre  | + 30 cm | Brest | + 41 cm |
| Cherbourg | + 30 cm | Brest | + 45 cm |

*Conclusion* : les zéros hydrographiques de Cherbourg et du Havre sont concordants à quatre ou cinq centimètres près. Ces niveaux sont situés à une trentaine de centimètres sous le niveau des plus basses mers possibles.

### 2. Situation du niveau moyen

Nous avons ici pris une autre définition du niveau moyen analogue à celle du niveau moyen figurant dans les annuaires : c'est alors la meilleure estimation possible *a priori* du niveau moyen ; cette estimation optimale est faite en faisant la moyenne du niveau défini en I-1 sur la plus longue période possible, exprimée autant que possible en nombre entier d'années pour éliminer les résidus annuels ou semi-annuels.

Plusieurs méthodes d'estimation ont été employées, et il est assez difficile de dire laquelle est la meilleure. Cette difficulté provient de l'impossibilité de qualifier la confiance que l'on peut apporter aux mesures. Considérons par exemple les variations du niveau moyen annuel au Havre et à Dieppe (fig. 1). L'étude de corrélation ci-dessous (voir III) montre que, pour les basses fréquences (plusieurs jours, voire plusieurs dizaine de jours), la cohérence entre les différents ports est très bonne ; la cohérence entre Dieppe et Le Havre devrait donc être voisine de 1. Or, la variation des niveaux moyens annuels ne montre pas un tel niveau de cohérence. Cela peut s'interpréter de deux manières :

a) les variations à très longue période (de l'ordre de



l'année) ne sont pas physiquement corrélées, alors que les variations à longue période (5 à 50 jours environ) le sont ;

b) les variations à longue période sont perturbées par les erreurs de calage des instruments. On peut très bien concevoir une partie de l'erreur de calage en hauteur comme constante sur de longues périodes, mais variable sur de très longues périodes (calages faux non contrôlés régulièrement et repris de temps en temps par exemple).

L'erreur b) semble la plus vraisemblable sans que l'hypothèse a) puisse être écartée. On comprendra que, dans ces conditions, il est difficile de chiffrer la confiance que l'on peut accorder à une série de données.

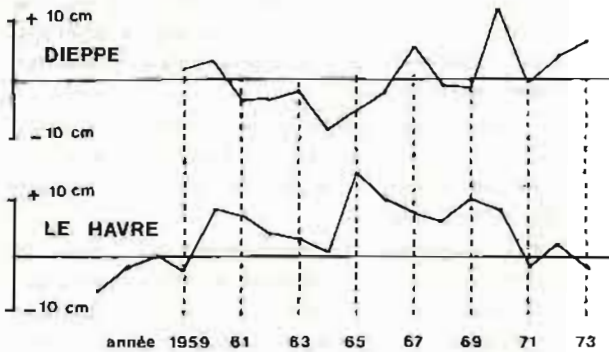


FIG. 1. — Niveaux moyens annuel au Havre et à Dieppe

## 2.1. Situation absolue du niveau moyen

### 2.1.1. D'après les dépouillements effectués par l'I.G.N. de 1957 à 1973

Cote du niveau moyen au Havre  
0,137 m N.G.F.  
soit 0,477 m I.G.N. 69

Cote du niveau moyen à Cherbourg  
0,003 m N.G.F.  
soit 0,373 m I.G.N. 69

Les observatoires ne sont contrôlés par l'I.G.N. qu'une fois par an, ce qui autorise de nombreuses erreurs en 17 ans.

### 2.1.2. D'après les dépouillements effectués par le S.H.O.M.

Ces dépouillements portent sur un nombre d'années assez faible (2 à 5 ans) et ont été réduits à l'aide du niveau moyen à Brest pendant les mêmes périodes.

|  |  |
|--|--|
|  | variation du N.M. à Brest                    |
| Cote du niveau moyen au Havre (5 ans) (par rapport au zéro hydrographique) en mètres | $4,807 + 0,032 = 4,839$<br>soit 0,118 N.G.F. |
| Cote du niveau moyen à Cherbourg (par rapport au zéro hydrographique) en mètres      | $3,779 + 0,034 = 3,813$<br>soit 0,113 N.G.F. |

Le résultat pour Le Havre concorde avec le niveau sur 17 ans calculé en 2.1.1.

Pour Cherbourg, l'accord avec le chiffre du 2.1.1 est nettement moins bon. Cela est peut-être dû au fait que la méthode du 2.1.2 n'a pu être appliquée que sur un an.

## 2.2. Situations relatives des niveaux moyens au Havre et à Cherbourg

La différence des niveaux moyens mensuels au Havre et à Cherbourg a été faite pour les mois où les observations complètes et dépouillées étaient disponibles à l'E.P.S.H.O.M. (18 mois répartis sur 1963, 1974 et 1975).

La moyenne obtenue sur la différence Le Havre moins Cherbourg est de 1,097 m (par rapport aux zéros hydrographiques).

La différence des cotes N.G.F. est donc  
 $1,097 - 1,021 = 0,076$  m

La différence des cotes I.G.N. est alors  
 $0,076 + 0,34 - 0,37 = 0,046$  m

## 2.3. Conclusion

D'après [6], le niveau moyen semi-mensuel au Havre serait supérieur à celui de Cherbourg de 0,055 environ. Cela concorde avec les différences observées, sans que l'on puisse pour autant en conclure que le système I.G.N. 69 est meilleur que le système N.G.F. Lallemand.

Les zéros hydrographiques du Havre et de Cherbourg, malgré une légère discordance (quatre ou cinq centimètres) sont cohérents entre eux et situés à une trentaine de centimètres sous le niveau des plus basses mers.

## III. ETUDE STATISTIQUE DU NIVEAU MOYEN ET DES PARAMETRES METEOROLOGIQUES

### 1. Généralités

Les algorithmes de calcul sont ceux de la référence 4. Ils ont permis d'estimer les densités spectrales, les cohérences et les fonctions de transfert.

L'interprétation de ces grandeurs s'inspire dans une grande mesure du même ouvrage.

Les programmes ont dû être spécialement écrits pour cette étude et représentent une part non négligeable du travail effectué.

### 2. Recherche d'une interaction entre niveau moyen et marée d'origine astronomique

Avant de commencer l'étude du niveau moyen proprement dit, il a semblé utile de détecter des interac-

tions éventuelles entre les courtes et longues périodes. Un tel comportement indiquerait des non-linéarités importantes susceptibles de mettre en défaut les méthodes statistiques employées.

Les fluctuations de niveau ayant une influence notable sur la vitesse de propagation, on peut s'attendre, en premier lieu, à détecter leur action sur la phase des ondes de marée.

Les phases du groupe semi-diurne ont été calculées heure par heure au moyen de la méthode des hauteurs réduites (Réf. 5) on leur a soustrait les phases correspondantes déduites d'une prédiction par la même méthode. La différence  $\Delta\varphi$  de ces deux grandeurs a été filtrée par le procédé déjà défini pour le niveau moyen  $\bar{H}$  (voir 1.2.3) ; les fréquences de coupure du filtre étaient de 1 et 0,1 cycle/jour.

Les densités spectrales de  $\bar{H}$  et de  $\Delta\varphi$  et leur cohé-

rence sont représentées sur la figure 2 pour une période de 86 jours s'étendant sur les trois premiers mois de l'année 1938.

La densité spectrale de  $\bar{H}$  présente un pic à la fréquence de un cycle par jour dû à des résidus de marée.

La densité spectrale de  $\Delta\varphi$  décroît fortement entre 0,3 et 1 cycle par jour ; ceci est inhérent à la méthode des hauteurs réduites qui effectue un lissage sur 24 heures. On peut considérer que les périodes comprises entre 3 jours et 10 jours sont correctement conservées.

La cohérence entre  $\Delta\varphi$  et  $\bar{H}$  est significativement nulle.

Le type d'interaction recherché, s'il existe, est très faible. Son influence sur la phase des ondes du groupe semi-diurne est inférieure à quelques dixièmes de minute de temps dans les cas les plus défavorables.

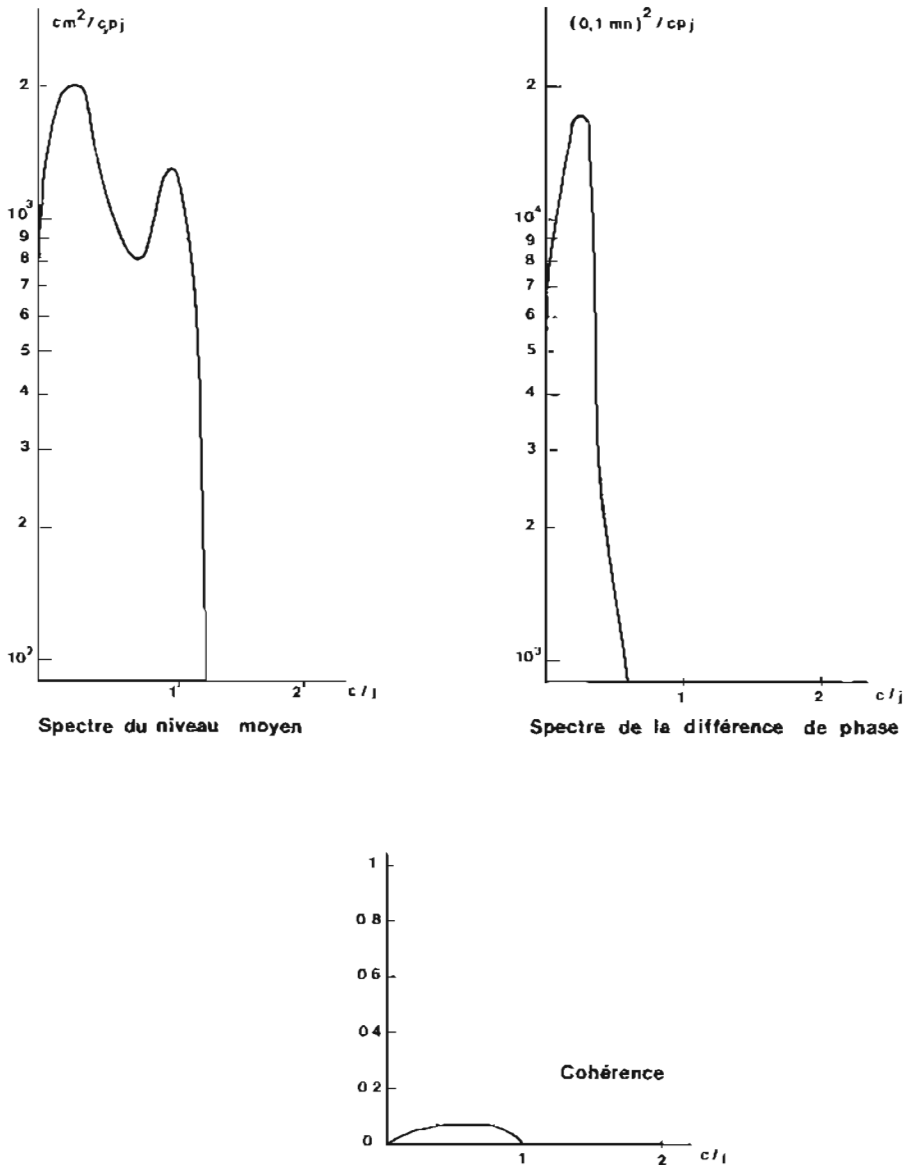


FIG. 2. — Le Havre 1938

### 3. Corrélation entre Niveau Moyen et Paramètres Météorologiques

L'étude a porté sur les trois premiers mois de 1963 et de 1964.

En 1963, la situation météorologique présente des aspects variés : régime de vents de secteur Est, suivi de perturbations atlantiques.

En 1964, on trouve des situations analogues.

Cette période de l'année a été choisie en raison des vents forts qui la caractérisent ; l'alternance de régimes d'Est et d'Ouest, avec tous les intermédiaires possibles, laisse espérer une bonne détermination des corrélations.

Les paramètres météorologiques considérés sont la

pression (en millibars) et les deux composantes du vent géostrophique relevé sur les bulletins quotidiens d'études de la Météorologie Nationale. La pression relevée est la pression locale ; le gradient a été moyenné à vue sur la Manche. Le pas d'échantillonnage est de 12 heures (observations de 6 h et de 18 h T.U.).

Le niveau moyen a été calculé à l'aide d'un filtre passe-bas [3]. En effet, l'élimination des longues périodes aurait pu masquer en partie l'effet de baromètre inversé.

#### 3.1. Densités spectrales

Les densités spectrales calculées sur 1963 sont portées sur la figure 3. On peut y remarquer principalement :

— la décroissance rapide du spectre de pression avec la fréquence ;

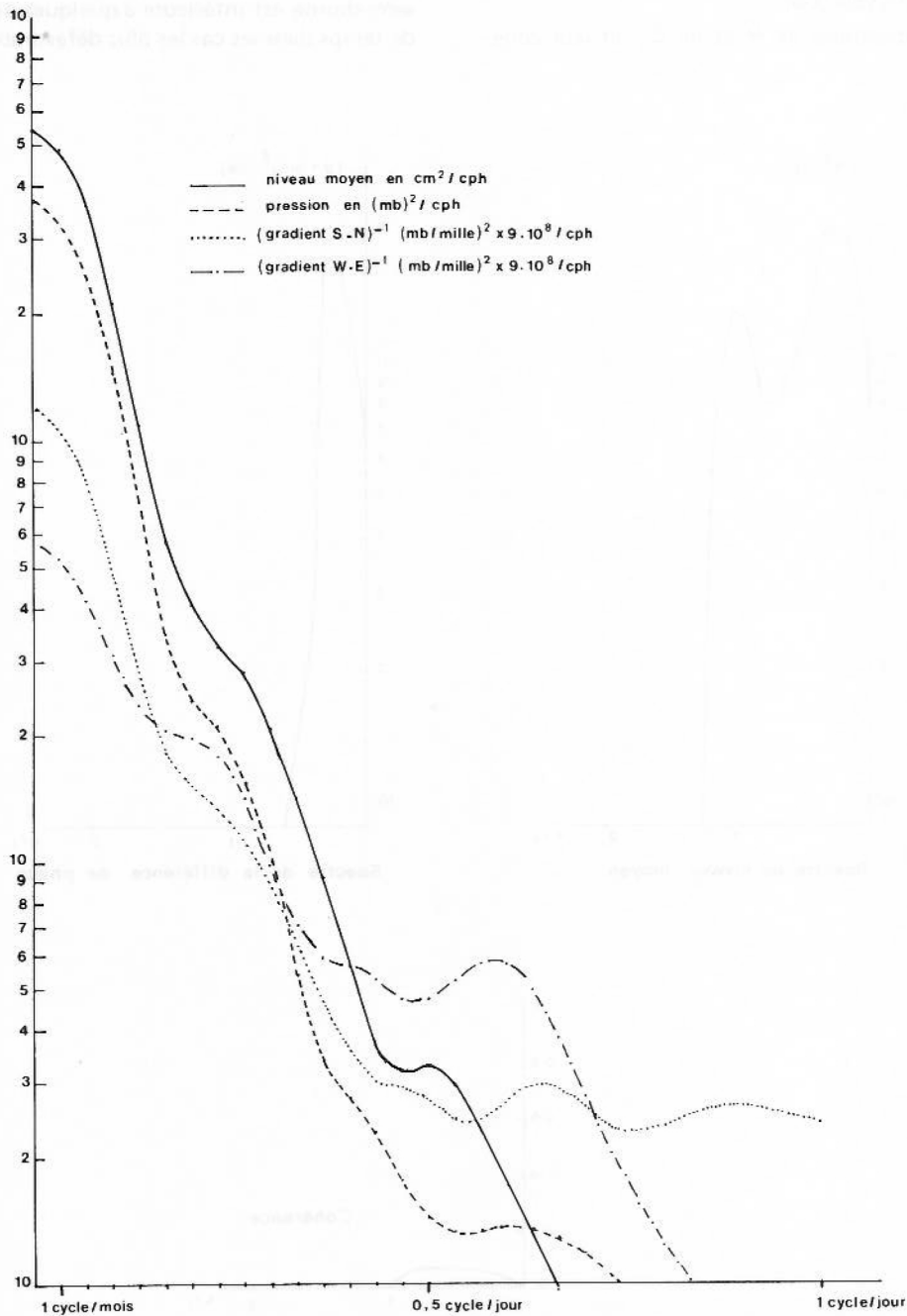


FIG. 3. — Le Havre 1963. Densités spectrales.



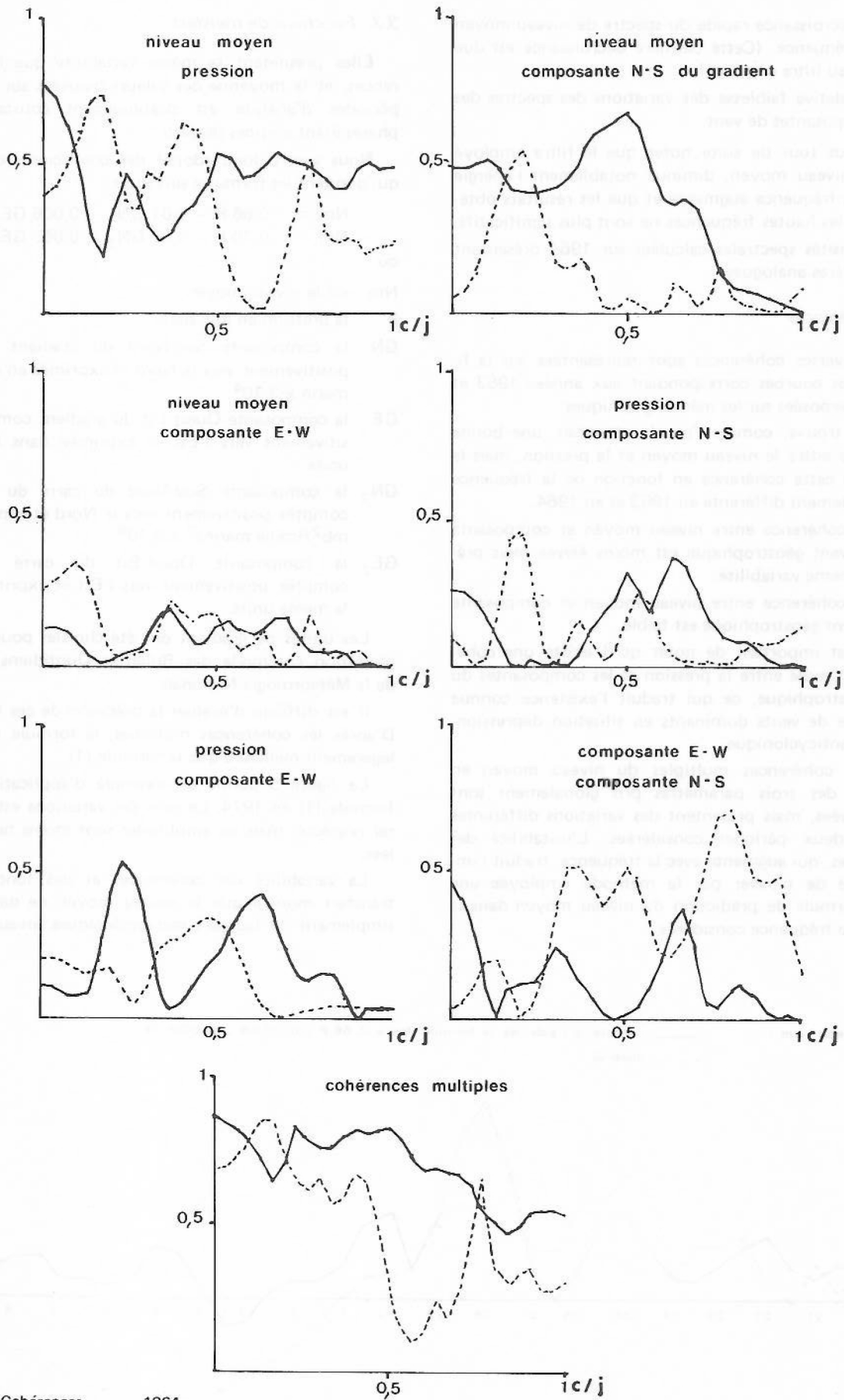


FIG. 4. — Cohérences - - - - 1964  
 ——— 1963

— la décroissance rapide du spectre de niveau moyen avec la fréquence. (Cette dernière décroissance est due en partie au filtre employé).

— la relative faiblesse des variations des spectres des deux composantes de vent.

On peut tout de suite noter que le filtre employé pour le niveau moyen, diminue notablement l'énergie lorsque la fréquence augmente et que les résultats obtenus pour les hautes fréquences ne sont plus significatifs.

La densités spectrales calculées sur 1964 présentent des caractères analogues.

### 3.2. Cohérences

Les diverses cohérences sont représentées sur la figure 4, les courbes correspondant aux années 1963 et 1964 superposées sur les mêmes graphiques.

— On trouve, comme l'on s'y attendait, une bonne cohérence entre le niveau moyen et la pression, mais la valeur de cette cohérence en fonction de la fréquence est notablement différente en 1963 et en 1964.

— La cohérence entre niveau moyen et composante O-E du vent géostrophique est moins élevée mais présente la même variabilité.

— La cohérence entre niveau moyen et composante S-N du vent géostrophique est faible.

— Il est important de noter qu'il existe une cohérence non nulle entre la pression et les composantes du vent géostrophique, ce qui traduit l'existence connue de régime de vents dominants en situation dépressionnaire ou anticyclonique.

— Les cohérences multiples du niveau moyen en fonction des trois paramètres pris globalement sont assez élevées, mais présentent des variations différentes sur les deux périodes considérées. L'instabilité des cohérences, qui augmente avec la fréquence, traduit l'impossibilité de trouver par la méthode employée une bonne formule de prédiction du niveau moyen dans la gamme de fréquence considérée.

### 3.3. Fonctions de transfert

Elles présentent la même variabilité que les cohérences, et la moyenne des valeurs trouvées sur les deux périodes d'analyse est pratiquement constante, les phases étant voisines de zéro.

Nous avons donc adopté des coefficients constants qui donnent les formules suivantes :

$$Nm = -0,66 P - 0,01 GN - 0,006 GE \quad (1)$$

$$Nm = -0,70 P - 0,07 GN_2 - 0,055 GE_2 \quad (2)$$

où

Nm est le niveau moyen

P la pression en millibars

GN la composante Sud-Nord du gradient comptée positivement vers le Nord et exprimée en mb/mille marin  $\times 3,10^4$

GE la composante Ouest-Est du gradient comptée positivement vers l'Est et exprimée dans la même unité

GN<sub>2</sub> la composante Sud-Nord du carré du gradient comptée positivement vers le Nord et exprimée en  $mb^2/(\text{mille marin})^2 \times 9,10^8$

GE<sub>2</sub> la composante Ouest-Est du carré gradient comptée positivement vers l'Est et exprimée dans la même unité.

Les unités de gradient ont été choisies pour une exploitation commode des Bulletins Quotidiens d'Etude de la Météorologie Nationale.

Il est difficile d'évaluer la précision de ces formules. D'après les cohérences multiples, la formule (2) serait légèrement meilleure que la formule (1).

La figure 5 donne un exemple d'application de la formule (1) en 1974. Le sens des variations est en général respecté, mais les amplitudes sont moins bien calculées.

La variabilité des cohérences et des fonctions de transfert montre que le niveau moyen ne dépend pas simplement de facteurs météorologiques locaux, même

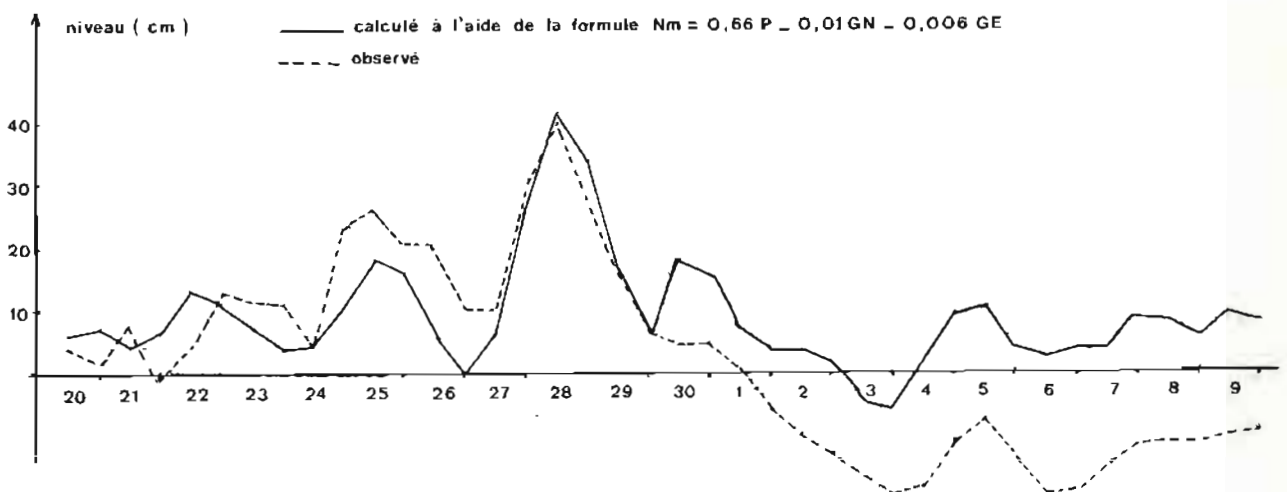


FIG. 5. — Août et Septembre 1974

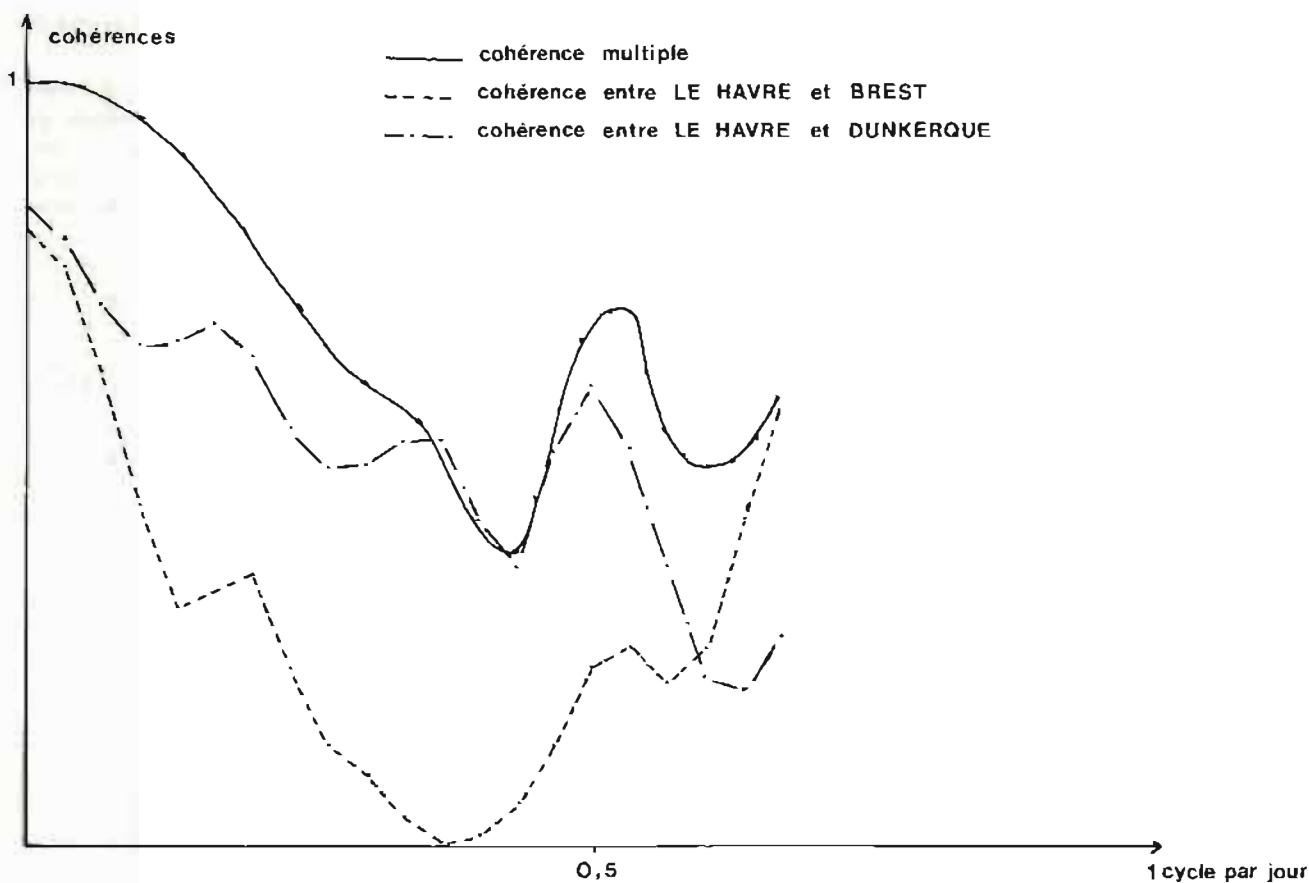


FIG. 6

moyennés sur de grandes surfaces comme l'ont été les vents géostrophiques.

Cette dépendance d'un grand nombre de facteurs a été mise en évidence d'une autre manière, par corrélation entre les niveaux moyens dans différents ports. On a porté sur la figure 6 les cohérences entre les niveaux moyens au Havre et à Brest et Dunkerque, ainsi que la cohérence multiple entre, d'une part le Havre et, d'autre part Brest et Dunkerque pris globalement ; cette dernière est nettement supérieure aux cohérences partielles, atteignant en particulier la valeur 1 aux très basses fréquences. On peut interpréter ce résultat comme une preuve que la mer du Nord et l'Atlantique ont tous deux une influence sur le niveau moyen au Havre.

*Remarque.* On peut en déduire une formule empirique donnant pour les très basses fréquences le niveau moyen au Havre en fonction des niveaux moyens à Brest et à Dunkerque (à l'addition d'une constante près) :

Niveau au Havre =  $0,5 \times$  niveau à Brest +  $0,7 \times$  niveau à Dunkerque.

Une telle formule pourrait éventuellement permettre de déceler des erreurs de calage en hauteur.

### 3.4. Conclusion

L'étude a abouti à des formules extrêmement simples de prédiction du niveau moyen en fonction des paramètres météorologiques.

La précision de ces formules est limitée par deux causes principales :

- non prise en compte de la variabilité spatiale des paramètres
- non prise en compte des fréquences élevées (supérieures à un cycle par jour), ce qui, compte tenu de la détérioration des cohérences lorsque la fréquence augmente, n'aurait pas apporté un gain de précision appréciable dans le cadre d'une méthode empirique.

On peut imaginer à ces formules empiriques deux types d'application :

- prédiction grossière du niveau moyen à l'aide de prédictions météorologiques ;
- réduction des observations en vue de diminuer le bruit dans les longues périodes, ce qui devrait permettre de mieux détecter les composantes de la marée dans ce domaine de fréquences.

### 4. Corrélation entre les niveaux moyens dans divers ports

Dans le cadre de notre étude et une fois mis au point les outils de calcul statistique, il était indispensable d'étudier ces corrélations afin de mettre en évidence d'éventuelles fréquences privilégiées et d'étudier la propagation des perturbations du niveau moyen dans la Manche.

Pour éliminer toute erreur possible, nous n'avons retenu que les fréquences comprises entre 0,143 et 1,67 cycle par jour (périodes comprises entre 7 jours et 0,6 jour).

#### 4.1. Densités spectrales

Les densités spectrales calculées à Brest, le Havre et Dieppe sur les mois de janvier, février et mars 1963 sont

portées sur la figure 7. On remarque une décroissance de l'énergie quand la fréquence augmente.

Le trait le plus marquant est une croissance de l'énergie aux alentours de 1,6 cycle par jour ( $c/j$ ) environ. Ce pic est particulièrement bien marqué à Dieppe, et plus important au Havre qu'à Brest. Signalons également un pic voisin de 1  $c/j$  à Brest, pic dû à un résidu de marée (défaut d'engrenage du marégraphe).

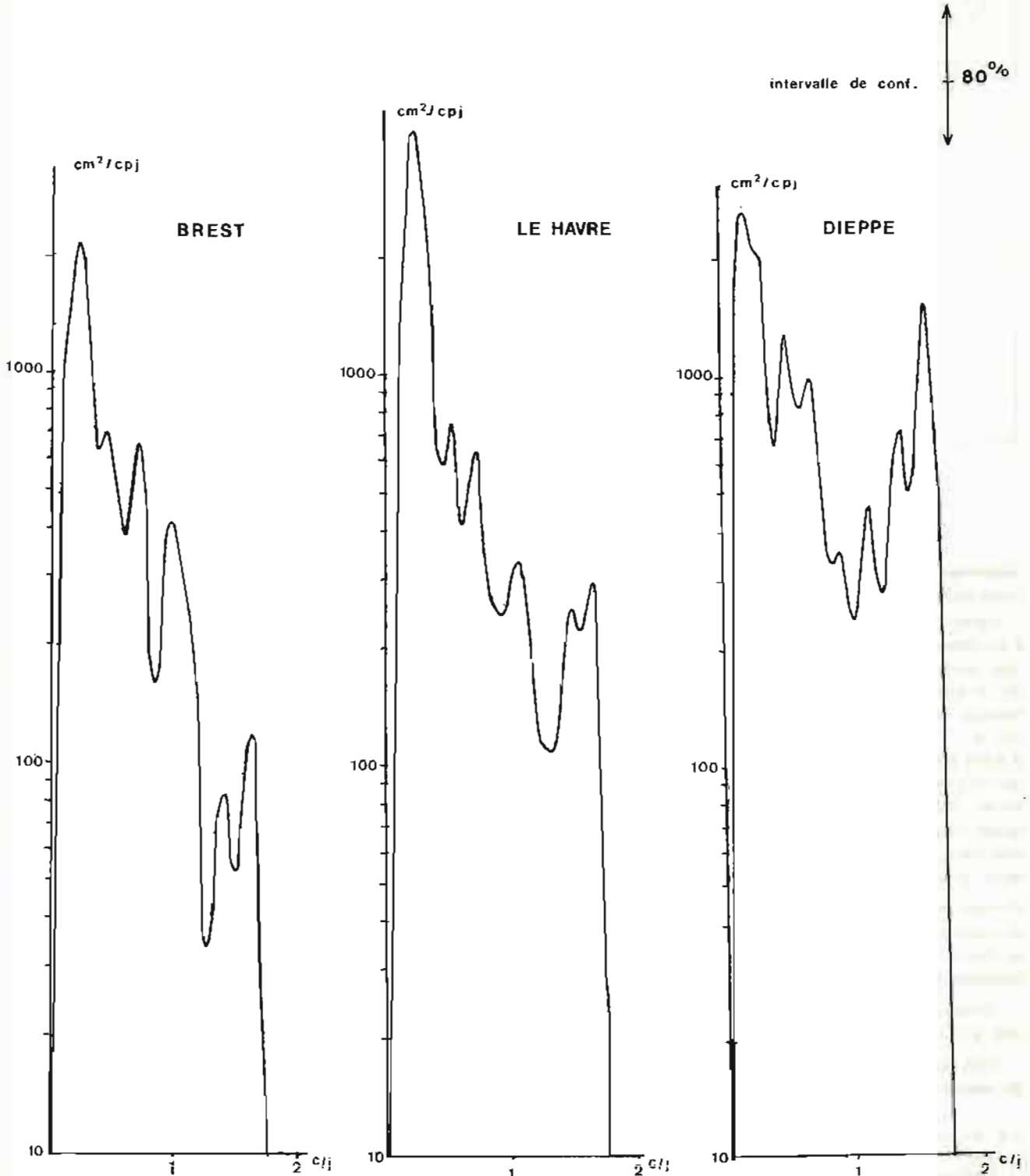


FIG. 7. — Densités spectrales  
Janvier — Février — Mars 1963



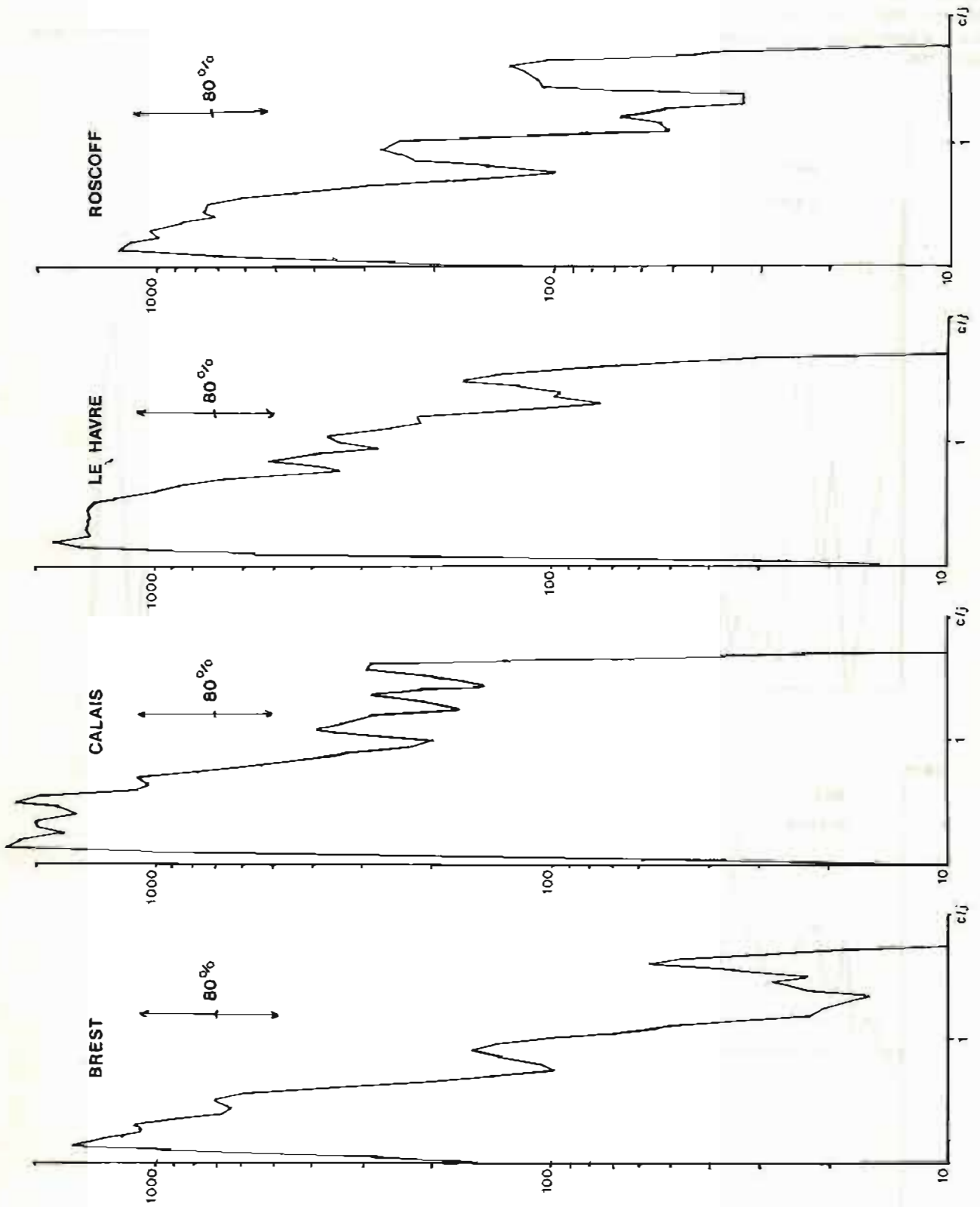


FIG. 8. — Densités spectrales en  $\text{cm}^2/\text{cycle par jour}$



Les densités spectrales calculées à Brest, le Havre, Roscoff et Calais sur les mois d'août, septembre et octobre 1974 sont portées sur la figure 8. Ces densités spectrales présentent les mêmes caractéristiques que celles de 1963 ; on n'observe pas cependant de pic à  $1,6 c/j$  d'importance comparable à celle du pic de Dieppe 1963.

Il est regrettable que l'on n'ait pu disposer de dépouillement simultanés dans les mêmes ports en 1963 et 1974.

#### 4.2. Cohérences

On a porté sur les figures 9 et 10 les cohérences pour les même périodes que ci-dessus.

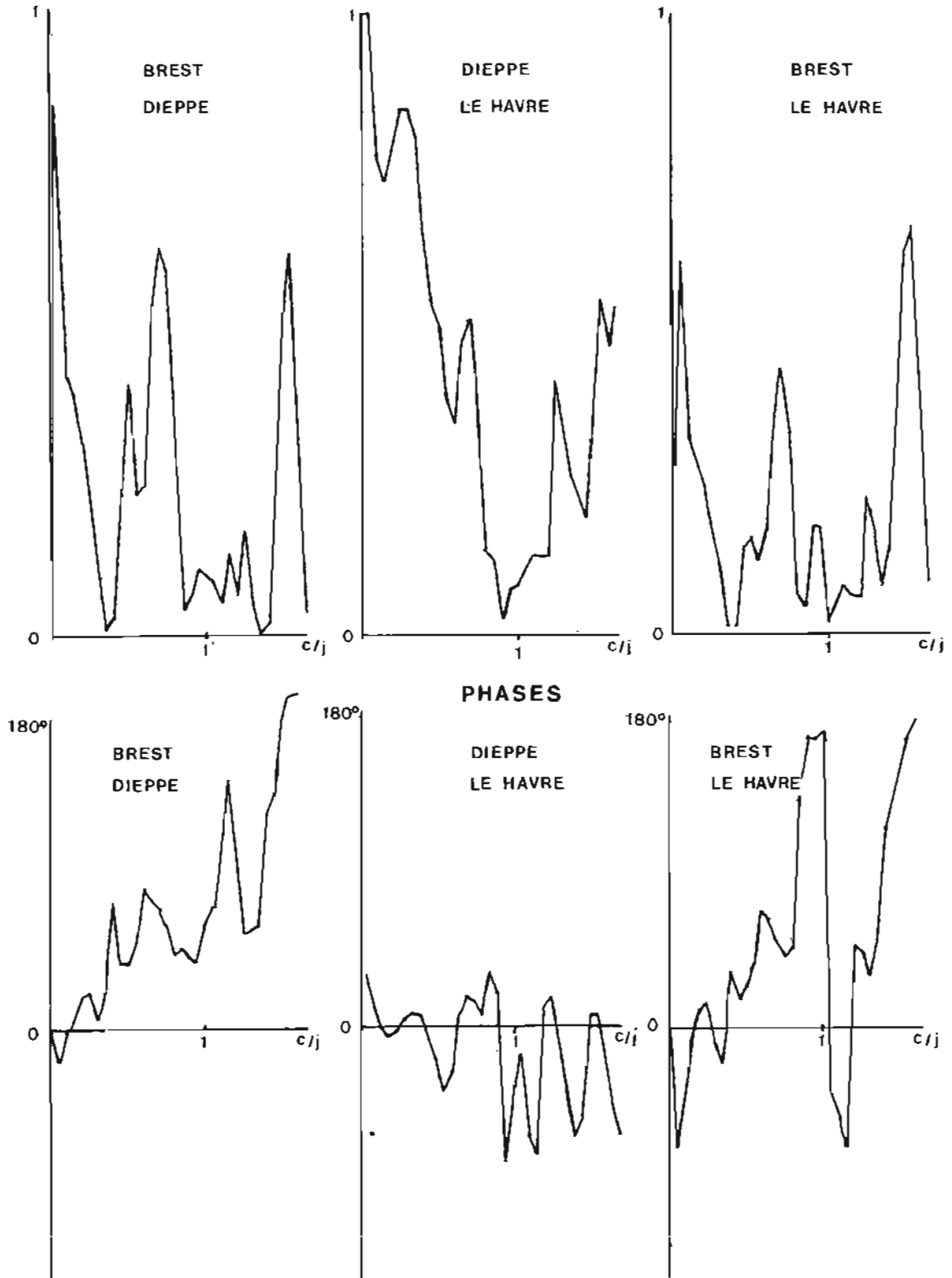


FIG. 9. — Janvier — Février — Mars 1963

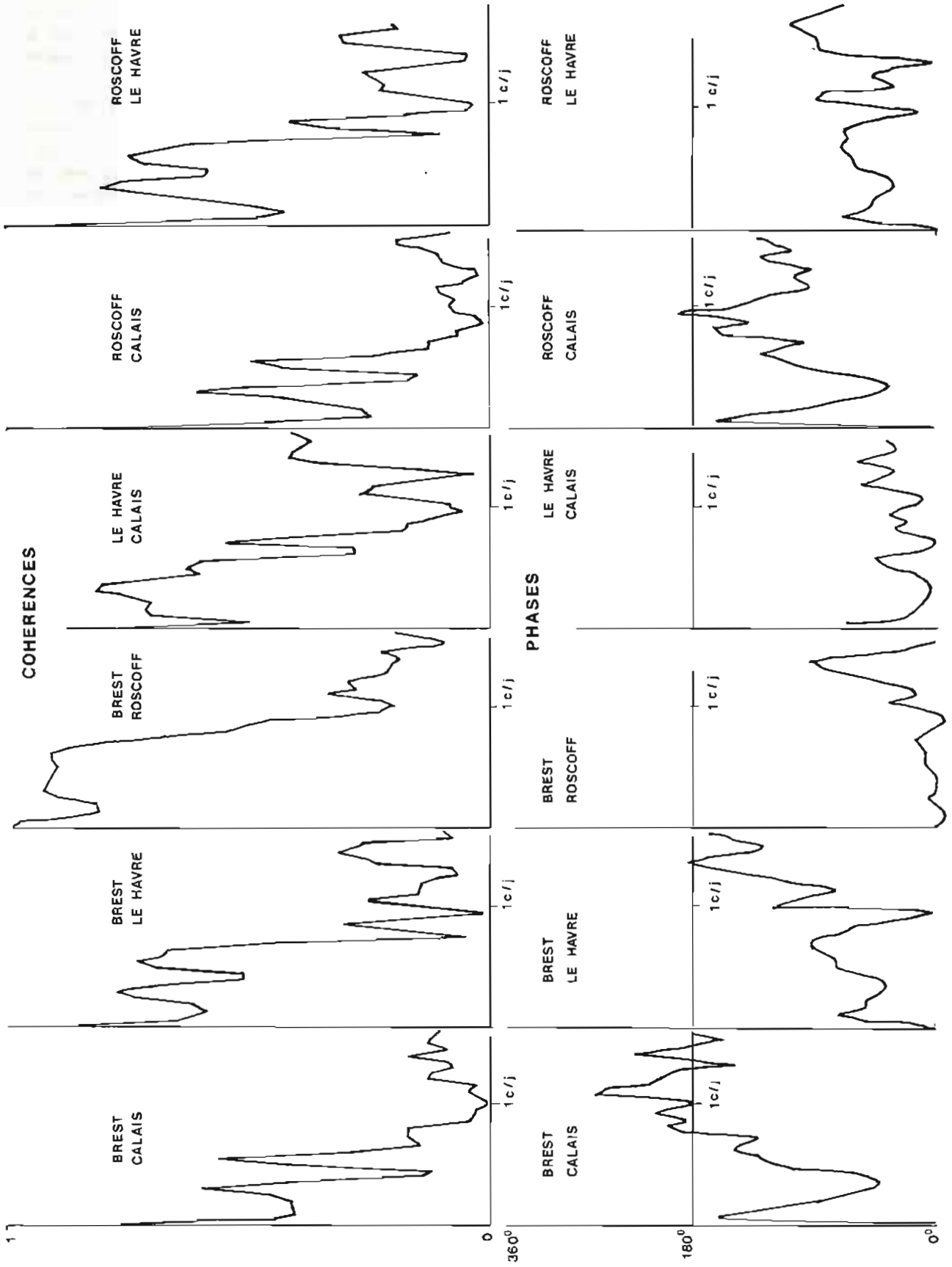


FIG. 10. — Août — Septembre — Octobre 1974

On observe divers pics qui semblent correspondre à des phénomènes de nature ondulatoire, comme le suggère l'alignement grossier des phases aux fréquences correspondantes. Cet alignement est mieux réalisé en 1963 qu'en 1974, et les maximums de cohérence ne se trouvent pas aux mêmes fréquences pour les deux périodes.

Les variations de niveau moyen peuvent donc présenter des caractères très divers et les processus correspondants ne sont probablement pas stationnaires. La méthode employée est donc partiellement inadaptée.

On remarque cependant que la plupart des cohérences présentent un pic aux fréquences voisines de 1,6 c/j, c'est-à-dire aux périodes voisines de 15 h. Ce pic est particulièrement bien marqué en 1963 mais se retrouve, à un niveau moindre, en 1974 dans la partie orientale de la Manche.

Cette période privilégiée, très voisine du demi-jour pendulaire à la latitude moyenne de la Manche, est le trait le plus marquant mis en évidence par notre étude. Les oscillations naissent sans lien apparent avec les conditions météorologiques locales ; en particulier, il ne

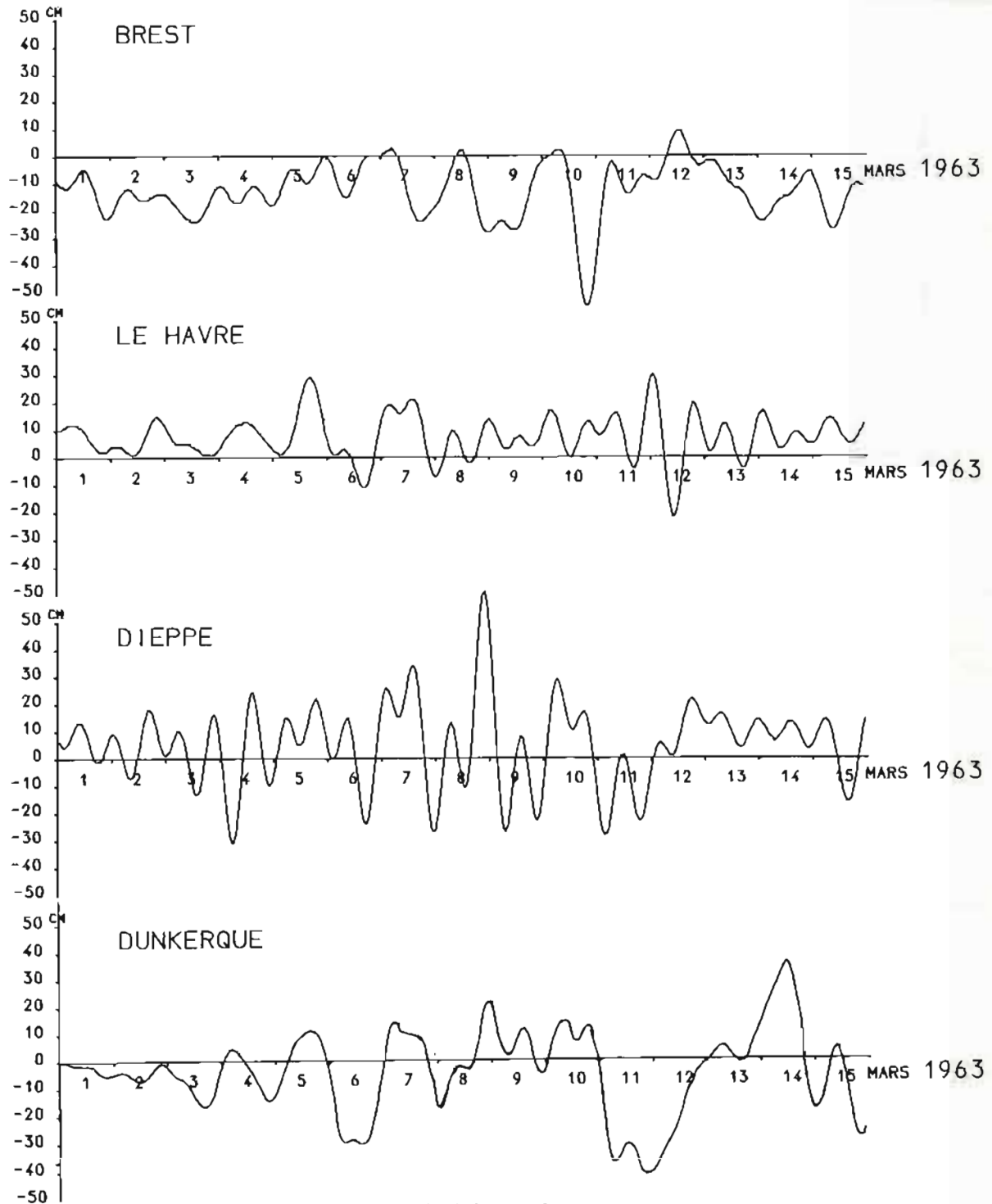


FIG. 11. — Variations de niveaux moyens



semble pas qu'elles soient engendrées par des vents violents ou des dépressions brutales. Le phénomène est presque certainement d'origine locale : on peut, par exemple, l'observer uniquement en Manche Ouest à certaines époques et uniquement en Manche Est à d'autres époques. La plus grande amplitude a été observée à Dieppe en mars 1963. La figure n° 11 donne les niveaux à cette époque à Brest, le Havre, Dieppe et Dunkerque. Le phénomène est beaucoup moins marqué au Havre et à Dunkerque et inexistant à Brest, ce qui tend à confirmer l'origine locale du phénomène.

On remarquera la cohérence des phases entre le Havre et Dieppe : cela exclut la possibilité que le phénomène observé soit dû uniquement à une erreur.

#### IV. MODELE NUMERIQUE DE LA MANCHE

##### 1. Formulation

Etant donné la taille limitée de l'ordinateur de l'Etablissement Principal du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine, un certain nombre d'hypothèses simplificatrices ont dû être faites :

- l'accélération verticale est négligeable ;
- la pression est hydrostatique ;
- la dénivellation est supposée petite devant la profondeur ;
- le frottement au fond est proportionnel au transport (c'est-à-dire la valeur moyenne de la vitesse intégrée de la surface au fond) et inversement proportionnel au carré de la profondeur ;
- la tension en surface due au vent est proportionnelle au carré de la vitesse du vent.

Ce sont les hypothèses généralement adoptées pour linéariser les équations de l'hydrodynamique. On peut écrire dans ces conditions, après avoir intégré le long de la verticale de la surface du fond :

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial t} &= -gH \frac{\partial h}{\partial x} + fV + \alpha (v_{ax}^2) - \beta \frac{U}{H^2} & (a) \\ \frac{\partial V}{\partial t} &= -gH \frac{\partial h}{\partial y} - fU + \alpha (v_{ay}^2) - \beta \frac{V}{H^2} & (b) \\ \frac{\partial h}{\partial t} + \left( \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} \right) &= 0 & (c) \end{aligned} \right.$$

H est la hauteur d'eau au repos

$U = \int_0^H u(z) dz$  où  $u(z)$  est la composante du courant à l'immersion  $z$  dans la direction  $x$

$V = \int_0^H v(z) dz$  où  $v(z)$  est la composante du courant à l'immersion  $z$  dans la direction  $y$

$h$  est la dénivellation comptée positivement vers le haut

$g$  est l'accélération de la pesanteur = 9,81 m/s

$f$  est le paramètre de Coriolis à 50° de latitude nord (latitude moyenne de notre modèle)

$$f = 1,11 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$$

$v_{ax}$  est la composante du vent dans la direction  $x$

$v_{ay}$  est la composante du vent dans la direction  $y$

$\alpha$  est le coefficient de la force d'entraînement du vent et  $\beta$  le coefficient de frottement au fond.

Le problème est complètement déterminé, moyennant un certain nombre de conditions initiales et aux limites que nous précisons plus loin.

Nous avons adopté la méthode de différences finies qui a déjà été appliquée avec succès à ce genre de problème, par exemple en mer du Nord (Hansen, Ronday, Nihoul) et en mer d'Irlande (Heaps).

Nous avons pour cela défini un maillage rectangulaire régulier du domaine, (voir figure ci-dessous) ainsi qu'un pas de temps  $\Delta t$ ,  $\Delta s$  et  $\Delta r$  devant satisfaire à la condition de stabilité de Courant-Friedrich.

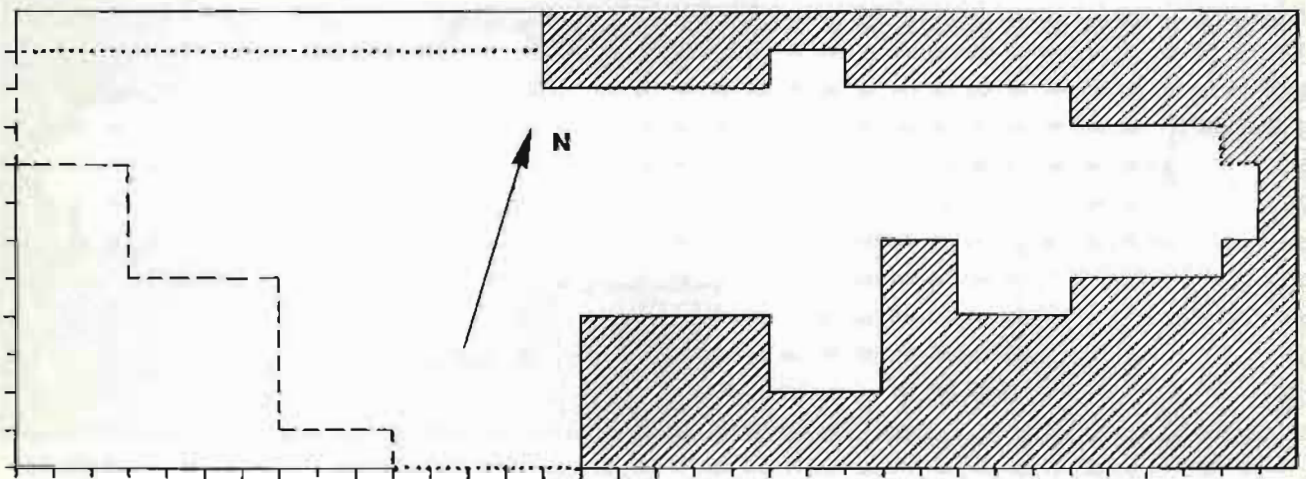


FIG. 12. - Modèle Manche  
 ..... Limite petit fond  
 - - - - - Limite grand fond  
 34 x 12 mailles



$$\Delta s = \Delta x = \Delta y$$

$$\Delta t < \frac{\Delta s}{\sqrt{2gH_{\max}}}$$

Δs est imposé par les performances de l'ordinateur, compte tenu de l'étendue du domaine à étudier.

Pour environ 400 points de maillage, nous avons été amenés à choisir Δs = 28,1 km et Δt = 5 mn.

La schématisation du domaine est présentée sur la figure 12.

## 2. Conditions aux limites

### 2.1. Conditions à la côte

La composante du courant normale à la côte est nulle. Divers essais ont amené à ne pas imposer de condition dans le cas des moins rentrants (c'est-à-dire les coins où la terre forme un angle saillant).

### 2.2. Limites petits fonds

La condition à imposer dans ce cas est dite "radiationnelle". Elle doit supprimer les réflexions sur la frontière. Nous avons adopté la solution de Heaps [9].

Cette solution consiste à imposer la relation  $h = \frac{V}{\sqrt{gH}}$  sur la frontière, V étant la composante du courant perpendiculairement à cette frontière.

### 2.3. Limites grands fonds

Certains auteurs préconisent d'imposer une dénivellation nulle sur le bord du plateau continental.

Nous avons préféré, cette fois encore, une condition de radiation : la relation liant h et V est de nouveau  $h = \frac{V}{\sqrt{gH}}$ , H étant ici la profondeur dans les grands fonds. La valeur adoptée pour H est 4 000 m, profondeur approximative au pied du talus continental. Dans ces conditions, une onde arrivant sur la frontière est partiellement réfléchiée sur celle-ci.

### 2.4. Conditions au fond

La profondeur a été relevée en chaque point du maillage (voir fig. 13) sur la carte 4979 du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine.

Pour le coefficient de frottement β nous avons adopté 0,03 m<sup>2</sup>/s, compromis entre les valeurs proposées par divers auteurs.

### 2.5. Conditions à la surface

La surface est soumise à la force d'entraînement du vent, en première approximation proportionnelle au carré de la vitesse du vent et de même direction.

Le coefficient de proportionnalité α a été fixé à 5,8 x 10<sup>-6</sup> en unité MKS. Les vents ont été estimés toutes les 6 heures en 6 points régulièrement répartis sur la zone étudiée, d'après des cartes fournies par la station météorologique de Guipavas. Les valeurs adoptées à chaque pas de temps en chaque point du maillage, ont été calculées par interpolations linéaires dans l'espace et dans le temps.

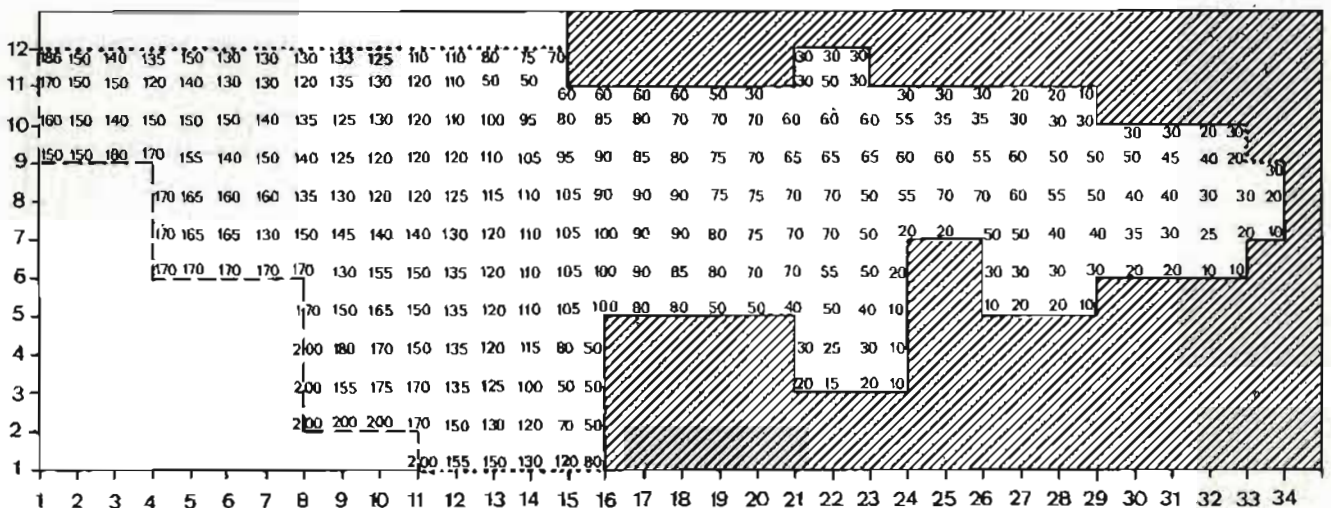


FIG. 13. — Modèle Manche   
 - - - - - Limite petit fond   
 ———— Limite grand fond



### 3. Résolution par les différences finies

Dans notre schéma de différences finies, les dérivées partielles sont remplacées par les formes approchées suivantes :

$$\frac{\partial U(x, y, t)}{\partial t} \simeq U_t(x, y, t), \quad \frac{\partial V(x, y, t)}{\partial t} \simeq V_t(x, y, t)$$

$$\frac{\partial h(x, y, t)}{\partial x} \simeq \frac{1}{4} [2h_x(x, y, t) + h_x(x, y + \Delta y, t) + h_x(x, y - \Delta y, t)]$$

$$\frac{\partial h(x, y, t)}{\partial y} \simeq \frac{1}{4} [2h_y(x, y, t) + h_y(x + \Delta x, y, t) + h_y(x - \Delta x, y, t)]$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} \simeq h_t(x, y, t)$$

$$\frac{\partial U}{\partial x} \simeq \frac{1}{4} [2U_x(x, y, t + \Delta t) + U_x(x, y + \Delta y, t + \Delta t) + U_x(x, y - \Delta y, t + \Delta t)]$$

$$\frac{\partial V}{\partial y} \simeq \frac{1}{4} [2V_y(x, y, t + \Delta t) + V_y(x + \Delta x, y, t + \Delta t) + V_y(x - \Delta x, y, t + \Delta t)]$$

Avec les notations :

$$\left\{ \begin{aligned} U_t(x, y, t) &= \frac{U(x, y, t + \Delta t) - U(x, y, t)}{\Delta t} \\ h_x(x, y, t) &= \frac{h(x + \Delta x, y, t) - h(x - \Delta x, y, t)}{2\Delta x} \\ h_y(x, y, t) &= \frac{h(x, y + \Delta y, t) - h(x, y - \Delta y, t)}{2\Delta y} \end{aligned} \right.$$

On remarque que la divergence du transport

$$\left( \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} \right)$$

dans l'équation de continuité est évaluée au temps  $t + \Delta t$ .

Sur la frontière, l'évaluation des dérivées d'espace doit être faite d'une manière différente :

La dérivée d'une grandeur, selon la normale, à la frontière est remplacée par la dérivée de la fonction de second degré qui coïncide avec cette grandeur sur la frontière et sur les deux points les plus proches situés sur la normale.

Par exemple, si la frontière est parallèle à Oy et située à gauche

$$\frac{\partial h}{\partial x} \simeq \frac{1}{2\Delta x} [4h(x + \Delta x, y, t) - h(x + 2\Delta x, y, t) - 3h(x, y, t)]$$

la dérivée selon la parallèle à la frontière est évaluée de la manière suivante :

$$\frac{\partial h}{\partial x} = h_x(x, y, t) \quad \text{si la frontière est parallèle à Ox}$$

$$\frac{\partial h}{\partial y} = h_y(x, y, t) \quad \text{si la frontière est parallèle à Oy}$$

U, V et h peuvent, de cette manière être évalués à chaque pas de temps, en tout point du modèle. Pour des raisons de stabilité, il est nécessaire, après chaque calcul, de procéder à un lissage. Nous opérons de la manière suivante, par exemple pour les dénivellations.

Soit :

$h'(x, y, t)$  la dénivellation après lissage

$$h'(x, y, t) = \alpha h(x, y, t) + \frac{1 - \alpha}{4} [h(x + \Delta x, y, t) + h(x - \Delta x, y, t) + h(x, y + \Delta y, t) + h(x, y - \Delta y, t)]$$

$\alpha$  est un paramètre voisin de l'unité, pouvant varier dans de larges limites sans effet notable sur la solution.

Nous lui avons donné la valeur 0,9. Il est lié à la viscosité horizontale, mais c'est avant tout un artifice de calcul numérique servant à filtrer les réflexions parasites sur les bords des mailles.

Pour un point situé sur une frontière, seuls les deux points voisins situés sur cette frontière sont utilisés pour le lissage.

Tableau 1

Code des conditions aux limites :

| Côte |  | Large |
|------|--|-------|
| 1    |  | 10    |
| 2    |  | 11    |
| 3    |  | 12    |
| 4    |  | 13    |
| 5    |  | 14    |
| 6    |  | 15    |
| 7    |  | 16    |
| 8    |  | 17    |
| 9    |  | 18    |

coin rentrant



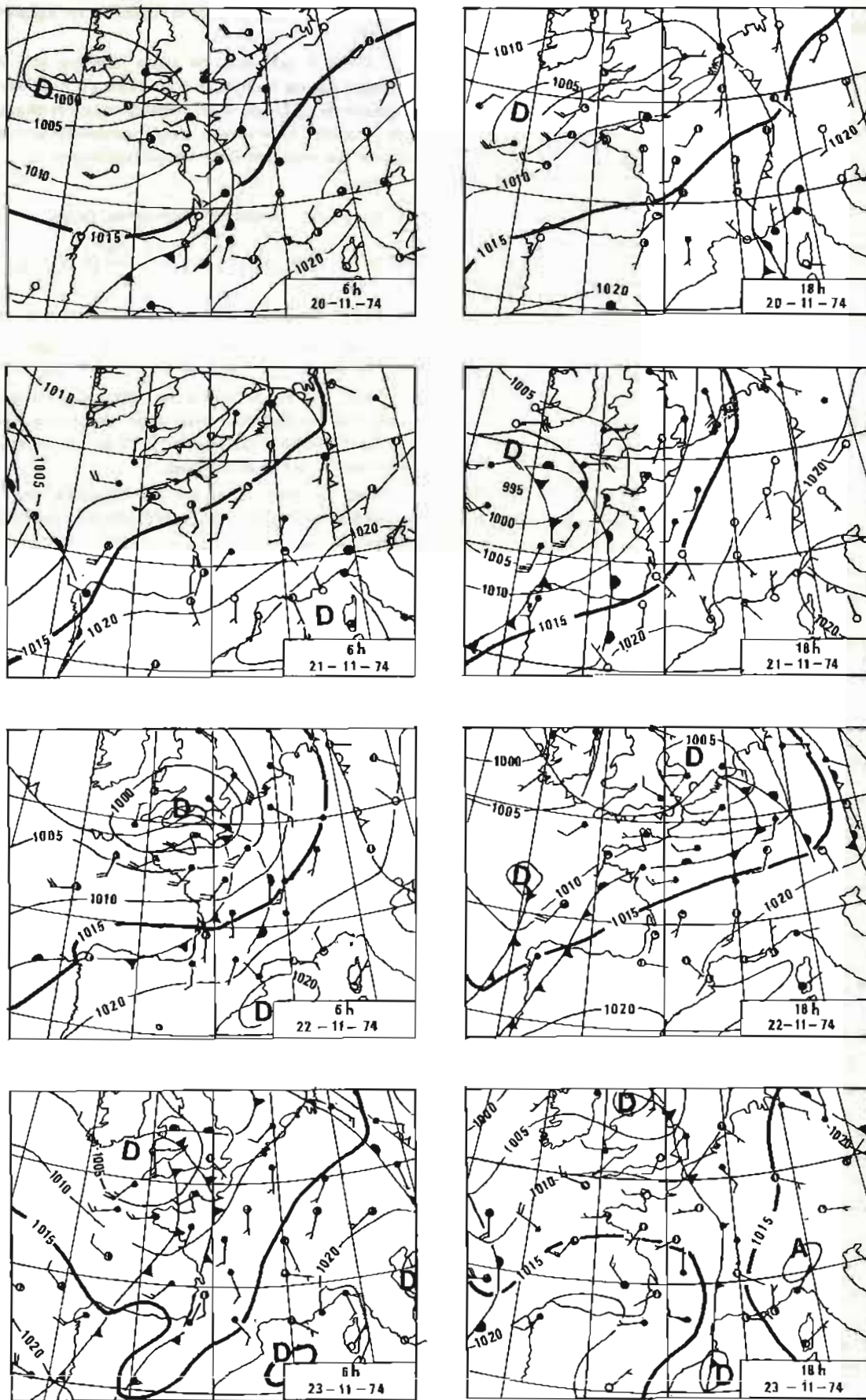


FIG. 14. — Situations météorologiques du 20.11.74 à 6 h au 23.11.74 à 18 h

Par exemple, pour une frontière Nord-Sud :

$$h'(x, y, t) = \alpha h(x, y, t) + \frac{1 - \alpha}{2} [h(x, y + \Delta y, t) + h(x, y - \Delta y, t)]$$

A chaque pas de temps, on effectue les calculs suivants en tout point du modèle :

- 1) Calcul de  $U(x, y, t + \Delta t)$  à partir de  $U(x, y, t)$ ,  $V(x, y, t)$  et  $h(x, y, t)$  (équation 1 (a))
- 2) Calcul de  $V(x, y, t + \Delta t)$  à partir de  $U(x, y, t)$ ,  $V(x, y, t)$  et  $h(x, y, t)$  (équation 1 (b))
- 3) Calcul de  $h(x, y, t + \Delta t)$  à partir de  $U(x, y, t + \Delta t)$  et  $V(x, y, t + \Delta t)$ , équation 1 (c)
- 4) Lissage

La programmation d'un tel problème ne présente aucune difficulté et nous ne nous y attarderons pas.

Notons simplement qu'il est nécessaire de prévoir autant de places en mémoire que de mailles du modèle pour :

$$U(x, y, t), U(x, y, t + \Delta t), V(x, y, t), V(x, y, t + \Delta t), h(x, y, t), h(x, y, t + \Delta t),$$

pour les deux composantes du vent, pour les profondeurs et pour un indicatif servant à caractériser les points de maillage (voir tableau I).

#### 4. Résultats

Le modèle a été testé sur une période choisie en fonction de la diversité des situations météorologiques et du nombre de ports pour lesquels nous disposons d'observations de marée.

Les observations de marée ont été soumises à un filtrage numérique (filtre FFT), afin d'éliminer les résidus de marée et les erreurs de calage en hauteur : seules subsistent les périodes comprises entre 0,7 et 7 jours. Il aurait fallu, en toute rigueur, appliquer le même filtre aux résultats du modèle, mais il aurait été nécessaire pour cela de faire une simulation sur 2048 heures (nombre de points utilisés par la FFT), ce qui aurait été prohibitif en temps de calcul. Il suffira, en pratique, de se souvenir lors de la comparaison, que les observations sont exemptes d'oscillations de période supérieure à 7 jours (ce qui élimine par exemple, une dérive apparente pendant les quelques jours de la simulation) et de période inférieure à 0,7 jour (les courbes "nature" seront plus lisses que les courbes "modèle").

La figure 14 présente les situations météorologiques du 20 au 23 novembre 1974, période choisie pour la simulation.

La figure 15 présente le résultat des calculs effectués en ne tenant compte que du vent.

A Brest, l'accord avec les observations est bon, ce qui tend à prouver que les conditions aux limites adoptées sont satisfaisantes.

A Cherbourg, et surtout au Havre, les variations de

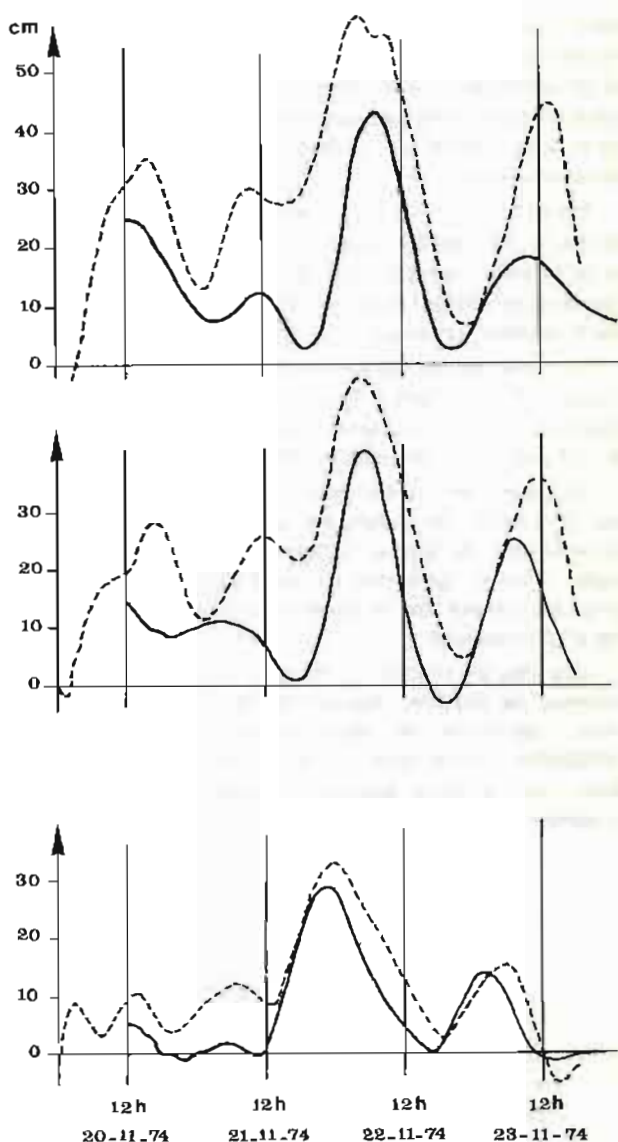


FIG. 15

----- variations de niveau observées  
 ——— variations de niveau dues au vent calculées

niveaux calculées sont trop importantes. Il suffirait, pour les atténuer, d'adopter un coefficient de frottement au fond plus important.

Il est probable, en outre, que, pour ces deux derniers ports, les simplifications adoptées et en particulier la linéarisation des équations soient moins justifiées.

#### V. CONCLUSIONS

L'étude statistique a permis d'établir des formules empiriques simples de prédiction des variations lentes du niveau moyen. Elles peuvent servir soit à une prédiction grossière si l'on dispose de bonnes prédictions météorologiques, soit à une réduction des observations en vue d'une recherche des composantes à longue période de la

marée ; mais elles ne permettent jamais de prédire les variations rapides du type "onde tempête" par exemple, ni les variations provenant des conditions autres que les conditions météorologiques locales. On ne doit les considérer que comme un perfectionnement de la règle du baromètre inversé.

Etant donné l'outil mathématique disponible, la solution la plus réaliste pour l'étude des variations rapides et la prise en compte d'un nombre élevé de paramètres (conditions météorologiques en plusieurs points etc.) est le modèle numérique.

La taille limitée de l'ordinateur disponible a imposé l'emploi d'un modèle simple qui a cependant donné des résultats assez satisfaisants. La faisabilité à l'EPSHOM de ce type d'application a été démontrée.

Un nouvel ordinateur devrait permettre de perfectionner le modèle en diminuant le pas de maillage et en introduisant des termes supplémentaires dans les équations. Il serait également très souhaitable d'améliorer la prise en compte des paramètres météorologiques qui a été trop simplifiée.

Une des principales difficultés rencontrées a été le manque de données dépouillées de bonne qualité. Un effort particulier de dépouillement ayant été fait à l'EPSHOM depuis cette étude et des données anglaises étant mises à notre disposition, cette difficulté devrait disparaître.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] *Le Niveau Moyen de la Mer*, par Marc EYRIES, COEC, 1959 (pp. 85-89).
- [2] *Le bruit dans les analyses de marée*, par Y. DESNOES, n° 391 EPSHOM/E/OC du 1.9.1975.
- [3] *Le Niveau Moyen de la Mer*, par A. DEMERLIAC, 20.12.73.
- [4] *Spectral Analysis*, JENKINS & WARRS.
- [5] *Séparation des différentes familles d'ondes de marée*, par A. DEMERLIAC, 15.10.73.
- [6] *Les Niveau Moyens semi-mensuels dans la Manche*, par CHABERT D'HIERES & LE PROVOST, COEC, 1970 (pp. 435-437).
- [7] FISCHER G. — Ein numerisches Verfahren zur Errechnung von Windstau und Gezeiten in Randmeeren. *Tellus*, Vol. II, n° 1, février 1959, pp 77-82.
- [8] FORRISTAL G.Z. — Three dimensional structure of storm generated currents. *Journal of geophysical research.*, Vol. 79, n° 18, juin 1974, pp. 2721-2729.
- [9] HEAPS N.S. — Three dimensional numerical model of the Irish sea. *Geophysical journal of the royal astronomical society*, Vol. 35, n° 1-3, déc. 1973, pp. 99-120.
- [10] RONDAY F.C. — Modèle mathématique pour l'étude de la circulation due à la marée du Nord. Marine sciences directorate, Department of the environment OTTAWA, Manuscript Report, séries n° 29.



## *DEUXIÈME PARTIE*



# BUREAU D'ÉTUDES OCÉANOGRAPHIQUES

(1<sup>er</sup> août - 15 décembre 1971)

par

M. Jean VICARIOT

Ingénieur en chef de l'Armement (hydrographe)

## SOMMAIRE

|   | Pages |   | Pages |
|---|-------|---|-------|
| Chapitre 1. — <i>Activité générale — moyen de travail</i> . . .               | 49    | 3.1. — Sud Levant . . . . .                                     | 68    |
| 1.1. — <i>Activité pendant la période août 1969 — décembre 1971</i> . . . . . | 49    | 3.2. — <i>Travaux au Nord de l'Île du Levant</i> . . . . .      | 73    |
| 1.2. — <i>Moyens de travail</i> . . . . .                                     | 50    | 3.3. — <i>Golfe du Lion</i> . . . . .                           | 75    |
| Chapitre 2. — <i>Campagnes océanographiques</i> . . . . .                     | 53    | Chapitre 4. — <i>Recherche du sous-marin Eurydice</i> . . . . . | 77    |
| 2.1. — <i>Coblamed 69</i> . . . . .   | 53    | Chapitre 5. — <i>Port de Toulon</i> . . . . .                   | 80    |
| 2.2. — <i>Campagne préliminaire à Medoc 70</i> . . . . .                      | 58    | Chapitre 6. — <i>Mesures de courant</i> . . . . .               | 82    |
| 2.3. — <i>Med Miloc Surv 70</i> . . . . .                                     | 58    | <i>Annexes</i>  |       |
| 2.4. — <i>Milocsurnorlant</i> . . . . .                                       | 62    | Annexe 1. — <i>Données mécanographiques</i> . . . . .           | 87    |
| Chapitre 3. — <i>Etudes d'environnement</i> . . . . .                         | 68    | Annexe 2. — <i>Salinités de Norvège</i> . . . . .               | 90    |
|   |       | Annexe 3. — <i>Listes de coordonnées</i> . . . . .              | 91    |

## CHAPITRE 1

### ACTIVITE GENERALE — MOYENS DE TRAVAIL

#### 1.1. **Activité pendant la période août 1969 — décembre 1971 — D'août 1969 à décembre 1971, l'activité du Bureau d'Études Océanographiques a inclus :**

— des croisières axées sur l'océanographie physique :

- En Méditerranée occidentale :  
  Coblamed 69 (septembre 1969)  
  Médoc 70 (janvier 1970)
- En Méditerranée centrale :  
  Medmiloc surv 70 (mai 1970)
- En Atlantique :  
  Milocsurnorlant (Juillet-Août 1970)

— deux études d'environnement :

  Sud Levant  
  Golfe du Lion

— des travaux hydrographiques :

  Sud Levant  
  Golfe de Saint-Tropez  
  Port de Toulon  
  Golfe du Lion

— La participation aux recherches de *L'Eurydice*, sous-marin de classe *Daphné* disparu au large du Cap Camarat le 4 mars 1970.

— Des travaux divers :

  Aide logistique au Laboratoire de l'École Normale

Supérieure pour son programme d'étude des signaux d'implosion.

Recherche du répondeur Cosmar au Nord de l'Île du Levant.

Mesures de vitesse du son à l'Ouest du Golfe de Saint-Tropez, au Nord de l'Île du Levant.

Mise au point, essais et évaluation de matériel (pour le B.E.O. et pour l'extérieur).

## 1.2. Moyens de travail à la mer

*L'Origny* reste l'outil de travail essentiel à la mer. Des améliorations lui ont été apportées au cours d'indisponibilités successives :

— remplacement des treuils Mécaboliér de 10 CV par des treuils de 25 CV à commande Ward Leonard, ce qui a constitué un progrès considérable.



*l'Origny*





Portique latéral en cabine  
ou sont regroupés les commandes  
du portique et des treuils



Ensemble photo et détail  
du portique tribord

- mise en place à tribord d'un portique hydraulique de 2T, et d'une cabine de commande d'où sont manœuvrés les treuils, le portique, la barre et les pas d'hélices.

- Mise en place d'un sondeur de grand fond Océan Sonics GDR-T venant remplacer le PGR Alden 419.

- Mise en place d'un réseau d'interphones complet.

Malgré une certaine fragilité de ses machines, l'*Origny* est un bateau bien équipé et adapté aux tâches du B.E.O.

Pour la campagne de Norvège de l'été 1970 l'équipe du B.E.O. a embarqué sur le *Jean Charcot*.

Pour les sondages côtiers des embarcations ont dû être empruntées :

- au Centre d'Essais en Méditerranée (C.E.M.) pour la côte Sud du Levant,

- à la Direction du Port de Toulon, pour le levé du port.

Ces embarcations ont été équipées par nos soins du sondeur à base hors-bord Kelvin Hughes MS 26 FO, alimenté sur batteries 24 V. Son fonctionnement n'a pas causé de soucis. Les seules difficultés avec ces embarcations sont venues d'une vitesse souvent trop élevée pour des sondages de détail.

## A terre

- *Les locaux*

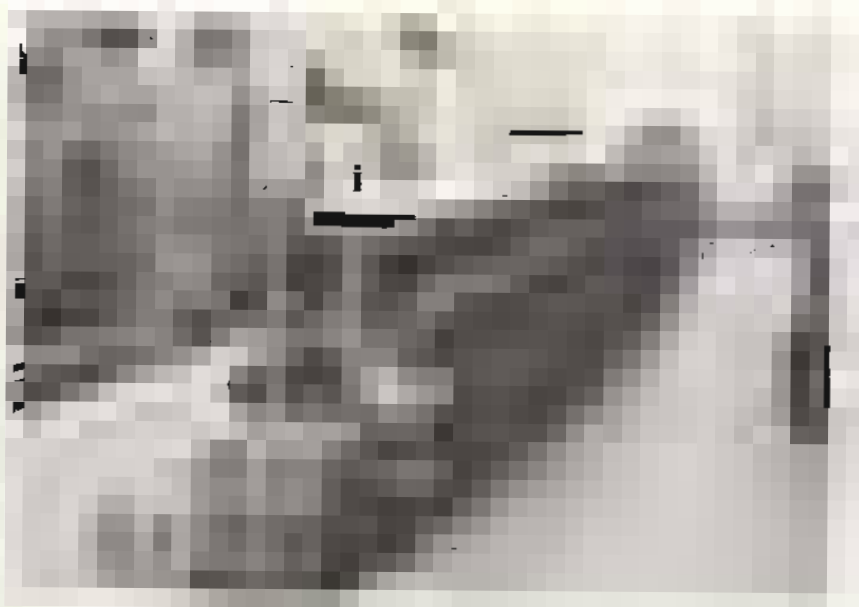
L'immeuble de l'Observatoire abrite toujours les bureaux, la salle de dessin et le bureau d'exploitation.

Les laboratoires, ateliers et magasins ont été regroupés en octobre 1970 dans des locaux remis à neuf au rez-de-chaussée de l'immeuble de la chimie analytique, dans l'Arsenal.

Cette opération, démarrée à l'initiative de mon prédécesseur, l'Ingénieur en chef de l'Armement (hydrographe) Ribet, a permis d'améliorer considérablement les conditions de travail (notamment pour les laboratoires d'instrumentation et de chimie).

Toute la maintenance des matériels spécifiques est assurée par le B.E.O. Toutefois les sondeurs grand fonds et les équipements de radiolocalisation (Trident, Toran) sont réparés par la DCAN.

Les sondes de mesure (bathysonde Howaldt, célérimètres) sont étalonnées à l'aide de la chaîne acquise en 1968 : ce banc d'étalonnage a d'ailleurs été utilisé à plusieurs reprises par des organismes extérieurs, firmes industrielles ou laboratoires.



Laboratoire de géologie



Chaîne d'étalonnage

## LOCAUX A TERRE

Les laboratoires de chimie et de géologie assurent les analyses des échantillons prélevés en mer ; un salinomètre à induction Beckman, un célérimètre de sédiments conçu et réalisé par le Gesma (\*) sont venus compléter leur équipement.

Le traitement automatique des données est assuré au

Centre de Calcul du C.E.M. (\*\*) (ordinateur IBM 360/44). Ce Centre ne possédant pas de lecteur de ruban, les rubans perforés ont dû être transcrits sur bande magnétique au Centre de Calcul du Service Hydrographique à Paris avant traitement à Toulon.

Une solution plus commode vient d'être trouvée auprès du Centre de Calcul du C.E.M. à l'Île du Levant.

(\*) Groupe d'Études Sous-Marines de l'Atlantique, DCAN Brest.

(\*\*) Centre d'Essais en Méditerranée.



## CHAPITRE 2

## CAMPAGNES OcéANOGRAPHIQUES

*Coblamed 69*

Organisée par le Sous-Comité Recherche Océanographique de l'OTAN, cette campagne était fixée sur l'étude des ondes internes.

Elle s'est déroulée en septembre 1969 et a regroupé, autour de la bouée laboratoire (mouillée alors par 42° 14' N et 5° 34' E) :

- le dragueur belge *Michelen*
- la *Maria Paolina* (Saclantcen)
- le *Bannock* (CNR Italie)
- l'*Origny*

L'ingénieur en chef de l'Armement (hydrographe) Vicariot était Chef de Mission.

L'essentiel des mesures consistait à déterminer simultanément à bord de l'*Origny* et du *Mechelen* un profil vertical de température jusqu'à 100 mètres, tous les quarts d'heure. Les positions successives occupées par les deux navires sont indiquées sur la planche 1.

Sur la bouée laboratoire une chaîne de thermistances fonctionnait en permanence.

A proximité étaient mouillées trois bouées du Centre de La Spezia (Saclantcen) équipées également de chaînes de thermistances (entre la surface et 60 mètres).

Enfin ont été mouillées :

- une bouée italienne, par le *Bannock*, à l'extrémité Est du rail couvert par l'*Origny*.
- une bouée norvégienne, par la *Maria Paolina*, à l'extrémité Nord du rail couvert par le *Mechelen*.

*Positions occupées par l'Origny.*

Le tableau ci-dessous donne les positions occupées successivement par l'*Origny* :

| DATE-HEURE   | STATION | LATITUDE  | LONGITUDE |
|--------------|---------|-----------|-----------|
| 4/9 06.30 Z  |         |           |           |
| 6/9 06.20 Z  | E 5     | 42 16,3 N | 05 40,5 E |
| 9/9 07.45 Z  | E 7     | 42 17,3 N | 05 42,5 E |
| 13/9 17.45 Z |         |           |           |
| 15/9 07.00 Z | E 9     | 42 18,3 N | 05 45,0 E |
| 18/9 08.00 Z | E 11    | 42 19,0 N | 05 47,5 E |
| 20/9 07.45 Z |         |           |           |
| 23/9 13.30 E | E 13    | 42 20,3 N | 05 49,5 E |
| 23/9 23.30 Z |         |           |           |
| 27/9 02.00 Z | E 5     | 42 16,3 N | 05 40,5 E |

Il s'agit de positions moyennes. L'*Origny* était équipé d'un récepteur Rana prêté par le Centre d'Etudes Marines Avancées (C.E.M.A.), qui gérait alors la chaîne Rana du Golfe du Lion pour le compte de CNEXO. Par suite de pannes, ou d'incertitudes sur le levé de doute, des positions correctes n'ont été obtenues que pendant 55 % du temps passé en stations.

*Mesures effectuées*

A bord de l'*Origny* les mesures suivantes ont été effectuées :

- Profils température-immersion tous les quarts d'heure ;
- Météo toutes les heures ;
- Mesures comparatives de températures de surface toutes les heures (seau + thermomètre machine) ;
- Bathy Sippican toutes les 3 heures ;
- Lancer de cartes-flotteurs deux fois par jour.

Les profils température-immersion ont été déterminés à la bathysonde, fonctionnant en gamme 1 (soit une précision de  $\pm 0,05^\circ\text{C}$ ) pour éviter les changements de gammes, l'incertitude sur les températures ne permettant pas d'exploiter correctement les conductivités.

Les profils ont d'abord été déterminés jusqu'à 200 mètres (124 profils) puis jusqu'à 100 mètres, selon la procédure suivante : descente à l'heure H, remontée à l'heure H + 15 minutes, descente à l'heure H + 30 minutes, etc.). En fait nous nous sommes aperçus lors de l'exploitation que cette procédure est à déconseiller, car l'hystérésis et le temps de réponse des capteurs jouent en sens inverse à la montée et à la descente et introduisent par exemple des oscillations parasites dans le tracé des isothermes en fonction du temps. Le mieux est très probablement de ne faire que des descentes.

Un certain nombre de bathys Sippican ont remplacé des mesures de bathysonde en cas d'avarie de cette dernière.

Au total on a obtenu :

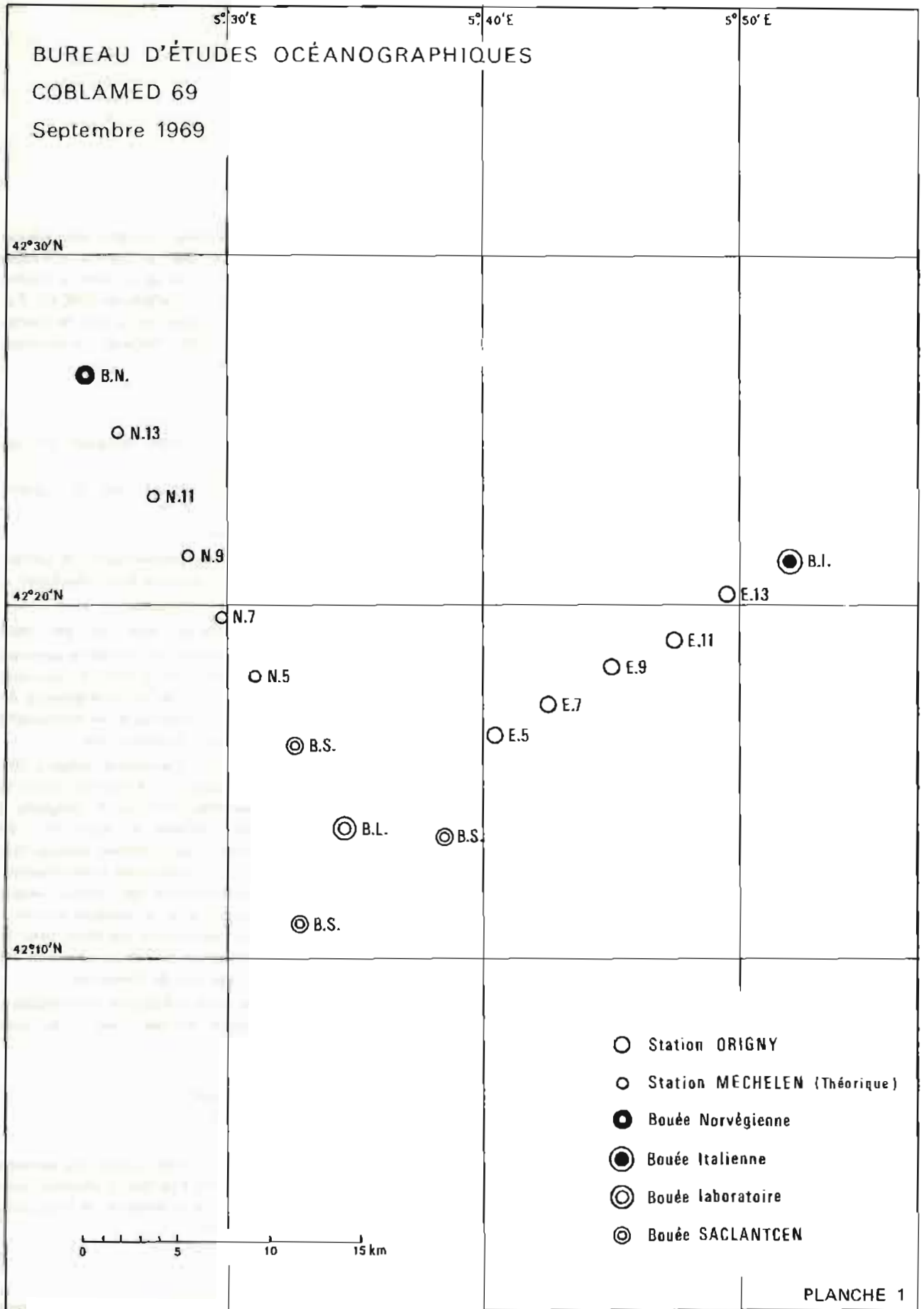
- 1 303 profils bathysonde
- 405 profils Sippican
- 31 profils Richard

Pendant la campagne le temps a été relativement beau : malheureusement il n'y a jamais de situation vraiment caractérisée et durable, à l'exception de trois jours de calme plat début septembre.

*Résultats*

Les résultats de Coblamed ont été relativement





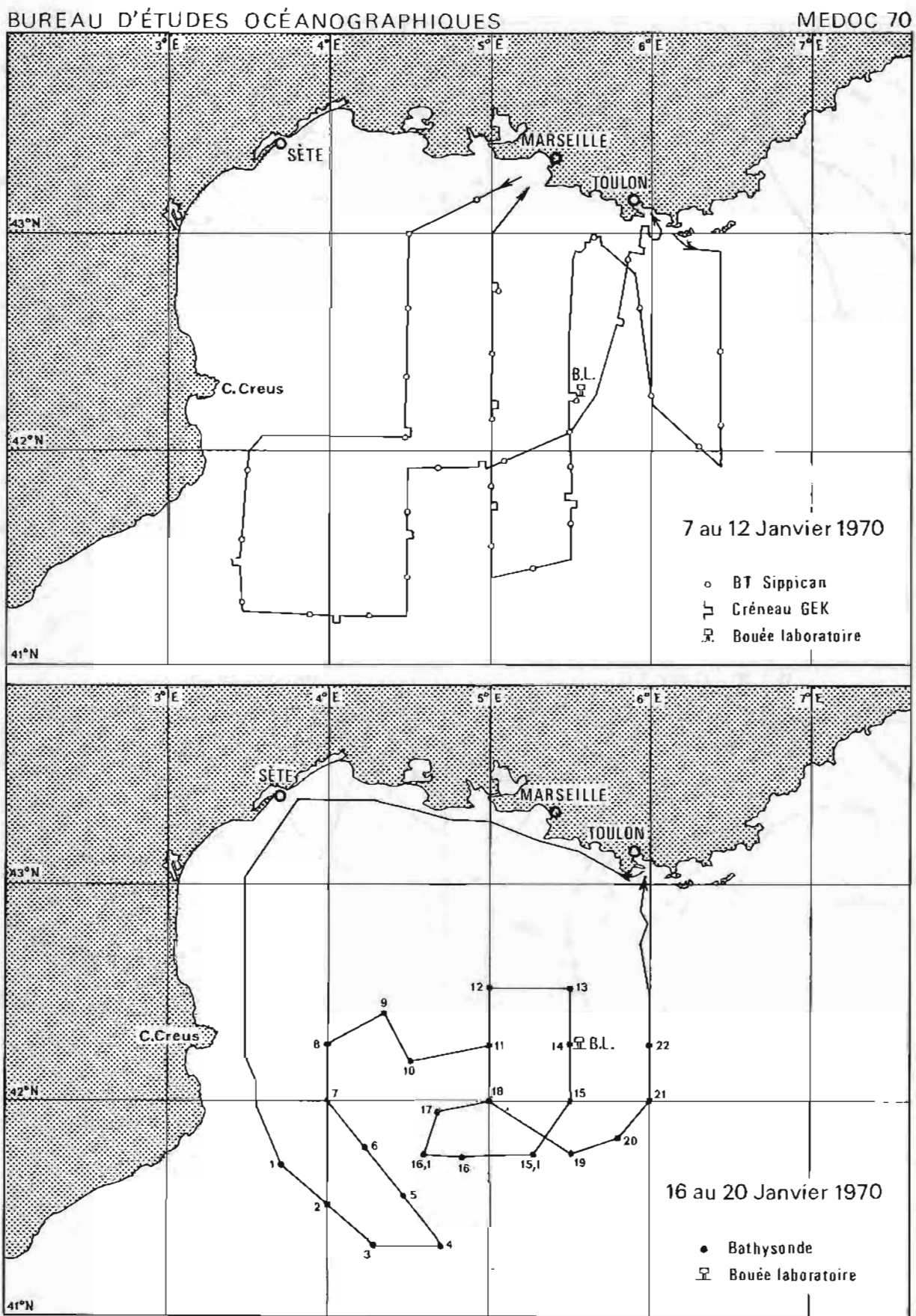
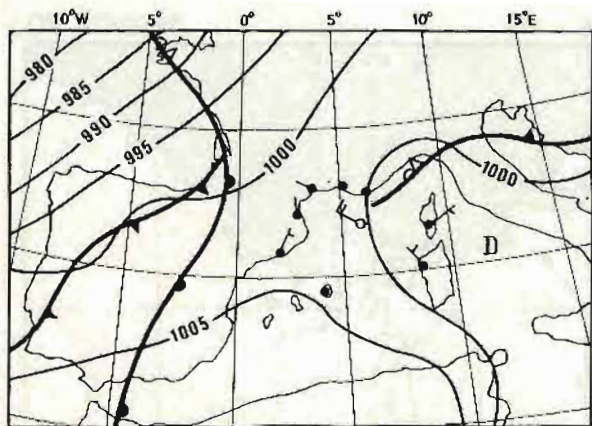
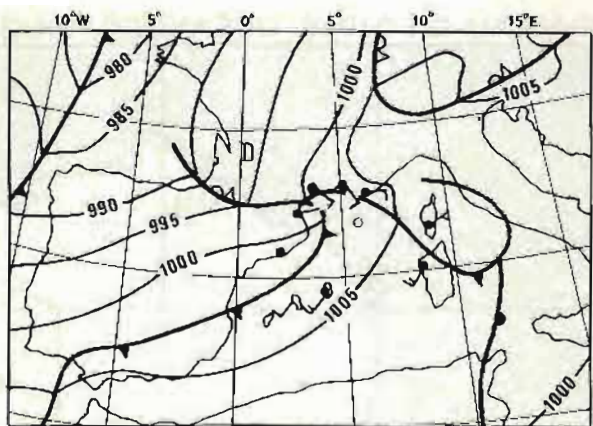


PLANCHE 2

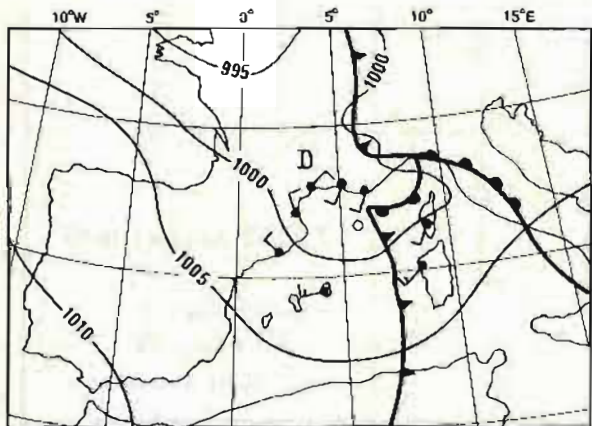




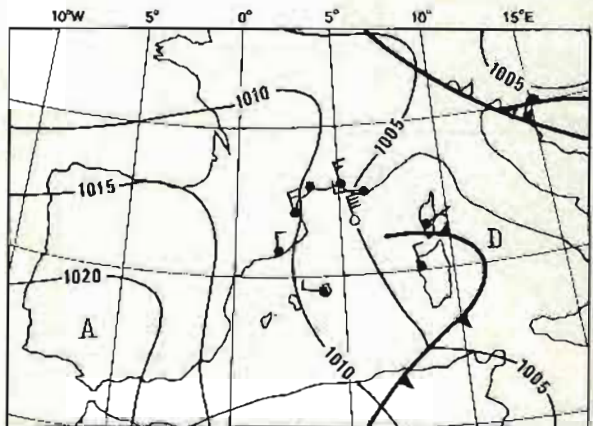
13.1.70 - 06.00 T.U.



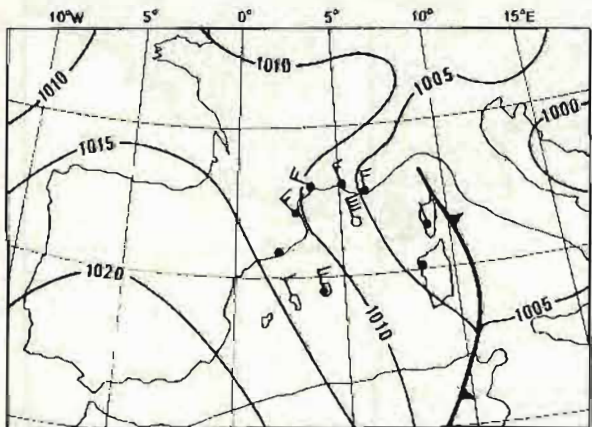
14.1.70 - 12.00 T.U.



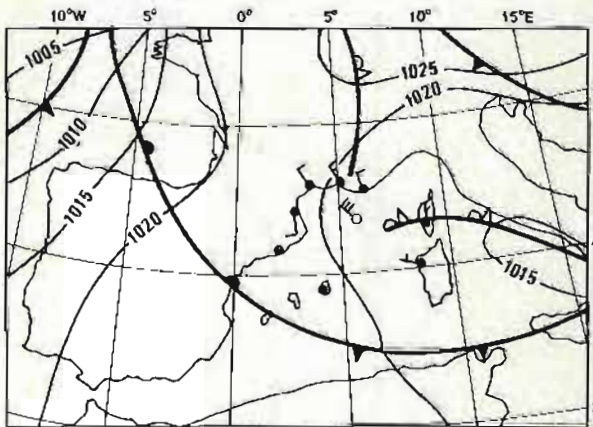
15.1.70 - 12.00 T.U.



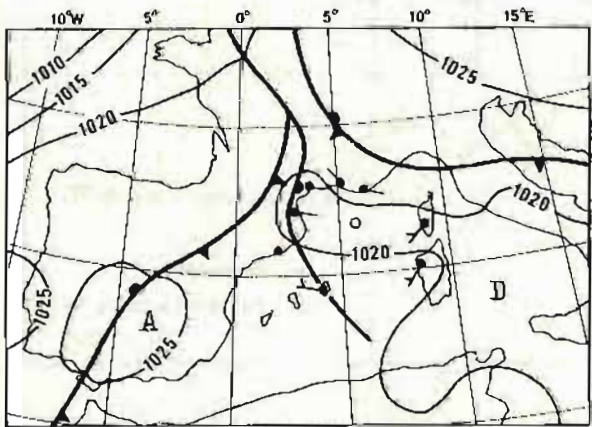
16.1.70 - 06.00 T.U.



16.1.70 - 12.00 T.U.



18.1.70 - 06.00 T.U.



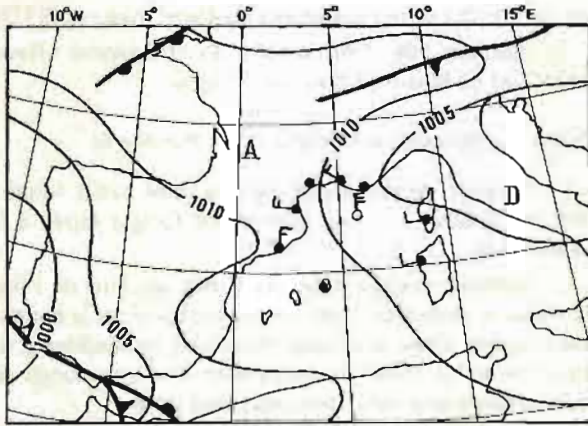
20.1.70 - 12.00 T.U.

BUREAU D'ÉTUDES OCÉANOGRAPHIQUES

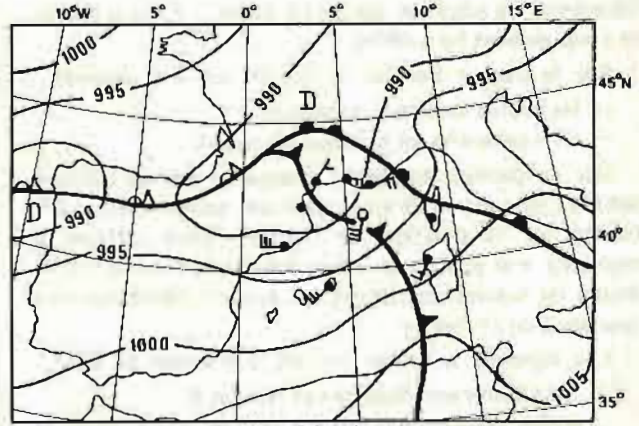
MÉDOC 1970

Situation Météo  
du 2.1.70 au 20.1.70

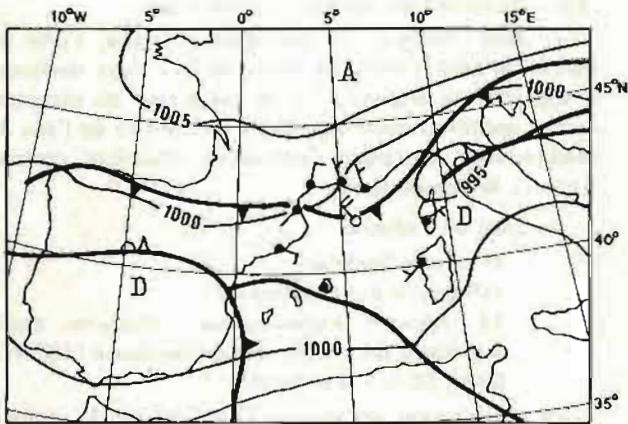




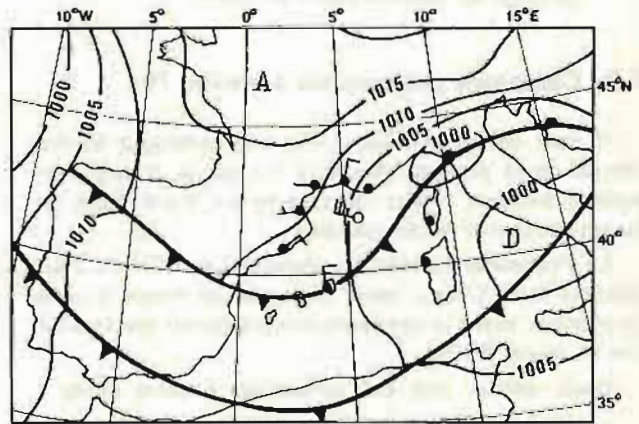
2.1.70 - 12.00 T.U.



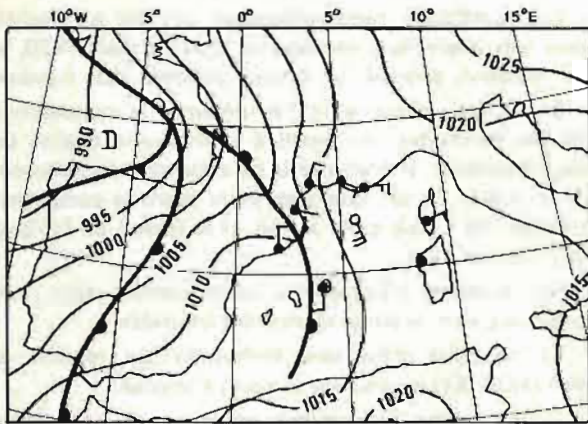
5.1.70 - 06.00 T.U.



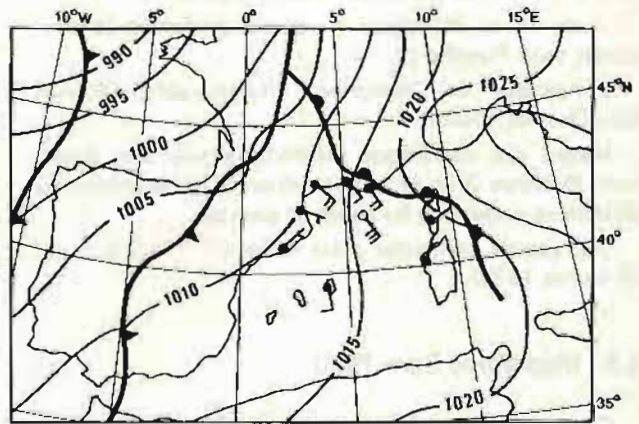
6.1.70 - 06.00 T.U.



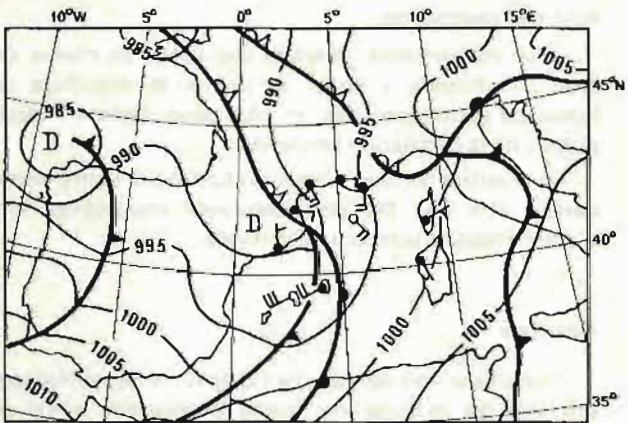
7.1.70 - 06.00 T.U.



8.1.70 - 06.00 T.U.



9.1.70 - 06.00 T.U.



12.1.70 - 06.00 T.U.

BUREAU D'ÉTUDES OCÉANOGRAPHIQUES

MÉDOC 1970

Situation Météo  
du 2.1.70 au 20.1.70



PLANCHE 4

décevants. La situation est restée stable ; il n'y a pas eu de coup de vent bien défini.

Sur le traceur Benson du C.E.M. ont été dessinés :

- les profils verticaux successifs
- les isothermes en fonction du temps.

Sur ce dernier document n'apparaît pas de période définie : une durée de trois jours par station était insuffisante, et la position de l'*Origny* était difficile à maintenir très proche du point théorique. Pour de telles études les bouées constituent un support beaucoup plus approprié qu'un navire.

Les données suivantes ont été transmises au SCH :

- Enregistrement Sippican et feuilles B
- Bande magnétique (voir format en annexe 1) (passage sur bande 9 pistes en cours).

## 2.2. Campagne préliminaire à Medoc 70

Il était prévu en hiver 1970 une campagne Medoc (étude de la plongée des eaux froides se formant en surface pendant l'hiver dans la partie Nord-Ouest du bassin occidental méditerranéen).

Le Professeur Lacombe a demandé au SCH s'il était possible que l'*Origny* tente de cerner au mieux la zone de plongée, avant la campagne elle-même qui devait avoir lieu en février 1970.

Deux sorties ont été consacrées à cette étude :

- du 7 au 12 janvier : mesures de surface (température, salinité) et subsurface (bathy Sippican).
- du 16 au 20 janvier : mesures profondes (bathy-sonde) (voir Planche 2).

L'ingénieur de l'Armement (hydrographe) Thouin était Chef de Mission.

Malgré des conditions météorologiques très dures, (voir Planches 3 et 4) le but recherché a été atteint en délimitant nettement les zones de plongée.

Un rapport particulier a été rédigé (n° 171 B.E.O. du 26 février 1970).

## 2.3. Med Miloc Surv 1970

Cette campagne, organisée par le Groupe d'Océanographie Militaire de l'OTAN dans le canal de Sicile en 1970, avait deux buts :

- 1 – Etude de la variabilité spatiale et temporelle de la structure hydrologique verticale dans deux zones : une zone petits fonds (Blanc de l'Avanture), une zone grands fonds (au Sud-Est de l'île Pantelleria).
- 2 – Etude générale de la circulation dans le Canal. Y participaient :
  - le *Bannock* (Italie)
  - la *Maria Paolina* (Saclantcen)
  - l'*Origny*

Le *Bannock* et l'*Origny* étaient chargés des mesures hydrologiques ; la *Maria Paolina* a moullé des lignes de mesure de courant (6 courantographes étaient prêtés

par le B.E.O.) et fait également quelques mesures (STD).

L'ingénieur de l'Armement (hydrographe) Revel était Chef de Mission à bord de l'*Origny*.

*Travaux effectués par l'Origny* (Voir Planche 5)

- Mesures de variabilité dans la zone petits fonds : section Sippican, et une station de longue durée à la bathysonde.

- Sections transversales du Canal, au Sud de l'île Pantelleria, destinées à définir les limites entre la couche superficielle d'eau atlantique pénétrant en Méditerranée orientale et la couche sous-jacente d'eau profonde de Méditerranée orientale, beaucoup plus salée.

- Observations de routine : bathymétrie, température de surface en continu, météorologie.

- Deux sections de biologie-hydrologie, l'une au niveau du seuil, l'autre au niveau de Di Linosa, destinées à apprécier la dispersion et la disparition du plancton animal spécifiquement atlantique au contact de l'eau de Méditerranée Orientale (utilisation d'espèces comme traceurs de masses d'eau).

Au total on a obtenu :

- 48 relevés Sippican
- 149 profils à la bathysonde
- 14 stations hydrologiques, chacune étant associée à deux traits de filet verticaux (100 m à 50 m, 50 m à la surface).

Le récapitulatif des travaux (Voir tableau 1) indique le calendrier des opérations.

Les conditions météorologiques ont été médiocres, voire très mauvaises, pendant ce mois de mai 1970, et ont souvent entravé la bonne marche des travaux.

En ce qui concerne la bathymétrie, la campagne a été peu profitable, eu égard à la mauvaise qualité du positionnement. Il était prévu de s'appuyer entièrement sur le Loran C ; or, quelques jours avant la campagne, le réseau de Lybie a été arrêté, et le réseau de Turquie était très mal reçu.

Sur le réseau d'Espagne, à lieux orientés selon l'axe du détroit, s'est avéré généralement utilisable.

La nécessité d'un levé bathymétrique régulier et serré (1/25 000 environ sur le seuil) s'impose :

- une bonne bathymétrie constituerait une aide à la navigation d'autant plus appréciable que les fonds sont très tourmentés.
- la connaissance détaillée des fonds au niveau du seuil conditionne le choix de points de mouillage de lignes de courantmètres, et plus généralement l'étude précise de la circulation profonde.

En d'autres termes, l'amélioration de la bathymétrie devrait être une des préoccupations importantes lors d'une campagne ultérieure éventuelle.

### Résultats

Outre celui des données de l'*Origny*, le dépouillement primaire des mesures des autres participants a été en partie assuré soit au B.E.O., soit au SCH. Ceci concerne :



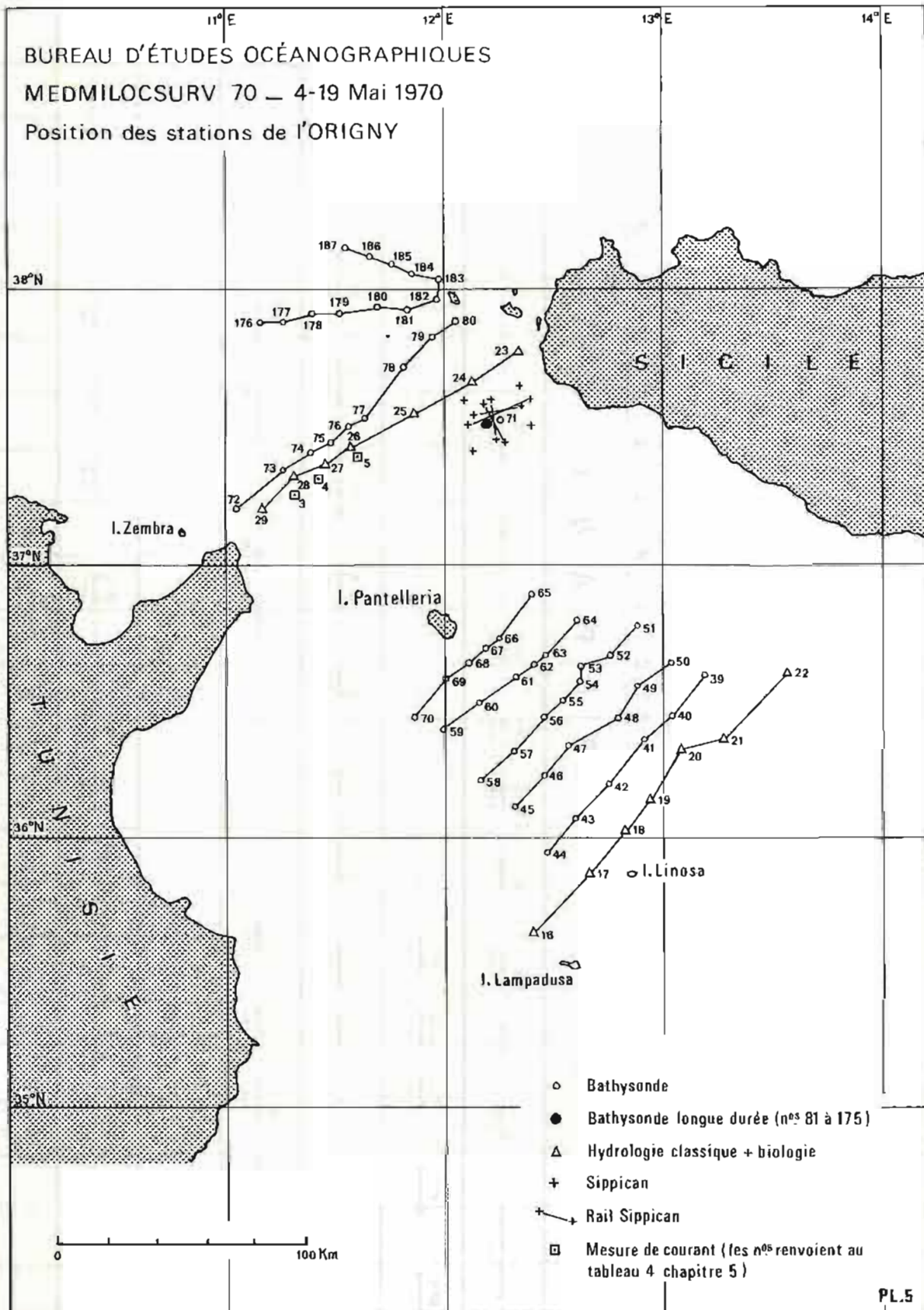


PLANCHE 5



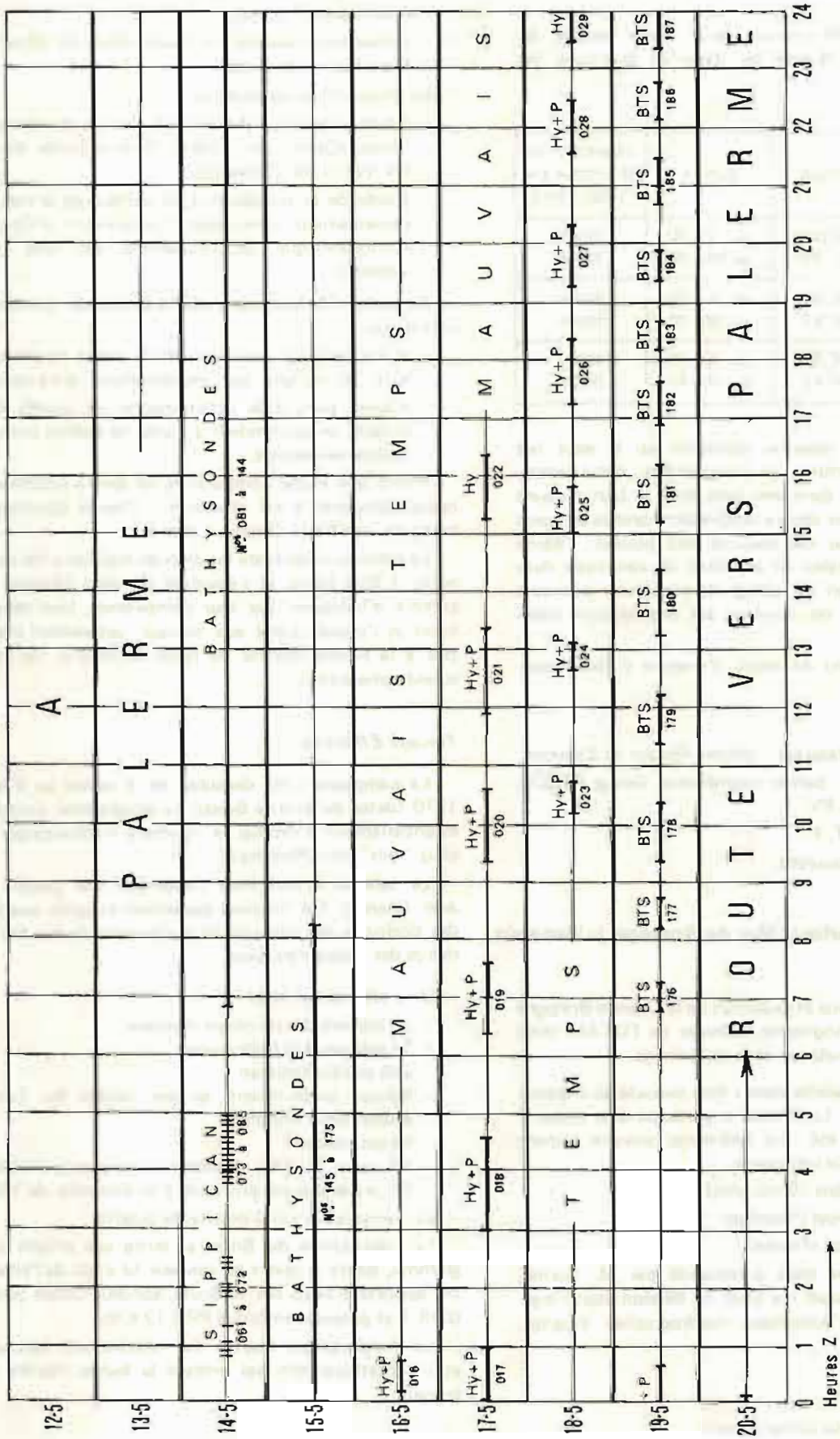
Tableau 1

**MEDMILOCSURV 70 - ORIGNY**  
**RÉCAPITULATIF DES TRAVAUX**

— = Transit  
 + = Station  
 BTS = Bathysonde  
 Hy + P = Hydrologie + Plancton

| Heures Z | 0          | 1          | 2          | 3          | 4          | 5          | 6             | 7          | 8          | 9           | 10         | 11         | 12         | 13 | 14  | 15 | 16 | 17 | 18 | 19         | 20         | 21 | 22 | 23 | 24 |
|----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|---------------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|----|---|----|----|----|----|------------|------------|----|----|----|----|
| 4-5      |            |            |            |            |            |            |               |            |            |             |            |            |            |    |   |    |    |    |    |            |            |    |    |    |    |
| 5-5      | BTS<br>039 | BTS<br>040 | BTS<br>041 | BTS<br>042 | BTS<br>043 | BTS<br>044 | BTS<br>045    | BTS<br>046 | BTS<br>047 | BTS<br>048  |            |            |            |    |   |    |    |    |    |            | BTS<br>049 |    |    |    |    |
| 6-5      | BTS<br>050 | BTS<br>051 | BTS<br>052 | BTS<br>053 | BTS<br>054 |            |               |            |            |             |            |            |            |    |   |    |    |    |    |            |            |    |    |    |    |
| 7-5      |            |            |            | BTS<br>055 | BTS<br>056 | BTS<br>057 | BTS<br>058    | BTS<br>059 | BTS<br>060 | BTS<br>061  | BTS<br>062 | BTS<br>063 | BTS<br>064 |    |   |    |    |    |    |            | BTS<br>065 |    |    |    |    |
| 8-5      | BTS<br>065 | BTS<br>067 | BTS<br>068 | BTS<br>068 | BTS<br>069 | BTS<br>070 |               |            |            |             |            |            |            |    | S I P P I C A N<br>038 à 050<br>051 à 060 |    |    |    |    | BTS<br>071 |            |    |    |    |    |
| 9-5      |            |            |            |            |            |            | M A U V A I S |            |            |             |            |            |            |    |   |    |    |    |    |            |            |    |    |    |    |
| 10-5     |            |            |            | BTS<br>072 | BTS<br>073 | BTS<br>074 | BTS<br>075    | BTS<br>076 | BTS<br>077 | BTS<br>078  | BTS<br>079 | BTS<br>080 |            |    |   |    |    |    |    |            |            |    |    |    |    |
| 11-5     |            |            |            |            |            |            |               |            |            | E S C A L E |            |            |            |    |   |    |    |    |    |            |            |    |    |    |    |

Tableau 1 (suite)





— la totalité des stations hydrologiques du *Bannock* (61 stations).

— les mesures de courant de la *Maria Paolina*. Le tableau ci-dessous donne les dates et positions des mouillages :

| POINT | POSITION                   | DATES                   | IMMERSION<br>DES COURAN-<br>TOMETRES |
|-------|----------------------------|-------------------------|--------------------------------------|
| C1    | 37° 15',3 N<br>11° 19',3 E | du 7.5.70<br>au 19.5.70 | 160 m<br>320 m                       |
| C2    | 37° 18',8 N<br>11° 25',5 E | du 6.5.70<br>au 19.5.70 | 150 m<br>340 m                       |
| C3    | 37° 23',5 N<br>11° 35',4 E | du 5.5.70<br>au 19.5.70 | 150 m<br>340 m                       |

L'ensemble des mesures obtenues sur le seuil fait apparaître des structures très tourmentées : cette campagne a montré que dans une telle zone il faut d'abord tenter de déterminer des variations temporelles au point fixe, si possible par des mesures sous bouées ; l'étude des variations spatiales est entachée de variations dues au temps quand on est obligé de consacrer plusieurs heures à collecter les données sur une section transversale.

Les données sont en cours d'analyse à Saclantcen.

#### Documents établis

- Hydrologie classique : cahiers *Origny* et *Bannock*.
- Bathysonde : bande magnétique. listage PTSCV, tracés PT, PS, PV.
- Imprimés B, T, F.
- 6 dossiers de courant.

## 2.4. Milocsurvnrant (Mer de Norvège, juillet-août 1970).

Faisant suite à une proposition de la Grande-Bretagne au Groupe d'Océanographie Militaire de l'OTAN, cette campagne s'est déroulée en mer de Norvège.

Le même programme devait être exécuté aux quatre saisons de l'année. La France a participé à la phase 2 qui a eu lieu en été. Les bâtiments suivants étaient rassemblés pour cette campagne :

- U.S.N.S. *Kane* (Etats-Unis)
- H.U. *Sverdrup* (Norvège)
- *Jean Charcot* (France).

Le *Jean Charcot* était commandé par M. Cornic, Capitaine au long-cours ; le Chef de Mission était l'ingénieur en chef de l'Armement (hydrographe) Vicariot.

#### Programme

Les travaux prévus comprenaient :

- deux programmes majeurs :

— Océanographie physique (Bureau d'Etudes Océanographiques, Toulon) ;

— Acoustique sous-marine (Laboratoire de Détection Sous-Marine du Brusç).

— des programmes secondaires :

— Etude isotopique des aérosols marins et atmosphériques (Centre des Faibles Radioactivités de Gif-sur-Yvette, M. Chesselet) ;

— Etude de la température de surface de la mer par rayonnement infra-rouge (Laboratoire d'Optique Atmosphérique de l'Université de Lille, Mlle Lenoble).

En outre, l'Aéronavale a assuré un certain nombre de vols visant :

— d'une part à l'établissement de cartes de température de surface par rayonnement infra-rouge ;

— d'autre part, à la détermination de profils thermiques en profondeur à l'aide de bathys consommables aéroportés.

Enfin, une étude comparative de divers systèmes de radiolocalisation a été effectuée : Transit (positionnement par satellites), Omega, Loran C.

La collaboration entre les diverses équipes a été excellente. L'Etat-Major et l'équipage du *Jean Charcot* ont comme d'habitude, par leur compétence, leur dévouement et l'intérêt porté aux travaux, activement contribué à la bonne marche de cette campagne. Qu'ils en soient remerciés ici.

#### Travaux Effectués

La campagne s'est déroulée du 8 juillet au 8 août 1970 (dates de Brest à Brest). Le programme consistait essentiellement à étudier la structure hydrologique sur cinq "rails" (voir Planche 6).

Le tableau 2 récapitule l'ensemble des travaux du *Jean Charcot*. On trouvera également ci-après une liste des positions des stations, et la correspondance des numéros des diverses mesures.

On a effectué au total :

- 27 stations d'hydrologie classique
- 74 stations à la bathysonde
- 249 profils Sippican
- Météo, prélèvement surface toutes les heures
- Bathymétrie continue
- 15 carottages
- 13 traits de SFV (sondeur à fréquence variable)
- 15 prélèvements profonds à la bouteille de 120 l.

La navigation a été d'excellente qualité.

Le Laboratoire du Brusç a, outre son propre programme, assuré le quart au sondeur (il s'agit de l'ensemble apporté à bord par le Brusç, sondeur Océan Sonics GDR-T et poisson remorqué PRE 12 KHz).

La météorologie nous a été relativement favorable et n'a pratiquement pas entravé la bonne marche des travaux.



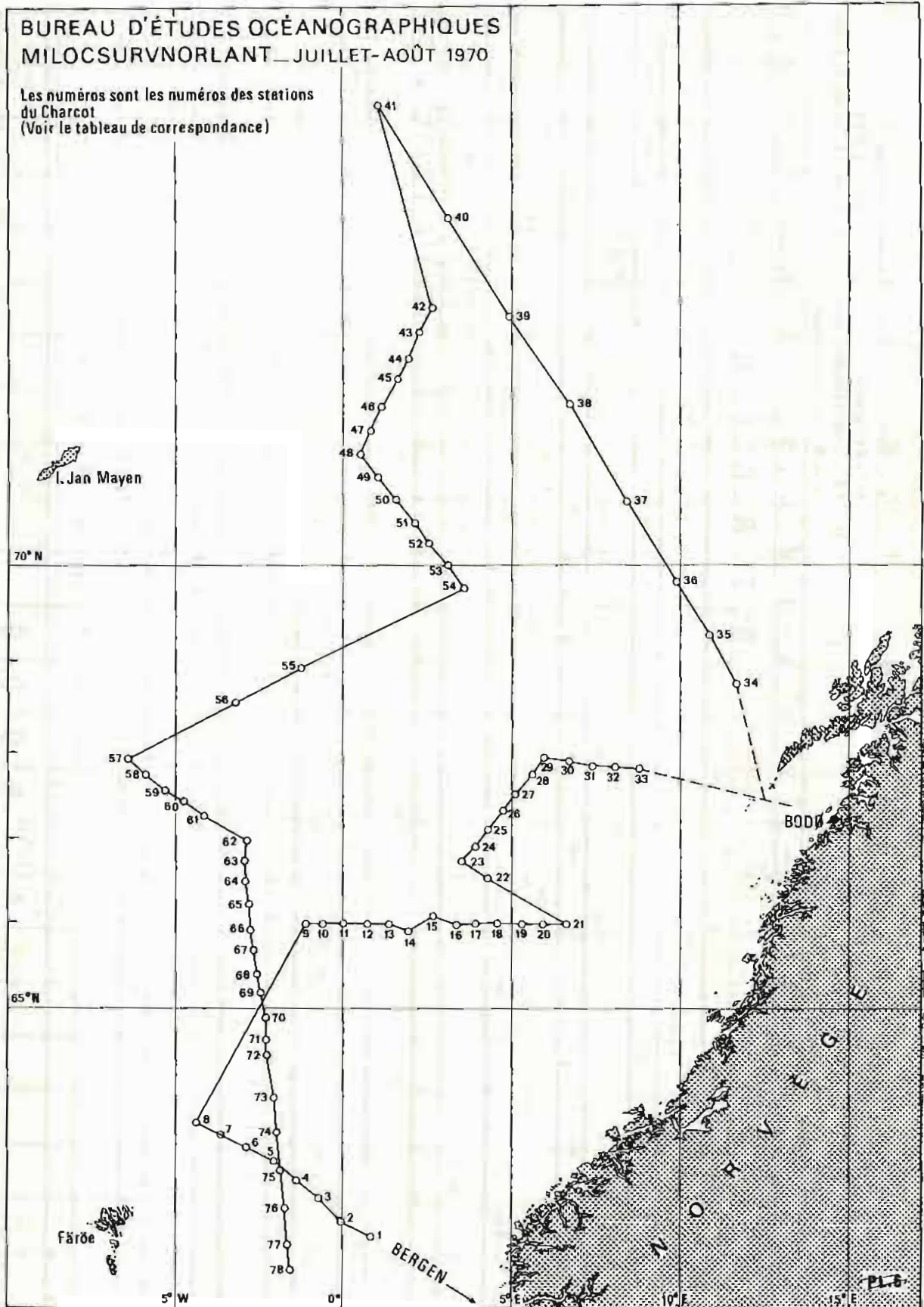


PLANCHE 6

Tableau 2

**MILCSURVNORLANT - Phase 2.- JEAN CHARCOT  
RÉCAPITULATIF DES TRAVAUX**

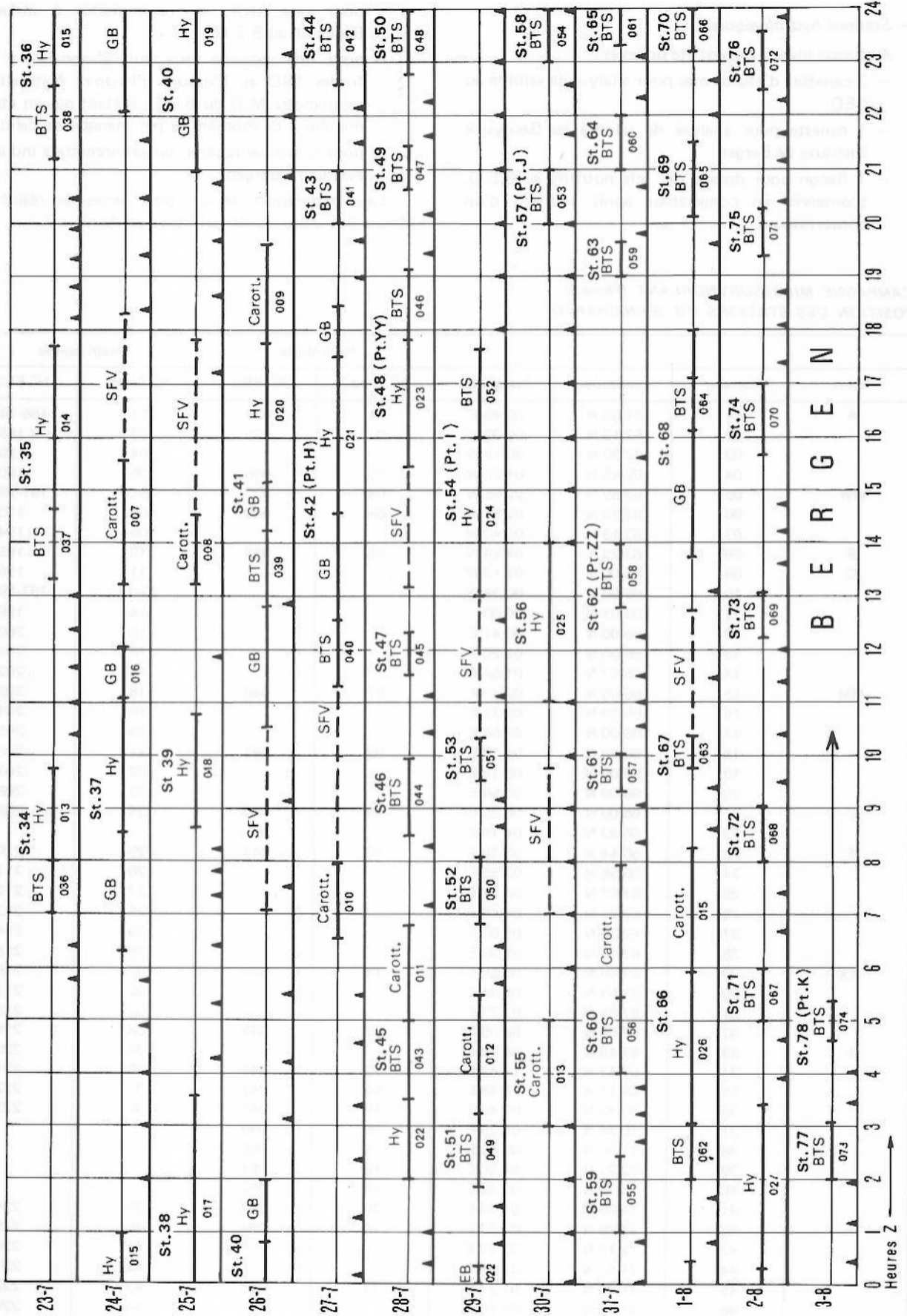
▲ = Sippican  
BTS = Bathysonde  
EB = Etalonnage bathysonde  
Hy = Hydrologie classique

Carott.=Carottage  
GB = Bouteille 120 L  
SFV = Sondeur à fréquence variable

| Heures Z | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12  | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 12-7     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 13-7     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    | SFV |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 14-7     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 15-7     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 16-7     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 17-7     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 18-7     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 19-7     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 20-7     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 21-7     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 22-7     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |



Tableau 2 (suite)





*Dépouillement — Résultats*

## — Stations hydrologiques

A chaque niveau avaient été prélevés :

- 2 canettes d'eau de mer pour analyse de salinité au BED.
- 1 canette pour analyse de salinité au Geofysisk Institute de Bergen.
- 1 flacon pour dosage des sels nutritifs au B.E.O. (conservés en congélateur après addition d'un conservateur).

Les dosages de salinité ont été faits :

- pour une série, sur salinomètre à induction Beckman au B.E.O. ;
- pour une seconde série, sur salinomètre à électrodes MIO au Museum d'Histoire Naturelle (le salinomètre MIO du B.E.O. n'étant pas en état de marche à ce moment là par manque de cellules) ;
- pour la troisième série, sur salinomètre à induction Autolab à Bergen.

La comparaison de ces trois séries de résultats a donné lieu à une étude qui figure en Annexe 2.

*CAMPAGNE MILOCSURVNORLANT (Phase 2)*  
*POSITION DES STATIONS DU JEAN CHARCOT*

| Point | Numéro | Latitude | Longitude | Hydrologie |        | Bathysonde |         |
|-------|--------|----------|-----------|------------|--------|------------|---------|
|       |        |          |           | N° Crois.  | N° BEO | N° Crois.  | N° BEO  |
| A     | 01     | 61 58 N  | 00 45 E   | 01         | 034    | 01-02      | 186-187 |
|       | 02     | 62 12 N  | 00 03 W   | 02         | 035    | 03         | V 188   |
|       | 03     | 62 30 N  | 00 44 W   |            |        | 04         | 189     |
|       | 04     | 62 45 N  | 01 23 W   | 03         | 036    | 05         | 190     |
| WW    | 05     | 62 59 N  | 02 05 W   | 04         | 037    | 06-07      | 191-192 |
|       | 06     | 63 10 N  | 02 51 W   | 05         | 038    | 08         | 193     |
|       | 07     | 63 19 N  | 03 40 W   |            |        | 09         | 194     |
| B     | 08     | 63 29 N  | 04 24 W   | 06         | 039    | 10         | 195     |
| C     | 09     | 66 00 N  | 01 13 W   |            |        | 11         | 196     |
|       | 10     | 66 00 N  | 00 38 W   |            |        | 12-13      | 197-198 |
|       | 11     | 66 01 N  | 00 00     |            |        | 14         | 199     |
|       | 12     | 65 00 N  | 00 41 E   |            |        | 15         | 200     |
| MM    | 13     | 66 00 N  | 01 20 E   |            |        | 16         | 201     |
|       | 14     | 65 57 N  | 01 54 E   |            |        | 17         | 202     |
|       | 15     | 66 06 N  | 02 40 E   | 07         | 040    | 18         | 203     |
|       | 16     | 65 59 N  | 03 21 E   |            |        | 19         | 204     |
|       | 17     | 66 00 N  | 03 57 E   |            |        | 20         | 205     |
|       | 18     | 66 00 N  | 04 37 E   | 08         | 041    | 21         | 206     |
|       | 19     | 66 00 N  | 05 18 E   |            |        | 22         | 207     |
|       | 20     | 66 00 N  | 05 56 E   |            |        | 23         | 208     |
| D     | 21     | 66 00 N  | 06 36 E   | 09         | 042    | 24         | 209     |
|       | 22     | 66 33 N  | 04 19 E   |            |        |            |         |
| E     | 23     | 66 44 N  | 03 30 E   | 10         | 043    | 25         | 210     |
|       | 24     | 66 56 N  | 03 55 E   |            |        | 26         | 211     |
|       | 25     | 67 08 N  | 04 21 E   |            |        | 27         | 212     |
|       | 26     | 67 21 N  | 04 45 E   |            |        | 28         | 213     |
|       | 27     | 67 33 N  | 05 08 E   |            |        | 29         | 214     |
| XX    | 28     | 67 46 N  | 05 36 E   |            |        | 30         | 215     |
|       | 29     | 67 56 N  | 05 56 E   | 11         | 044    | 31         | 216     |
|       | 30     | 67 54 N  | 06 41 E   |            |        | 32         | 217     |
|       | 31     | 67 51 N  | 07 23 E   |            |        | 33         | 218     |
| F     | 32     | 67 50 N  | 08 05 E   | 12         | 045    | 34         | 219     |
|       | 33     | 67 49 N  | 08 48 E   |            |        | 35         | 220     |
|       | 34     | 68 43 N  | 11 42 E   | 13         | 046    | 36         | 221     |
|       | 35     | 69 14 N  | 10 48 E   | 14         | 047    | 37         | 222     |
|       | 36     | 69 49 N  | 09 49 E   | 15         | 048    | 38         | 223     |
|       | 37     | 70 36 N  | 08 25 E   | 16         | 049    |            |         |
|       | 38     | 71 30 N  | 06 43 E   | 17         | 050    |            |         |
|       | 39     | 72 21 N  | 04 56 E   | 18         | 051    |            |         |
|       | 40     | 73 10 N  | 03 12 E   | 19         | 052    |            |         |
|       | H      | 41       | 74 06 N   | 01 06 E    | 20     | 053        | 39      |
| 42    |        | 72 26 N  | 02 40 E   | 21         | 054    | 40         | 225     |
| 43    |        | 72 12 N  | 02 20 E   |            |        | 41         | 226     |
| 44    |        | 71 57 N  | 01 56 E   |            |        | 42         | 227     |
| 45    |        | 71 46 N  | 01 37 E   | 22         | 055    | 43         | 228     |
| 46    |        | 71 30 N  | 01 10 E   |            |        | 44         | 229     |
| 47    |        | 71 16 N  | 00 47 E   |            |        | 45         | 230     |

| Point | Numéro  | Latitude | Longitude | Hydrologie |        | Bathysonde |        |
|-------|---------|----------|-----------|------------|--------|------------|--------|
|       |         |          |           | N° Crois.  | N° BEO | N° Crois.  | N° BEO |
| YY    | 48      | 71 02 N  | 00 26 E   | 23         | 056    | 46         | 231    |
|       | 49      | 70 50 N  | 01 01 E   |            |        | 47         | 232    |
|       | 50      | 70 37 N  | 01 31 E   |            |        | 48         | 233    |
|       | 51      | 70 24 N  | 02 01 E   |            |        | 49         | 234    |
|       | 52      | 70 12 N  | 02 31 E   |            |        | 50         | 235    |
| I     | 53      | 70 00 N  | 03 04 E   | 24         | 057    | 51         | 236    |
|       | 54      | 69 45 N  | 03 35 E   |            |        | 52         | 237    |
|       | 55      | 68 53 N  | 01 15 W   |            |        |            |        |
| J     | 56      | 68 31 N  | 03 16 W   | 25         | 058    |            |        |
|       | 57      | 67 55 N  | 06 27 W   |            |        | 53         | 238    |
| ZZ    | 58      | 67 44 N  | 05 54 W   |            |        | 54         | 239    |
|       | 59      | 67 35 N  | 05 20 W   |            |        | 55         | 240    |
|       | 60      | 67 27 N  | 04 46 W   |            |        | 56         | 241    |
|       | 61      | 67 17 N  | 04 10 W   |            |        | 57         | 242    |
|       | 62      | 67 00 N  | 02 50 W   |            |        | 58         | 243    |
| K     | 63      | 66 45 N  | 02 58 W   |            |        | 59         | 244    |
|       | 64      | 66 29 N  | 02 53 W   |            |        | 60         | 245    |
|       | 65      | 66 14 N  | 02 48 W   |            |        | 61         | 246    |
|       | 66      | 65 56 N  | 02 45 W   | 26         | 059    | 62         | 247    |
|       | 67      | 65 41 N  | 02 39 W   |            |        | 63         | 248    |
|       | 68      | 65 25 N  | 02 35 W   |            |        | 64         | 249    |
|       | 69      | 65 10 N  | 02 30 W   |            |        | 65         | 250    |
|       | 70      | 64 53 N  | 02 20 W   | 27         | 060    | 66         | 251    |
|       | 71      | 64 35 N  | 02 20 W   |            |        | 67         | 252    |
|       | 72      | 64 22 N  | 02 18 W   |            |        | 68         | 253    |
|       | 73      | 63 50 N  | 02 08 W   |            |        | 69         | 254    |
|       | 74      | 63 21 N  | 02 00 W   |            |        | 70         | 255    |
| 75    | 62 52 N | 01 50 W  |           |            | 71     | 256        |        |
| 76    | 62 22 N | 01 46 W  |           |            | 72     | 257        |        |
| 77    | 61 51 N | 01 38 W  |           |            | 73     | 258        |        |
| 78    | 61 30 N | 01 36 W  |           |            | 74     | 259        |        |

Nota : les positions indiquées ici sont les positions moyennes des stations effectuées par le *Jean Charcot*. Elles peuvent être légèrement différentes des positions où ont été faites l'hydrologie ou les stations bathysonde, et qui figurent sur les imprimés particuliers correspondants.

### Bathysonde

Deux bathysondes avaient été emportées : c'est la sonde n° 732 qui a servi en permanence.

A chaque descente, une bouteille était fixée sur le câble, juste au-dessus de la sonde. En outre un certain nombre de points de contrôle ont été effectués (notés EB sur le récapitulatif des travaux) pour augmenter le nombre de valeurs entrant dans le calcul du facteur de forme.

L'ensemble des mesures hydrologiques a montré une grande diversité dans les structures rencontrées. Tous les résultats ont été transmis au Centre de Recherches Anti-Sous-Marines de l'OTAN à la Spezia, ainsi qu'au SHOM.

### Bathymétrie

Les bandes de sonde ont été dépouillées en appliquant les corrections suivantes :

Sonde corrigée = Sonde lue en brasses  $\times$  1,8288  
 + corr<sup>on</sup> table de Matthews  
 + corr<sup>on</sup> d'immersion de la base ORE

Corrections d'immersion de la base :

- En station :

- du 14.7 au 16.7 à 08 h + 21 mètres

- du 16.7 à 12 h au 17.7 à 09 h + 17 mètres

- à partir du 17.7 à 20 h + 21 mètres

- En route :

| Vitesse | du 14.7 au 16.7 à 08 h<br>et à partir du 17.7 à 11 h 20 | du 16.7 à 12 h<br>au 17.7 à 09 h |
|---------|---|----------------------------------|
| 7 nds   | + 17 m  | + 14 m                           |
| 10 nds  | + 14 m  | + 11 m                           |
| 12 nds  | + 11 m  | + 9 m                            |

Une minute unique a été rédigée, à l'échelle 1/1 352 910 à la latitude 68° 41' N (échelle de la carte 6021), en projection Mercator Europe 50, ellipsoïde international.

### Documents envoyés au SHOM

Stations classiques : 2 cahiers "Hydrologie-Chimie"

Bathysonde : Bande magnétique (voir Annexe 1) Tracés P-T, P-S, P-V (en cours)

Sippican : - Imprimés B, y compris dépouillement manuel effectué au B.E.O.



- Série de 5 coupes verticales. Les enregistrements originaux ont été transmis au Fleet Numerical Weather Facility—Monterey, California, conformément aux instructions générales de la campagne. Ils reviendront au B.E.O. après exploitation.

Feuilles F, T (transits Brest-Bergen et retour).  
1 minute de bathymétrie (bandes de sonde envoyés ensuite à Saclantcen, La Spezia pour exploitation, feront retour au B.E.O.).  
Divers : phase log. feuilles météo etc.

## CHAPITRE 3

### ETUDES D'ENVIRONNEMENT

Deux études d'environnement importantes ont été entreprises :

1. Au Sud de l'île du Levant
2. Dans le Golfe du Lion.

#### 3.1. Sud Levant

Les travaux suivants ont été exécutés, au profit du S.E.C.T. (Service d'Équipement des Champs de Tir) :

- bathymétrie ;
- carottages ;
- prélèvements à la benne.

##### Bathymétrie

Le levé a été scindé en deux parties :

- talus et grands fonds : levé au 1/50 000 (voir Planche 9) l'*Origny* était positionné grâce au Toran 3 G qui couvre la moitié Nord du bassin occidental méditerranéen, et au Toran 3 P du CEM (voir Planche 7 et 8) ;
- plateau continental bordant la côte Sud de l'île du Levant : levé au 1/5 000. La bande côtière a été couverte avec une embarcation du C.E.M. positionnée au Trident, et équipée d'un sondeur Kelvin Hughes MS 26 FO du B.E.O. Le reste du plateau a été levé par l'*Origny* également équipé du Trident. (Voir planche 9).

Toutes informations détaillées sur les deux chaînes Toran 3 C et 3 P peuvent être obtenues auprès du Centre d'Essais en Méditerranée à Toulon.

Les coordonnées des diverses positions d'antennes Trident figurent dans la liste de coordonnées Sud Levant à la fin de ce rapport.

##### Correction des sondes

Sondage au 1/50 000 : valeur pour une vitesse du son de 1500 m/sec dans l'eau.

Sondage au 1/5 000 :

- embarcation : étalonnage à la barre
- l'*Origny* : Sonde corrigée = (Sonde lue en brasses)  $\times 1,9 + 2,5$ m. Le coefficient 1,9 tient compte des conditions bathycélométriques moyennes.

Marée : les sondes du levé au 1/5 000 ont été corrigées de la marée jusqu'aux fonds de 100 mètres (marée de Toulon, zéro hydrographique à la côte — 0,30 NGF).

##### Prélèvements de fond, carottages

Sur le plateau continental ont été prélevés 96 échantillons à la benne Rondeleux. Les analyses ont été faites au B.E.O.

D'autre part, sur l'ensemble de la zone Sud-Levant l'*Origny* a exécuté 41 carottages (voir Planche 10) 22 d'entre eux ont été confiés au Laboratoire de Géologie Appliquée de la Faculté des Sciences de Nantes (Professeur Ottman) pour analyse. 8 autres ont été analysés en laboratoire de géologie du B.E.O. Les paramètres suivants ont été déterminés :

- Vitesse du son
- Densité sèche
- Densité humide
- Porosité
- Indice des vides.

Un programme a été rédigé au B.E.O. pour calculer les divers paramètres à partir des données mesurées et en assurer la présentation définitive.

##### Autres travaux sur la zone Sud Levant

- Mesures de courant  
(Voir chapitre 6)

##### Documents établis

##### Bathymétrie

- |  |          |                         |
|--|----------|-------------------------|
| — 1 minute de bathymétrie  | 1/50 000 | R 50.1                  |
| — 1 minute à usage pratique comportant seulement les courbes de niveau | 1/50 000 | R 50.1 bis              |
| — 3 minutes de bathymétrie (zone côtière)                              | 1/5 000  | B 5.1<br>B 5.2<br>B 5.3 |



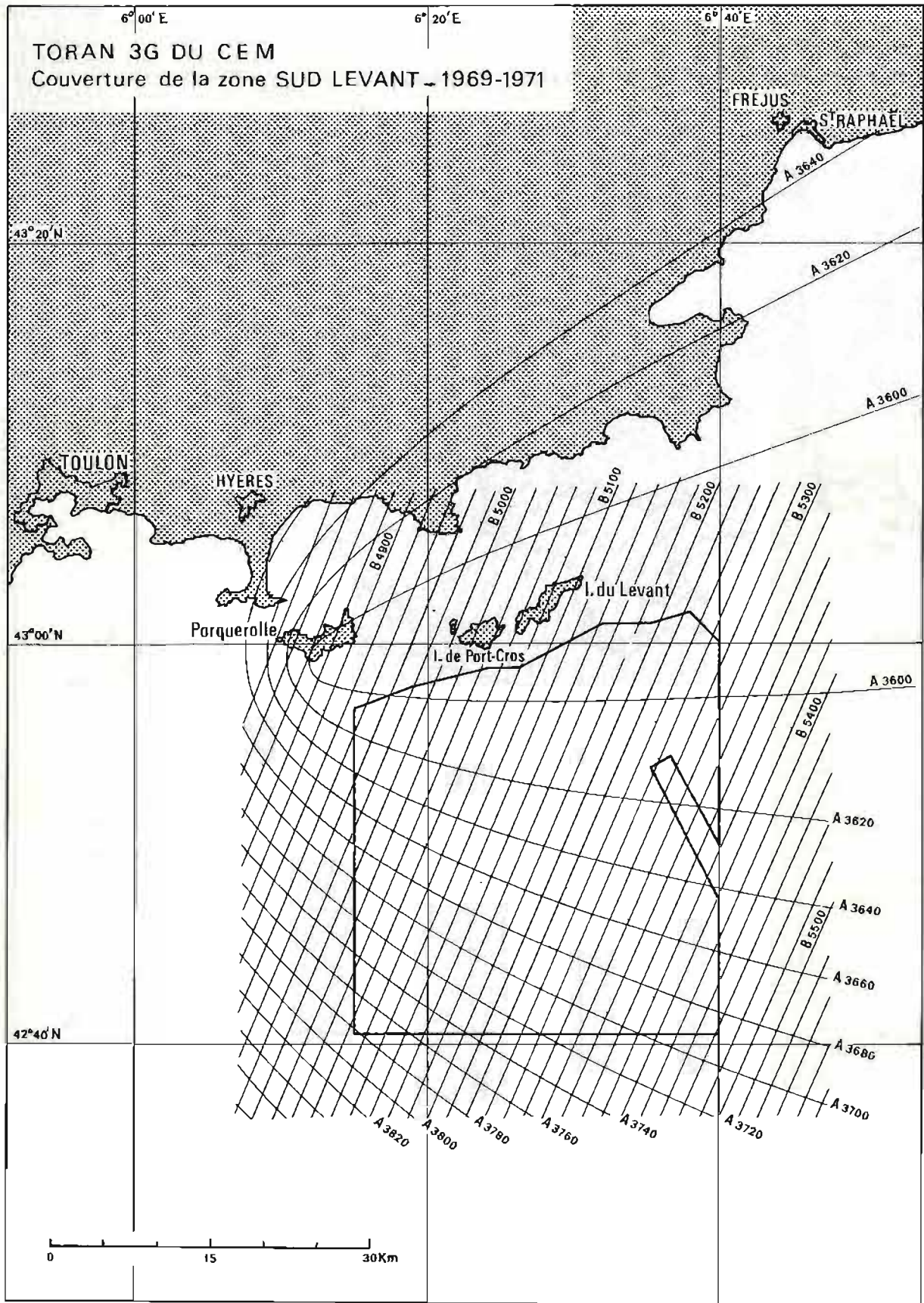


PLANCHE 7



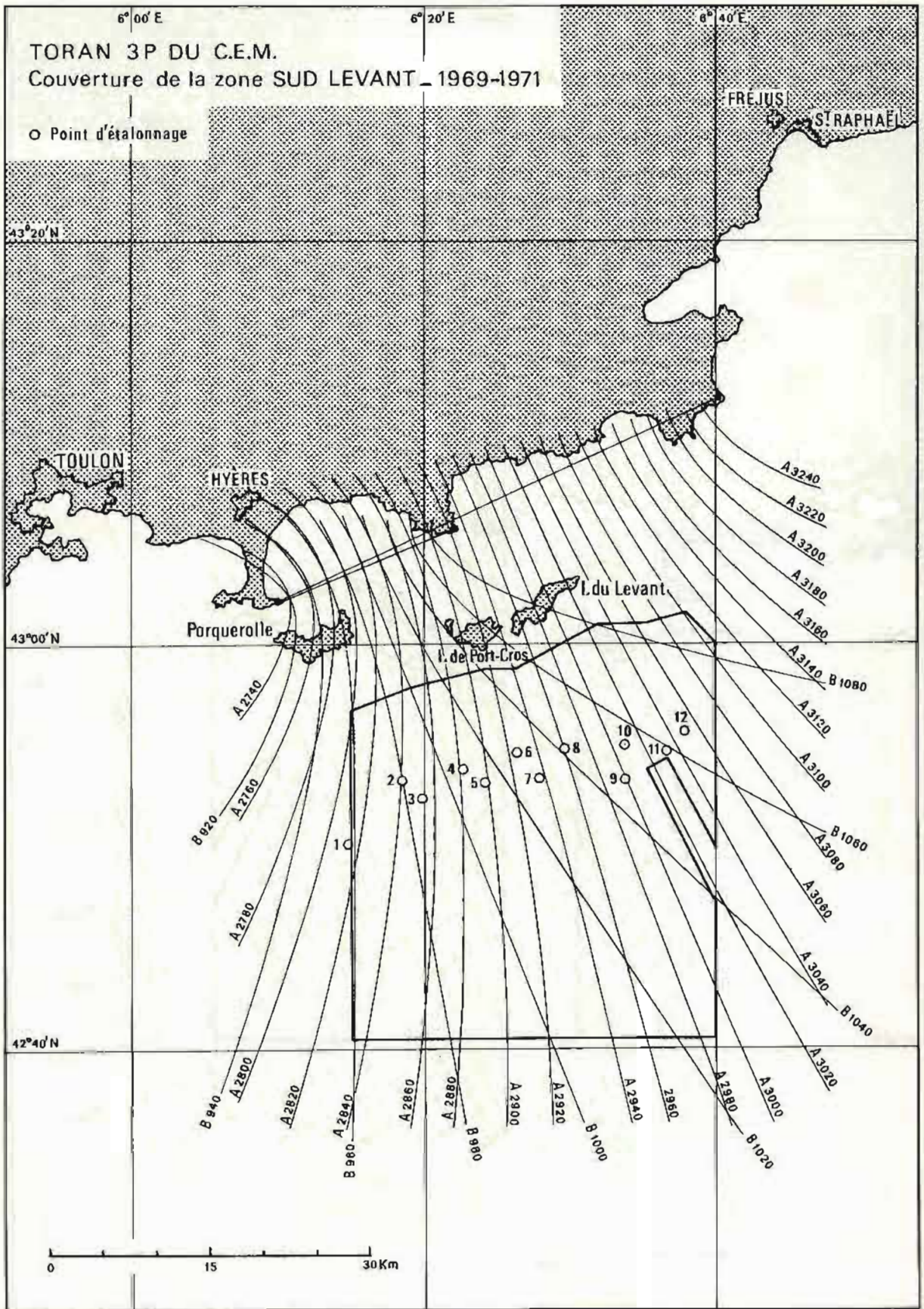


PLANCHE 8



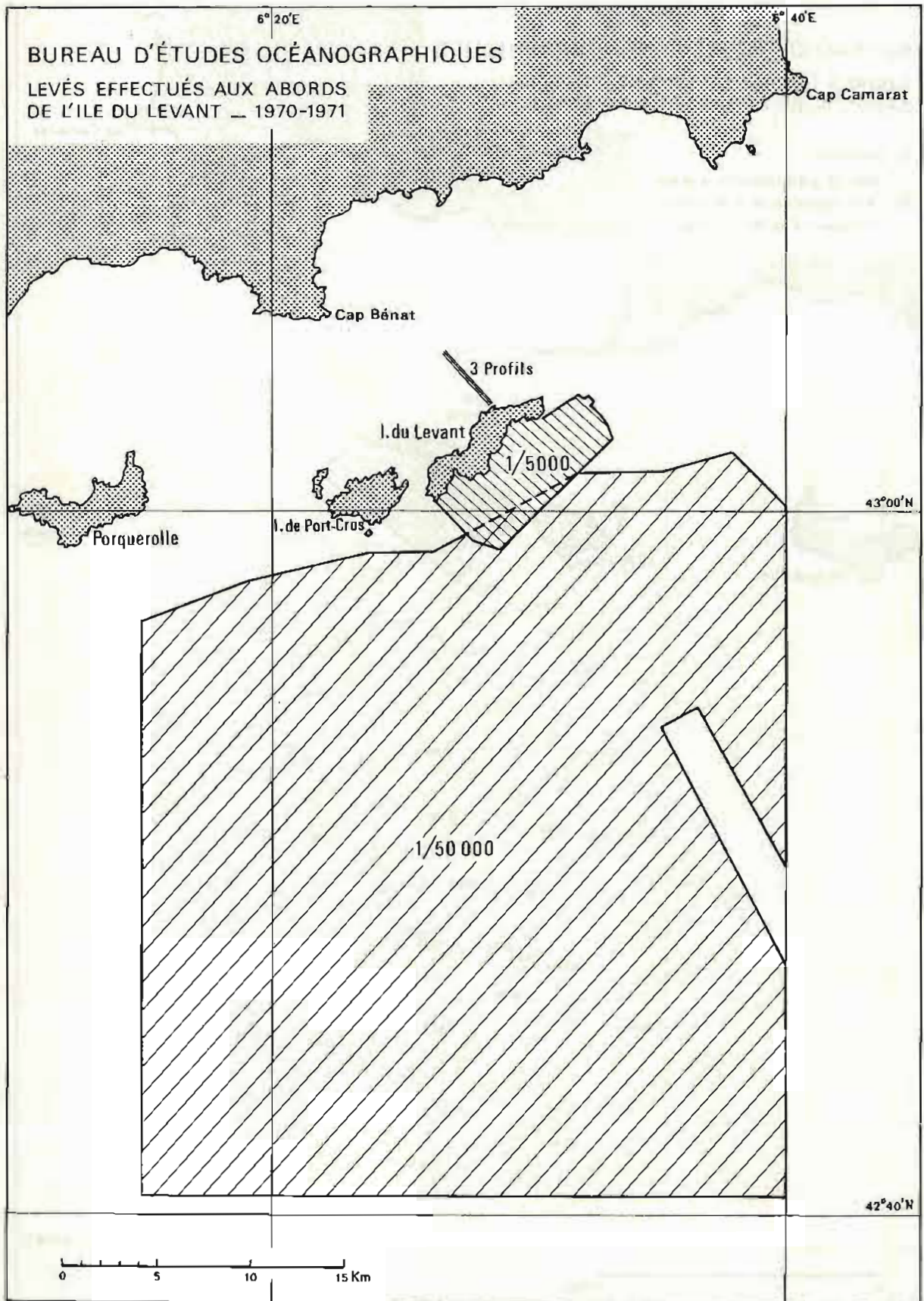


PLANCHE 9



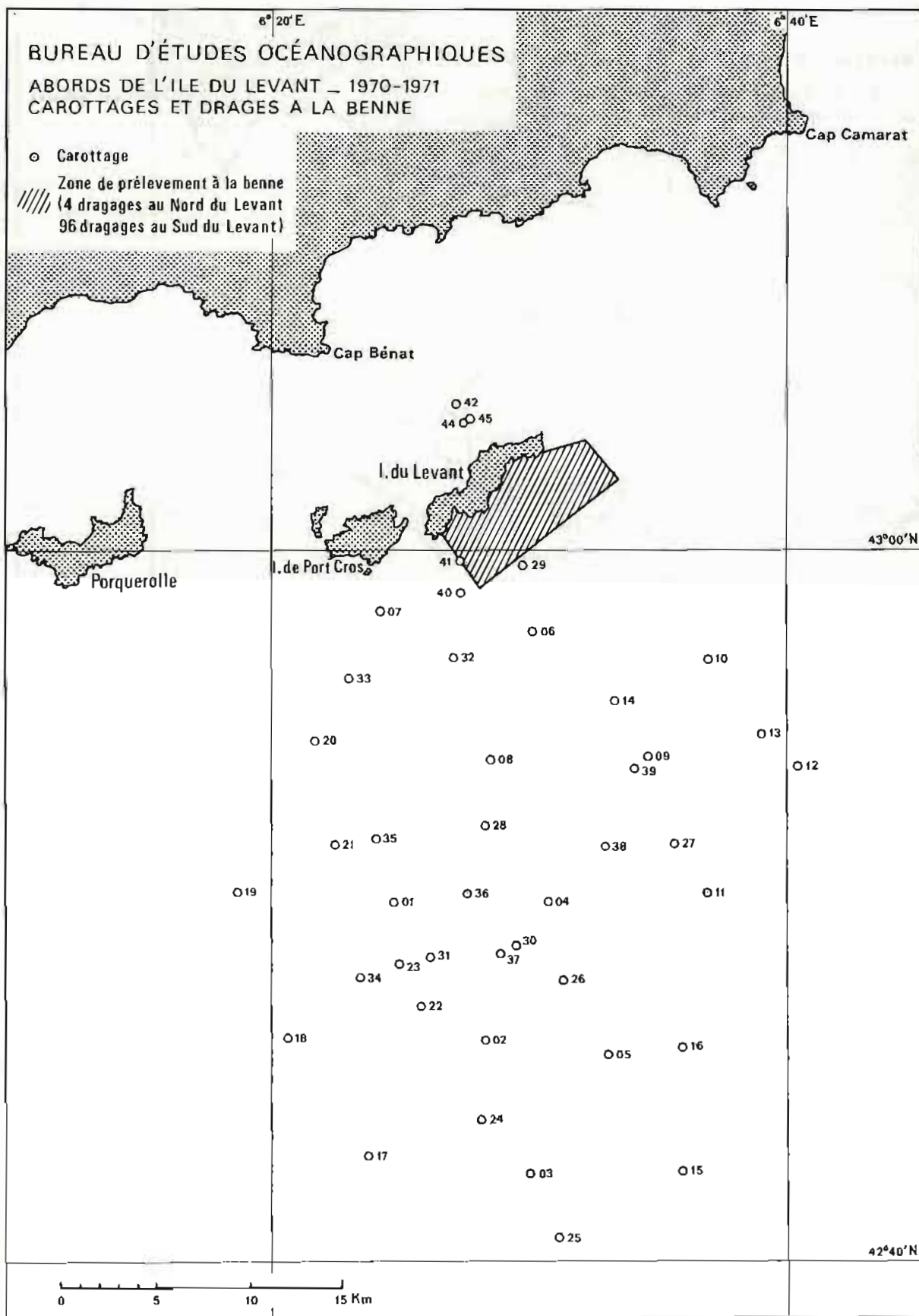


PLANCHE 10

- 1 minute de recherche de haut-fond (Sèche du Titan) 1/1 000 B 1.
- 1 minute de natures de fond 1/10 000
- 1 ensemble de 12 calques de recherches diverses (échous douteux) 1/5 000

### Géologie

- Rapport de synthèse du Professeur Ottman en date du 17 février 1971.
- Rapport n° 667 B.E.O. du 5 août 1970 et n° 926 B.E.O du 30 novembre 1970 (carottages).
- Rapport préliminaire de juin 1970 sur les prélèvements (plateau côtier).

### Mesures de courants :

- 7 dossiers de courant

### Fiches géodésiques :

(Voir annexe 3.)

## 3.2. Travaux au nord de l'île du Levant (Polygone Cosmar)

Avant la mise en place d'un but répondeur destiné à la calibration des sonars en distances et en site (polygone Cosmar) les travaux suivants ont été exécutés en décembre 1970 au profit du Service d'Equipement des Champs de Tir :

- 3 profils de sonde
- 3 carottages
- 4 prélèvements à la benne
- photographies du fond.

(voir Planches 9 et 10 et compte rendu n° 12 B.E.O. du 8 janvier 1971).

Cette étude rapide a fait apparaître un fond à forte pente, avec une cuvette suivie d'un ressaut du fond vers 570 m avant d'atteindre le fond du canyon des Stochades. Le fond est couvert d'une vase très uniforme.

Une mesure de courant a été effectuée (voir chapitre 5).

En outre le SECT nous a demandé une étude du profil de vitesse du son sur cette même zone. Une première série de mesures a été effectuée en été 1971 ; elle sera suivie d'une autre série en février 1972.

Pour les 8 points de mesure répartis entre les positions :

$$L = 43^{\circ} 03' N \quad L = 43^{\circ} 05' N$$

$$G = 06^{\circ} 25' E \quad \text{et} \quad G = 06^{\circ} 29' E$$

au mois de juillet, les formules suivantes ont été obtenues, pour les immersions supérieures à 400 mètres (ou 404 dbars) :

Vitesse du son  $V_z$  au niveau  $z$  :

$$V_z = 1511,4 + 149.10^{-4} (z - 404) \text{ avec } z \text{ exprimé en dbars,}$$

$$V_z = 1511,4 + 150.5.10^{-4} (z - 400) \text{ avec } z \text{ exprimé en mètres.}$$

Ces deux formules sont valables pour toute la zone avec un écart  $|\Delta V_z|$  ne dépassant pas 1 dm/sec.

Vitesse moyenne entre 0 et le niveau  $z$ ,  $V_z$  :

$$\bar{V}_z = \frac{1}{z} \{609\,514,8 + (z - 404) [1511,4 + 74,5.10^{-4} (z - 404)]\} \text{ (avec } z \text{ exprimé en dbars)}$$

$$\bar{V}_z = \frac{1}{z} \{603\,480,0 + (z - 400) [1511,4 + 75,25.10^{-4} (z - 400)]\} \text{ (avec } z \text{ exprimé en mètres).}$$

(voir compte rendu n° 650 BEO du 15 octobre 1971).

## Étalonnage Toran

Un étalonnage Toran a été fait en juillet 1971 au Nord du Levant à l'intention d'autres navires utilisateurs. Des points de calage sur alignements ont été stationnés. Les résultats figurent sur le Tableau 3 et la Planche 11.

ÉTALONNAGE 3P ET 3G DU 30 JUIN 1971 (ZONE NORD DU LEVANT)

| N° du point             | X         | Y        | 3G Réseau A   |               |                  | 3P réseau A   |               |                  | 3P réseau B   |                 |                  |
|-------------------------|-----------|----------|---------------|---------------|------------------|---------------|---------------|------------------|---------------|-----------------|------------------|
|                         |           |          | $\varphi$ lue | $\varphi$ cal | $\delta$ cal-lue | $\varphi$ lue | $\varphi$ cal | $\delta$ cal-lue | $\varphi$ lue | $\varphi$ cal   | $\delta$ cal-lue |
| 1                       | 935 866,8 | 93 856,8 | 5 052,35      | 5 052,47      | + 0,12           | 4 992,75      | 4 992,14      | - 0,61           | 5 026,31      | 5 026,27        | - 0,04           |
| 2                       | 935 299,8 | 94 157,4 | 5 044,85      | 5 044,93      | + 0,07           | 4 997,55      | 4 996,37      | - 1,18           | 5 019,15      | 5 019,03        | - 0,12           |
| 3                       | 935 534,8 | 92 575,3 | 5 065,19      | 5 064,85      | - 0,34           | 4 992,50      | 4 992,19      | - 0,31           | 5 038,65      | 5 038,70        | + 0,05           |
| 4                       | 936 910,6 | 92 536,8 | 5 069,53      | 5 069,15      | - 0,38           | 4 989,35      | 4 988,62      | - 0,73           | 5 042,85      | 5 042,91        | + 0,05           |
| 5                       | 936 988,2 | 92 539,1 | 5 069,50      | 5 069,40      | - 0,10           | 4 980,20      | 4 988,63      | - 0,57           | 5 042,95      | 5 042,88        | - 0,07           |
| 6                       | 936 548,6 | 92 581,0 | 5 065,32      | 5 065,30      | - 0,02           | 4 992,75      | 4 999,02      | - 0,73           | 5 038,95      | 5 038,83        | - 0,12           |
| Moyenne des différences |           |          |               |               | - 0,10           |               |               | - 0,52           |               |                 | - 0,02           |
|                         | 936 541,7 | 92 578,2 | 5 065,18      |               |                  | 4 992,62      |               |                  | 5 038,78      | Alignements A/B |                  |
|                         | 936 909,4 | 92 538,0 | 5 069,37      |               |                  | 4 989,20      |               |                  | 5 042,92      | Alignements A/C |                  |
|                         |           |          |               |               |                  |               |               |                  |               |                 |                  |

Tableau 3



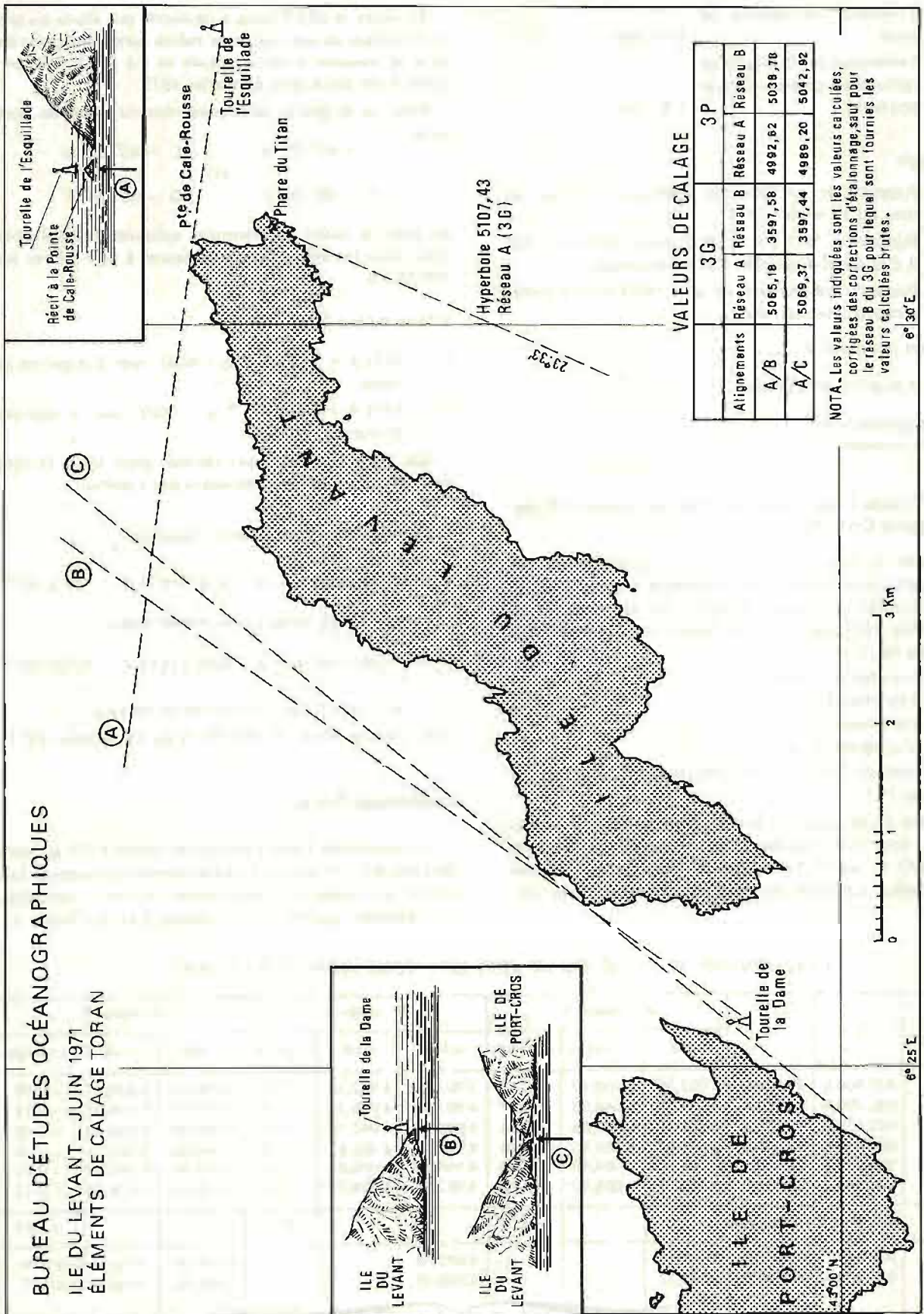


PLANCHE 11



### 3.3. Golfe du Lion

1 — Une étude hydrologique du Golfe du Lion a été entreprise en février 1971, qui doit durer au moins un an. Un programme identique est répété à chaque sortie, d'une durée d'une semaine environ.

Il comporte (voir Planche 12) :

— route côtière de Toulon au Cap Creus avec mesure T et S en surface.

— trajet 36, 35. . 2,1 en route continue avec mesures T et S en surface, et Sippican aux points 36, 35. . 2,1.

— trajet 1, 2. . . 35, 36 avec mesures T et S surface et station aux points 1, 2, . . . 35, 36, chaque station comportant :

- 1 profil vertical de vitesse de son au célérimètre
- 1 station hydrologique classique
- 1 profil vertical de vitesse au son

— retour à Toulon, en passant en hiver par les points A, B, C, où est faite une station profonde.

En principe un rythme mensuel de sortie devait être observé ; pratiquement cette cadence ne pouvait être respectée étant donné les autres servitudes du programme, et surtout eu égard au volume trop important des informations à traiter.

Les sorties suivantes ont eu lieu :

- N° 1 8 au 13 février 1971
- N° 2 26 avril au 1<sup>er</sup> mai 1971
- N° 3 5 au 11 juillet 1971
- N° 4 13 au 18 septembre 1971
- N° 5 2 au 9 novembre 1971

#### Bathymétrie

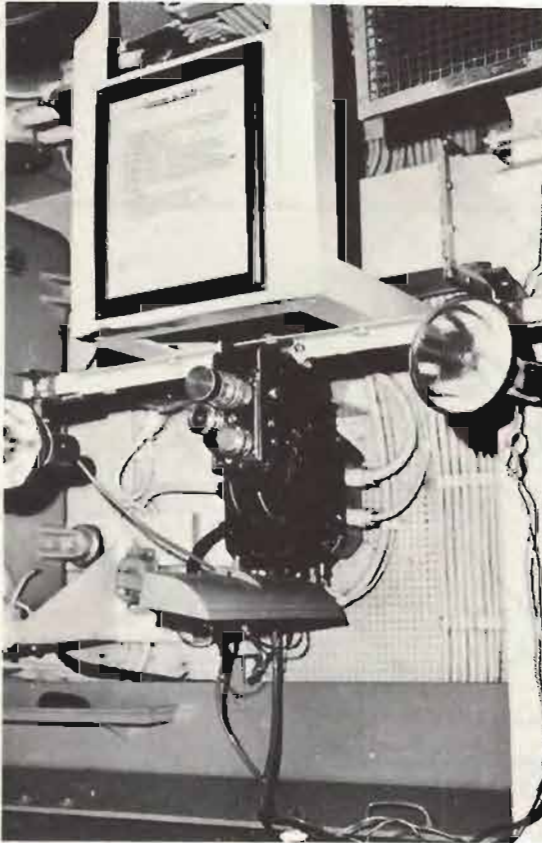
Le levé bathymétrique de la partie centrale (voir Planche 12) a été effectué au 1/50 000 par l'Origny au 2<sup>e</sup> semestre 1971.

Le fonctionnement défectueux du Toran 3G dans cette zone nous a conduits à implanter les deux balises Trident à la côte, à Agde et sur la Montagne Saint Clair (près de Sète). Les coordonnées des antennes sont, en Lambert III :

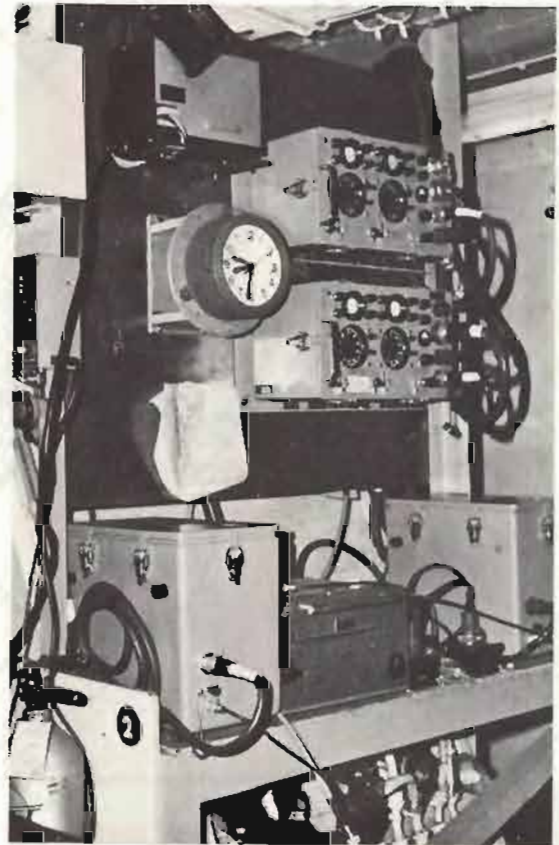
|        |                 |                 |
|--------|-----------------|-----------------|
|        | (X = 694 643,96 | (X = 109 230,02 |
| Agde ( |                 | Saint Clair (   |
|        | (Y = 111 608,38 | (Y = 123 368,71 |

Cette implantation permet de couvrir toute la zone à sonder.

Actuellement ce levé est terminé à 95 %. Sa rédaction n'est pas encore commencée.

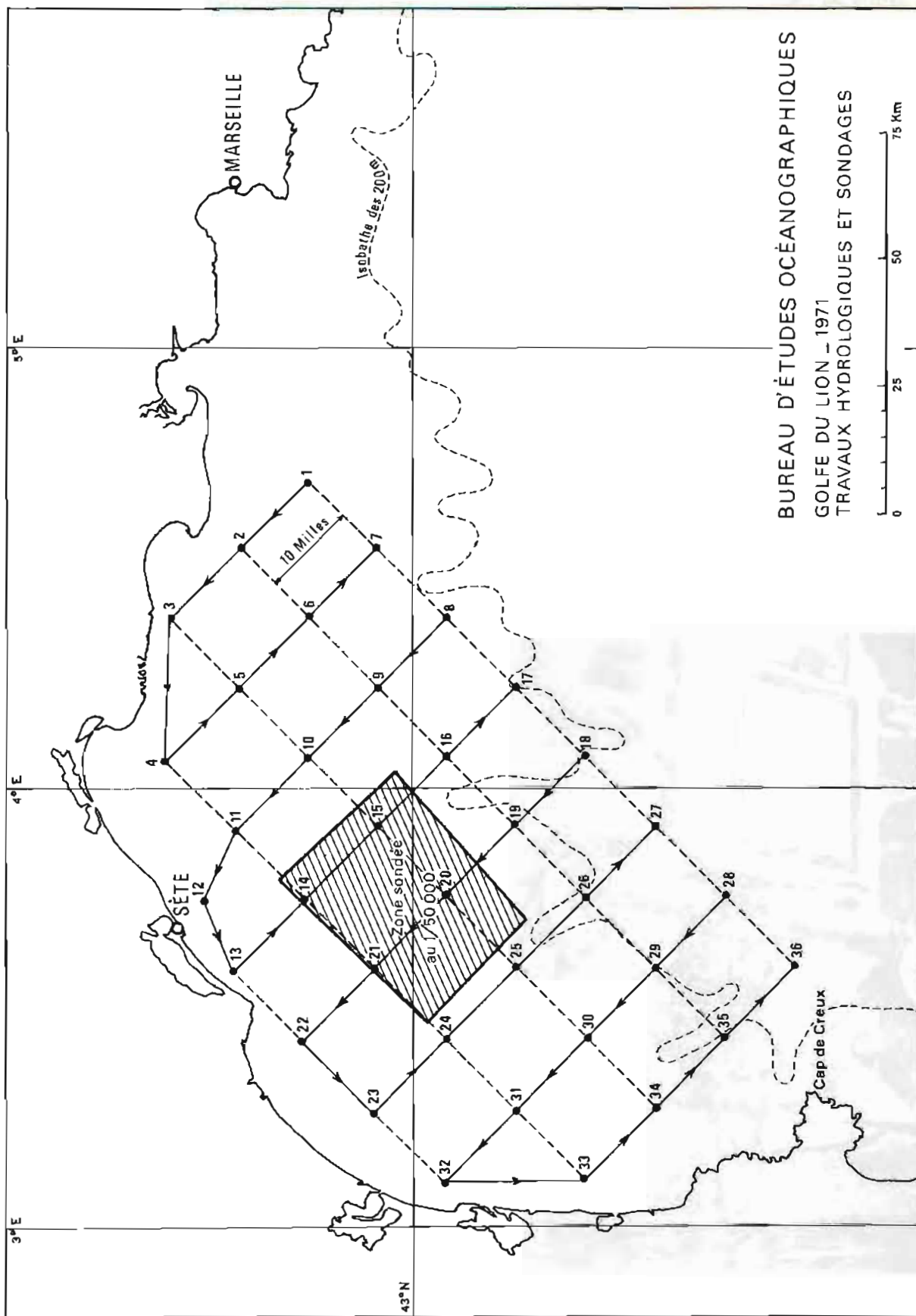


la caméra d'enregistrement



les enregistreurs TORAN 3P et 3G

RECEPTION DU TORAN  
A BORD DE L'ORIGNY



BUREAU D'ÉTUDES OCÉANOGRAPHIQUES  
GOLFE DU LION - 1971  
TRAVAUX HYDROLOGIQUES ET SONDAGES

PLANCHE 12



### Reconnaissance d'amers

Au cours des diverses sorties, et à la suite d'une mission d'une semaine à terre, un certain nombre d'amers ont été répertoriés et photographiés. Une mission de triangulation sera prochainement organisée pour permettre un positionnement précis.

### Etude documentaire

Une importante documentation sur le Golfe du Lion a été rassemblée. Elle concerne le débit des fleuves, la météorologie, la houle à la côte, l'hydrologie, la géologie. Un rapport de synthèse a été rédigé (N° 790 BEO du 29 novembre 1971).

## CHAPITRE 4

### RECHERCHE DU SOUS-MARIN EURYDICE

Le 4 mars 1970 au matin l'*Eurydice*, sous-marin de type *Daphné*, disparaissait au large du Cap Camarat au cours d'un exercice avec un avion de l'Aéronavale.

Les recherches entreprises immédiatement ne donnèrent pas de résultat quant au sous-marin lui-même.

Par contre deux indices furent très vite recueillis :

1) Des débris et une tache de mazout furent découverts en surface environ cinq heures après la disparition du bâtiment, et formellement identifiés comme venant de l'*Eurydice*.

2) Un fort signal d'implosion fut enregistré sur les sismographes de Lorgues, Saint-Paul-en-Forêt et La Mourre (Laboratoire de Détection et de Géophysique de l'Ecole Normale Supérieure), Isola (SCH) et Cada-rache (CEA).

Ces deux séries d'indices, permettant de localiser relativement bien l'épave, situaient effectivement cette dernière dans des fonds de l'ordre de 1000 mètres au Sud-Est du Cap Camarat.

Un complément d'information était cependant nécessaire pour une exploitation plus fine :

— Pour le premier (débris en surface) connaissance précise des courants entre 600 mètres (immersion présumée de l'implosion) et la surface.

— Pour le second (enregistrements sismiques) connaissance précise des vitesses de propagation des ondes S et P correspondant à l'onde de choc, dans les différents terrains entre lieu d'implosion et sismographes.

Ajoutons en outre qu'un élément important apparaissait comme devant rendre difficiles les recherches : la zone, située sur le versant Nord du canyon des Stoechades, était caractérisée par un fond de pente moyenne très forte et au relief tourmenté.

Assez rapidement il était décidé de faire venir sur place l'USNS *Mizar*, navire de la Marine Américaine spécialisé dans ce genre de recherches.

Sans attendre son arrivée, un programme de travaux lui permettant de travailler avec la meilleure rentabilité fut élaboré et mis en œuvre. Il comportait logiquement, d'après les considérations énumérées ci-dessus :

- une bathymétrie fine de la zone,
- des mesures de courant
- des explosions expérimentales.

Le BEO se vit confier les deux premières parties, et participa à la troisième dont le principal responsable était la Pyrotechnie de l'Arsenal.

Pour l'ensemble des opérations, le positionnement des navires était bien entendu d'une importance capitale ; il fut assuré par le BEO pour tous les bâtiments ayant opéré sur la zone.

En fait, la solution immédiatement adoptée fut celle du guidage par théodolites, pour profiter de la proximité de la terre, en attendant la venue du Trident demandé à la Mission Hydrographique de Dragages basée à Cherbourg.

Les difficultés rencontrées ne furent pas tant d'ordre technique, que d'ordre opérationnel à cause du grand nombre de bâtiments pour lequel notre concours fut sollicité. Elles furent aplanies successivement grâce :

- à l'aide en personnel apportée par le SCH et les missions hydrographiques métropolitaines
- au concours du Service TER de la 3ème Région qui fournit tous les moyens radio (notamment 3 camions radio tous terrains, et du personnel qualifié).

Trois stations furent installées aux Caps Lardier, Camarat, et du Pinet. Plus tard le Trident arriva de Cherbourg et les balises furent mises en place aux Sémaphores des Caps Bénat, Camarat et Drammont. L'étalonnage fut exécuté à bord du *Commandant Robert Giraud*, puis l'interrogateur fut transporté sur le *Mizar* où il fonctionna sans défaillance jusqu'à la fin. On trouvera les coordonnées des stations théodolites et des antennes à la fin de ce rapport.

Outre l'armement des stations à terre, le BEO dut envoyer du personnel sur tous les bâtiments pris en charge pour assurer la construction immédiate des routes suivies.

Les navires concernés furent successivement (ou parfois simultanément) :

- le *Duperré* (sondages préliminaires)
- l'*Arago* (sondages + sonar remorqué)



- le *Commandant Robert Giraud* (sondages)
- le *Jean Charcot* (\*) (photo + hydrologie)
- la *Fourmi* (mesures de courant)
- l'*Effronté* (explosions)
- l'*Origny* (sondages).

Dans l'ensemble les conditions météorologiques furent médiocres sinon très mauvaises : elles gênèrent beaucoup les opérations à la mer, et rendirent très pénible le travail à terre (vent et froid).

#### Bathymétrie

L'*Origny* était en milieu de carénage au moment de l'accident. Il fut rendu disponible en 48 heures, mais ne put participer que deux jours aux travaux ; il fut relayé par le *Duperré* (équipé d'un sondeur Edo et d'un enregistreur Alden PGR 419) puis l'*Arago* et le *Commandant Robert Giraud* sur lesquels furent installés l'Océan Sonics du Laboratoire DSM du Brusac et son poisson remorqué.

La zone sondée au 1/10 000 figure sur la Planche 13.

Pour le détail des opérations on pourra se reporter au rapport N° 431 BEO du 27 avril 1970.

#### Mesures de courant

L'ensemble des informations relatives aux mesures faites se trouve au chapitre 6 du présent rapport. Voir également le rapport N° 381 BEO du 10 avril 1970.

On notera seulement ici l'importance du courant rencontré : pendant 3 jours, à 100 mètres d'immersion, la vitesse a évolué entre 1,4 et 1,7 nœud, pour atteindre 0,3 à 0,4 nœud à 400 mètres.

Vitesse et direction ont permis de définir une position probable d'implosion, (à partir de la position et de l'heure où ont été trouvés les débris en surface) cohérente avec la position déduite des données sismiques.

#### Explosions expérimentales

Le BEO se contenta d'assurer la position précise de l'*Effronté* (largueur de grenades) et de calculer ensuite les points dans différents systèmes (voir rapport d'avril 1970 du BEO "Opération Grenadage").

#### Travaux du Mizar

##### 1) Zone Eurydice

Tous les documents purent être rédigés à temps pour

(\*) Le *Jean Charcot* interrompit la campagne MEDOC 70 en cours pour offrir son aide pour les recherches. Il a participé à celles-ci pendant quelques jours en faisant des prélèvements d'eau et des photos du fond.

l'appareillage du *Mizar* vers la zone de recherche le 11 avril, entre autres :

- un document transparent au 1/10 000 comportant les courbes de niveau et les cercles Trident
- un assemblage des minutes d'écriture également au 1/10 000.

Après deux semaines de recherche le *Mizar* rapportait les premières photos de l'épave. Par la suite le bathyscaphe fit un certain nombre de plongées sur le lieu de l'accident.

Dans ce compte rendu nous avons volontairement omis d'entrer dans le détail de l'exploitation des indices et de la détermination de la zone probable. Ces éléments sortaient du cadre de ce rapport ; en outre des imprécisions risquaient de s'y introduire faute d'une information complète et détaillée.

##### 2) Zone Reminer

Le *Mizar* a ensuite effectué trois semaines de recherches sans succès sur la zone Reminer (zone probable de disparition de la *Minerve* sous-marin du même type que l'*Eurydice*).

Pour ce travail nous avons préparé un document analogue à celui qui fut fourni pour la zone Eurydice. Les courbes de niveau ont été empruntées cette fois aux minutes du levé de la MHD Mission Hydrographique de Dragage (Ingénieur Principal de l'Armement PASQUAY) en 1968.

Le Trident a été déplacé de la zone Camarat vers les emplacements déjà utilisés en 1968 (voir rapport PASQUAY).

#### Documents établis

##### Zone Eurydice

- 3 minutes de bathymétrie 1/10 000 R 10.1  
R 10.2  
R 10.3
- 1 document de travail au 1/10 000  
comportant courbes de niveau et cercles Trident

##### Zone Reminer

- 1 document de travail au 1/10 000  
avec courbes de niveau et cercles Trident
- id. au 1/5 000

#### Mesures de courant :

2 dossiers "courants"

#### Fiches géodésiques :

Voir chapitre 3.



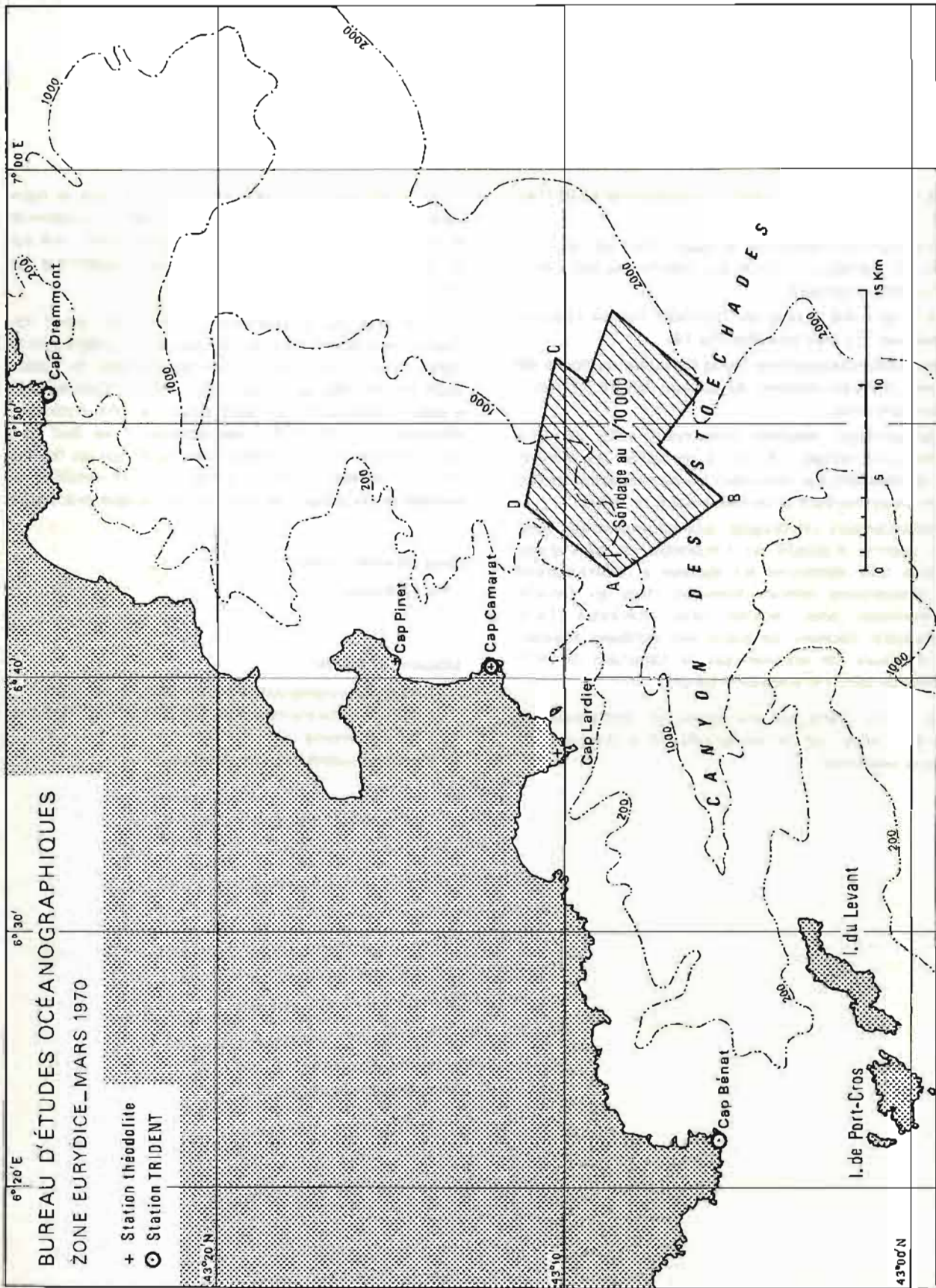


PLANCHE 13

## CHAPITRE 5

### PORT DE TOULON

Le levé du port de Toulon a été demandé au BEO en 1971.

Une première tranche de travaux a été exécutée ; elle couvre en particulier l'accès aux bassins Vauban considéré comme prioritaire.

La zone a été sondée au 1/25 000, hormis la partie NE levée au 1/1 000 (voir Planche 14).

Une embarcation prêtée par la Direction du Port a été utilisée ; elle était équipée du sondeur MS 26 FO à projecteur hors bord.

Les sondages réguliers constituant cette première tranche sont rédigés ; il reste à compléter les minutes avec les résultats des investigations menées actuellement sur les échos douteux et les relèvements de fond.

Naturellement un dragage sera nécessaire sur cette zone, comme d'ailleurs sur l'ensemble du plan d'eau. Un soin tout particulier est apporté à l'identification des obstructions mêmes mineures (fûts en ferraille par exemple) pour faciliter cette opération. Deux obstructions décelées au cours des sondages réguliers ont d'ailleurs été enlevées par la Direction du Port (un bloc de béton et une vieille barge).

*Marée* — La marée est enregistrée en permanence au port de Toulon, par le marégraphe de la Direction des Travaux Maritimes.

Le marégraphe est calé de telle sorte que la ligne "Zéro NGF" des feuilles d'enregistrement corresponde à une cote de 2,08 m au-dessous du repère NGF situé sur la guérite du marégraphe. Le zéro hydrographique est à 2,38 m en-dessous de ce repère.

C'est avec ces données que le levé a été rédigé. En cours d'opération nous avons appris (en établissant la fiche d'observatoire de marée) que la cote du repère avait été corrigée par l'IGN pour devenir 2,05 m. Ceci a pour conséquence de faire passer le zéro hydrographique à - 0,33 NGF (bien entendu il ne faut plus tenir compte de l'indication Zéro NGF sur les feuilles d'enregistrement). Nous n'avons pas fait modifier la procédure de calage indiquée au paragraphe précédent.

#### *Liste de coordonnées*

Voir Annexe 3.

#### *Documents établis*

|                                     |           |
|-------------------------------------|-----------|
| 1 minute de bathymétrie au 1/1 000  | B. 1.1.   |
| 1 minute de bathymétrie au 1/2 500  | B. 2,5.1. |
| 1 fiche de marée                    |           |
| Fiches géodésiques ; voir Annexe 3. |           |



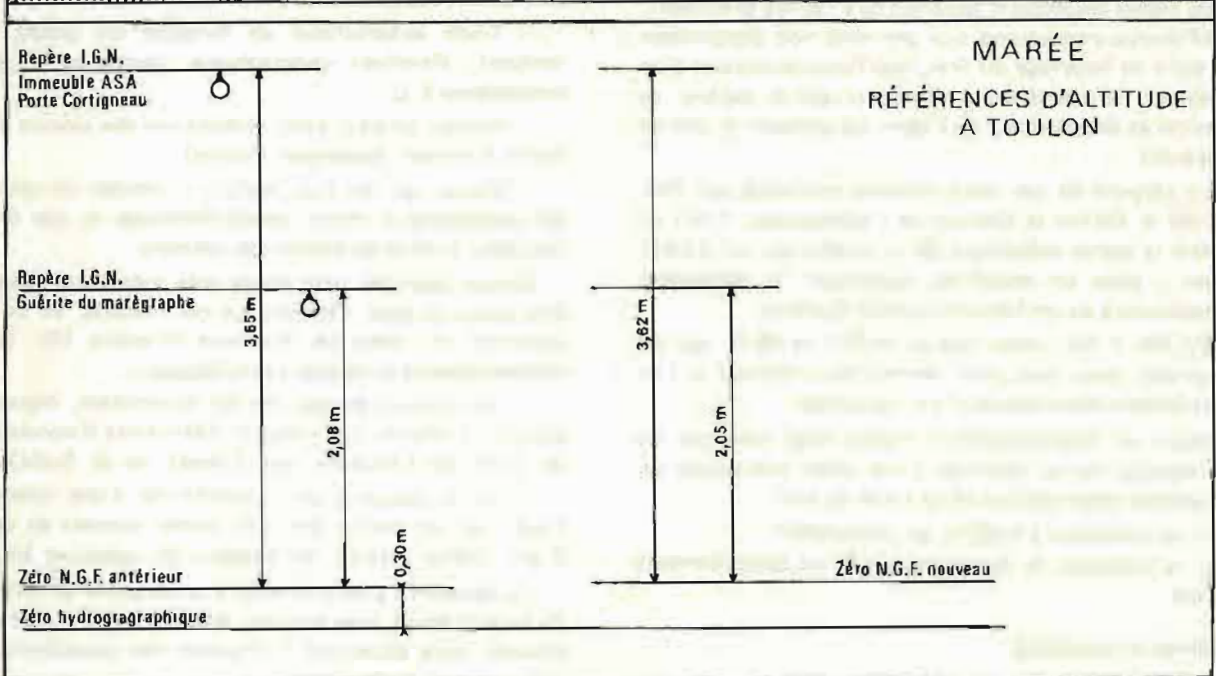
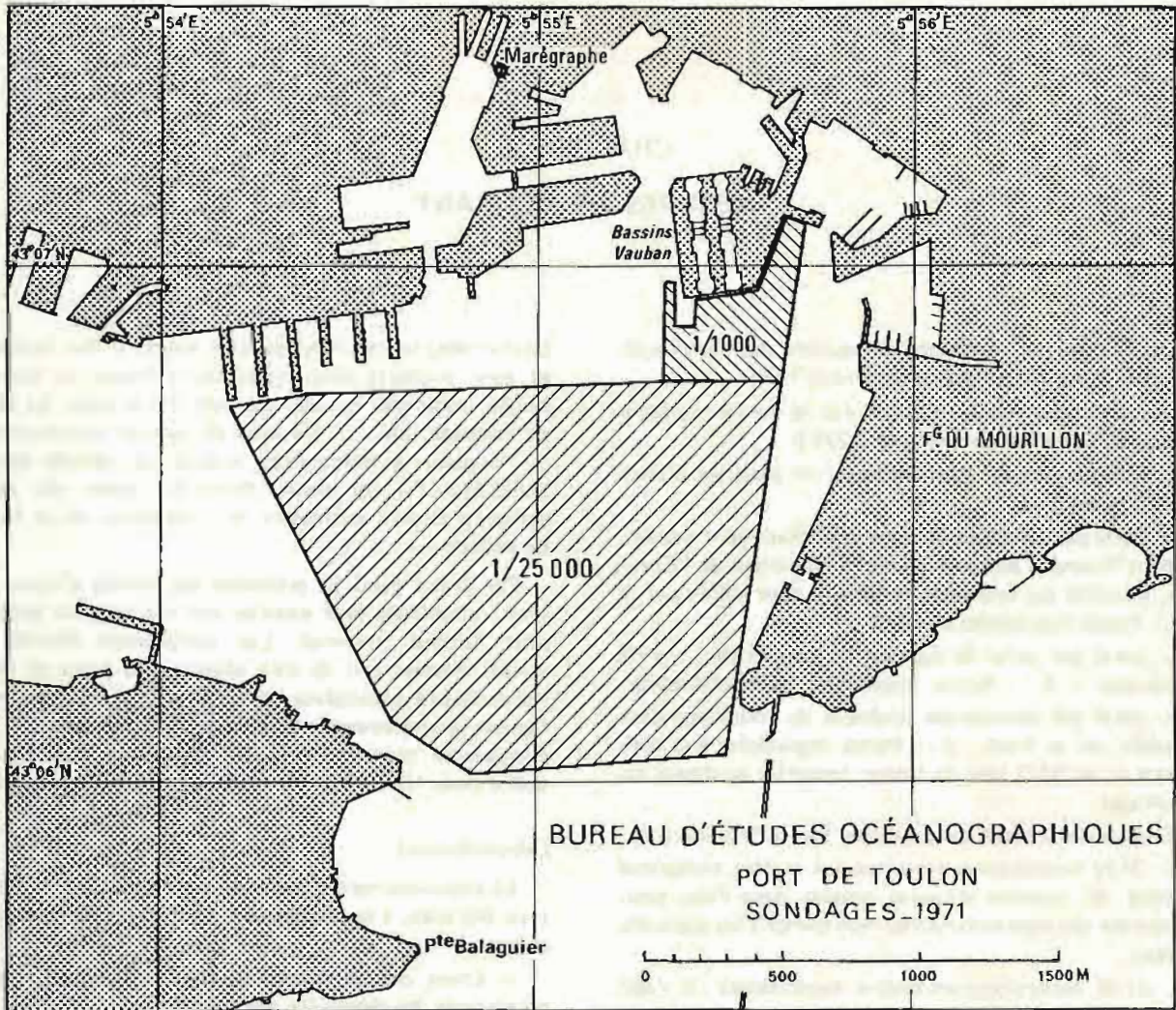


PLANCHE 14



## CHAPITRE 6

### MESURES DE COURANT

Le Tableau N° 4 résume l'ensemble des mouillages effectués entre août 1969 et décembre 1971.

Le seul instrument utilisé a été le courantographe photographique Mécabolier type 1203 B.

Les pertes ont été nombreuses ; on peut les classer en trois catégories :

- perte par suite de mouillage insuffisamment étudié : 4 (dont 3 perdus au moment de la recherche de l'*Eurydice*, mouillés sur une ligne sommaire mais solide par la D.P.). Pertes imputables au BEO.
- perte par suite de rupture du cardan de l'axe de suspension : 4 – Pertes imputables au constructeur.
- perte par accrochage probable du mouillage dans un câble sur le fond : 2 – Pertes imputables à la malchance et au BEO (pas de bosses cassantes au-dessus du mouillage).

En face de ce passif, on peut citer les chiffres suivants :

- 3192 heures-courantomètre (ce chiffre comprend le total du nombre d'heures passées dans l'eau pour l'ensemble des courantomètres, non compris les appareils perdus)
- 2736 heures-courantomètre exploitables (il s'agit ici du même ensemble d'appareils qu'à l'alinéa précédent ; la différence correspond aux périodes non exploitables par suite de bourrage du film, non fonctionnement d'un compteur, entrée d'eau à l'intérieur par le capteur de pression et décolllement de l'ogive constituant la tête de l'appareil).

Le rapport de ces deux nombres multiplié par 100, soit 86 % définit la *fiabilité de l'enregistreur*. C'est en général la partie mécanique de la caméra qui est à incriminer ; pour un mouillage seulement, le générateur d'impulsion a eu un fonctionnement douteux.

En fait il faut noter que ce chiffre de 86 %, qui est honorable mais sans plus, devrait être diminué si l'on tient compte des ruptures d'axe de cardan.

Outre ce fonctionnement encore trop incertain de l'enregistreur et la faiblesse d'une pièce mécanique de suspension, deux défauts de ce matériel sont :

- sa limitation à 1 000 m en profondeur
- la longueur du temps nécessaire au dépouillement manuel.

#### *Schémas de mouillage*

Les deux schémas de mouillage utilisés sont représentés sur les Planches 16 et 17.

Par petit fond le mouillage de la figure 17 offre une

bonne sécurité de récupération même si des incidents se sont produits (disparition de la bouée de surface, bouée immergée coulée, rupture d'une ligne en cours de relevage, etc. . .). La mise en service opérationnelle du largueur à commande acoustique (étudié par le G.E.S.M.A. (\*) sur notre demande) après des essais complets devrait permettre de s'affranchir de la bouée de surface.

Par grand fond le problème est moins simple. Les seuls mouillages sans surprise ont été les plus simples, sans flotteur immergé. Les composants étudiés les années passées ont dû être abandonnés faute de fiabilité (crapaud autorègleur, pince à sel etc. . .), bien qu'ils fussent généralement satisfaisants dans leur principe. Un programme d'étude de mouillages grands fonds a été défini pour 1972 ; il inclura le largueur GESMA existant.

#### *Dépouillement*

Le dépouillement des mesures a été fait sur imprimés type SH prêts à la perforation. Le schéma est ensuite le suivant :

- Envoi des imprimés au SH, calcul des vitesses, corrections des directions par programme.
- Tracé automatique en fonction du temps, des modules, direction géographique, composante N.S., composante E.O.
- Retour au BEO pour élimination des valeurs aberrantes et lissage (graphique, manuel).
- Retour au SH pour lecture au lecteur de courbes des paramètres ci-dessus (échantillonnage au pas de 20 minutes), et mise en fichier des résultats.

Seules quelques indications très sommaires peuvent être données pour l'instant sur ces mesures, en ce qui concerne les côtes de Provence (Planche 15). Deux caractéristiques principales s'en dégagent :

- des vitesses élevées ont été rencontrées, dépassant souvent 1 nœud (1,7 nœud à 100 mètres d'immersion, au large de Camarat) vers l'Ouest ou le Sud-Ouest.
- les fluctuations sont importantes d'une mesure à l'autre en un même point et même souvent au cours d'une même mesure, en l'espace de quelques heures.

Ce deuxième point conduit à la nécessité de mesures de longue durée (une semaine au minimum) si l'on veut pouvoir faire apparaître l'influence des conditions météorologiques momentanées.

(\*) Groupe d'Etudes Sous-Marines de l'Atlantique, Brest.

## Mesures de courants depuis le 1.8.1969

| PERIODE DE MOUILLAGE                   | POSITION                                | FOND           | N° ET IMMERSION COURANTOGAPHE |            | DUREE EXPLOITABLE  |       | OBSERVATIONS                                  |
|--|---|----------------|-------------------------------|------------|--------------------|-------|---|
| du 8.8.69<br>au 11.8.69                | L = 43° 01' 34" N<br>G = 006° 31' 20" E | 95 m           | 70                            | 15 m       | 8/8                | 14h,6 | dépouillé, exploité                           |
| du 11.8.69 13,2h<br>au 14.8.69 16,2h   | Large Titan (Levant)                    |                | 70                            | 15 m       | 11/8               | 11h,1 |   |
|  |   |                | 70                            | 15 m       | 11/8               | 13h,6 | dépouillé, exploité                           |
|  |   |                | 14/8                          | 15h,5      |                    |       |   |
| du 8.8.69<br>au 11.8.69                | L = 42° 58' 9" N<br>G = 006° 24,6 E     | 110 m          | 66                            |            | rien               |       | le compte-tours n'a pas fonctionné            |
| du 23.3.70 14h40<br>au 26.3.70 14h45   | L = 43° 07' 03" N<br>G = 006° 51' 12" E | 1600 m         | 83                            | 100 m      | 23/3               | 15h,4 | dépouillé                                     |
|  | Large Cap Camarat                       |                | 76                            | 400 m      | 26/3               | 14h,6 | "   |
|  |   |                | 80                            | 900 m      | 23/3               | 15h,8 |   |
|  |   |                |                               |            | 26/3               | 14h,6 | non dépouillé                                 |
|  |   |                |                               |            | rien               |       |   |
| du 26.3.70<br>au 30.3.70               | L = 43° 07' N<br>G = 006° 51' E         | 1600 m environ | 79                            |            | rien               |       | disparus                                      |
|  |   |                | 82                            |            | "                  |       | "   |
|  |   |                | 84                            |            | "                  |       | ligne non retrouvée                           |
| du 5.5.70<br>au 19.5.70                | L = 37° 23' 30" N<br>G = 011° 35' 24" E | 440 m          | 76                            | 150 m      | 5/5                | 18h,2 | dépouillé, exploité                           |
|  | Medmiloc 70                             |                | 88                            | 340 m      | 19/5               | 12h,5 | " "   |
|  |   |                |                               |            | 5/5                | 19h,0 |   |
|  |   |                |                               |            | 19/5               | 12h,4 |   |
| du 6.5.70<br>au 19.5.70                | L = 37° 18',8 N<br>G = 11° 25',5 E      | 560 m          | 80                            | 150 m      | 6/5                | 12h,2 | dépouillé, exploité                           |
|  |   |                | 70                            | 340 m      | 19/5               | 10h,0 | " "   |
|  | Medmiloc 70                             |                |                               |            | 6/5                | 10h,5 |   |
|  |   |                |                               |            | 19/5               | 8h,2  |   |
| du 7.5.70<br>au 19.5.70                | L = 37° 15' 3" N<br>G = 011° 19' 3" E   | 400 m          | 92                            | 160 m      | 7/5                | 8h,3  | dépouillé, exploité                           |
|  | Medmiloc 70                             |                | 89                            | 320 m      | 19/5               | 15h,1 | " "   |
|  |   |                |                               |            | 7/5                | 9h,4  |   |
|  |   |                |                               |            | 19/5               | 15h,1 |   |
| du 15.6.70<br>au 19.6.70               | L = 42° 42' N<br>G = 005° 46' E         | 2100 m         | un courantographe             |            | rien               |       | disparu                                       |
| du 10.12.70 11h50<br>au 11.12.70 11h   | L = 43° 02,8 N<br>G = 006° 27' 1 E      | 200 m          | 91                            | 30 m       |                    |       | dépouillé                                     |
|  | Nord Levant                             |                | 86                            | 120 m      |                    | ?     | "   |
| du 13.01.71 11h40<br>au 14.01.71 13h20 | L = 42° 47' N<br>G = 006° 30' 8 E       | 2500 m         | 86                            | 50 m       |                    | ?     | dépouillé                                     |
|  | Sud Levant                              |                | 91                            | 250 m      |                    |       | "   |
| du 13.1.71<br>au 14.1.71               | L = 43° 00' 5" N<br>G = 006° 28' 7 E    | 105 m          | 90                            | 18 et 50 m | rien               |       | disparus                                      |
|  |   |                | 92                            |            |                    |       | ligne crochée au fond                         |
| du 22.3.71 13h40<br>au ?               | L = 43° 05' 4" N<br>G = 006° 32' 2 E    | 1000 m         | 98                            | 50 m       | rien               |       | disparus                                      |
|  |   |                | 91                            | 250 m      | "                  |       | (axes cardan cassés)                          |
| du 31.3.71 00h40<br>au 2.4.71          | L = 42° 47' 4" N<br>G = 006° 31' 8 E    | 2500 m         | 38                            | 300 m      | 31/3               | 19h15 | dépouillé (douteux)                           |
|  |   |                |                               |            | 31/3               | 21h15 |   |
| du 22.6.71 14h30<br>au 28.6.71 13h30   | L = 42° 48' N<br>G = 006° 29 E          | 2532 m         | 76                            | 50 m       | rien               |       | disparu : axe cardan cassé                    |
|  | Sud Levant                              |                | 77                            | 250 m      | totalité           |       | dépouillé                                     |
| du 28.6.71 15h30<br>au 2.7.71 11h      | L = 42° 48' N<br>G = 006° 29' E         | 2532 m         | 77                            | 250 m      | rien               |       | disparu : axe cardan cassé                    |
| du 22.6.71 19h10<br>au 2.7.71 14h40    | L = 42° 59' 50" N<br>G = 006° 28' 10" E | 107 m          | 80                            | 15 m       | 22/6               | 19h,4 | dépouillé                                     |
|  | Sud-Ouest Levant                        |                | 5                             | 40 m       | 24/6               | 19h,0 | dépouillé, le compteur horaire n'a pas marché |
|  |   |                |                               |            | totalité           |       |   |
| du 13.7.71 10h45<br>au 16.7.71 13h00   | L = 42° 57' 7" N<br>G = 006° 12' 4 E    | 100 m          | 5                             | 15 m       | 13/7               | 11h,0 | dépouillé                                     |
|  | Sud - Parquerolles                      |                | 80                            | 40 m       | 16/7               | 12h,6 | dépouillé                                     |
|  |   |                |                               |            | 13/7               | 12h,6 |   |
|  |   |                |                               |            | 13/7               | 16h,0 |   |
| du 15.11.71 16h50<br>au 2.12.71 12h00  | L = 43° 18' 9" N<br>G = 006° 41' 9 E    | 45 m           | 5                             | 8 m        | relevé 19/11 9h,10 |       | non dépouillé                                 |
|  |   |                | 80                            | 40 m       | relevé 2/12 12h00  |       | non dépouillé                                 |



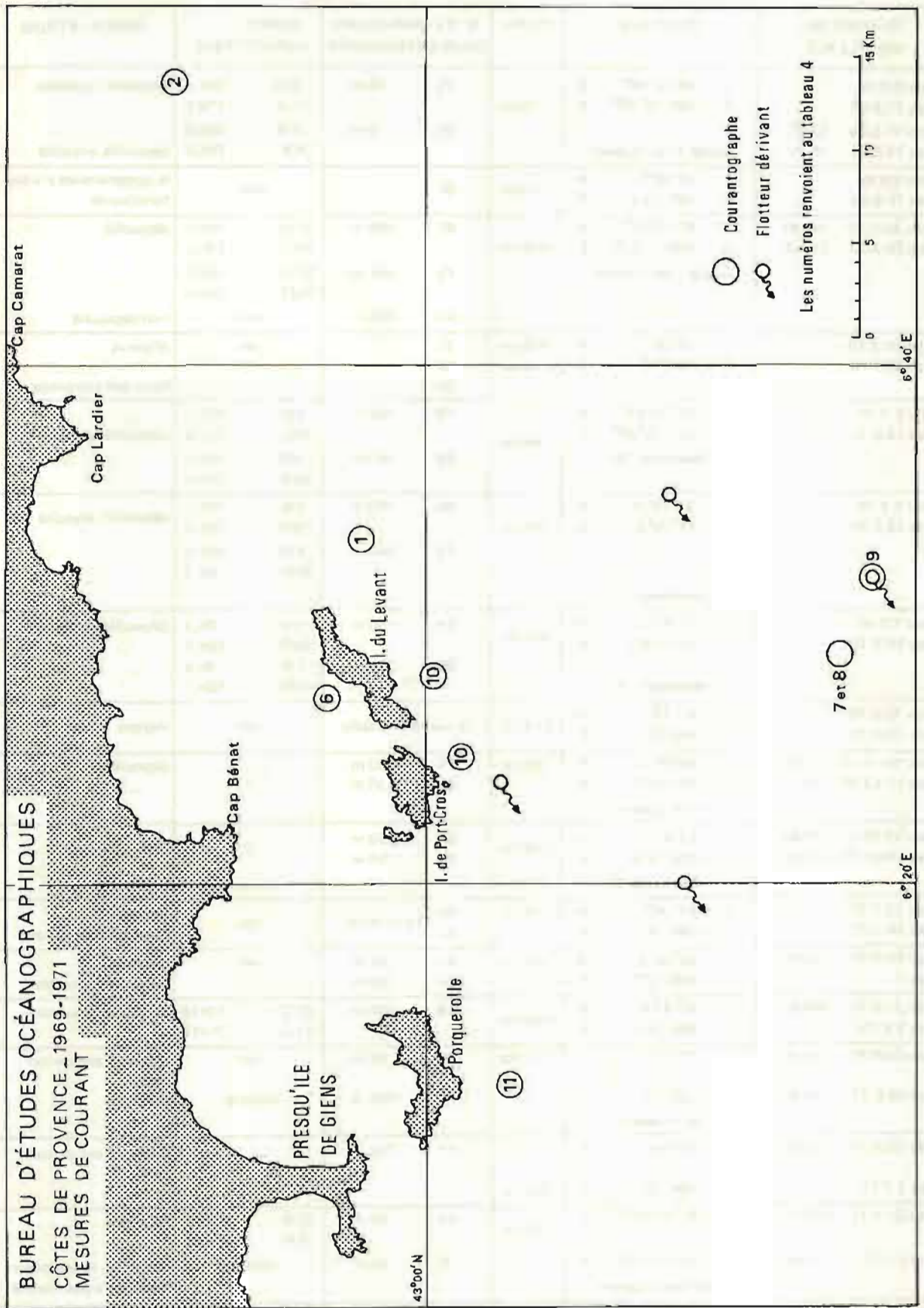


PLANCHE 15

# BUREAU D'ÉTUDES OCÉANOGRAPHIQUES

## MOUILLAGE DE COURANTOMÈTRES PAR PETIT FOND - 1971

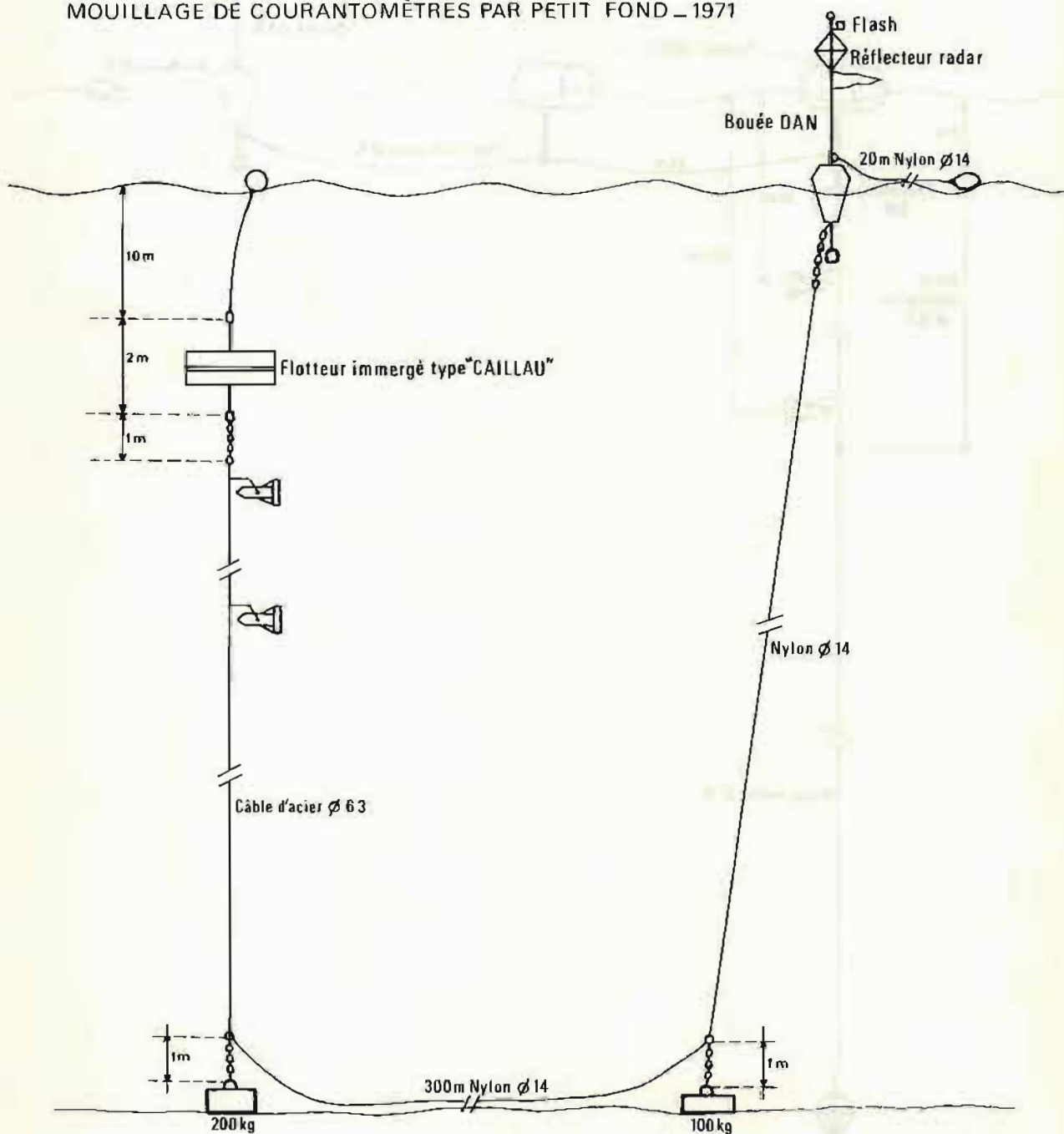


PLANCHE 16



# BUREAU D'ÉTUDES OCÉANOGRAPHIQUES

## MOUILLAGE D'UNE LIGNE DE COURANTOMÉTRIE PAR GRAND FOND — 1970-1971

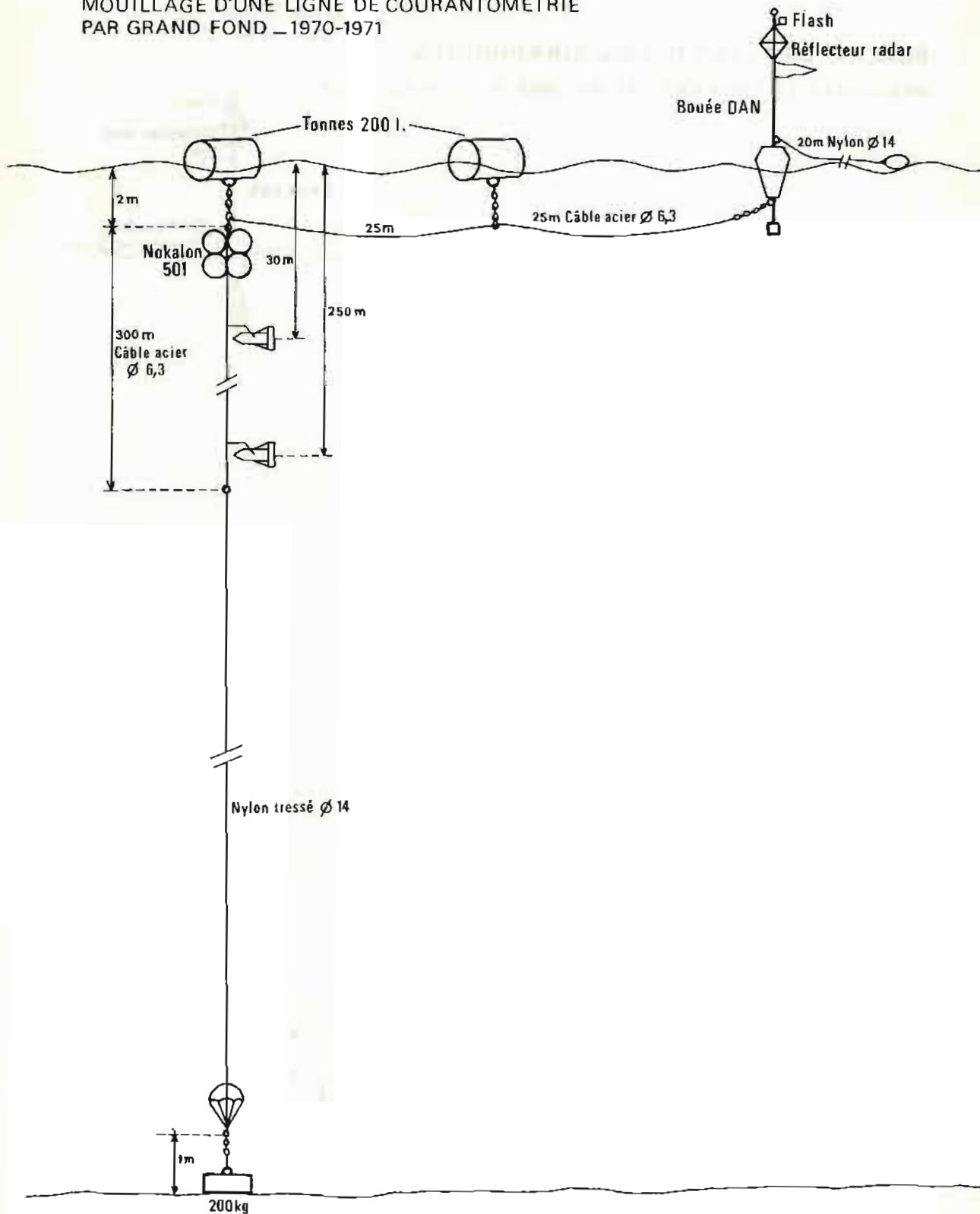


PLANCHE 17

## ANNEXE 1

## DONNEES MECANOGRAPHIEES

*Nota* : Cette annexe concerne les données traitées au B.E.O. Elle n'inclut pas les mesures envoyées au SHOM :

- hydrologie classique profonde
- hydrologie de routine
- mesures de courant

*Données mécanographiques*

| CAMPAGNE                                       | TYPE DE DONNEES       | SUP-PORT            | FORMAT  |              | DESCRIPTIF ENREGIS-<br>MENT |        | TRAVAUX ACCESSOIRES                                      | OBSERVATIONS  |
|--|-----------------------|---------------------|---------|--------------|-----------------------------|--------|--|---|
|  |                       |                     | TPC CPT | SORTIE       | TPC CPT                     | SORTIE |  |   |
| Coblamed 69<br>- Origny                        | P,T                   | B,M,                | 8-1-5   | 16-1-5       | 3                           | 4      | Tracés profils P-T<br>Tracés isothermes<br>Listings P,T  | Données bathy Richard à l'origine.  |
| -- Mechelen                                    | P,T                   | B,M.                |         | 16-1-5       |                             | 4      | Listings P,T   |   |
| Medoc 70                                       | P,T,S,C,V             | B.M.                | 8-1-5   | 7-1-6        | 3                           | 2      | Listing P,T,S,C,V  |   |
| Medmiloc 70                                    | P,T,S,C,V             | B.M.                | 8-1-5   | 7-1-6        | 1                           | 2      | Listings P,T,S,C,V<br>Tracé profils<br>P-T, P-S, P-V     |   |
| Norvège 70                                     | P,T,S,C,V             | B.M.                | 8-1-5   | 7-1-6        | 1                           | 2      | Listing P,T,S,C,V<br>Tracé profils<br>P-T, P-S, P-V      |   |
| Célérimétrie<br>Goffe du Lion<br>8.12. fév. 71 | P,V                   | B.M.                | 8-1-5   | 1-4<br>2-1-6 | 5                           | 6      | Listing P,V<br>Listing P,V lissé<br>Tracé profils<br>P-V |   |
| Carottages<br>Sud-Levant                       | Diverses<br>Physiques | C.P. (E)<br>Lis (5) |         |              |                             |        | Listing<br>comportant :                                  | Profondeur, Célérité, Teneur en eau, Densité sèche, Porosité, indice des vides. |

Support : BM = bande magnétique, CP = carte perforées E = entrée S = sortie

Descriptif enregistrement : les chiffres renvoient aux formats détaillés sur planches suivantes.



# FORMATS D'ENREGISTREMENTS BANDES MAGNÉTIQUES

## ① TPC ou CPT 8\_i-5 (ancien format)

|          |                        |                     |                      |                       |                  |                  |    |                      |                |                |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|----------|------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|------------------|------------------|----|----------------------|----------------|----------------|----------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|          |                        |                     |                      |                       |                  |                  |    |                      |                | 1<br>ou<br>2   |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  | T | C |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Compteur | Type<br>00<br>ou<br>20 | N°<br>de<br>station | Descente /<br>Montée | Code<br>éta lon n age |                  |                  |    | N°s de gammes T et C | F <sub>T</sub> | F <sub>P</sub> | F <sub>C</sub> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|          |                        |                     |                      | N°<br>étal.<br>P      | N°<br>étal.<br>T | N°<br>étal.<br>C | 00 |                      | F <sub>C</sub> | F <sub>P</sub> | F <sub>T</sub> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

## ② 16\_i-5 1<sup>er</sup> enregistrement

|                          |  |                     |  |    |      |      |  |          |  |              |  |  |  |  |  |  |  |  |                   |  |   |
|--------------------------|--|---------------------|--|----|------|------|--|----------|--|--------------|--|--|--|--|--|--|--|--|-------------------|--|---|
|                          |  |                     |  |    |      |      |  |          |  | 1<br>ou<br>2 |  |  |  |  |  |  |  |  |                   |  | 5 |
| Code<br>Pays<br>+ Navire |  | N°<br>de<br>station |  | An | Mois | Jour | Heure<br>(en 1/10 <sup>e</sup><br>d'heure) | Quadrant |  |              |  |  |  |  |  |  |  |  | Indicatif / Titre |  |   |

## 16\_i-5 2<sup>ème</sup> enregistrement

|   |   |   |   |            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---|---|---|---|------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|   |   |   |   |            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| P | T | P | T | etc. ----- |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Pour l'ORIGNY : Pression en décibars × 10 - Température en °C × 1000

Pour le MECHELEN : Pression en décibars × 10 - Température en °C × 1000

Voir page suivante →

③ TPC ou CPT 8.i.5 (nouveau format)

| 1 ou 2                  |                   | T C           |                      |    |    |    |
|-------------------------|-------------------|---------------|----------------------|----|----|----|
| Compteur n° d'enregist. | Descente / Montée | N° de station | N°s de gammes T et C | FC | Fp | FT |
|                         |                   |               |                      | FT | Fp | FC |

④ Sortie "SONDOUZ" 7.i.6

| 1 ou 2   |                   | Pression en dbars × 100 |  | Température en °C × 1000 |  | Salinité en ‰ × 1000 |  | Conductivité en m/mhas × 1000 |  | Vitesse en m/sec × 100 |  |
|----------|-------------------|-------------------------|--|--------------------------|--|----------------------|--|-------------------------------|--|------------------------|--|
| Compteur | Descente / Montée | N° de station           |  |                          |  |                      |  |                               |  |                        |  |
|          |                   |                         |  |                          |  |                      |  |                               |  |                        |  |

⑤ Célérimétrie 8.i.5

| 1 ou 2   |                   | P             |  | V |  |  |
|----------|-------------------|---------------|--|---|--|--|
| Compteur | Descente / Montée | N° de station |  |   |  |  |
|          |                   |               |  |   |  |  |

"SONDOUZ" Célérimétrie i.4, 2.i.6

⑥

| 1 ou 2            |               | Pression en dbars × 100 |  | Vitesse en m/sec × 100 |  |
|-------------------|---------------|-------------------------|--|------------------------|--|
| Descente / Montée | N° de station |                         |  |                        |  |
|                   |               |                         |  |                        |  |

## ANNEXE 2

## SALINITES DE NORVEGE

Les salinités de tous les échantillons d'hydrologie classique recueillis en Mer de Norvège, au cours de la campagne Milocsurnorlant, on fait l'objet d'une triple détermination au moyen de 3 appareils : le Nio (laboratoire d'océanographie physique du Muséum National d'Histoire Naturelle), l'Autolab (Bergen) et le Beckman (B.E.O.).

A partir de ces 3 mesures, le problème qui se pose est de trouver une méthode qui permette de déduire une salinité correcte pour chaque échantillon.

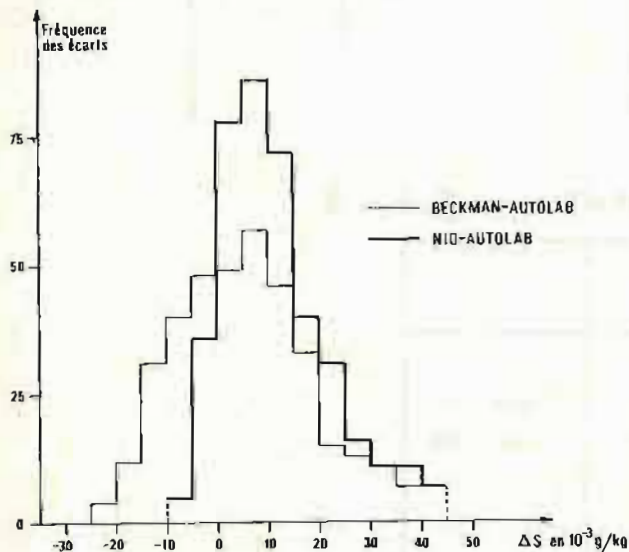
Pour le résoudre, nous avons réalisé les histogrammes suivants :

— Fréquence des écarts entre le Nio et l'Autolab d'une part.

— Fréquence des écarts entre le Beckman et l'Autolab d'autre part, les écarts de salinité portés en abscisse variant de façon discontinue de 0,005 % en 0,005 %.

L'analyse de ces histogrammes a montré que l'Autolab donne, en moyenne, des résultats inférieurs de 0,007 % en valeur absolue, à ceux qui sont fournis par le Nio et le Beckman.

MILOCSURVNORLANT  
MESURES COMPARATIVES DE SALINITÉ



L'histogramme Nio-Autolab est beaucoup plus "pointu" que l'histogramme Beckman-Autolab. Ceci tend à prouver que le Nio donne moins de mesures aberrantes par le Beckman, si l'Autolab fonctionne correctement.

Les mesures aberrantes ont été éliminées de la façon suivante : si deux des salinomètres donnaient des valeurs dont l'écart était inférieur à 0,020 % et si le 3<sup>e</sup> fournissait une valeur s'écartant de plus de 0,20 % de la plus éloignée des deux valeurs précédentes, elle était considérée comme aberrante.

Nous avons ainsi observé 55 valeurs aberrantes pour le Nio 36 pour l'Autolab, et 74 pour le Beckman. La salinité correcte a été obtenue en faisant des moyennes pondérées sur les valeurs de 3 salinomètres, les coefficients de pondération étant inversement proportionnels aux taux d'erreur.

La salinité fournie par l'Autolab a systématiquement été augmentée de 0,007 % pour tenir compte d'une remarque précédente. Les formules employées ont été les suivantes :

Pas de valeur aberrante :

$$S = \frac{4S_{nio} + 6(S_{auto} + 0,007) + 3S_{bec}}{13}$$

S<sub>bec</sub> aberrante :

$$S = \frac{2S_{nio} + 3(S_{auto} + 0,007)}{5}$$

S<sub>nio</sub> aberrante :

$$S = \frac{2(S_{auto} + 0,007) + S_{bec}}{3}$$

S<sub>auto</sub> aberrante :

$$S = \frac{4S_{nio} + 3S_{bec}}{7}$$

Si les trois salinités, prises 2 à 2, différaient de plus de 0,020 %, on prenait soit la moyenne pondérée des 3, soit celle qui paraissait la plus probable suivant le contexte (salinités sus et sous-jacentes).



## ANNEXE 3

## LISTE DE COORDONNEES

Toutes les coordonnées sont en système Lambert III  
Ellipsoïde de Clarke 1880.

*Recherche Eurydice*

\* Fiche géodésique établie

| NOM                                  | CARACTERISTIQUES                       | X         | Y         |
|--------------------------------------|--|-----------|-----------|
| <b>Cap Lardier*</b>                  |  |           |           |
| Borne IGN n° 359<br>(Carnet XXXV-45) |  | 947 817,7 | 105 588,4 |
| Ariane 1                             | Station de guidage                     | 947 912,4 | 105 696,4 |
| Ariane 2                             | Piquet métallique (Station de guidage) | 947 912,9 | 105 694,0 |
| <b>Cap Camarat*</b>                  |  |           |           |
| Phare                                | Axe                                    | 952 402,8 | 109 401,0 |
| Sémaphore                            | Mar (axe)                              | 952 427,2 | 109 378,5 |
| Bernard (Centre)                     | Douille scellée (Station de guidage)   | 952 436,4 | 109 359,9 |
| Bernard (Est)                        | Douille scellée (Station de guidage)   | 952 436,5 | 109 361,5 |
| Bernard (tente)                      | Station de guidage                     | 952 444,3 | 109 359,0 |
| <b>Cap Pinet*</b>                    |  |           |           |
| Katie (tente)                        | Station de guidage                     | 952 299,1 | 114 481,1 |
| <b>Antennes Trident</b>              |  |           |           |
| Cap Benat                            | Antenne                                | 927 273,9 | 96 013,5  |
| Cap Camarat                          | Antenne                                | 952 427,2 | 109 378,5 |
| Cap Drammont                         | Antenne                                | 965 583,4 | 133 827,8 |

*Etalonnage Delta*

\* Fiche géodésique établie

+ Voir aussi liste de coordonnées Recherche Eurydice

| NOM                               | CARACTERISTIQUES  | X  | Y  |
|-----------------------------------|---|--|--|
| Sémaphore<br>Camarat <sup>+</sup> | Antenne interrogateur, puis répondeur<br>Théodolite   | 952 428,5<br>952 436,4                           | 109 383,3<br>109 359,9                           |
| Réservoir des<br>Dolmens*         | Montant angle N du garde-fou côté Sud<br>Axe du réservoir<br>Croix gravée dans plate-forme (Théodolite) | 953 264,1<br>953 267,8<br>953 271,8              | 126 729,8<br>126 733,1<br>126 737,6              |
| Hôtel Sol e mar*                  | Antenne répondeur<br>Antenne répondeur<br>Repère scellé<br>Lampadaire Est                               | 964 338,0<br>964 339,5<br>964 340,0<br>964 345,8 | 134 040,9<br>134 042,0<br>134 041,4<br>134 044,6 |
| Tour Ile d'Or*                    | Axe   | 965 104,6  | 133 433,3  |
| Sémaphore <sup>+</sup>            | Théodolite  | 965 582,3  | 133 829,8  |
| Dramont                           | Antenne répondeur   | 965 583,2  | 133 827,6  |

## Ile du Levant

\* Fiche géodésique établie

(1) Coordonnées d'origine C.E.M. ou I.G.N.

| NOM  | CARACTERISTIQUES  | X                        | Y                      |
|--|---|--------------------------|------------------------|
| Maupertuis*  | (1) Rivet terrasses télémesures   | 934 343,62               | 87 088,40              |
|  | (1) Repère SGA (Station de guidage)<br>Antenne Trident                      | 934 358,36<br>934 358,36 | 87 107,89<br>87 107,89 |
|  | (1) Borne IGN   | 934 525,6                | 88 526,3               |
| Côte 140<br>(IGN n° 14, Carnet<br>XXXIV, 46 et 47) |   |                          |                        |
| Pointe du Russe*                                   | Station n° 1  | 935 802,2                | 87 907,8               |
|  | Station n° 2  | 935 809,5                | 87 887,6               |
|  | Cheminée incinérateur   | 935 811,0                | 87 892,1               |
|  | Station de guidage  | 936 864,6                | 90 525,2               |
| Verette*   |   |                          |                        |
| Grand Cap*   | (1) Repère SGA (Station guidage n° 2)<br>Antenne Trident                    | 936 896,76<br>936 898,7  | 88 208,27<br>88 209,7  |
|  | Station guidage n° 2  | 936 920,9                | 88 195,0               |
|  | Station Sud   | 937 078,2                | 91 546,1               |
| Pointe Castellà*                                   | Borne Station Nord  | 937 106,0                | 91 573,4               |
|  | Station Centre (douille SH)   | 937 111,4                | 91 593,1               |
|  | Station Nord  | 937 134,1                | 91 663,9               |
|  | (1) Repère SGA (Station guidage)  | 938 129,9                | 80 835,8               |
| Liserot  |   |                          |                        |
| Titan*   | (1) Repère SGA (Station guidage)<br>Antenne Trident                         | 939 528,96<br>939 529,6  | 91 557,69<br>91 557,3  |
|  | Station guidage   | 939 580,4                | 91 762,7               |
|  | (1) Pignon W (IGN n° 524 A, carnet XXXIV 46 et 47)                          | 939 581,0                | 91 768,5               |
| Sémaphore Titan*                                   | (1) Repère sur plate forme supérieure sous abri CEM<br>Station guidage n° 2 | 939 596,86<br>939 600,2  | 91 768,93<br>91 764,2  |
|  | Axe   | 939 941,1                | 91 570,3               |
|  | (1)   | 941 722,7                | 92 126,5               |
| Phare Titan  |   |                          |                        |
| Tourelle Esquillade                                |   |                          |                        |
| Coffres et Bouées                                  |   |                          |                        |
| N. Levant : Coffre                                 |   | 936 115                  | 92 248                 |
| S. Levant : Bouée                                  | Verte, voyant sphérique noire, sur épave                                    | 937 583                  | 89 325                 |
| Coffre   | Anse du Liserot   | 938 321                  | 90 919                 |
| Coffre   | Large Titan   | 941 346                  | 89 333                 |

## Port de Toulon

\* Fiche géodésique établie

| NOM                                       | CARACTERISTIQUES                 | X         | Y        |
|---|----------------------------------|-----------|----------|
| Mortier ASM de 305*<br>(Fort de Ste-Elme) | Axe du Mortier                   | 890 267,4 | 92 253,0 |
|   | Croix gravée angle SW plateforme | 890 262,7 | 92 247,9 |
|   | Repère scellé (point P2 Pyro)    | 890 246,2 | 92 243,4 |
| Appontement* de<br>Milhaud 4              | Repère laiton                    | 890 439,1 | 96 572,2 |
| Toit du CEF*                              | Repère laiton                    | 890 501,6 | 96 929,0 |
| Eguillette*                               | Borne SH                         | 890 838,8 | 95 264,7 |
|   | Station guidage                  | 890 836,1 | 95 264,1 |
| Vigie DP*                                 | Mât                              | 891 592,8 | 97 363,8 |
|   | Repère sur balcon                | 891 593,1 | 97 362,5 |
| (Fort)                                    |                                  |           |          |
| Fort de la Vieille*                       | Axe                              | 891 850,3 | 93 604,3 |
|   | Repère laiton sur blockhaus      | 891 857,0 | 93 602,6 |
| Vauban Est*                               | Repère laiton                    | 892 062,5 | 97 024,9 |
| Tour Royale*                              | Mât                              | 892 116,8 | 95 582,4 |
|   | Croix gravés                     | 892 119,7 | 95 581,1 |
| Tour de l'Horloge*<br>(fiche BEO 66)      | Axe                              | 892 172,2 | 97 767,7 |
| Grand pylône de<br>Pipady (BEO 69)        | Axe                              | 892 231,2 | 95 594,8 |
| Feu jetée CN du<br>Mourillon*             | Axe du feu                       | 892 456,7 | 96 995,9 |
|   | Repère laiton                    | 892 453,8 | 96 986,2 |

# AVIS AUX AUTEURS

---

Les auteurs sont priés de se conformer aux indications suivantes :

## Texte

- 1) Les manuscrits doivent être remis dactylographiés de préférence avec double interligne et sur le recto seulement de feuilles format 21 × 29,7 cm.
- 2) Les noms propres doivent être écrits en capitales ou soulignés d'un double trait; les noms des espèces animales et végétales ainsi que les noms de navires doivent être soulignés d'un trait.
- 3) Le titre de l'article ou de la communication doit être suivi du prénom usuel et du nom du ou des auteurs; il doit comporter ensuite l'indication du laboratoire ou de l'institution d'origine.
- 4) Les articles doivent être accompagnés d'un résumé en français, et si possible d'un résumé en anglais.
- 5) Les références bibliographiques seront groupées à la fin du manuscrit; elles seront classées dans l'ordre d'apparition dans le texte. Ces références comporteront : nom de l'auteur, initiales des prénoms, date, titre complet de l'article, titre du périodique abrégé selon les règles internationales, volume, pagination complète.
- 6) Les manuscrits dactylographiés et les planches ne doivent pas excéder 25 pages.

## Illustration

- 1) Les dessins doivent être exécutés à l'encre de Chine sur papier calque de préférence, sinon sur bristol ou carte grattage (les tirages Ozalid, photocopies ou tout autre moyen de reproduction ne peuvent être acceptés).
- 2) Ils doivent être envoyés roulés ou à plat, mais jamais pliés.
- 3) Ils peuvent être présentés à grande échelle; des réductions, exécutées par l'atelier de photographie, les ramèneront au format exigé de la publication : 16,5 × 25 cm; ils ne devront en aucun cas être présentés à une échelle nécessitant un agrandissement. Lettres et chiffres seront écrits soigneusement et suffisamment grands pour qu'ils demeurent facilement lisibles une fois la réduction effectuée. Il est demandé de tenir compte dans la préparation des planches de la présentation du texte sur deux colonnes.
- 4) Pour les cartes et plans, il convient de faire figurer une échelle linéaire dont l'unité de mesure sera évidemment indiquée, et de ne pas mentionner d'échelle numérique susceptible d'être modifiée par réduction du cliché.

## Tirés à la suite

Les auteurs d'une même communication reçoivent collectivement vingt-cinq exemplaires de leur article. Les tirés à la suite supplémentaires doivent être commandés à l'envoi du manuscrit en précisant le nombre d'exemplaires ainsi que l'adresse à laquelle doivent être envoyées les factures.



## SOMMAIRE

### *PREMIERE PARTIE*

|   | Pages |
|---|-------|
| S.L. GARZOLI (Mme) : Contribution à l'étude de la formation et de l'évolution du front thermique sur le plateau continental breton. . . . . | 5     |
| B. SIMON : Etude de la variation du niveau moyen en Manche. . . . .   | 27    |

### *DEUXIEME PARTIE*

|  |    |
|--|----|
| J. VICARIOT : Bureau d'Etudes Océanographiques (1 <sup>er</sup> août 1969, 15 décembre 1971) . . . . . | 49 |
|--|----|