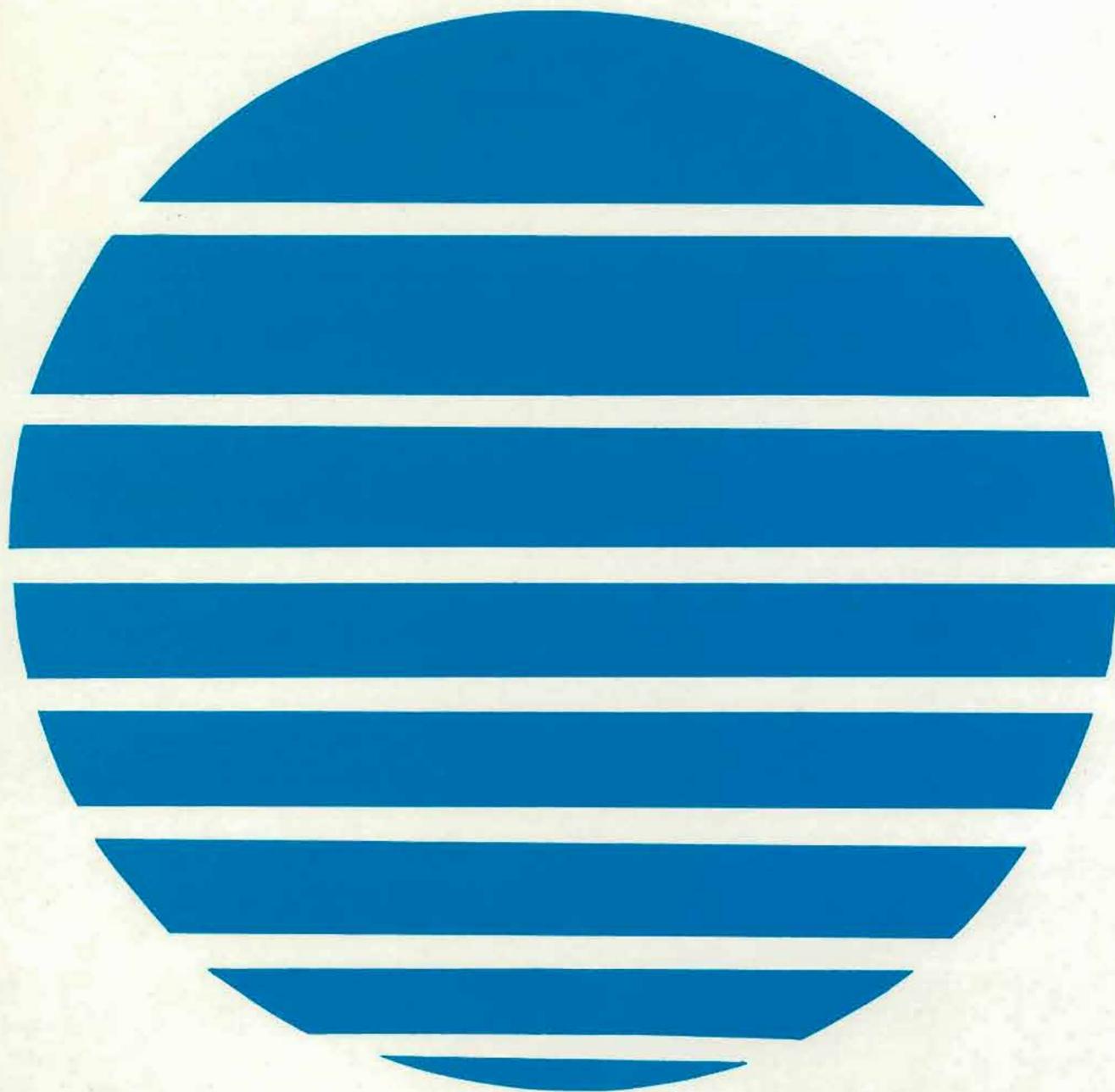


ANNALES HYDROGRAPHIQUES

5ème Série - Vol. 6, fasc. 3 - 1978

No 750



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'Etablissement Principal du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine, 13, rue du Chatellier, B.P. 426, 29275 Brest Cedex.

ANNALES HYDROGRAPHIQUES

TABLE DES MATIÈRES

Première partie

	Pages
Atlas des composantes harmoniques de la marée dans la Manche, par MM. G. CHABERT D'HIÈRES et C. LE PROVOST, Institut de Mécanique de Grenoble	5
Etude de la variation de la masse volumique de l'eau (eau pure et eau de mer) en fonction de la composition isotopique et de la teneur en gaz atmosphériques dissous, par MM. M. MENACHÉ, C. BEAUVERGER, Institut Océanographique, Paris, et G. GIRARD, Bureau International des Poids et Mesures, Sèvres	37

Deuxième partie

Mission hydrographique de Dragage (février 1972 - août 1972) et Mission Océanographique de Méditerranée (août 1972 - novembre 1975), par M. J.F. BONNOT, Ingénieur en Chef de l'Armement (hydrographe)	79
--	----



PREMIÈRE PARTIE

—

ATLAS DES COMPOSANTES HARMONIQUES DE LA MARÉE DANS LA MANCHE

par

MM. G. CHABERT D'HIÈRES
Ingénieur au CNRS

et

C. LE PROVOST,
Chargé de Recherches au CNRS,

détachés à l'Institut de Mécanique de Grenoble (*)

(*) Manuscrit reçu en juin 1978.

PRÉFACE

Il est peu de phénomènes dynamiques naturels où l'accélération complémentaire (dite de Coriolis) joue un rôle aussi fondamental que dans la dynamique marine et en particulier dans la marée océanique; c'est un aspect insolite pour le dynamiqueien « généraliste » qui applique sa compétence à l'étude du mouvement du fluide marin.

Tout modèle physique marin doit donc « modéliser » l'accélération de Coriolis et par conséquent doit tourner. Cette condition fondamentale, simple à énoncer, implique la mise en place d'appareillages originaux et aussi d'une équipe de dynamiqueiens et de techniciens de haut niveau capables de « faire parler » le modèle clairement et surtout correctement. Cet ensemble de recherche existe à l'Institut de Mécanique de l'Université de Grenoble où il est associé à un autre ensemble de recherche voué à la modélisation numérique. Une telle association a fort heureusement orienté vers une complémentarité très productive une concurrence, plus apparente que réelle, entre la modélisation physique et la modélisation numérique.

L'Atlas des Composantes Harmoniques de la Marée en Manche, qui condense les résultats de recherches théoriques en mécanique du fluide marin, de recherches appliquées à la modélisation sur support tournant et d'analyse d'observation *in situ*, a une destination très pratique puisqu'il permet une bonne prédiction de la hauteur d'eau partout en Manche où naviguent des navires de très forts tirants d'eau.

Les dynamiqueiens de la mer apprécieront non seulement la valeur scientifique et l'intérêt pratique du document mais aussi la preuve ainsi fournie qu'une équipe hors de pair disposant d'un appareillage unique peut produire un travail de premier rang. Ils ne peuvent que souhaiter le plein emploi d'un « outil » capable de produire un tel ouvrage.

*L'ingénieur général de l'armement Eyriès
Directeur du Service Hydrographique
et Océanographique de la Marine.*

RÉSUMÉ

Cet atlas regroupe 26 couples de cartes donnant la distribution des amplitudes et des phases des principales composantes harmoniques de la marée sur toute la Manche. Ces réseaux ont été établis à partir des données d'observation *in situ* disponibles en quelques ports le long de la côte, avec l'aide d'un modèle réduit physique de cette mer, placé sur plate-forme tournante.

ABSTRACT

This atlas presents 26 groups of charts giving the distribution of amplitudes and phases of the principal harmonic constituents of the tides all over the English Channel. These nets have been established from observed data in some ports along the coast, with the help of an hydraulic reduced model of that sea, built upon a rotating platform.

Cet atlas donne la distribution spatiale des amplitudes des principales composantes significatives du spectre de la marée dans la Manche, et leurs phases relatives g . Suivant la représentation harmonique des marées, la dénivellation en un point de coordonnées x, y peut s'exprimer en fonction du temps sous la forme :

$$H(x, y, t) = H_0(x, y) + \sum_{i=1}^N A_i(x, y) f_i \cos[\omega_i t + (v_0 + u)_i - g_i(x, y)]$$

avec

$H_0(x, y)$: cote du niveau moyen de la surface libre au point (x, y)

- N : nombre de composantes harmoniques prises en compte dans le développement
 ω_i : pulsation de la composante d'indice i
 $A_i(x, y)$: amplitude de cette composante
 $g_i(x, y)$: déphasage de cette composante par rapport au passage de l'astre perturbateur correspondant au méridien de Greenwich
 $(v_0 + u)_i$: phase de cet astre perturbateur à Greenwich à $t = 0$
 f_i : correction nodale relative à cette composante pour la période considérée.

Le développement harmonique du potentiel générateur des marées océaniques établi par Darwin [3],



Vue générale de la plate-forme tournante de l'Institut de Mécanique de Grenoble, sur laquelle est placé le modèle de la Manche utilisé pour établir cet atlas.

et Doodson [4], permet de connaître avec précision les pulsations ω_i des ondes venant de l'océan. L'étude des processus non linéaires accompagnant la propagation de ces ondes dans les zones littorales conduit à compléter ce spectre océanique par un certain nombre de composantes dites « non linéaires » dont les pulsations sont des combinaisons linéaires des précédentes (cf. [5]). Pour la Manche, les ondes d'origine astronomique significatives que nous avons considérées sont, par ordre d'amplitude décroissante dans chaque groupe :

— diurnes :

$$K_1, O_1, P_1$$

— semi-diurnes :

$$M_2, S_2, N_2, K_2, \nu_2, \mu_2, L_2, 2N_2, T_2$$

Les effets non linéaires affectant ces ondes dans les zones littorales nous obligent à prendre en compte, de plus, les composantes :

— semi-diurnes :

$$2MS_2, 2MN_2, 2SM_2, 3SNM_2, MSN_2, 2MK_2, MNS_2, 3MSN_2$$

— quart diurnes :

$$M_4, MS_4, MN_4$$

— sixième diurnes :

$$M_6, 2MS_6, 2MN_6$$

Certaines de ces ondes se superposent aux composantes d'origine astronomique venant de l'océan : $2MS_2$ à μ_2 , $2MN_2$ à L_2 , $3MSN_2$ à ν_2 ; une autre en est très voisine : $2MK_2$ près de $2N_2$. Elles ne sont pratiquement pas séparables au niveau des analyses harmoniques des observations, et pourtant, les corrections nodales qui les affectent ne sont pas les mêmes. Comme la théorie que nous avons développée, pour modéliser ces diverses composantes, nous a donné le moyen de leur séparation théorique (cf. [6]), nous les présentons séparément. Pour les prédictions, il y aura donc lieu de prendre comme corrections nodales celles indiquées dans le tableau 1 ci-contre.

Nous nous sommes limités dans cet atlas à présenter 26 composantes, classées suivant leur vitesse angulaire croissante; la plus petite de ces ondes atteint une amplitude maximale de 4 cm (composante $3MSN_2$ dans la baie du Mont St-Michel); pour certaines zones, la baie de la Seine par exemple, ce nombre peut sembler insuffisant : nous conseillons au lecteur qui le désirerait d'utiliser le principe de concordance sur groupes d'ondes énoncé en [6] pour déduire des composantes présentées ici celles de plus petite amplitude dont la présence aurait été notée dans une analyse très complète d'observations dans un port voisin de la zone considérée. Ainsi, par exemple, nous ne présentons pas les cartes MK_4 et $2MK_4$ qui se déduisent aisément de MS_4 et $2MS_6$. Par ailleurs, nous ne donnons pas, dans ce recueil, de carte de distribution spatiale des niveaux moyens, ni des composantes à longues périodes telles que MS_7 , nous renvoyons le lecteur intéressé sur ce point à une publication antérieure cf. [2].

Les cartes d'égaux amplitudes et d'égaux phases de ces 26 composantes ont été dressées avec l'aide d'un modèle réduit de cette mer placé sur plateforme tournante (cf. [1]), à partir de la connaissance de la structure spectrale des marées en un certain nombre de ports où la marée a été observée *in situ*,

Tableau 1

Liste des composantes présentées

N°	Onde	Vit. ang. d°/h	Cor. nodale f(*)
1	O ₁	13, 943 035 6	f(O ₁)
2	P ₁	14, 958 931 4	1
3	K ₁	15, 041 068 6	f(K ₁)
4	MNS ₂	27, 423 833 7	f(N ₂)
5	2 MK ₂	27, 886 071 2	f(M ₂) f(K ₂)
6	2 N ₂	27, 895 354 8	f(2N ₂)
7	μ_2	27, 968 208 4	f(μ_2)
8	2 MS ₂	27, 968 208 4	f(M ₂)
9	N ₂	28, 439 729 5	f(N ₂)
10	ν_2	28, 512 583 1	f(ν_2)
11	3 MSN ₂	28 512 583 1	f(N ₂)
12	M ₂	28,984 104 2	f(M ₂)
13	SNM ₂	29, 455 625 3	f(N ₂)
14	L ₂	29 528 478 9	f(L ₂)
15	2 MN ₂	29 528 478 9	f(M ₂) f(N ₂)
16	T ₂	29, 958 933 3	1
17	S ₂	30, 000 000 0	1
18	K ₂	30,082 137 3	f(K ₂)
19	MSN ₂	30, 544 374 7	f(N ₂)
20	2 SM ₂	31, 015 895 8	1
21	MN ₄	57 423 833 7	f(M ₂) f(N ₂)
22	M ₄	57, 968 208 4	f(M ₂) ²
23	MS ₄	58 984 104 2	f(M ₂)
24	2 MN ₆	86, 407 938 0	f(M ₂) f(N ₂)
25	M ₆	86,952 312 7	f(M ₂) ²
26	2 MS ₆	87, 968 208 4	f(M ₂)

(*) Cf. Shureman [7].

et suivant une méthode d'approximations exposée en [5]. La grille des points de mesure utilisée sur le modèle physique est d'environ 20 km × 20 km; la précision des résultats présentés est supérieure à 2 cm sur les amplitudes et une dizaine de degrés sur les phases (sauf exception, en particulier dans les zones de très faible amplitude).

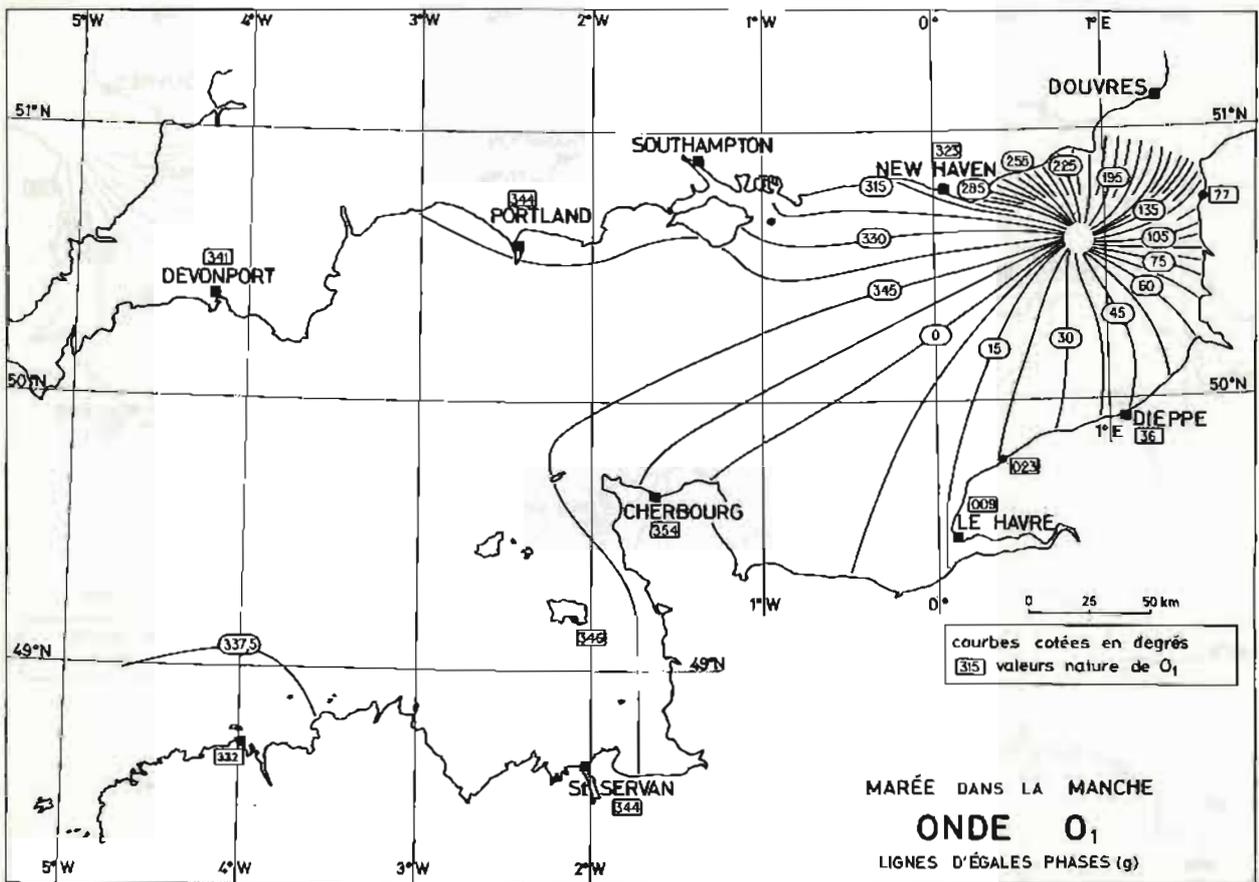
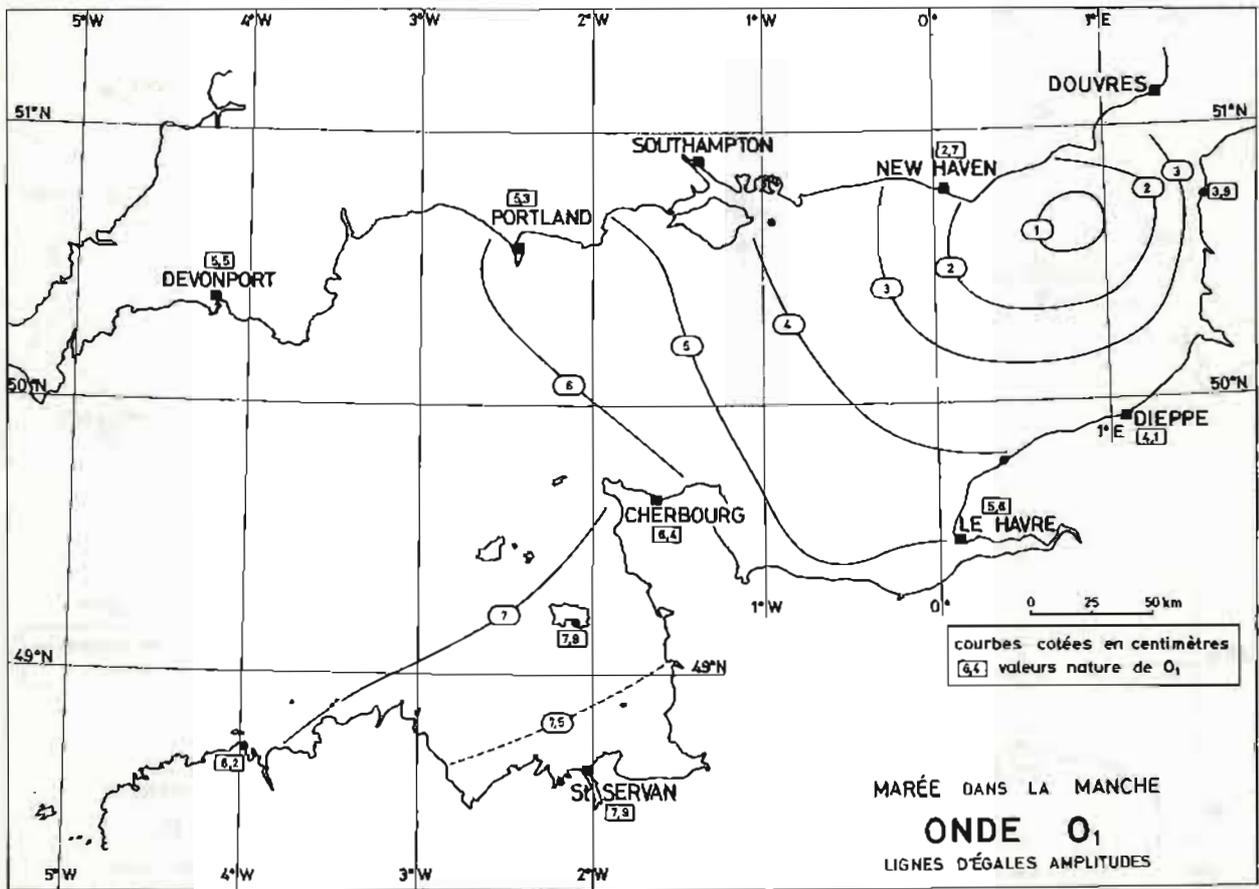
L'utilisation de ces réseaux permet d'établir, sur toute la Manche, des prédictions de variations de hauteur de la surface libre de la mer sous l'effet de la marée en l'absence de tout effet météorologique. Cette prédiction peut être réalisée avec une précision moyenne de l'ordre de 10 à 15 cm.

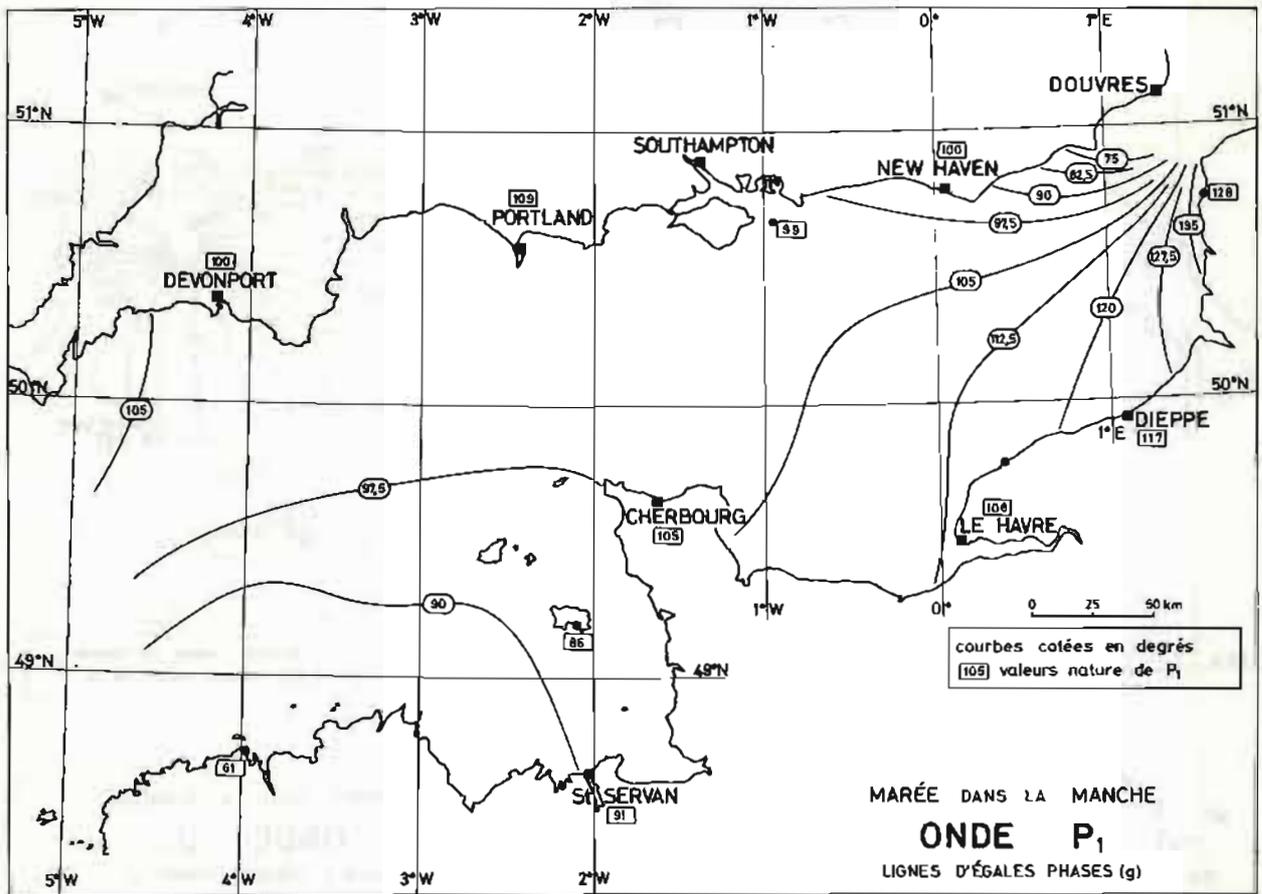
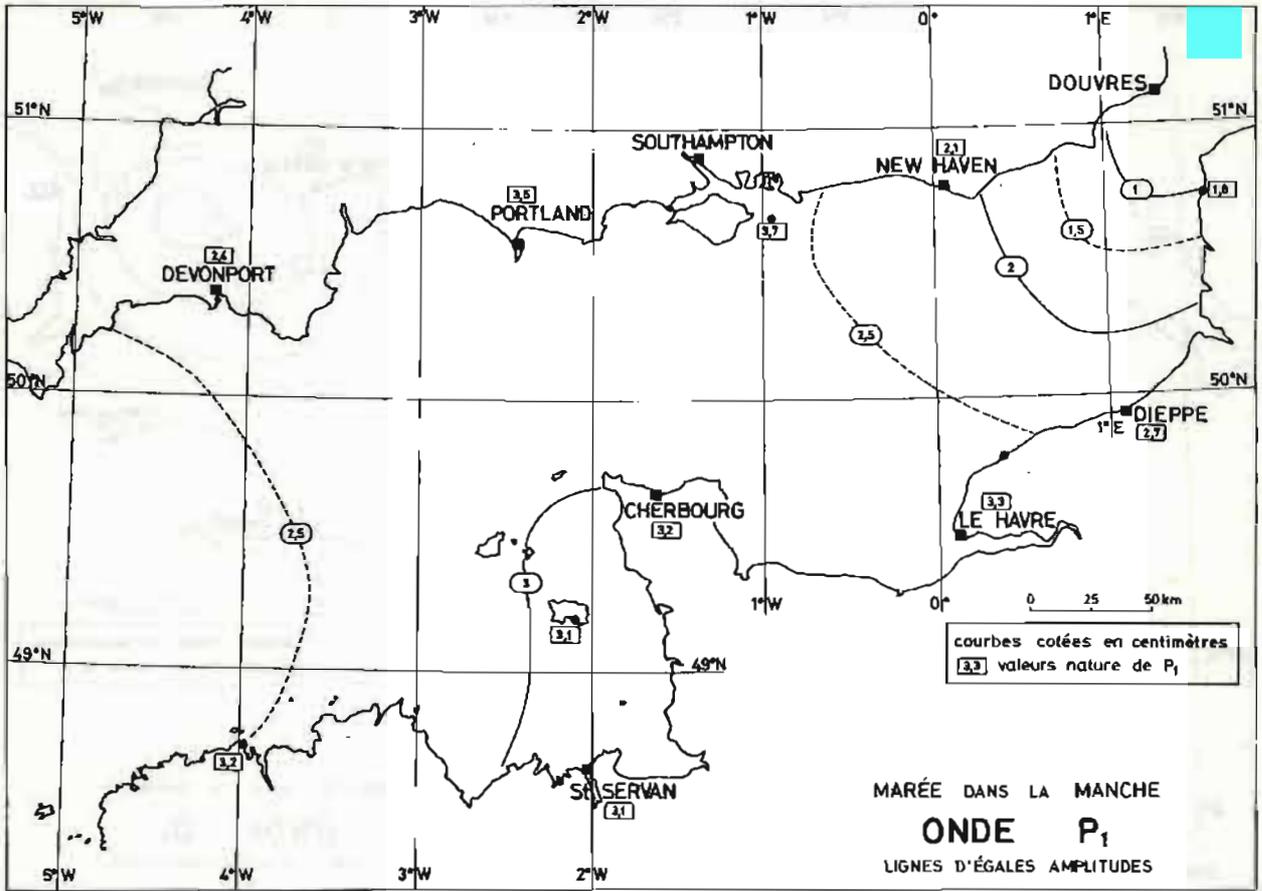
Remerciements.

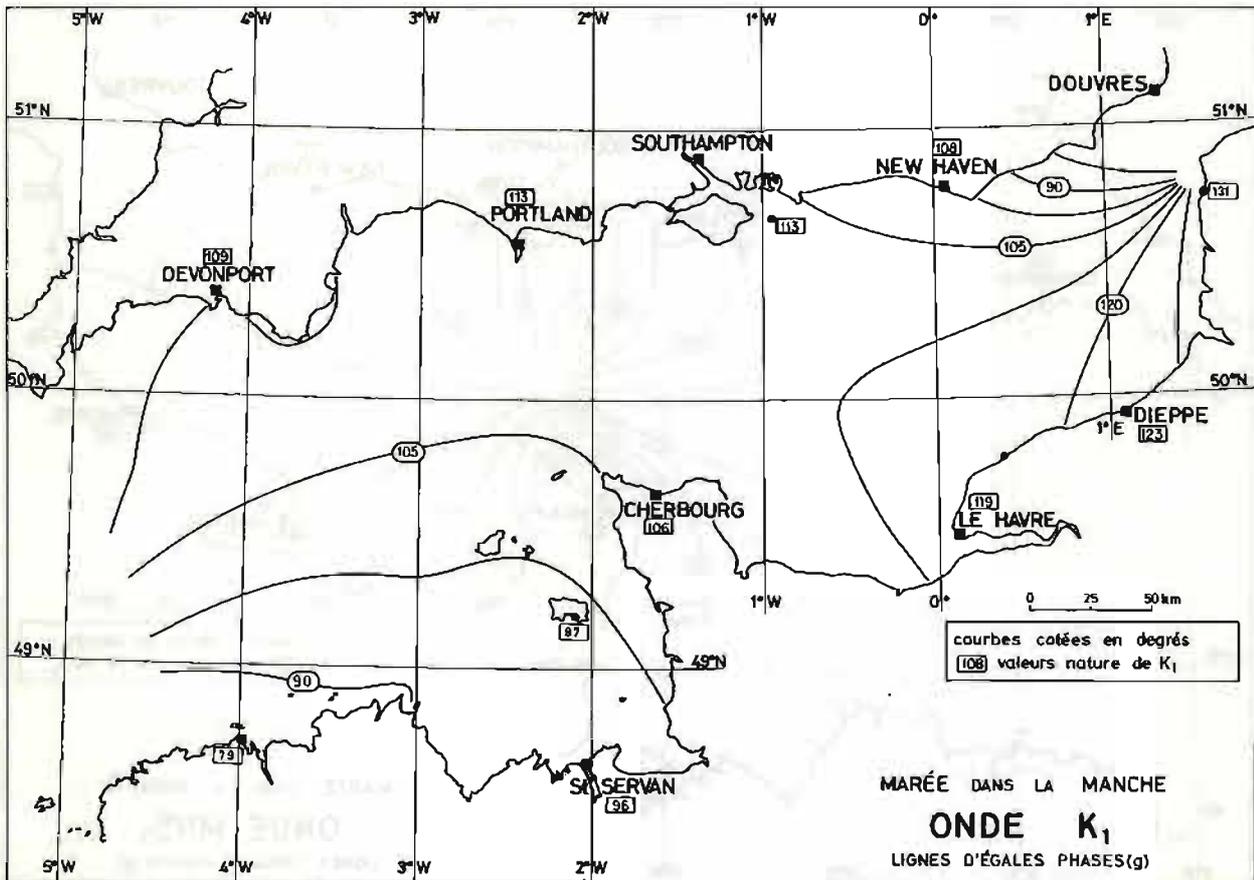
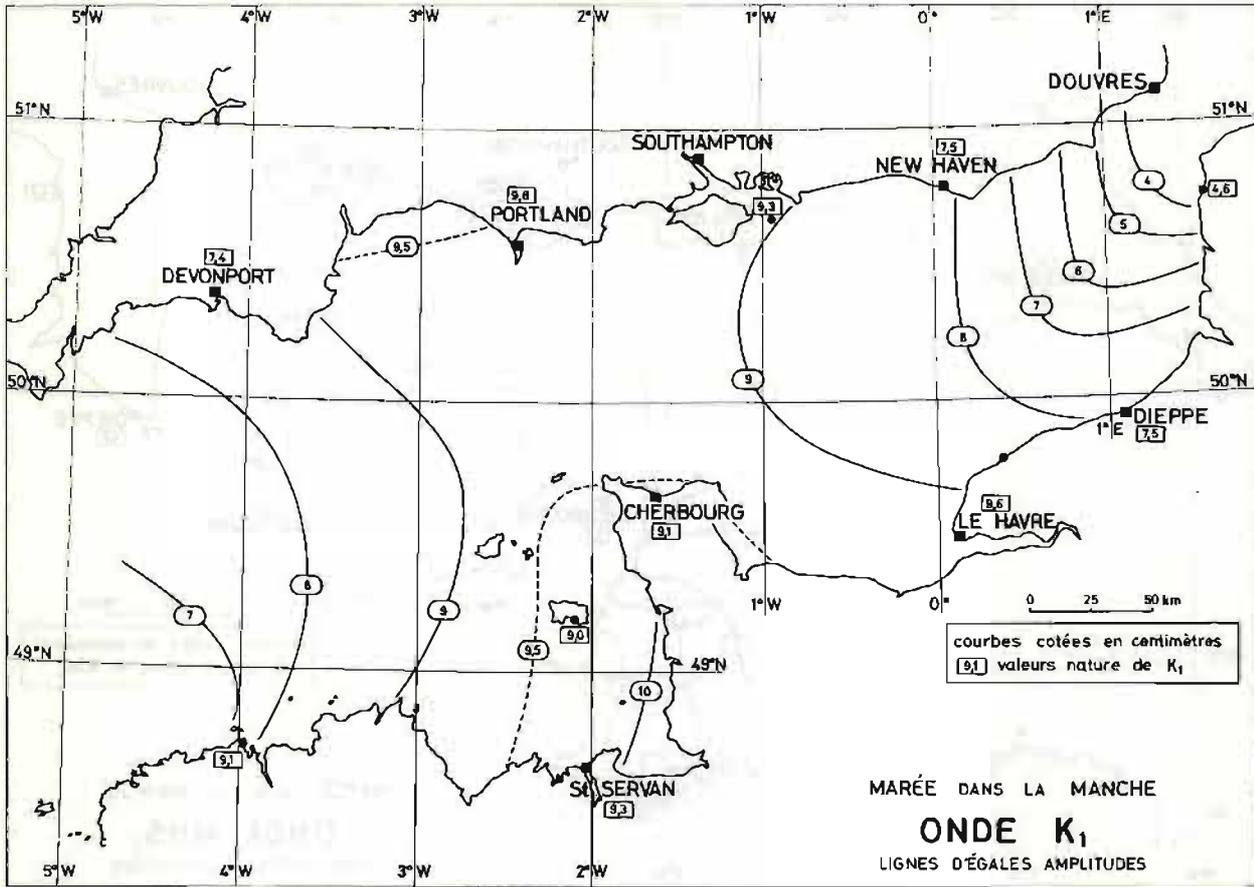
Cette étude a été réalisée sous la direction scientifique de M. le Professeur Kravtchenko. Elle a été financée par le Centre National de la Recherche Scientifique, l'Université de Grenoble, le Centre National pour l'Exploitation des Océans et le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine.

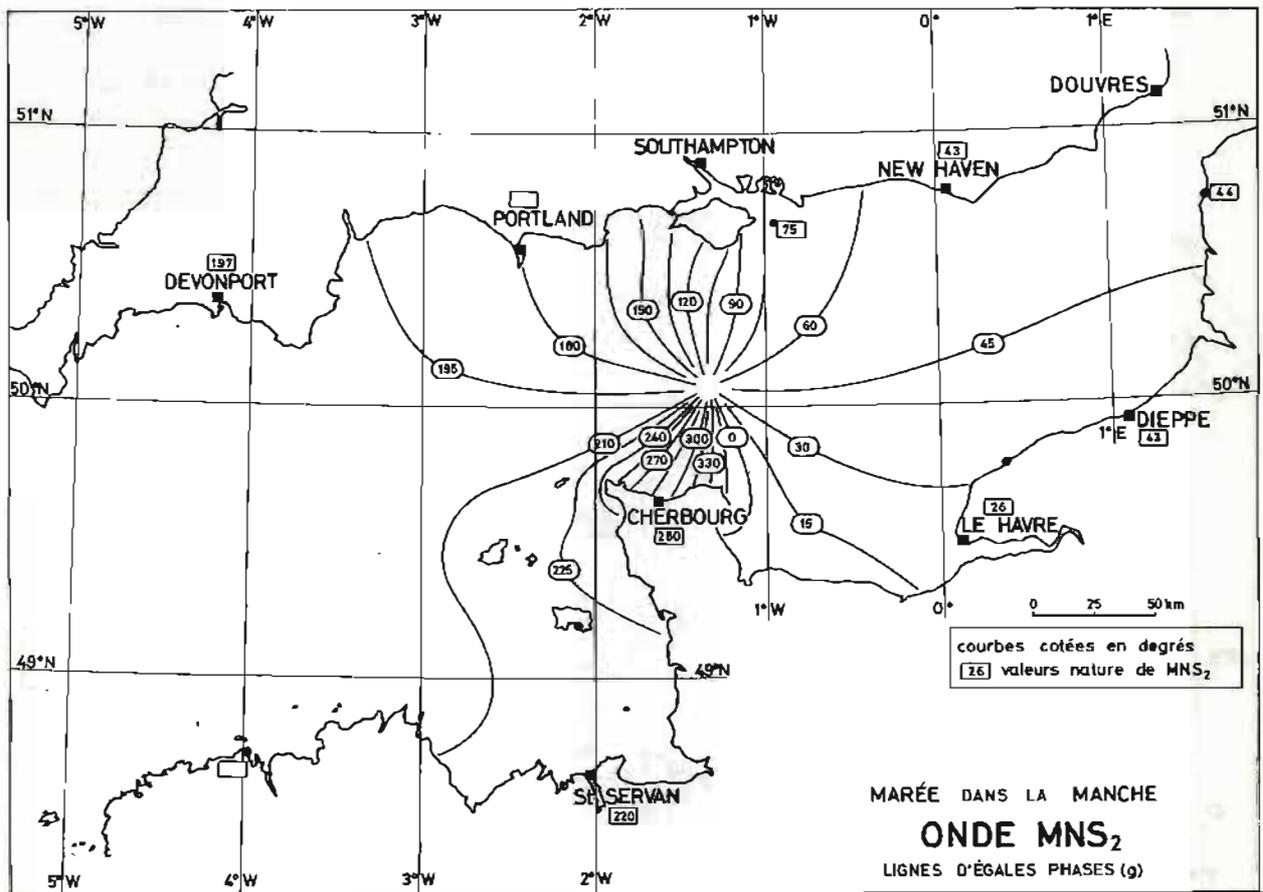
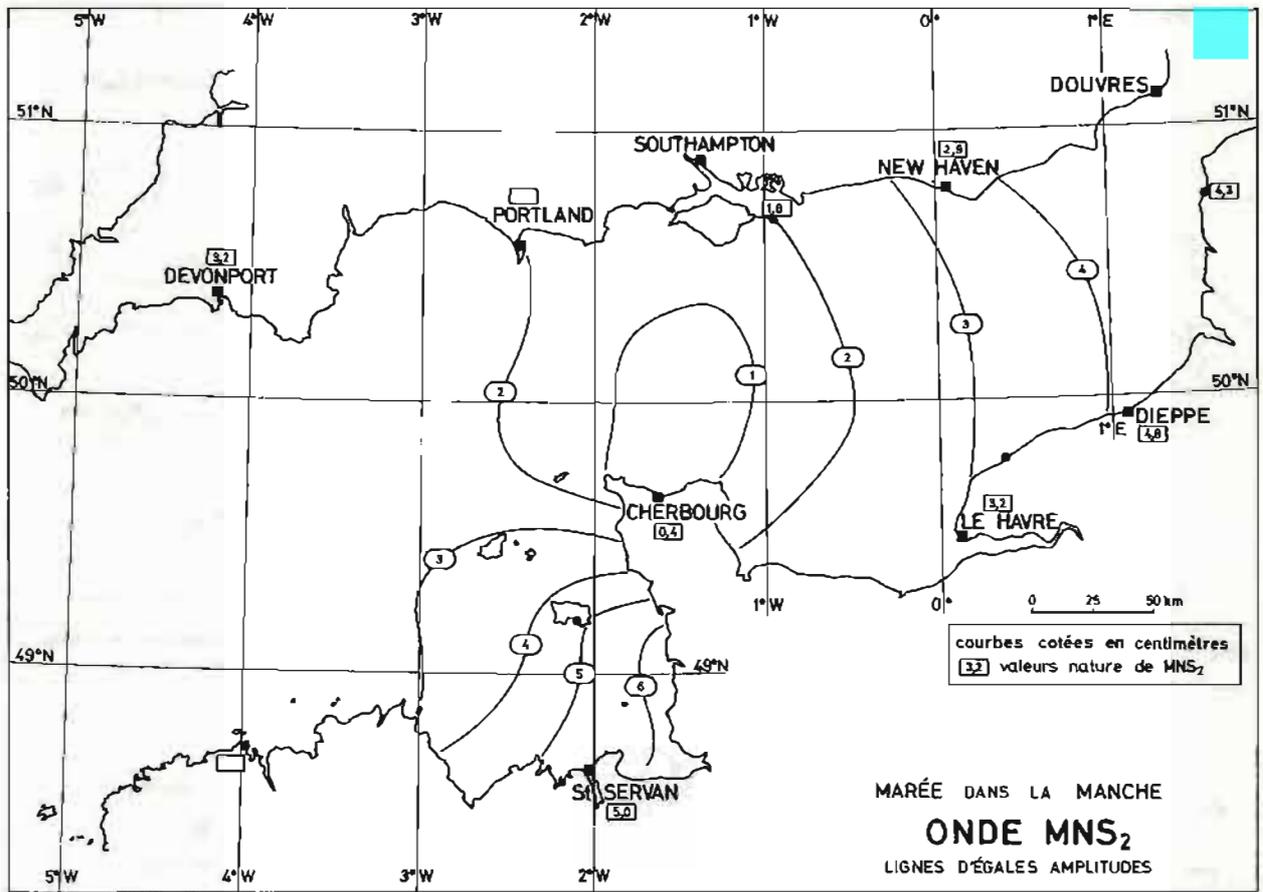
RÉFÉRENCES

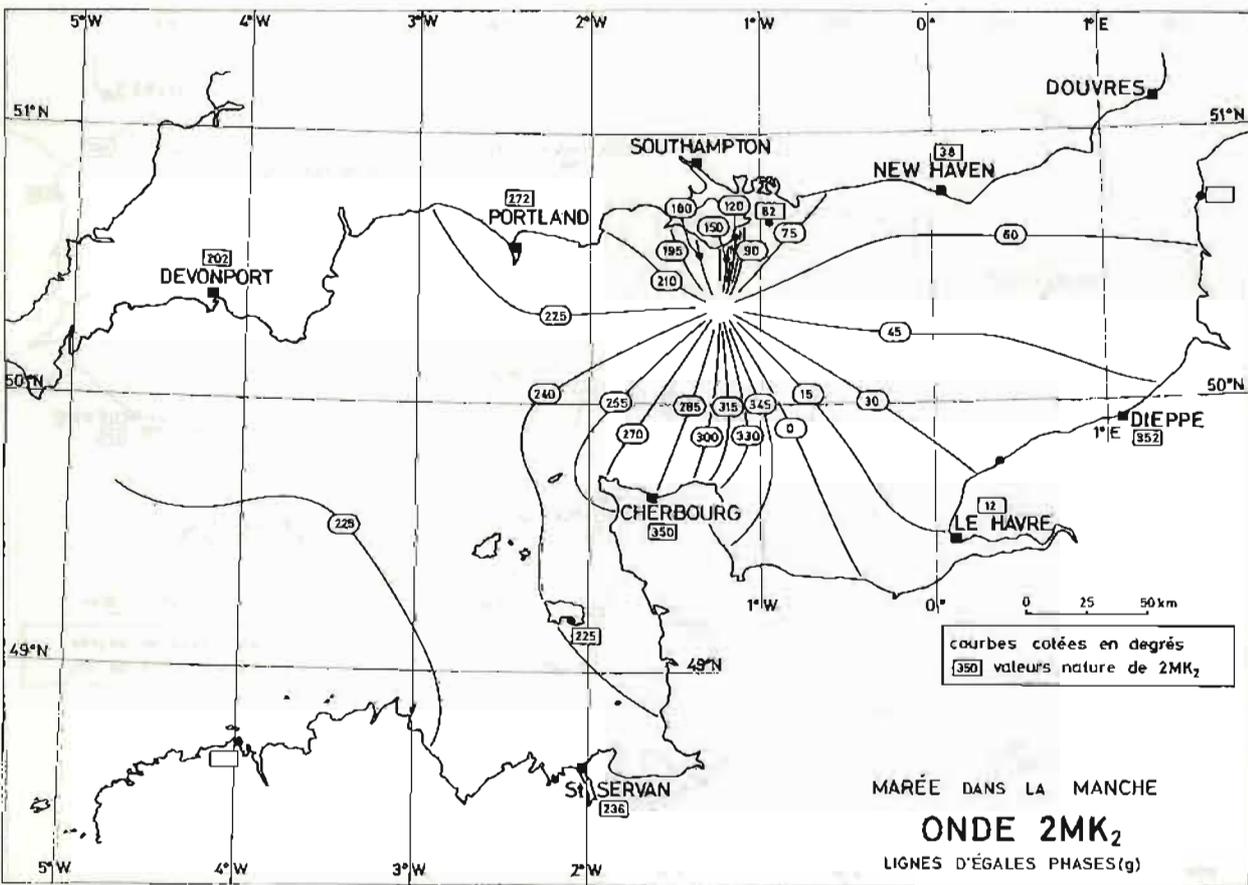
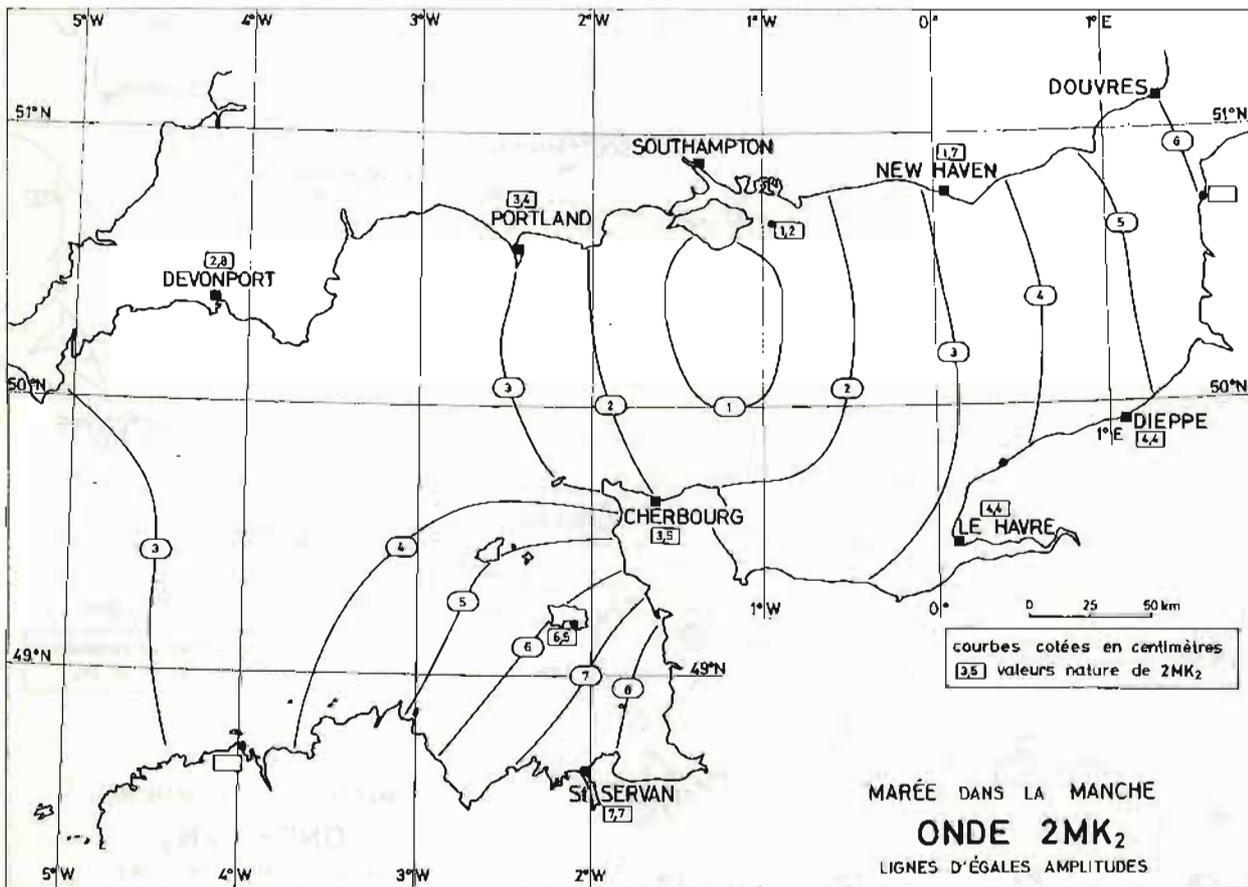
- [1] G. CHABERT d'HIÈRES, 1962. — « Réglage et exploitation de la plaque tournante de Grenoble ». *Mémoires et Travaux de la S.H.F.*, Supp. au vol. 1, *La Houille Blanche*.
- [2] G. CHABERT d'HIÈRES et C. LE PROVOST, 1971. — « Spatial variations of the mean sea level in the English Channel ». *Actes du Symposium de Géodésie côtière, U.G.G.I., Munich*.
- [3] G.H. DARWIN, 1883. — « Report on harmonic analysis of tidal observations ». *Brit. Ass. for Adv. Sci. Rep.*, pp. 48-118.
- [4] A.T. DOODSON, 1921. — « The harmonic development of tide generating potential ». *Proceedings of the Royal Society, A*, vol. 100, pp. 305-328.
- [5] C. LE PROVOST, 1976. — « Etude des marées dans les mers littorales ». *Annales Hydrographiques*, 5^e série, vol. 4, 1-1976.
- [6] C. LE PROVOST, 1974. « Contribution à l'étude des marées dans les mers littorales. Application à la Manche ». Thèse d'Etat présentée devant l'Université Scientifique et Médicale de Grenoble.
- [7] SHUREMAN, 1958. — « Manual of harmonic analysis and prediction of tides ». *Special Pub. n° 98*, U.S. Dept of Commerce, Coast and Geodetic Survey, U.S.A.

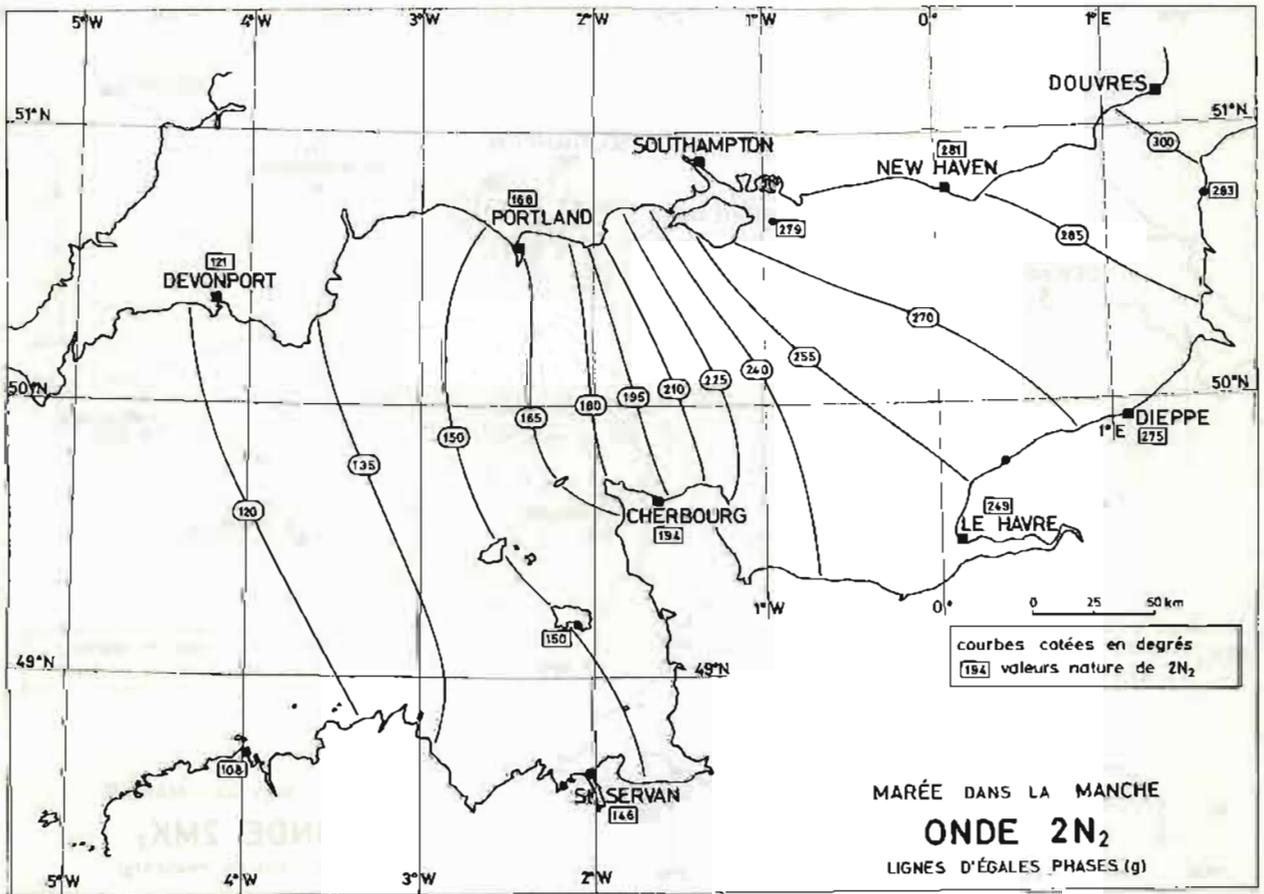
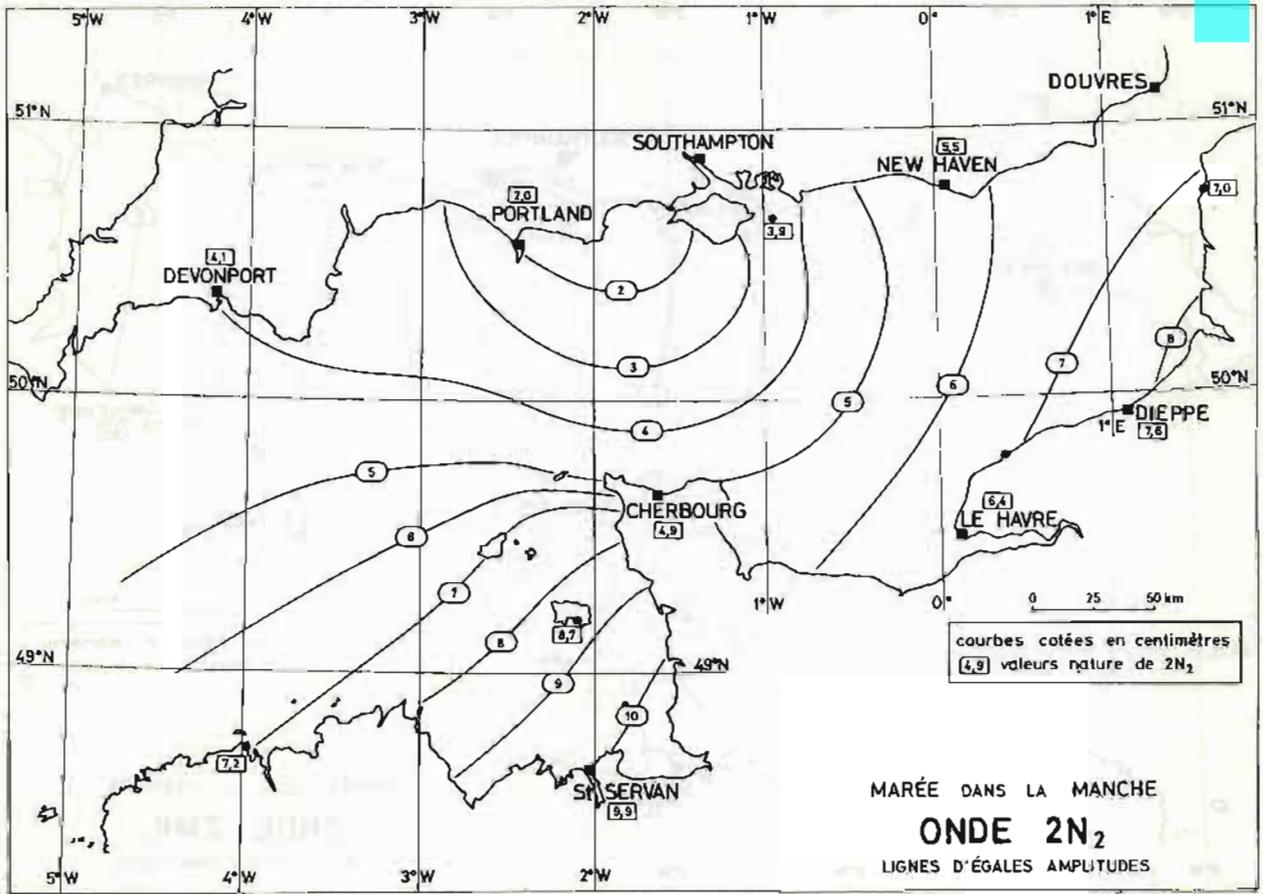


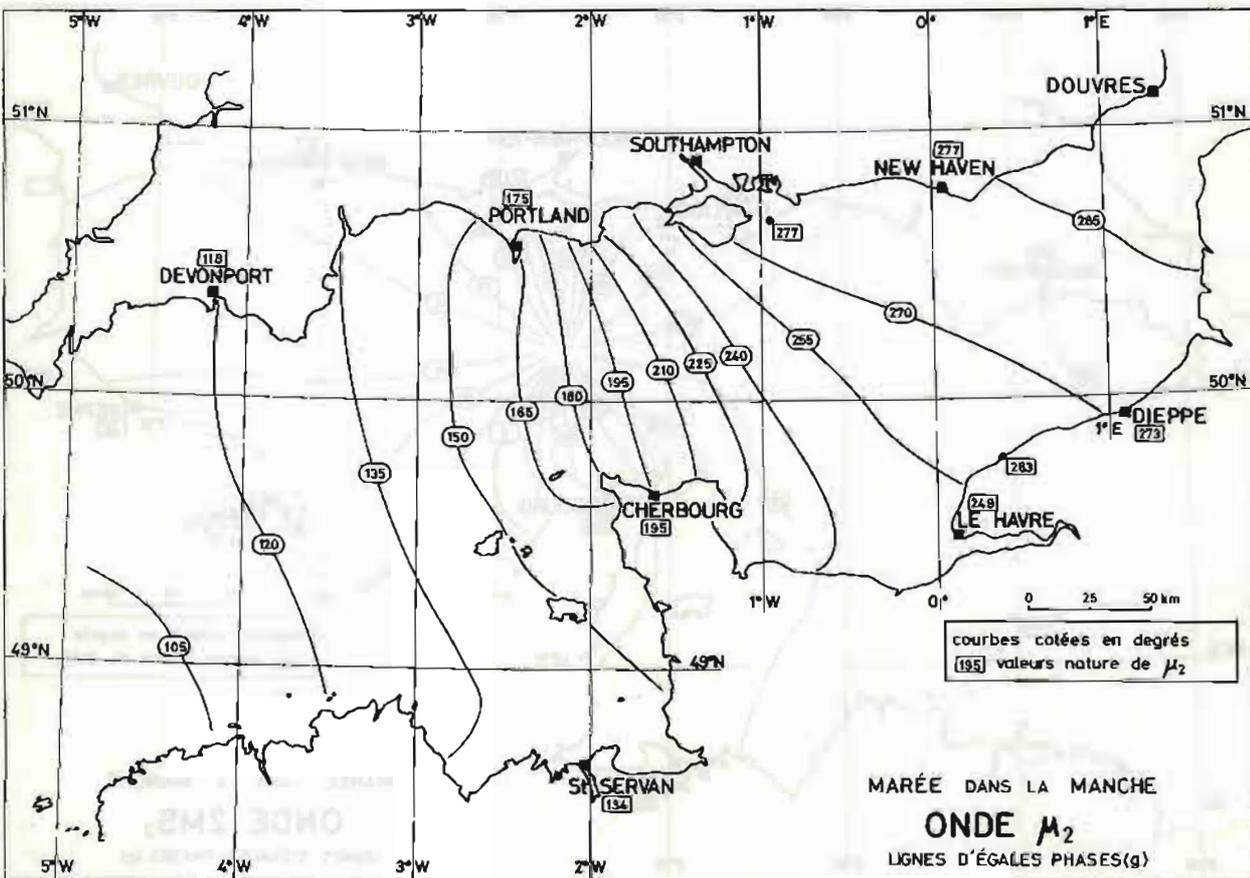
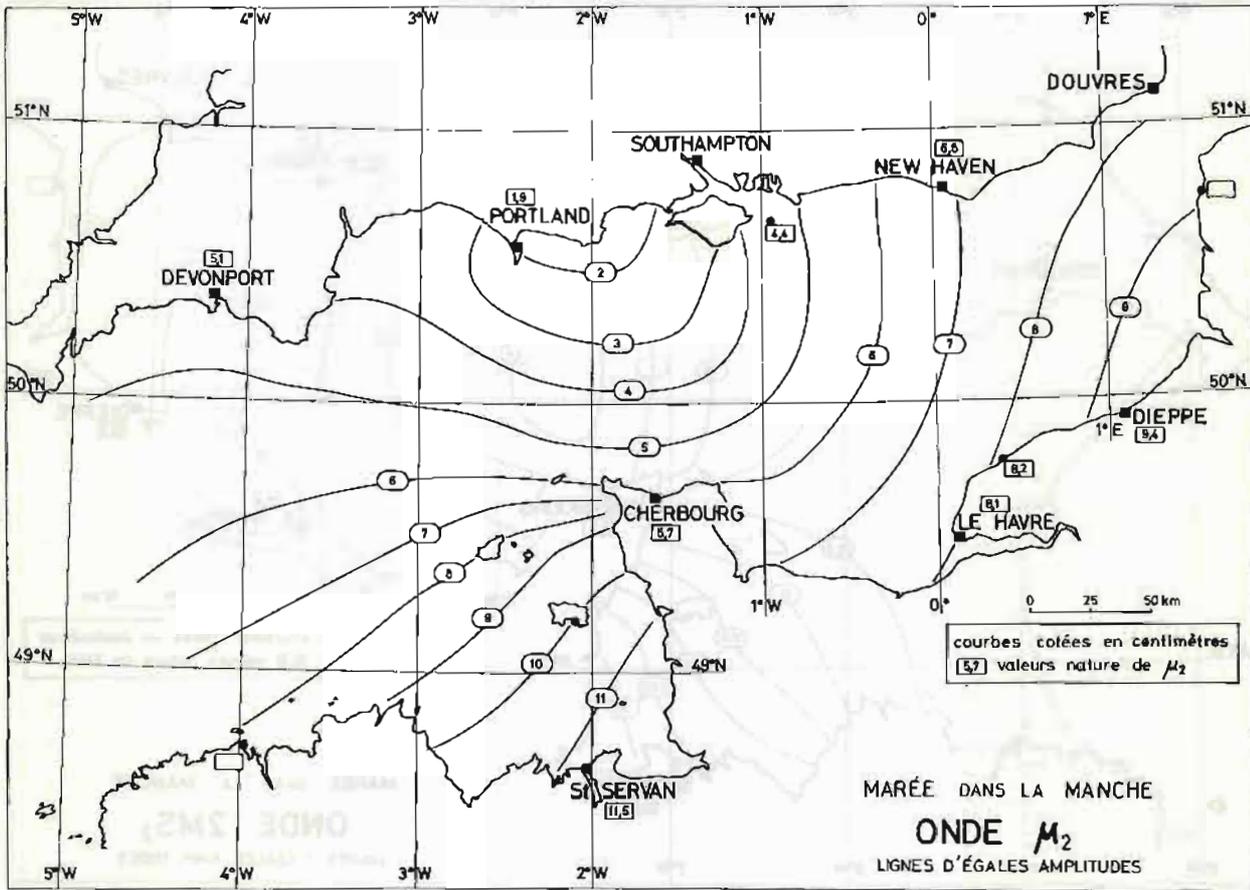


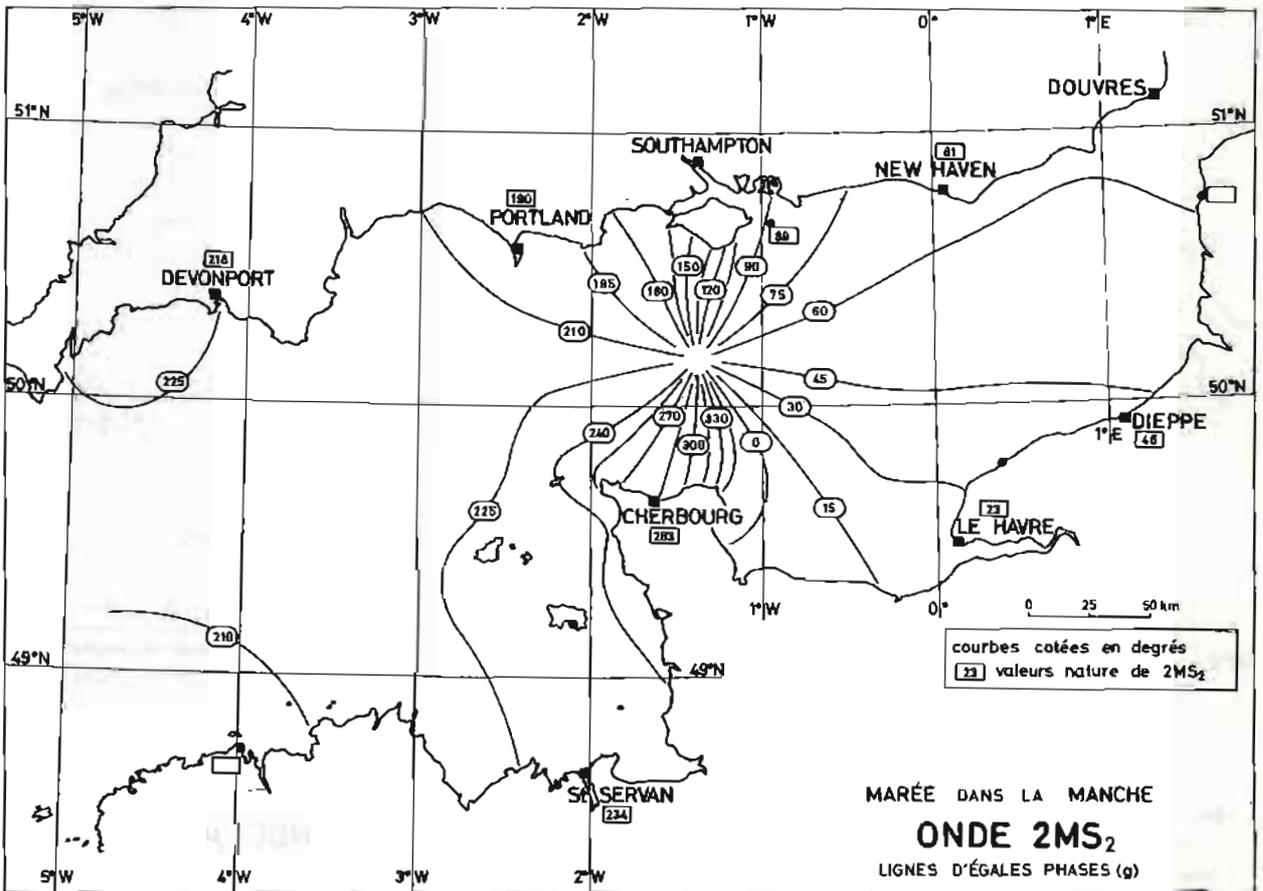
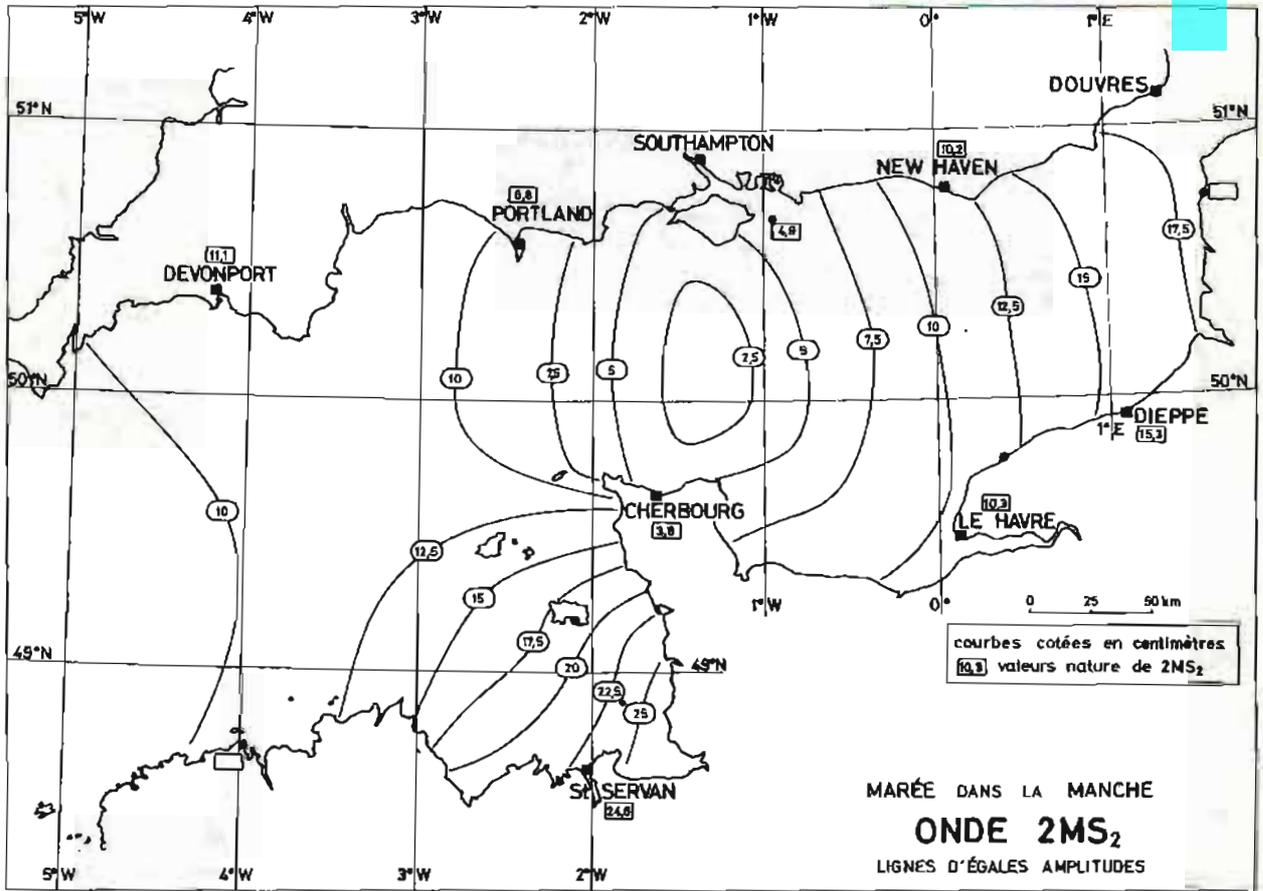


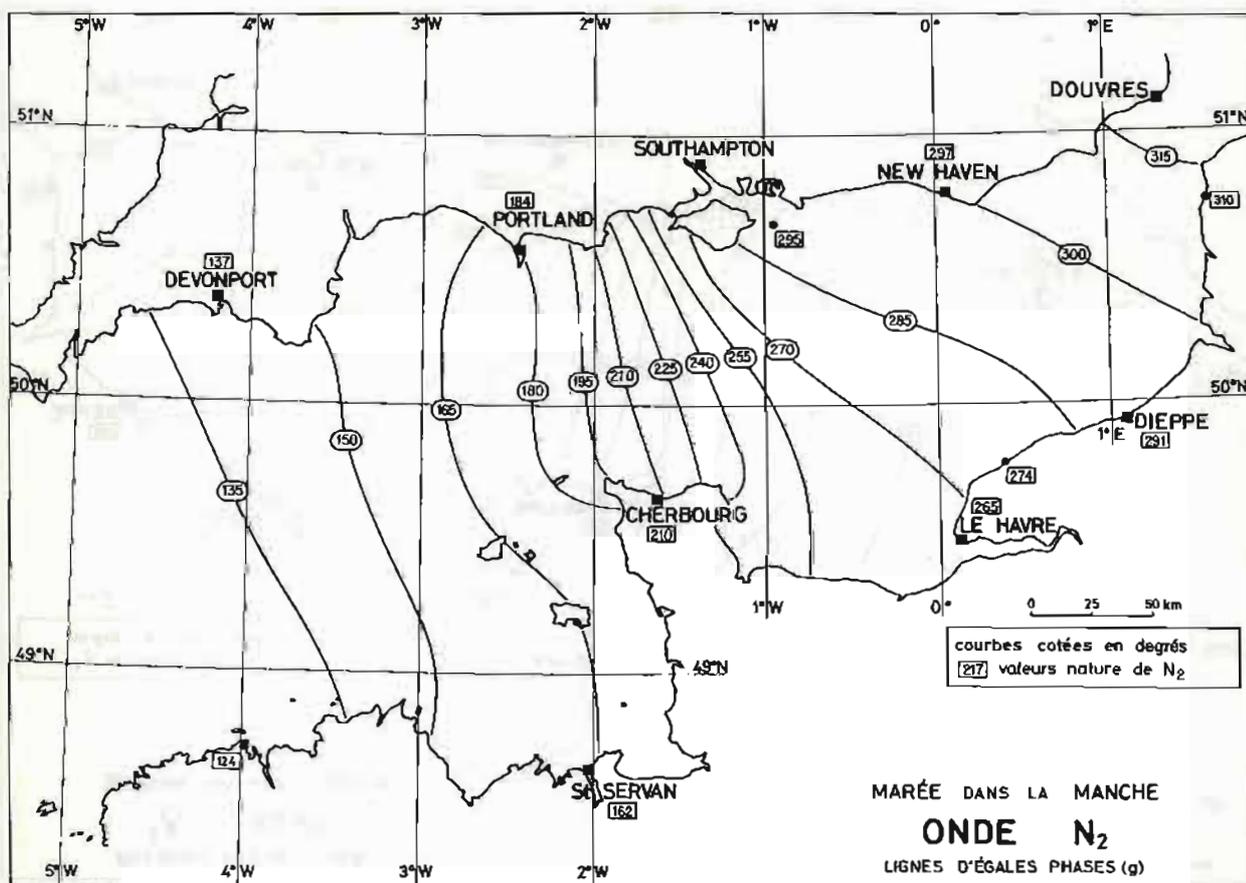
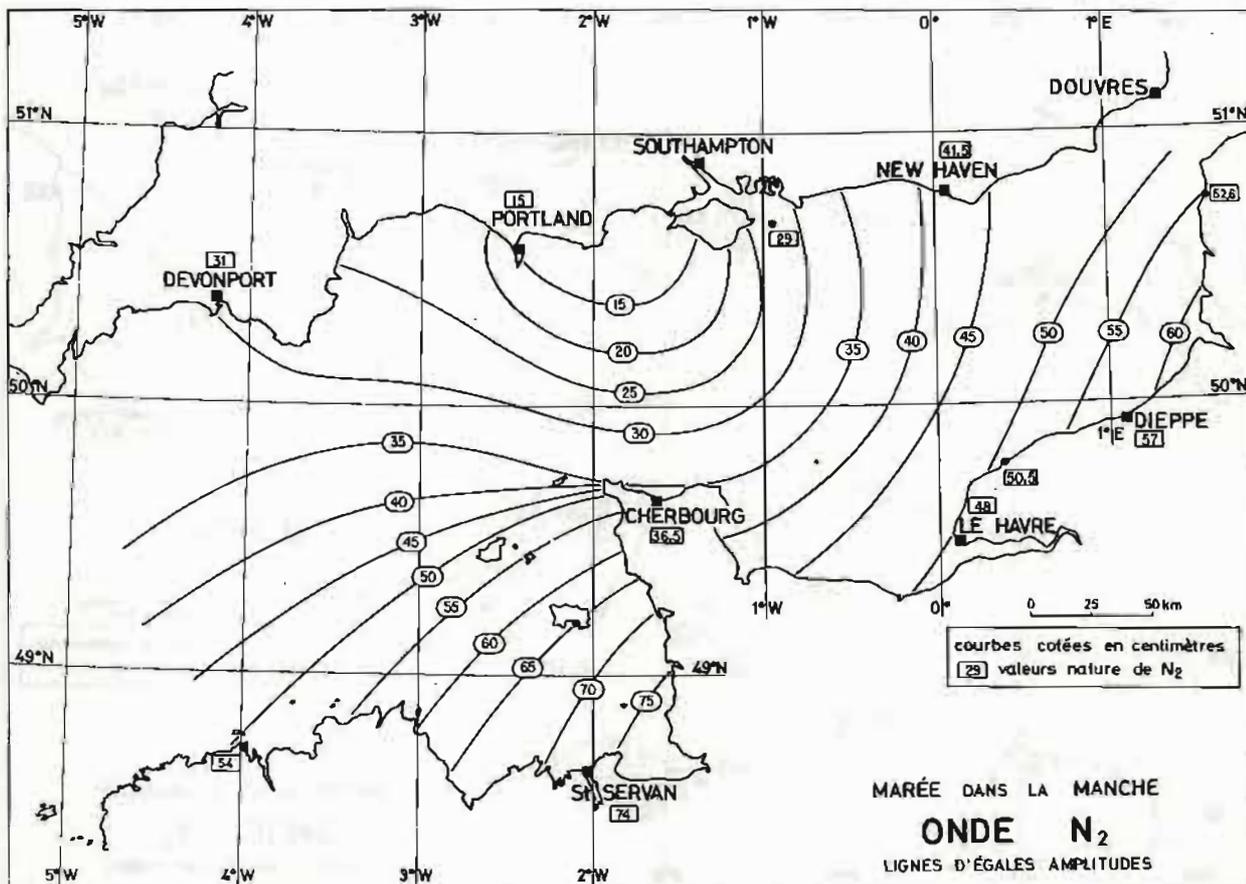


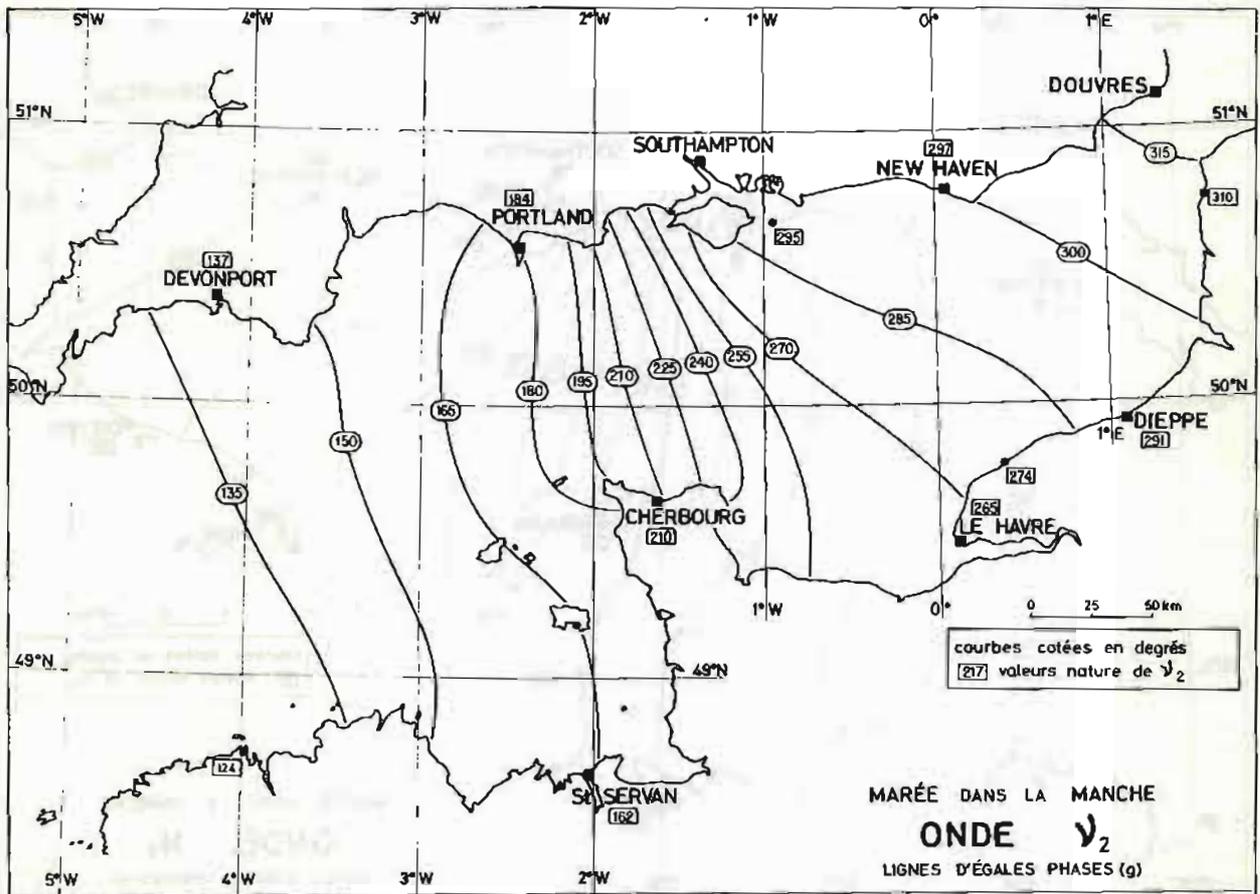
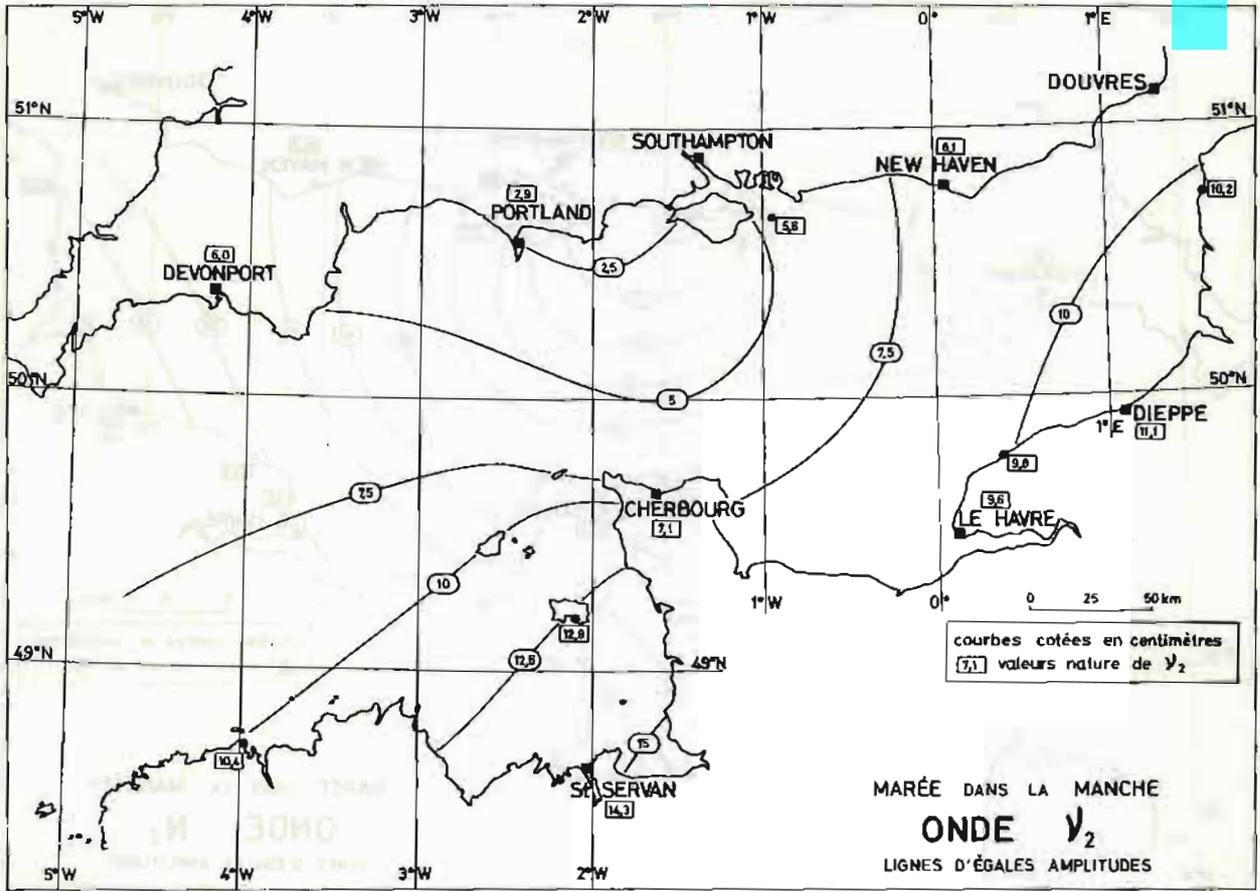


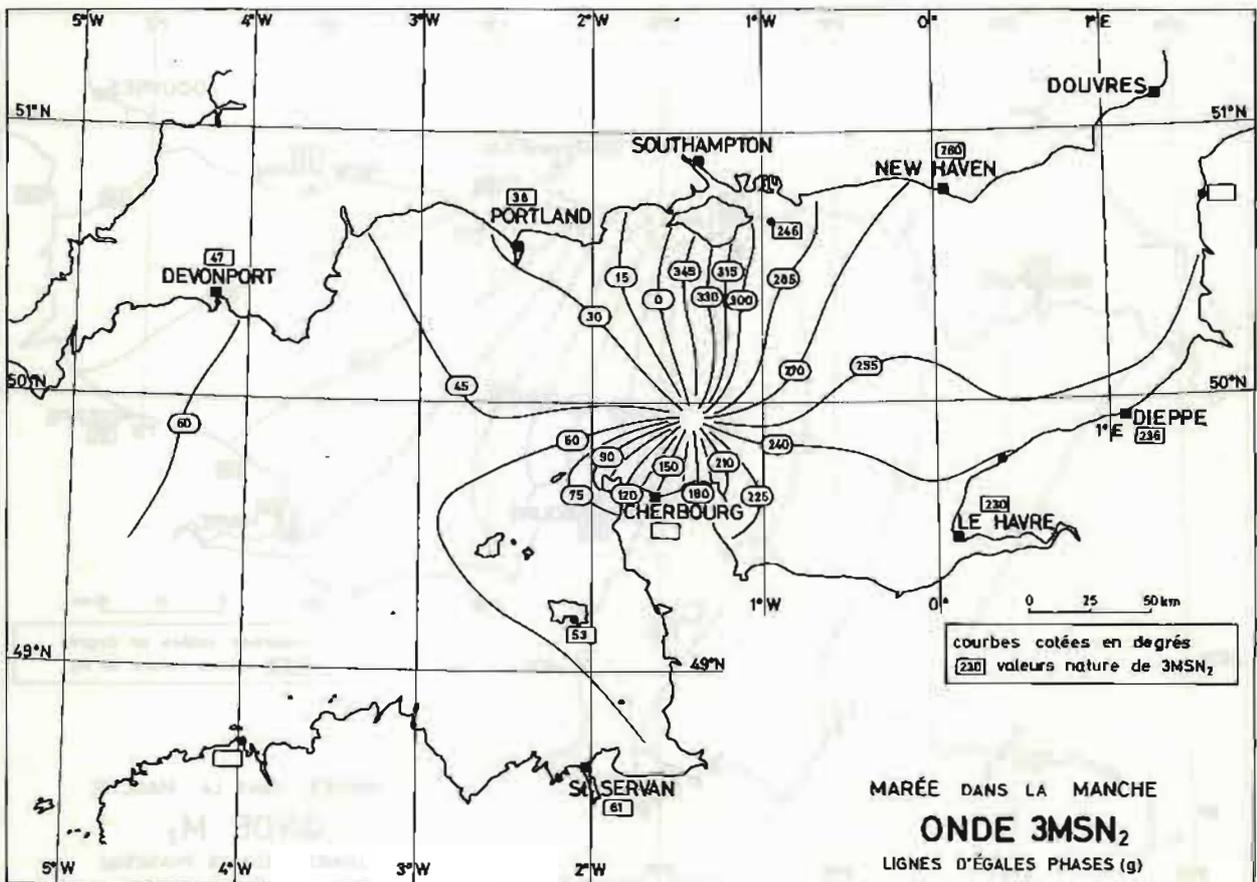
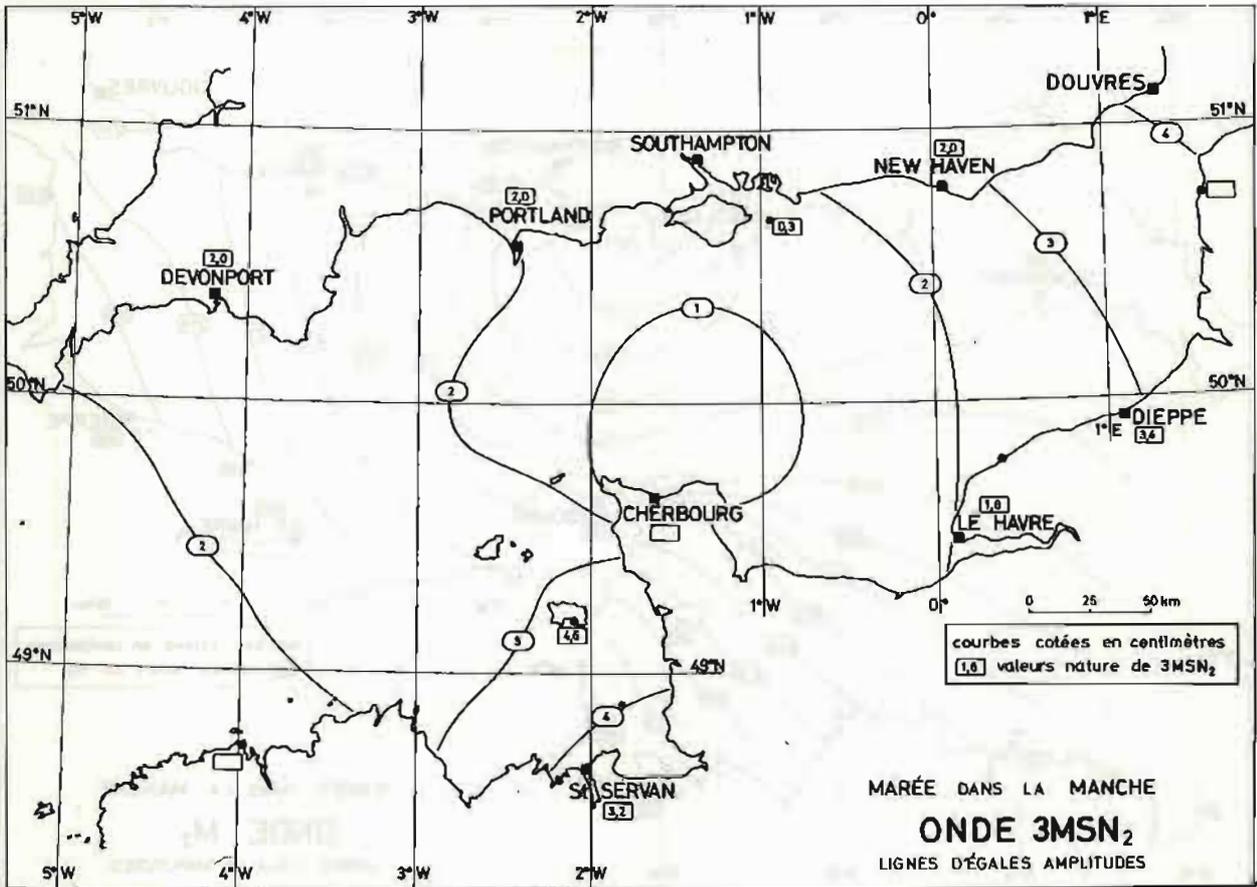


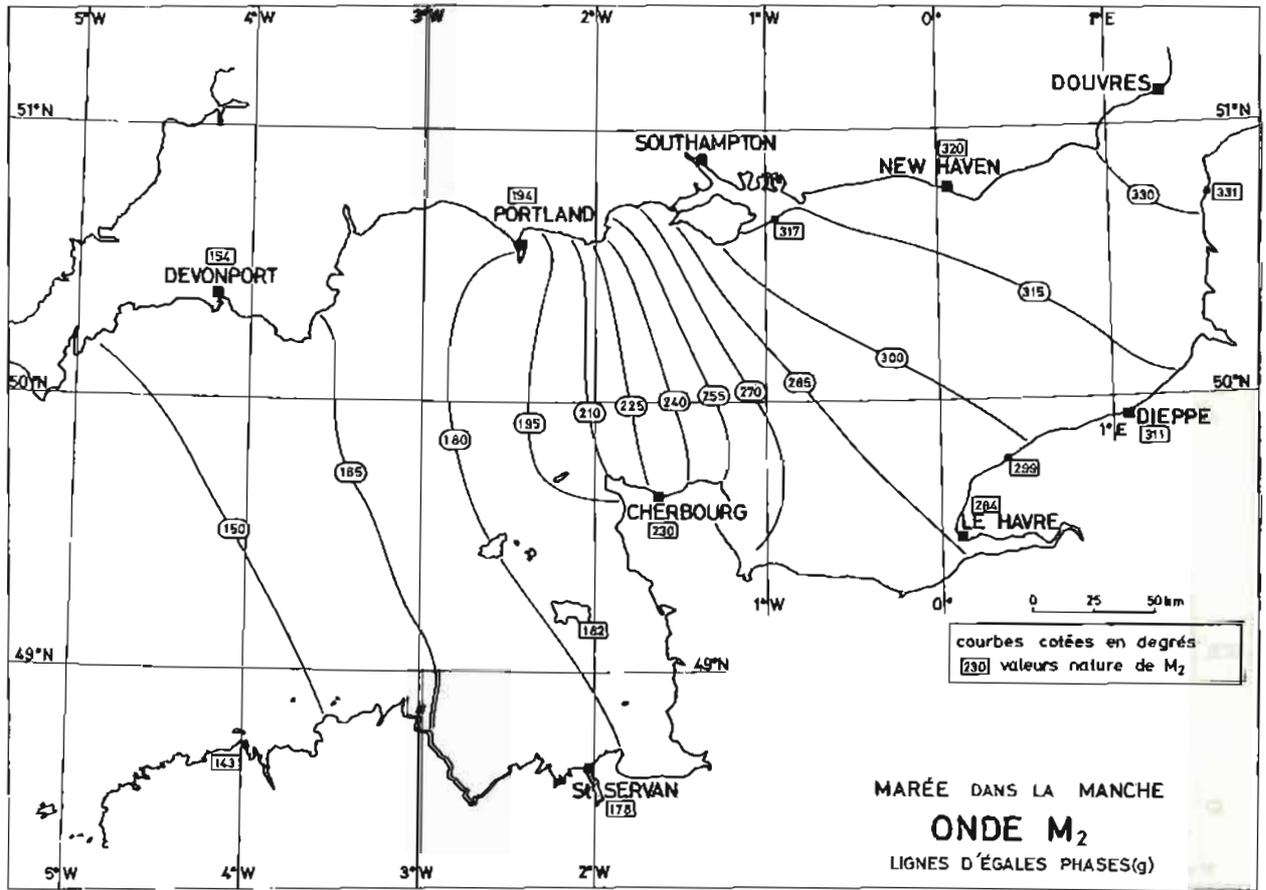
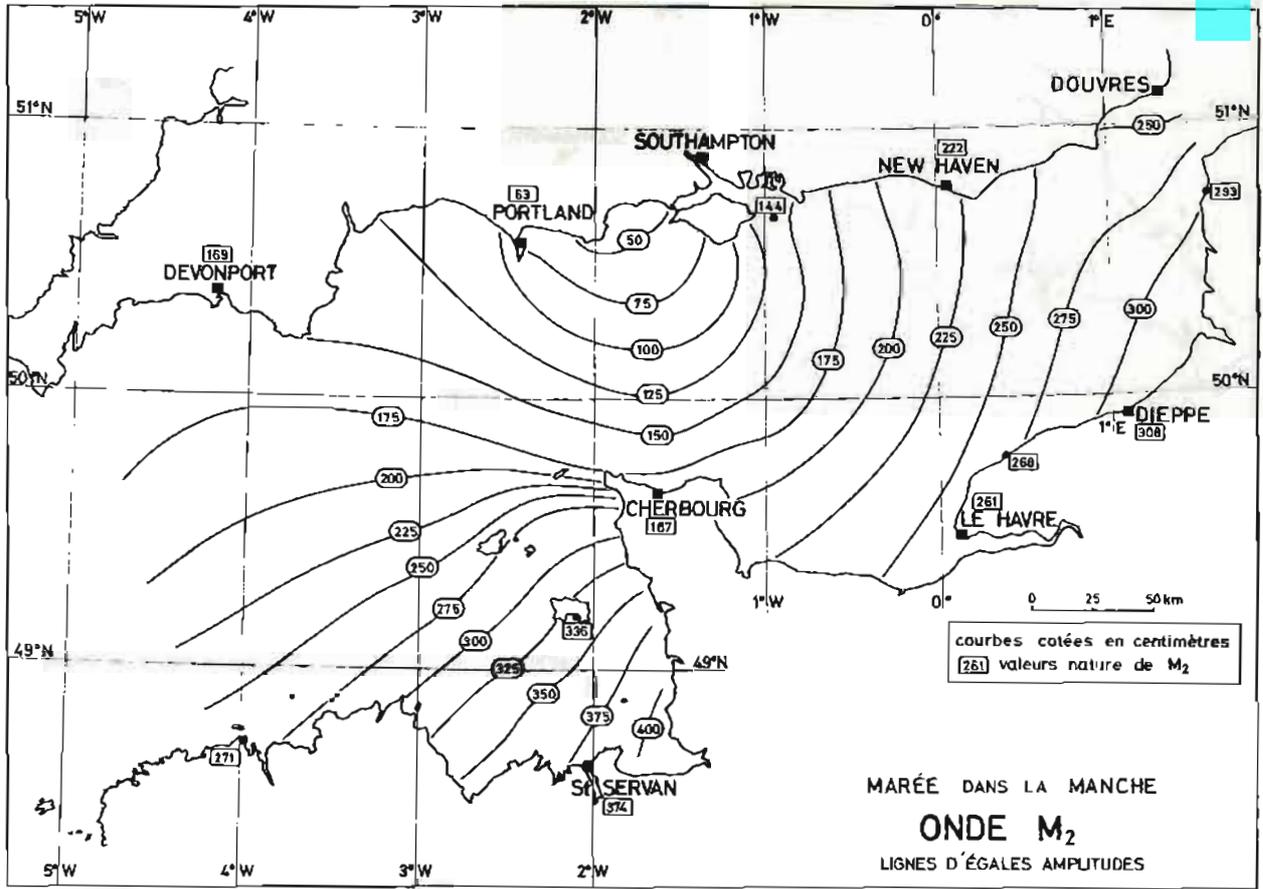


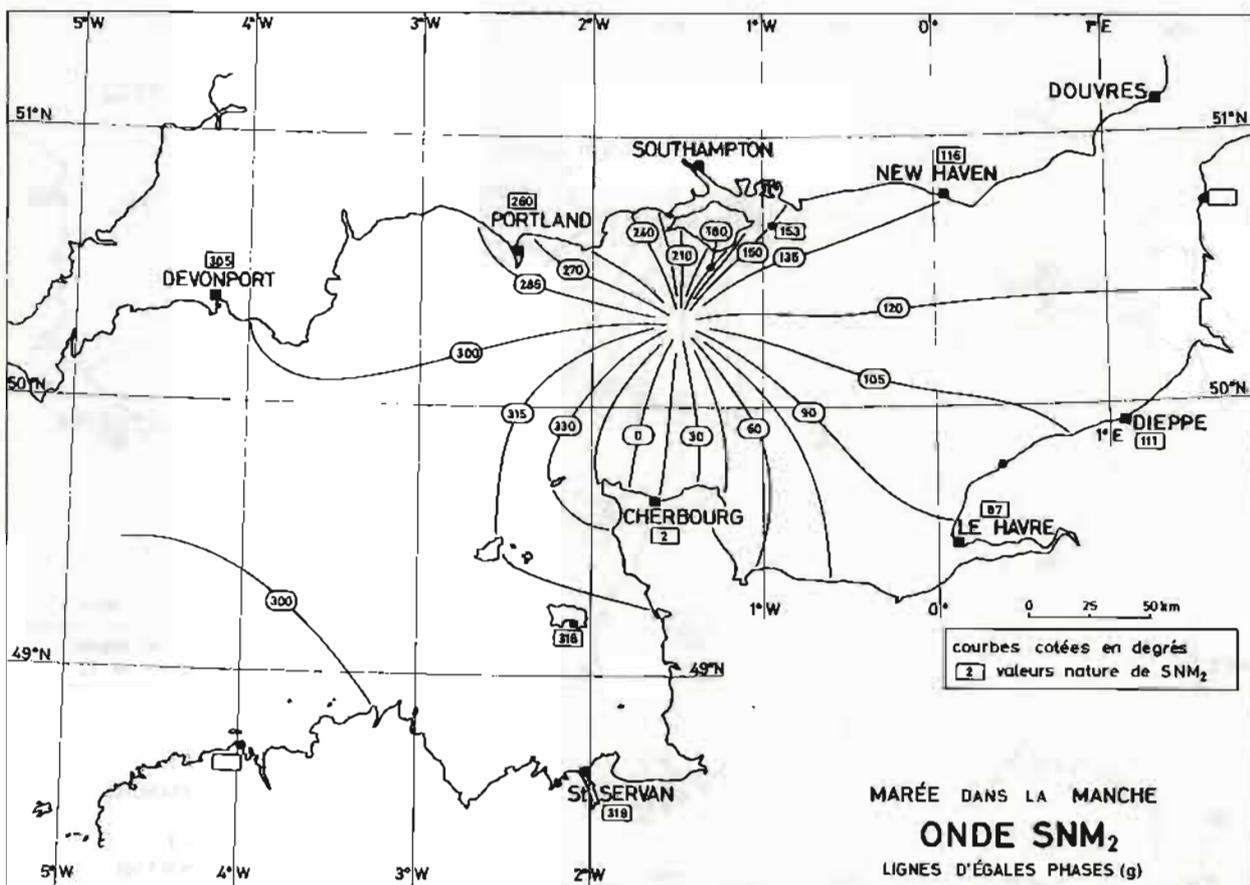
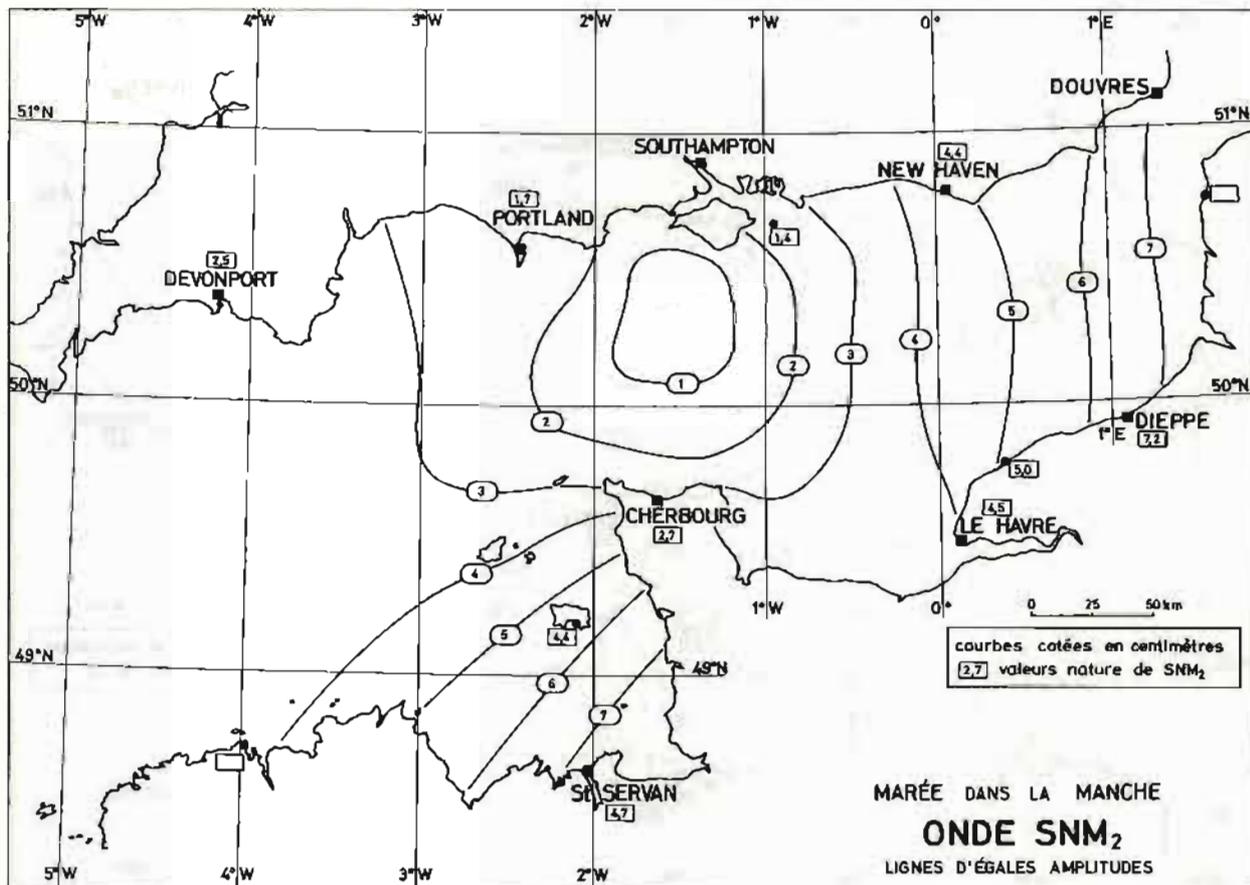


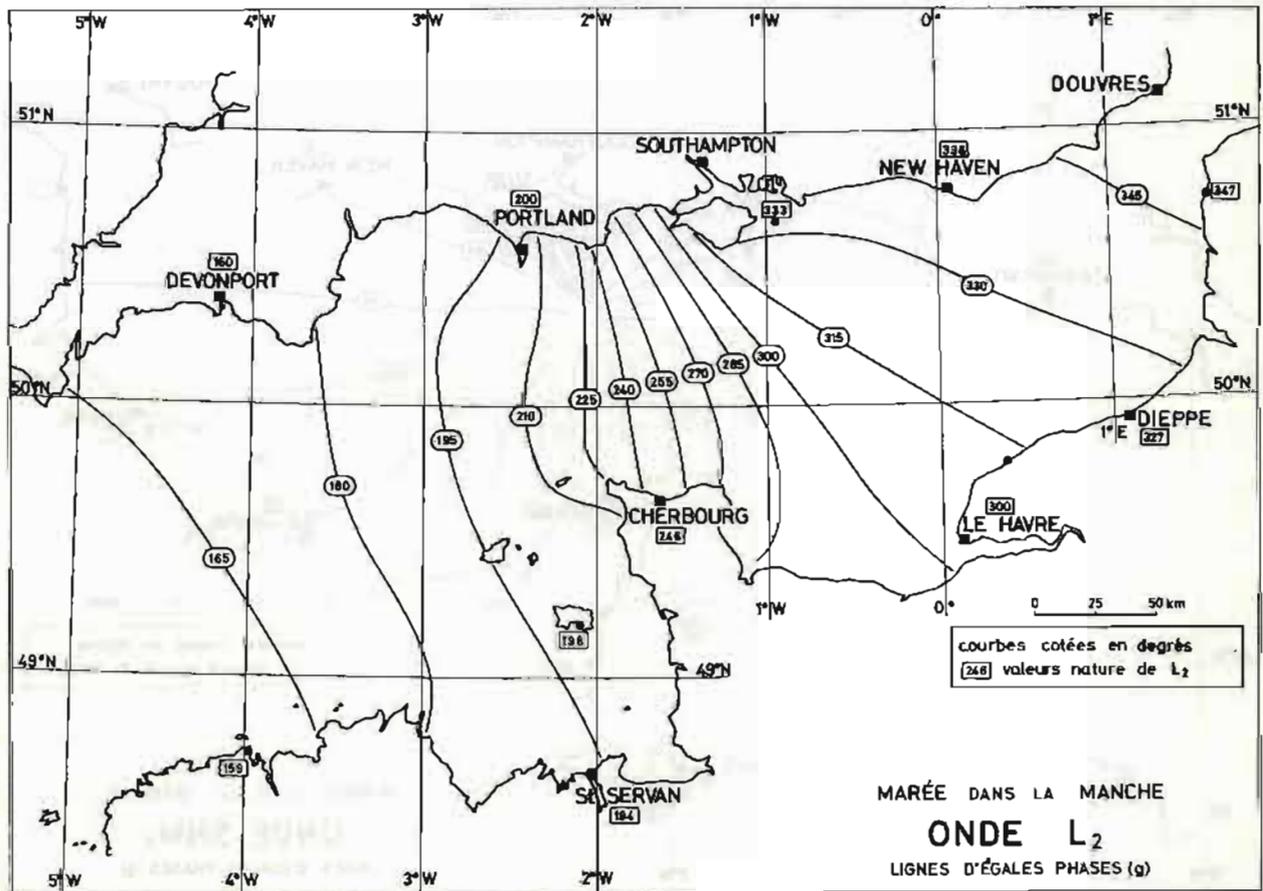
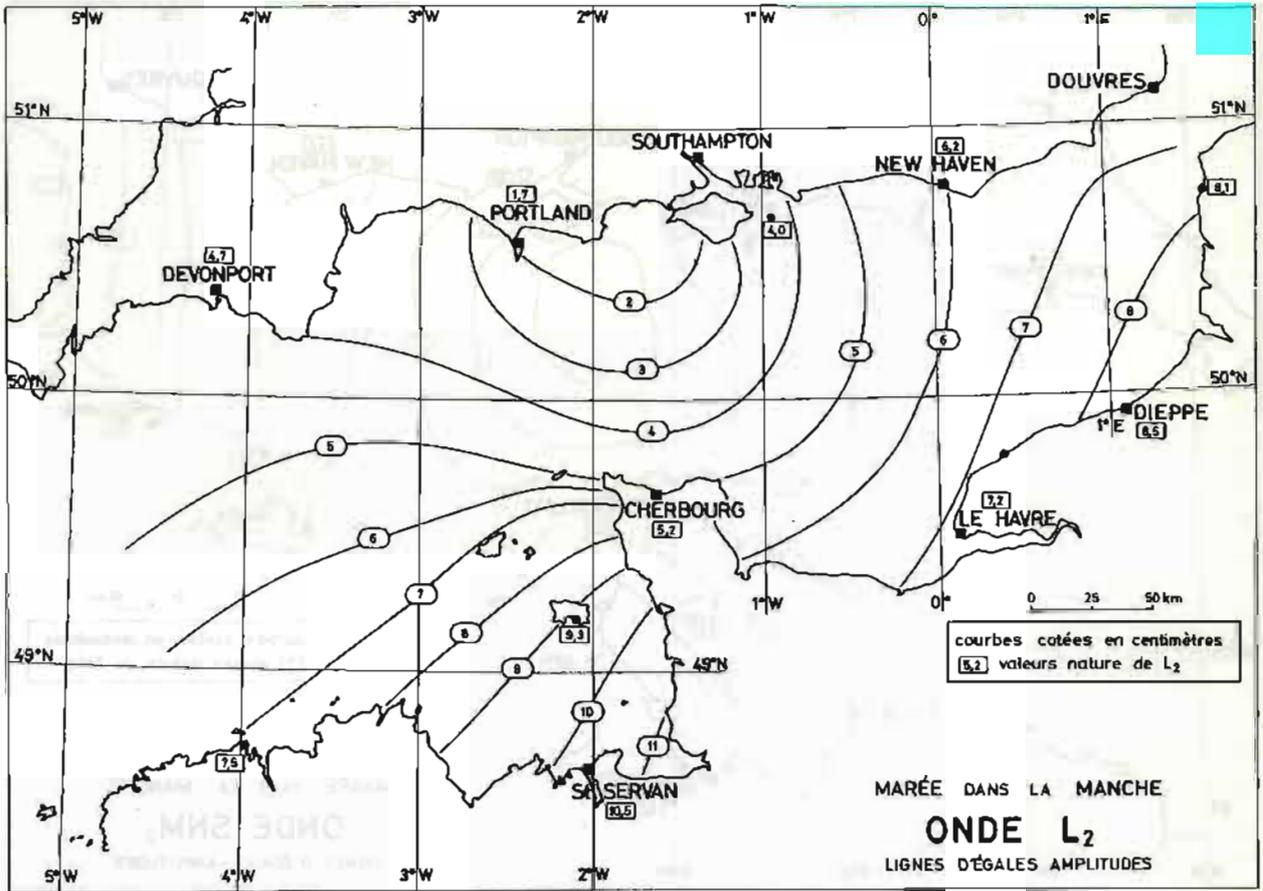


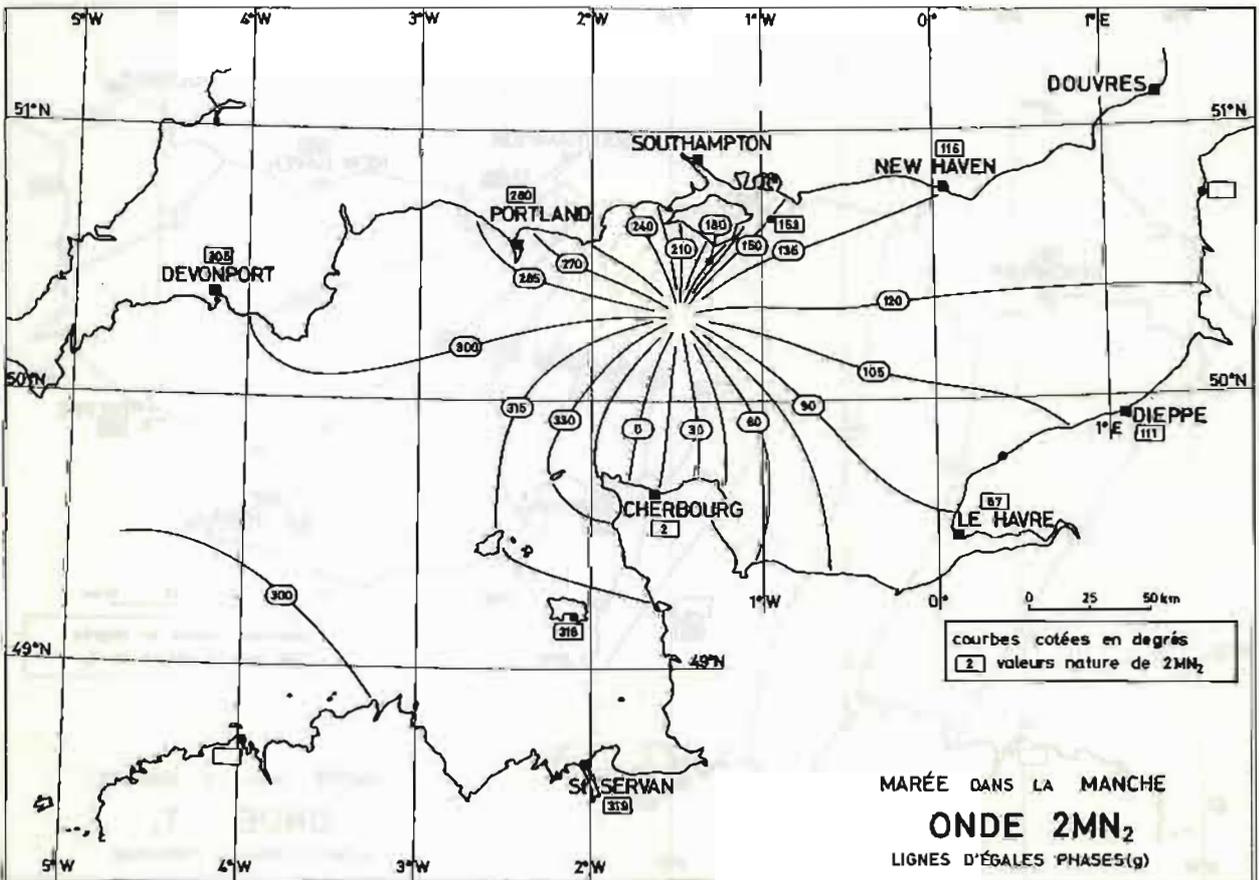
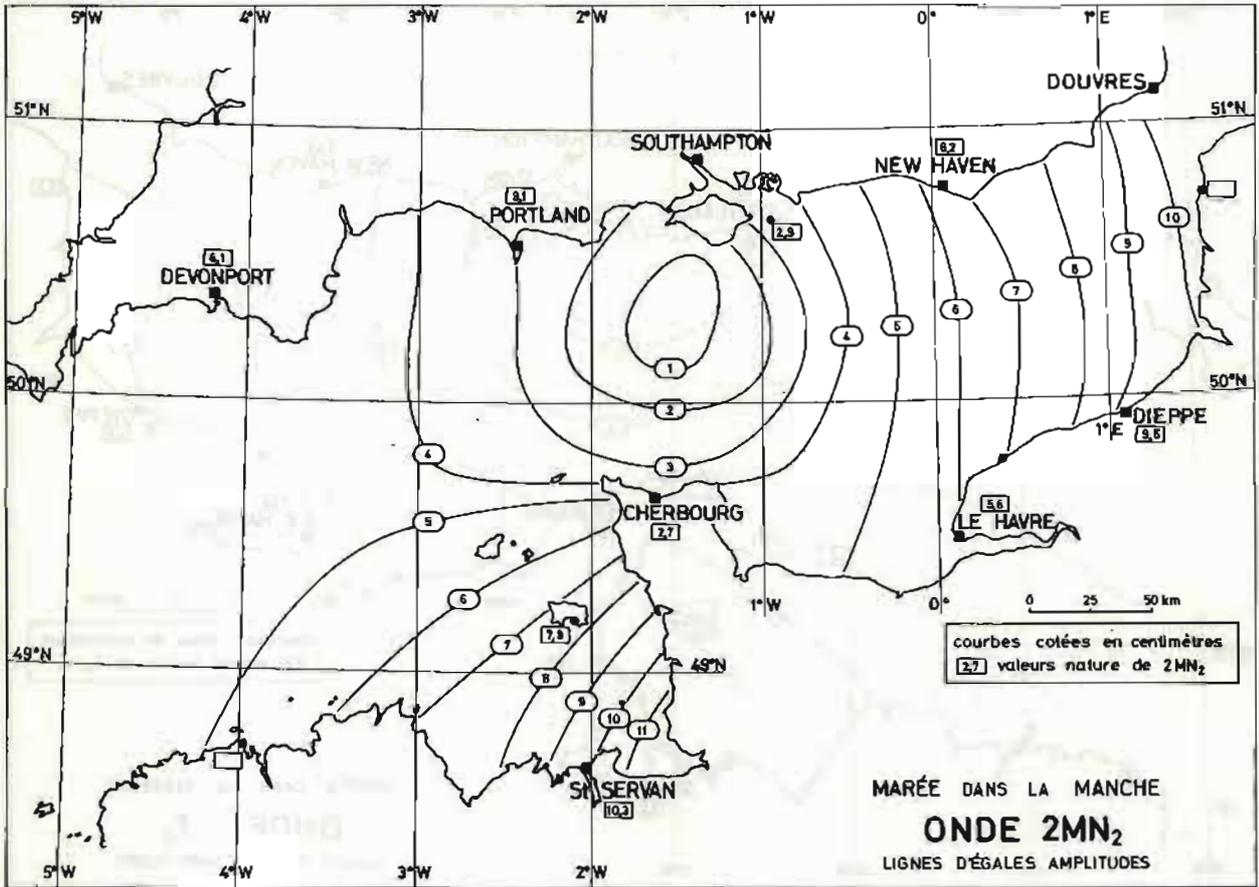


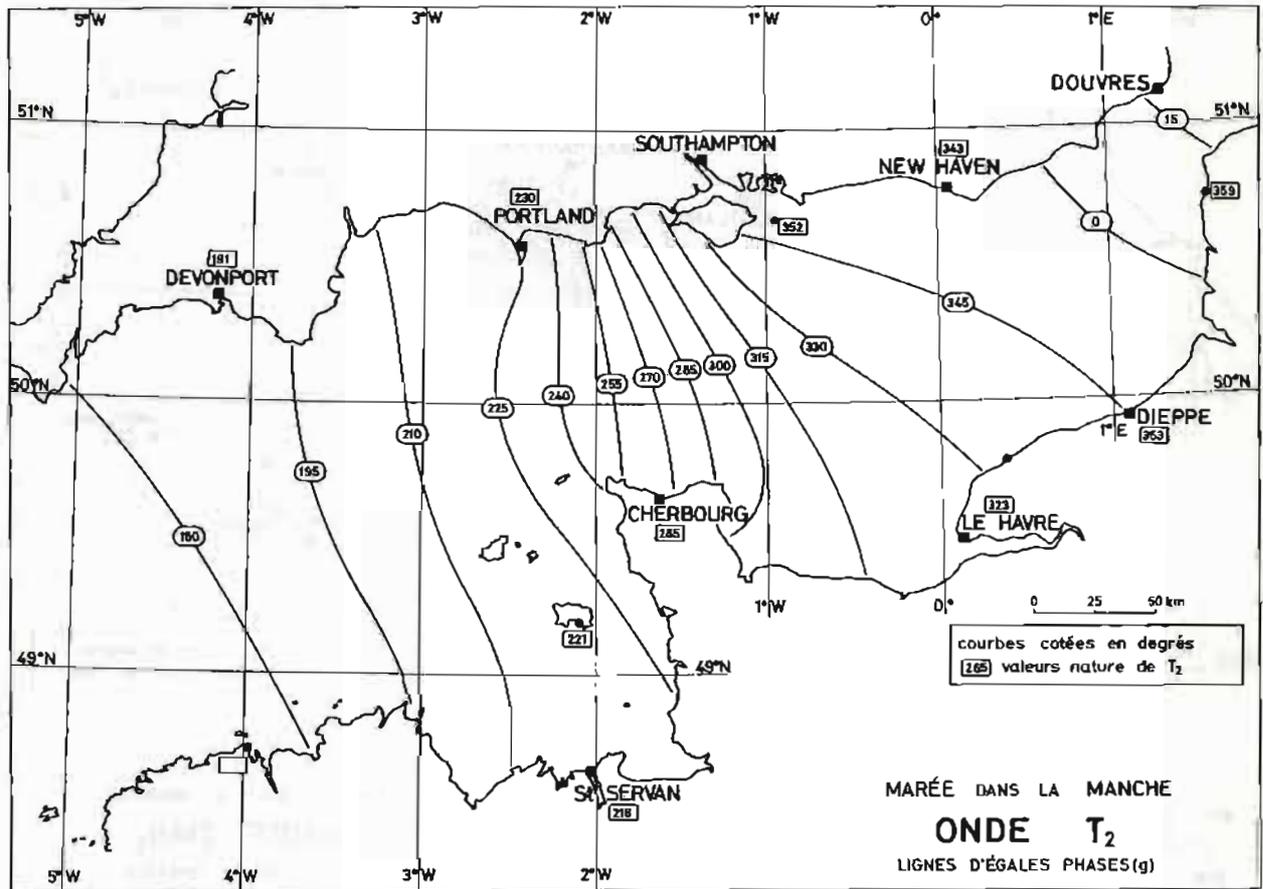
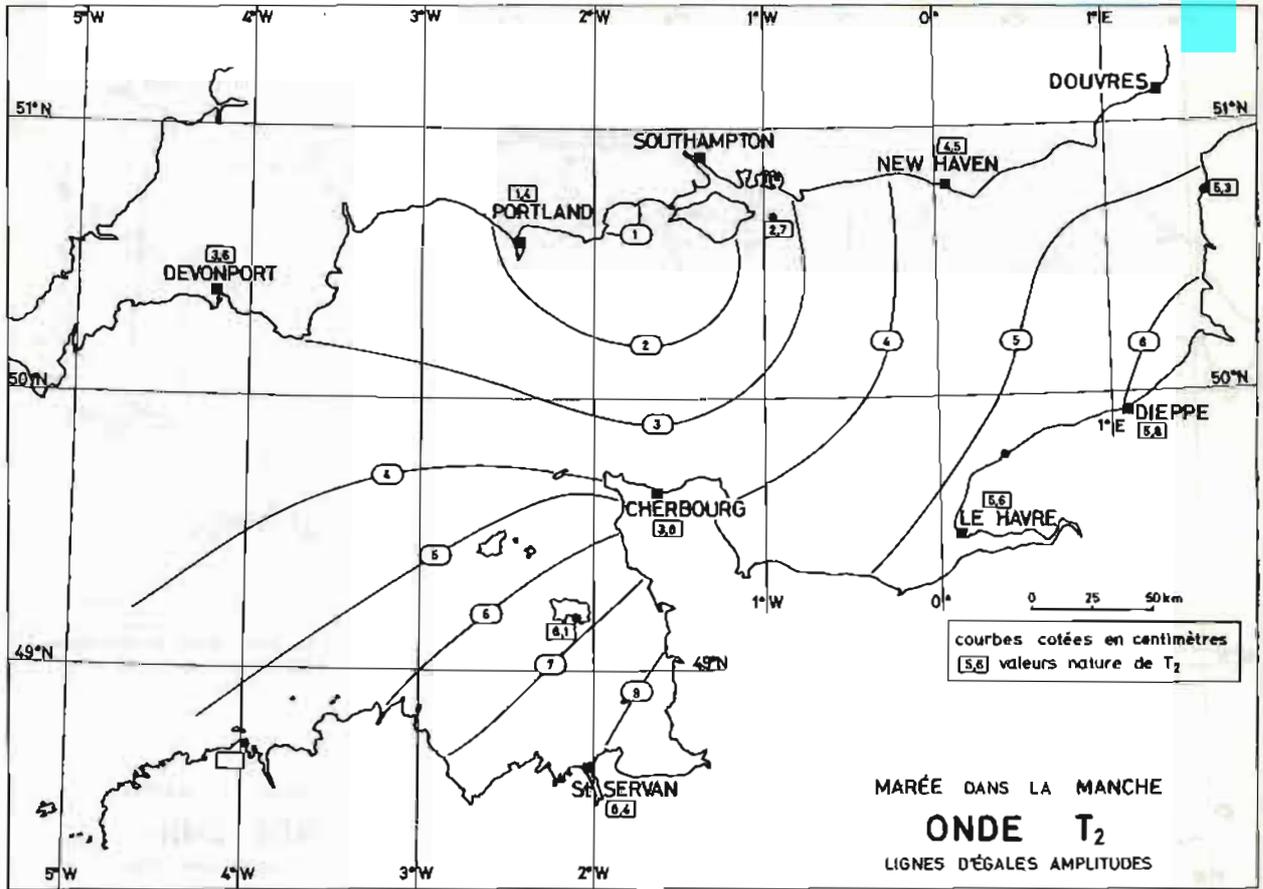


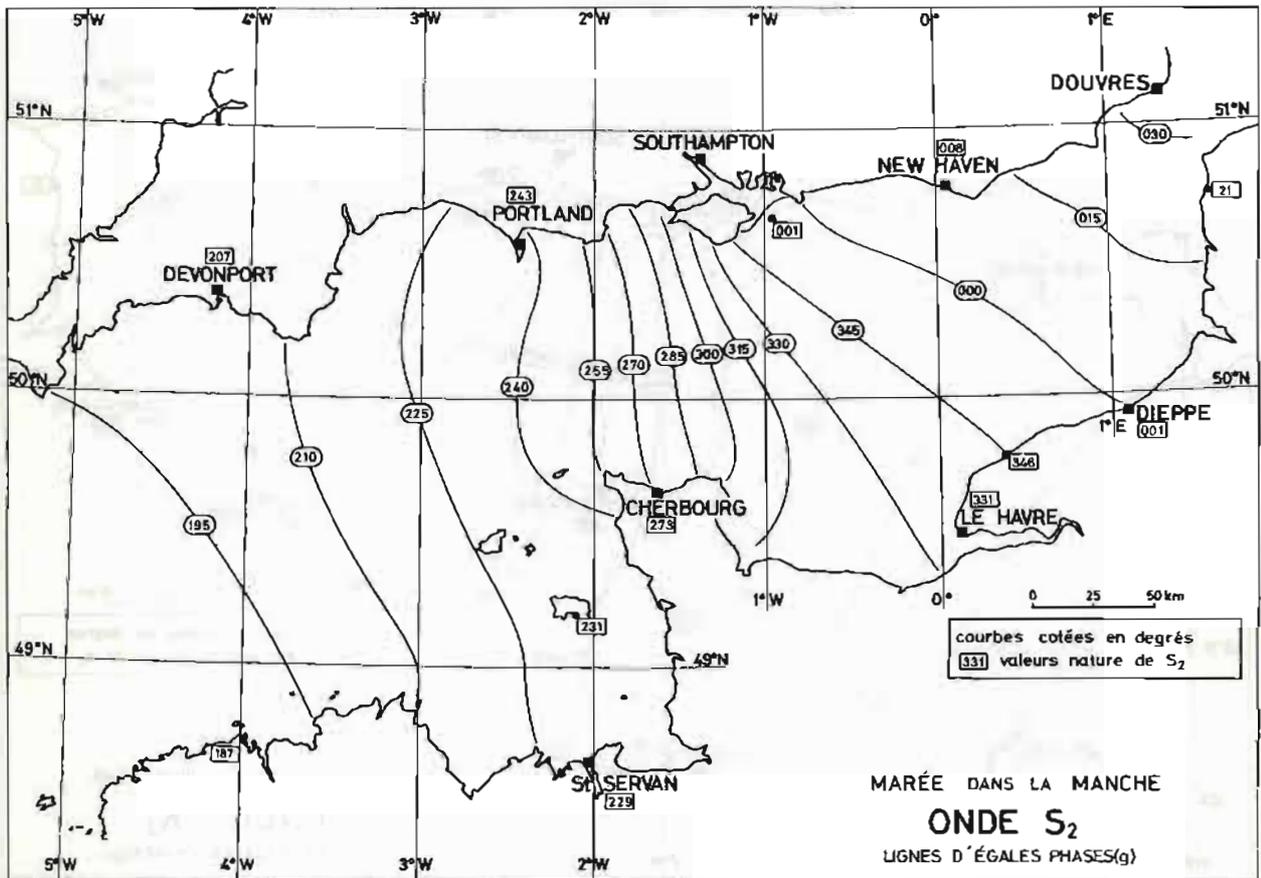
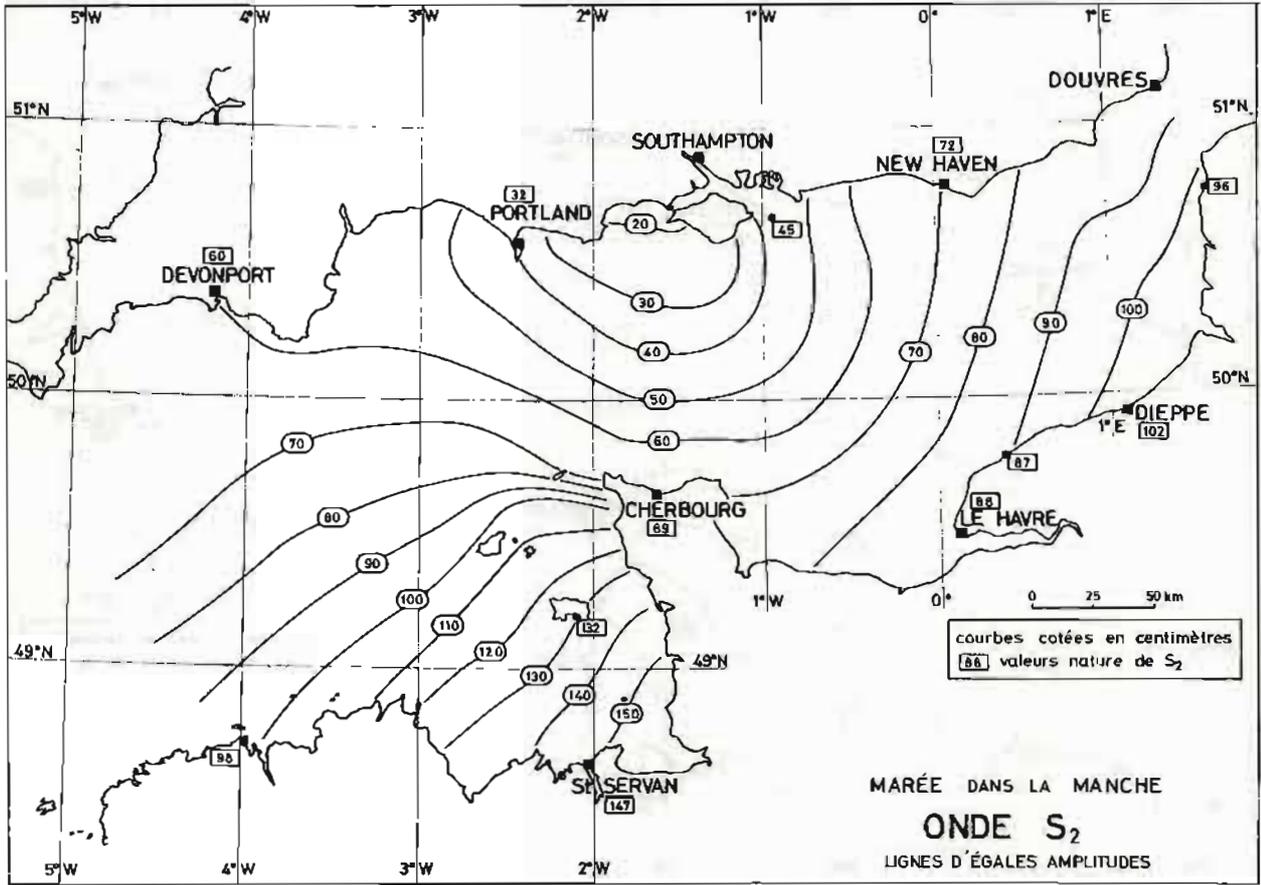


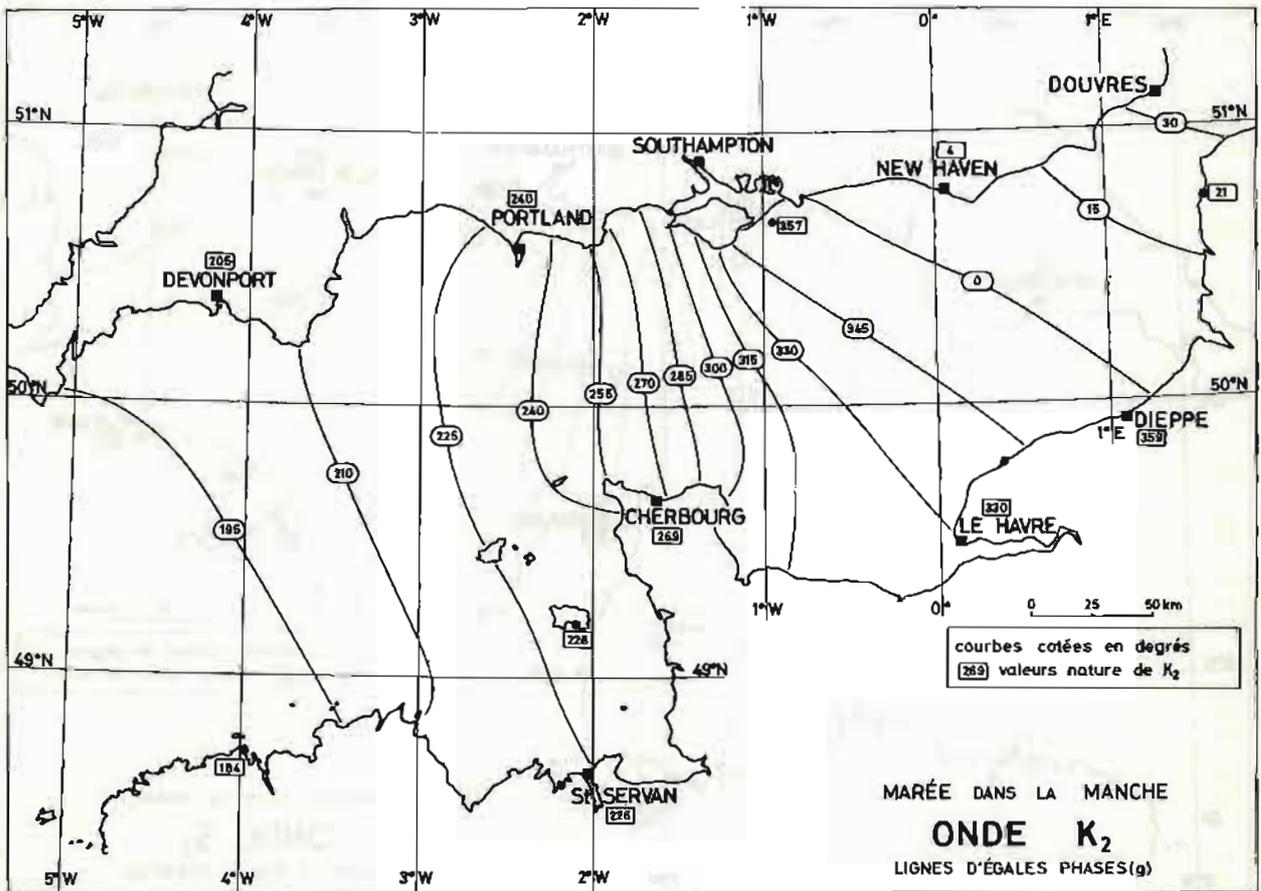
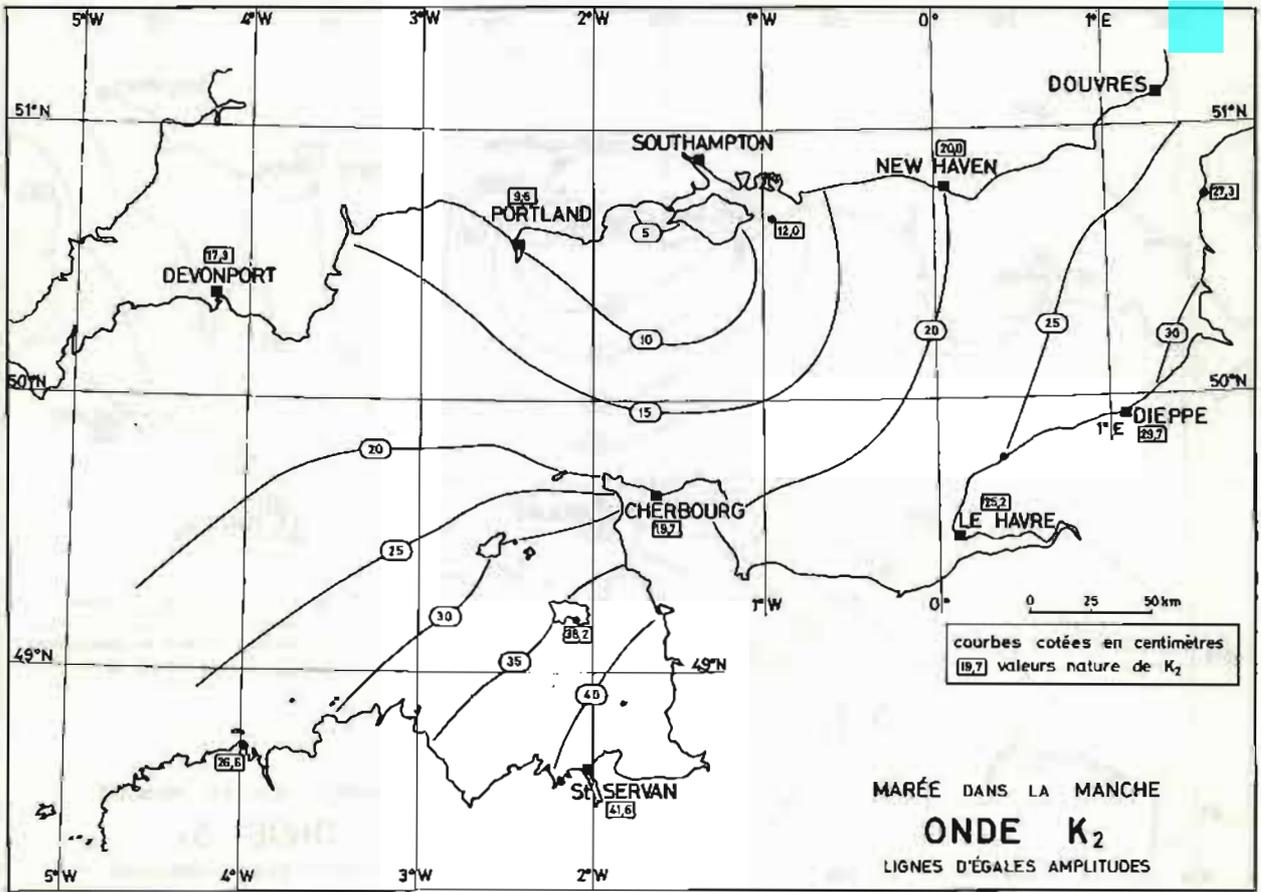


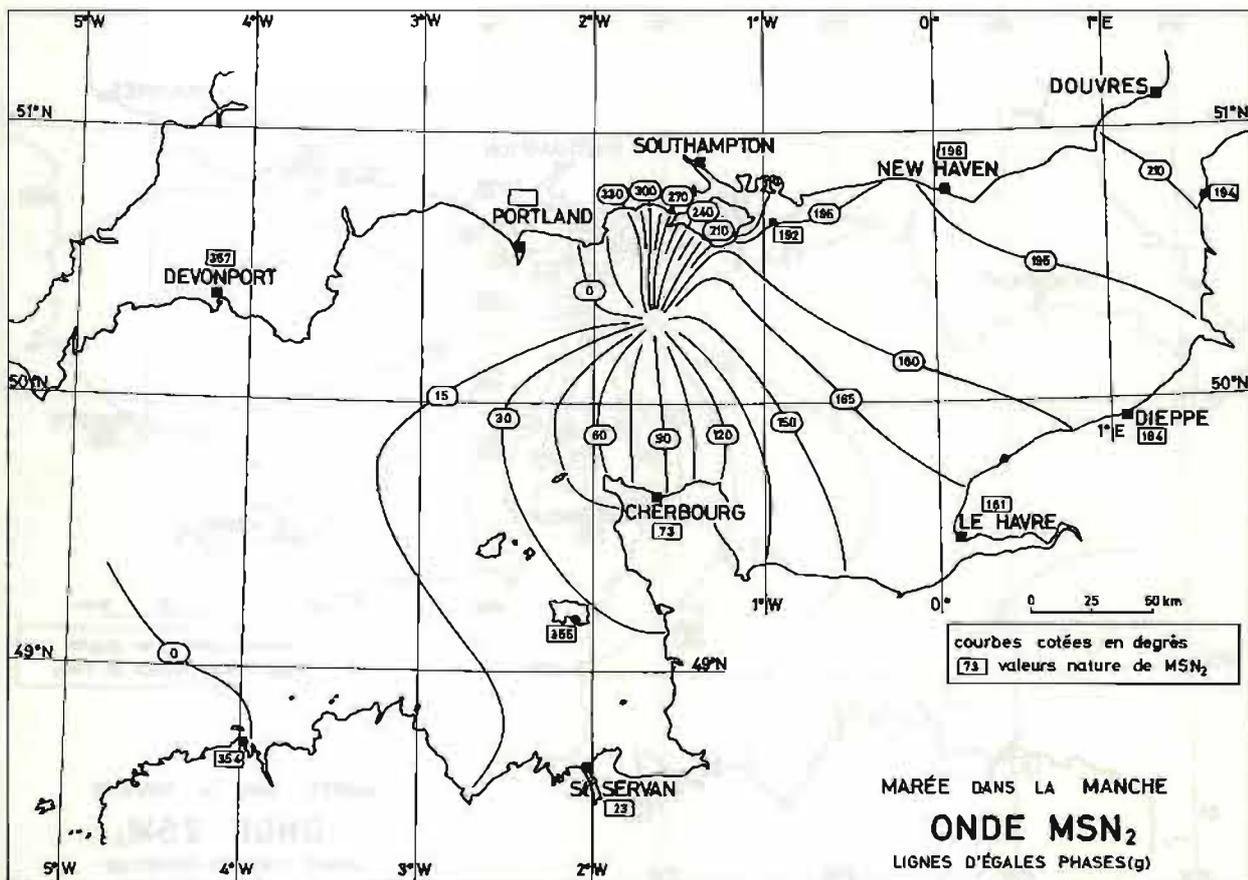
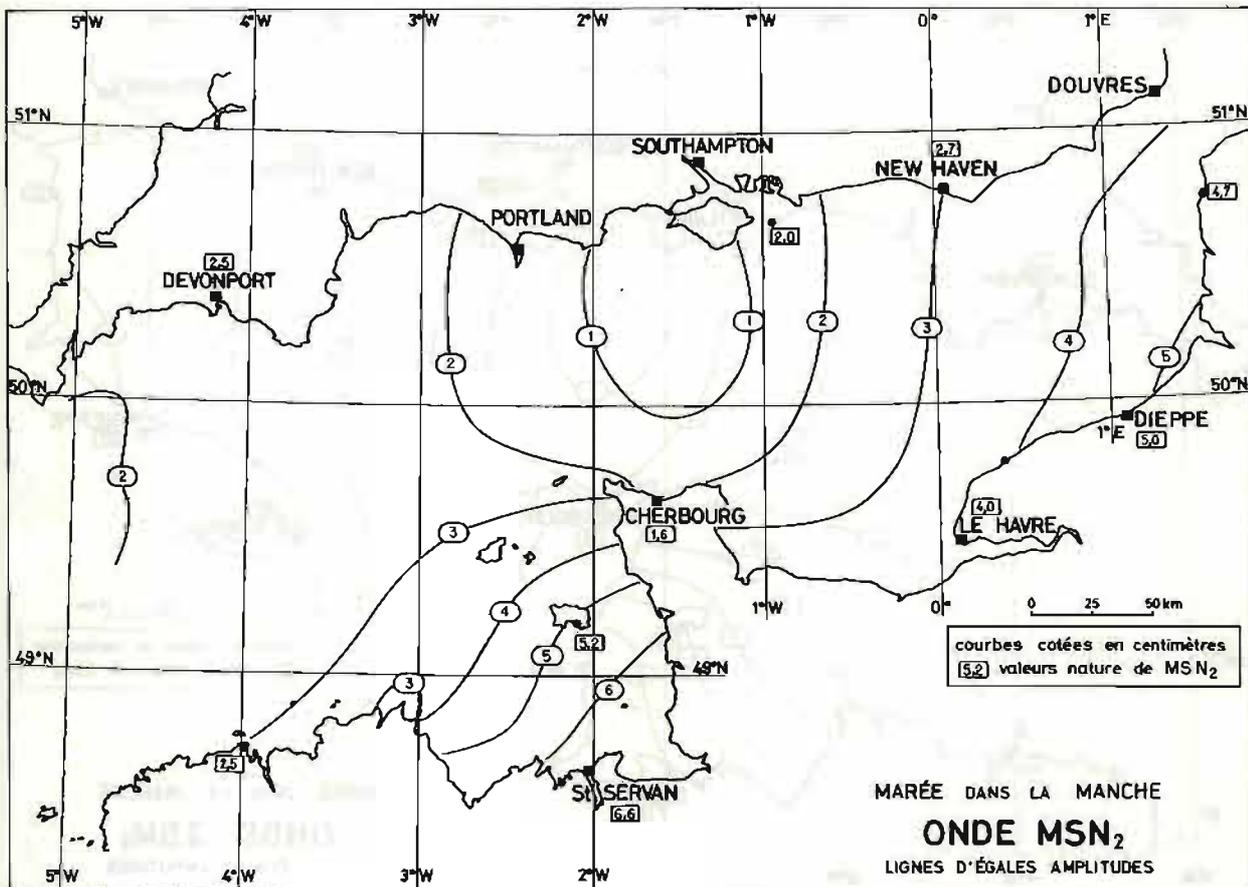


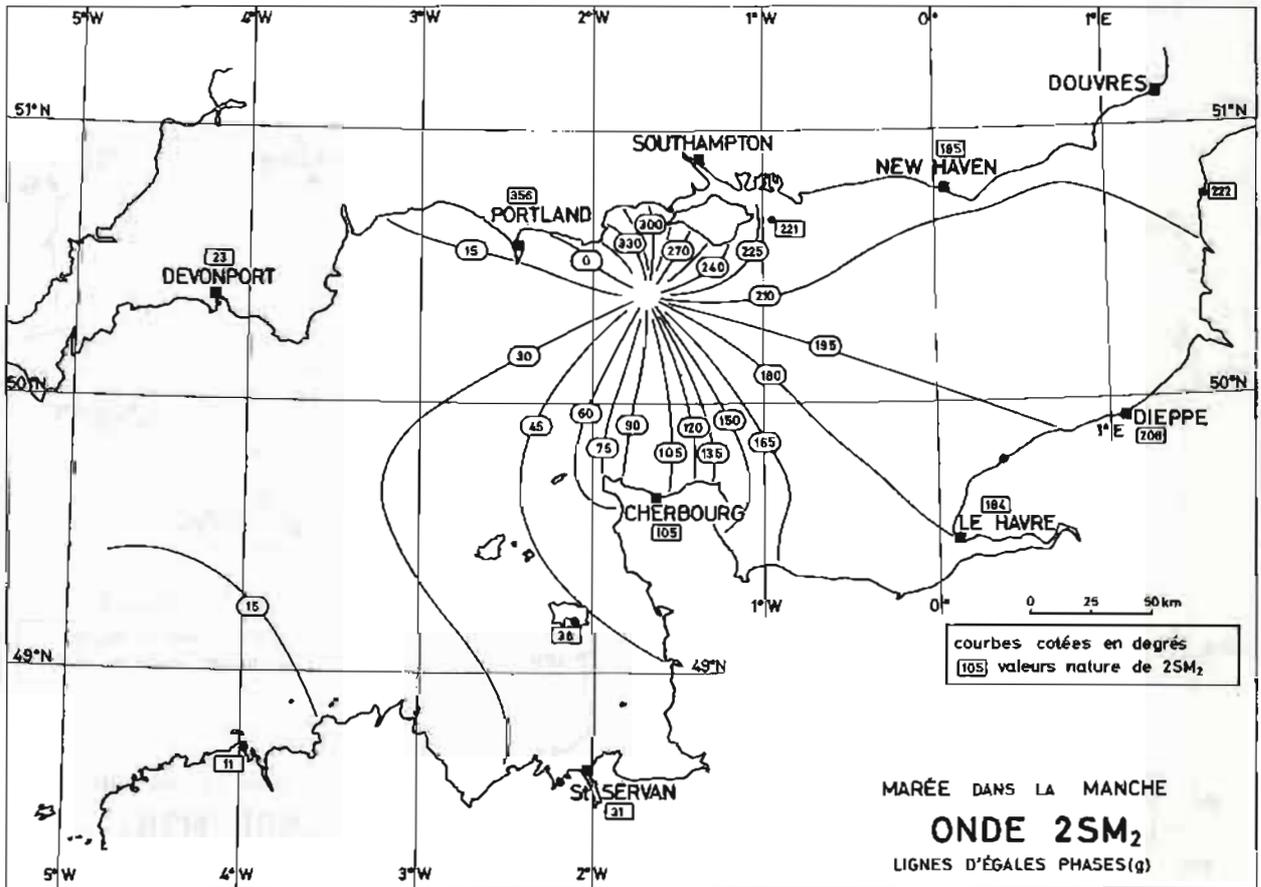
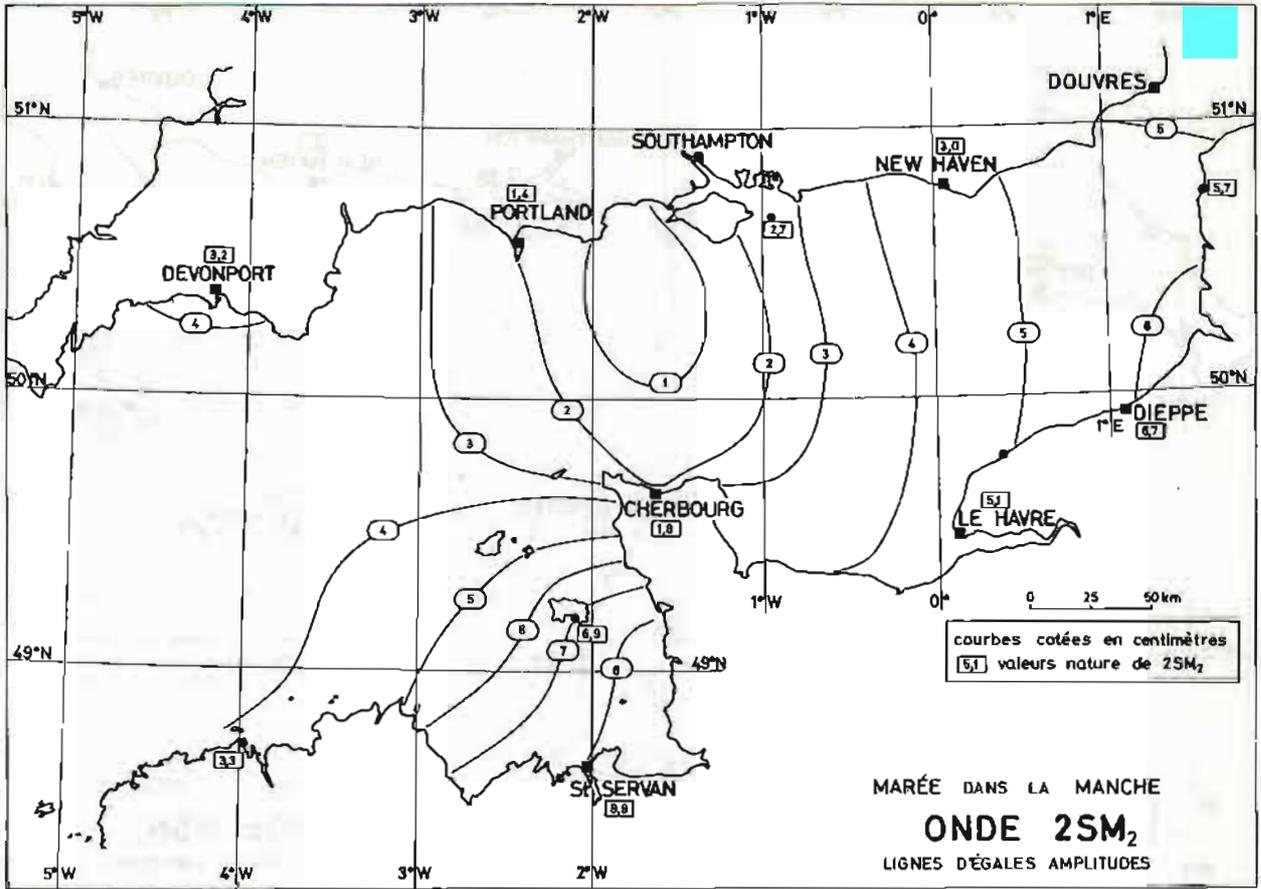


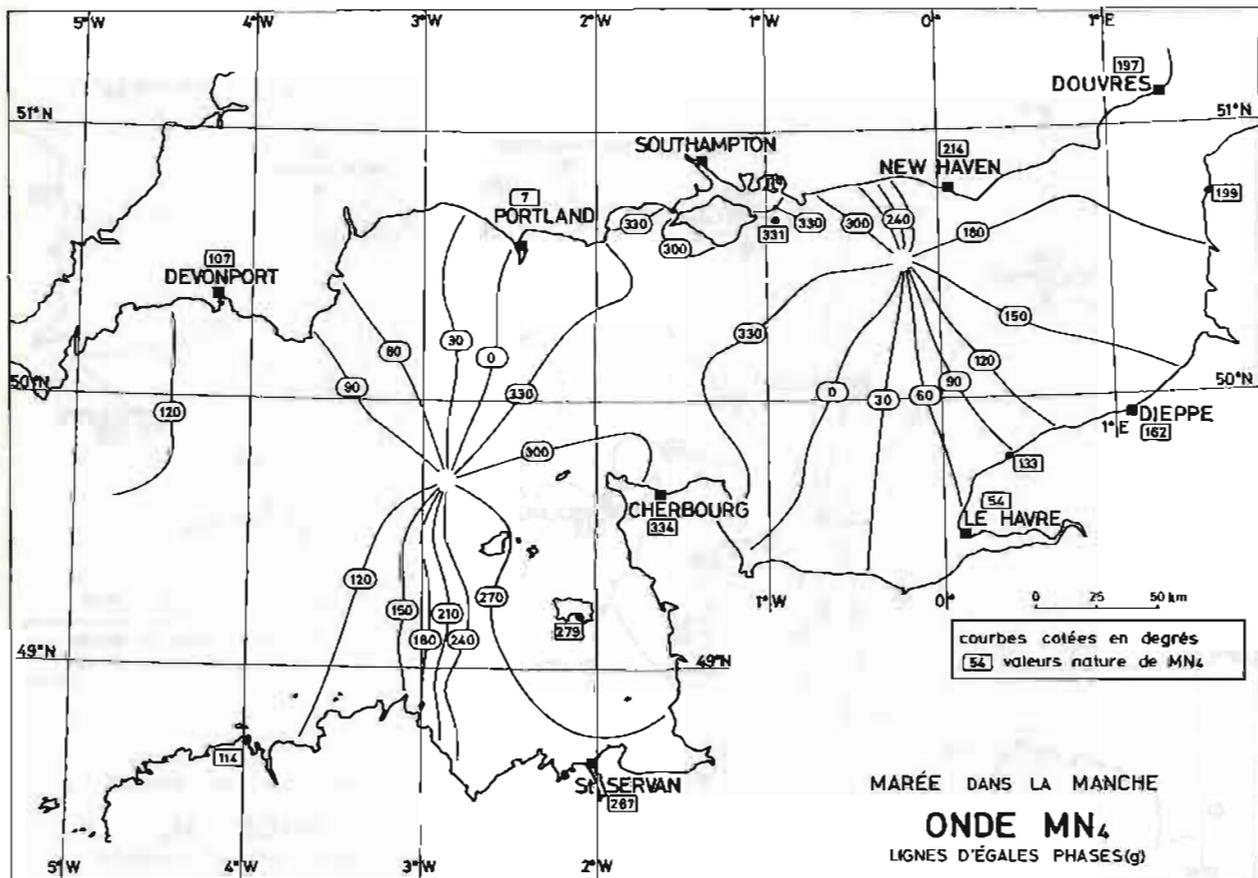
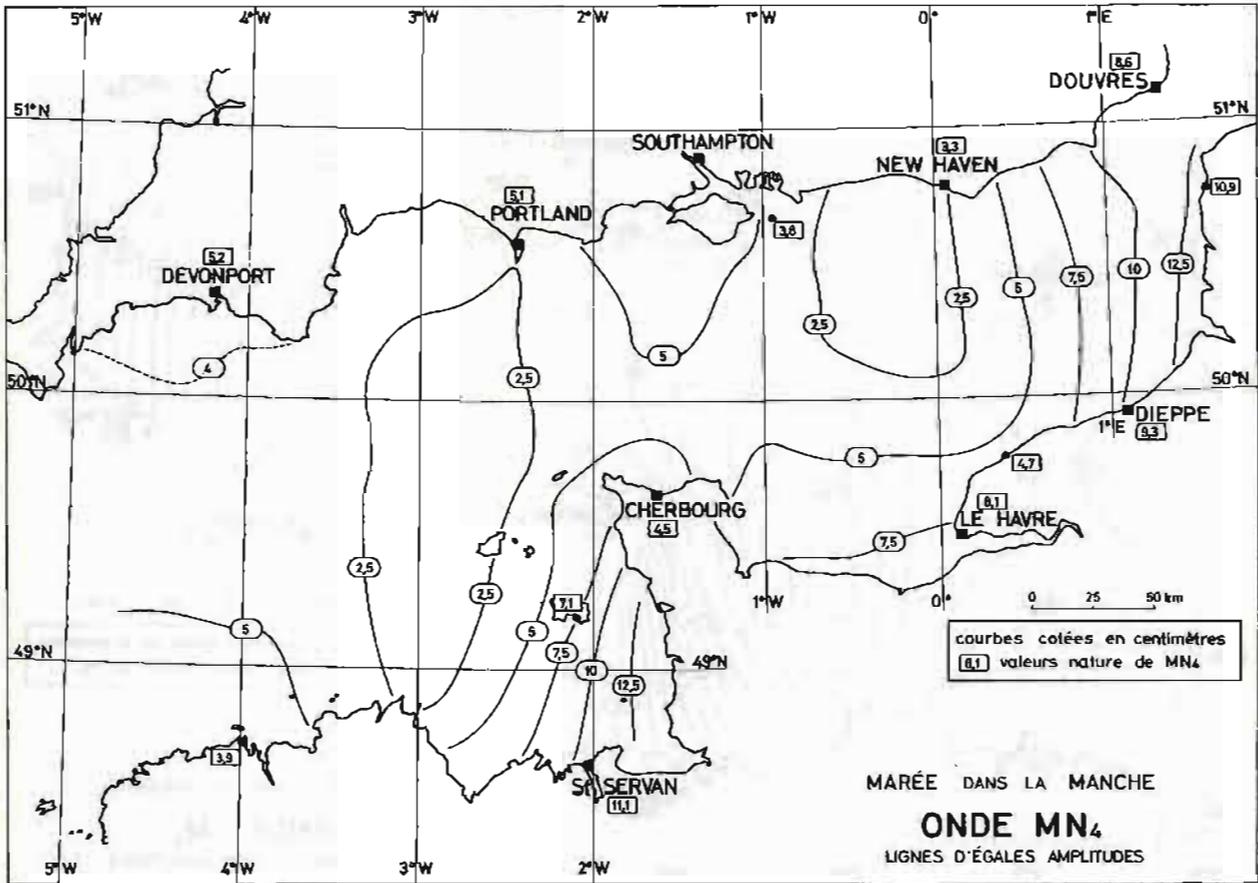


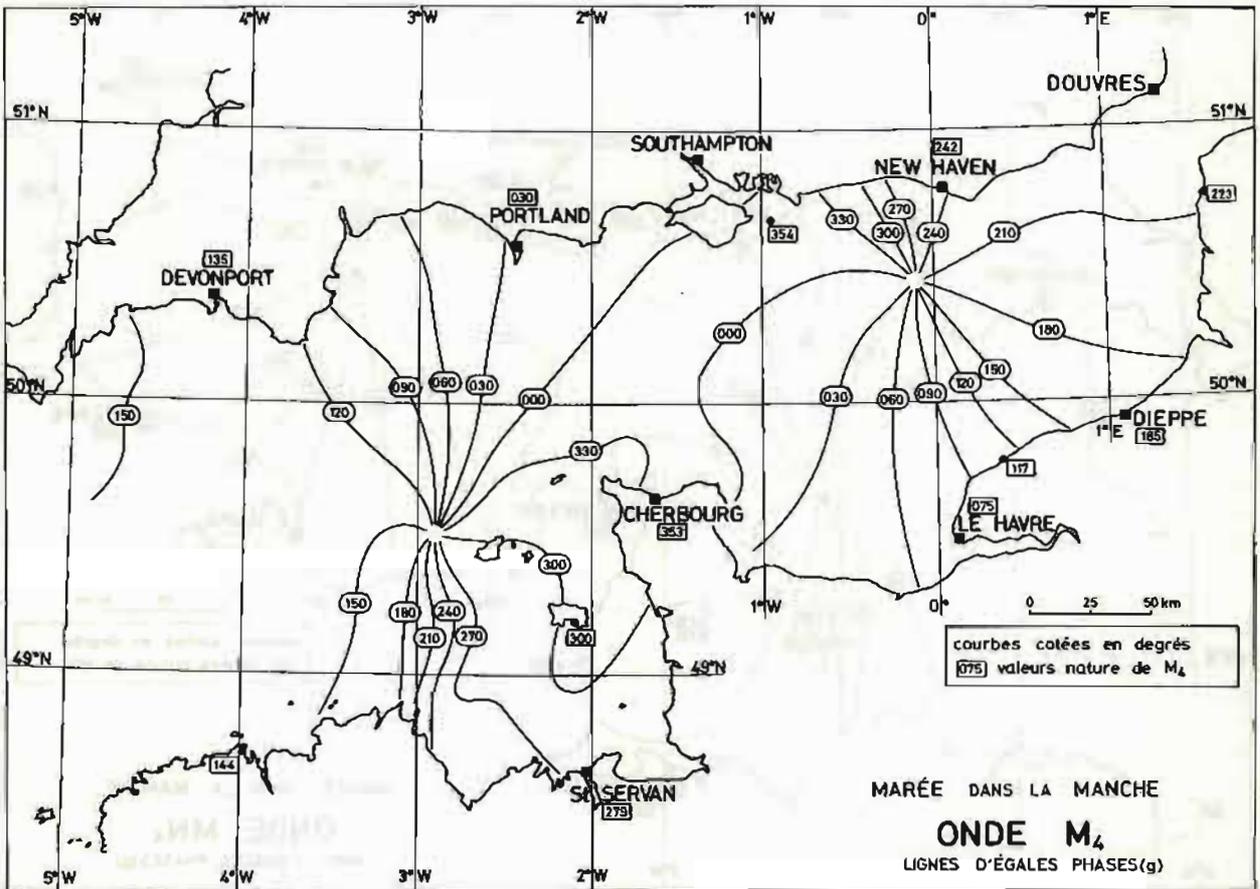
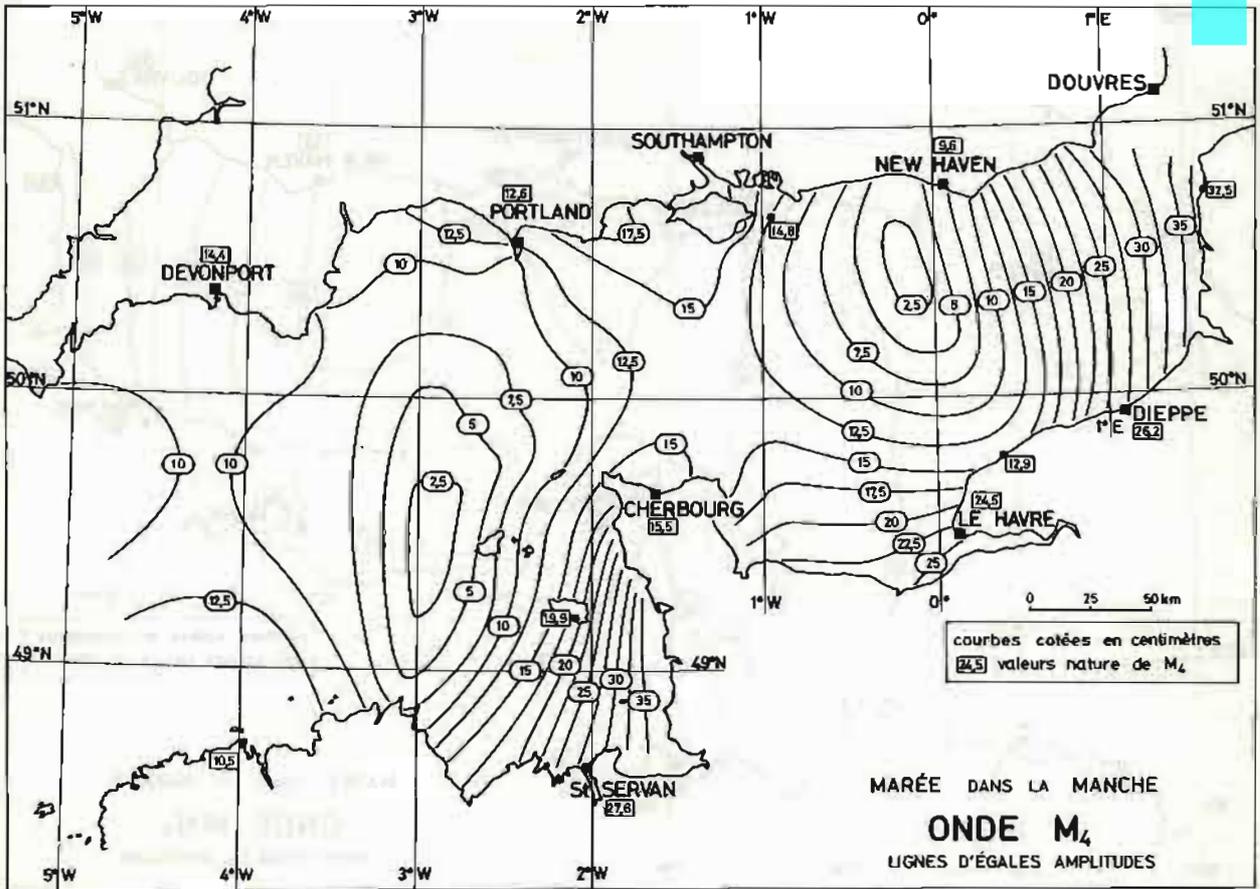


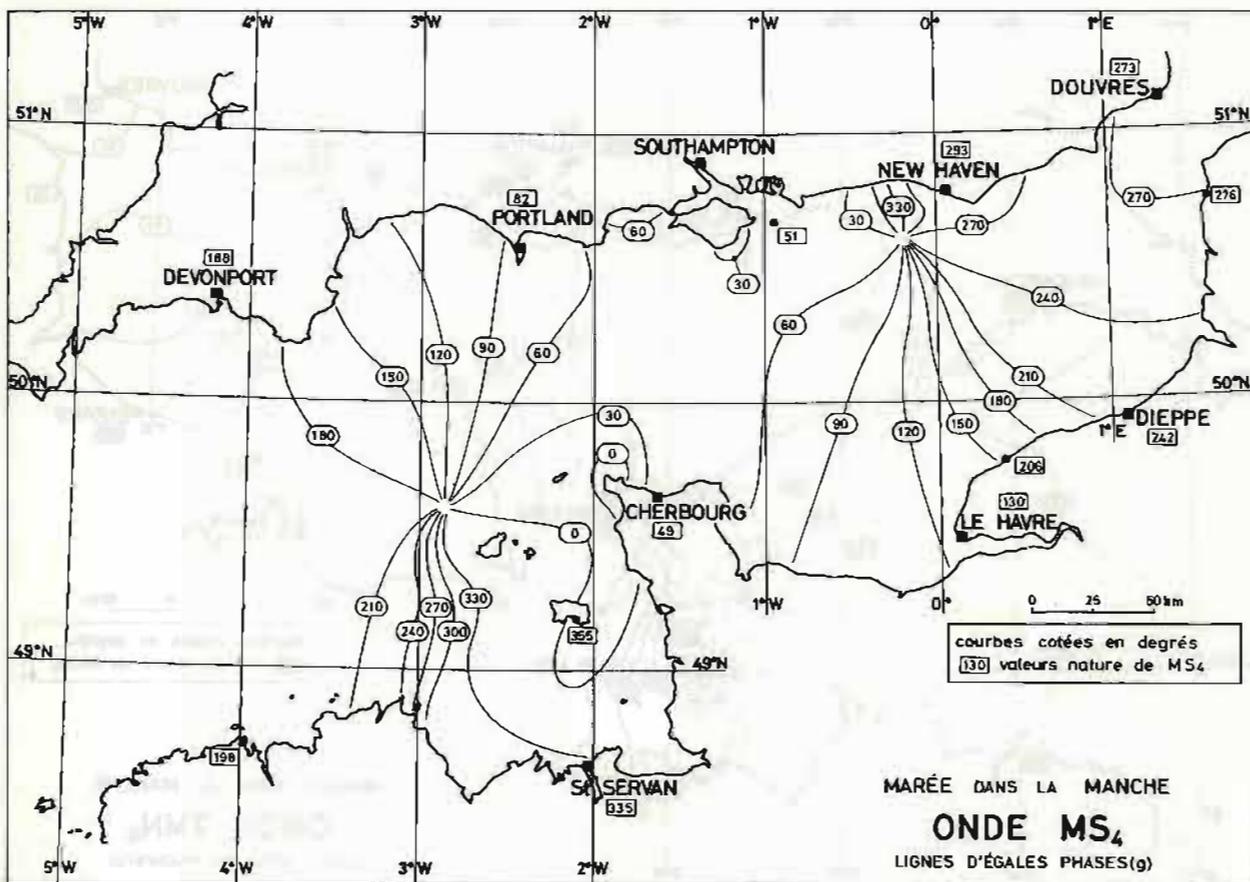
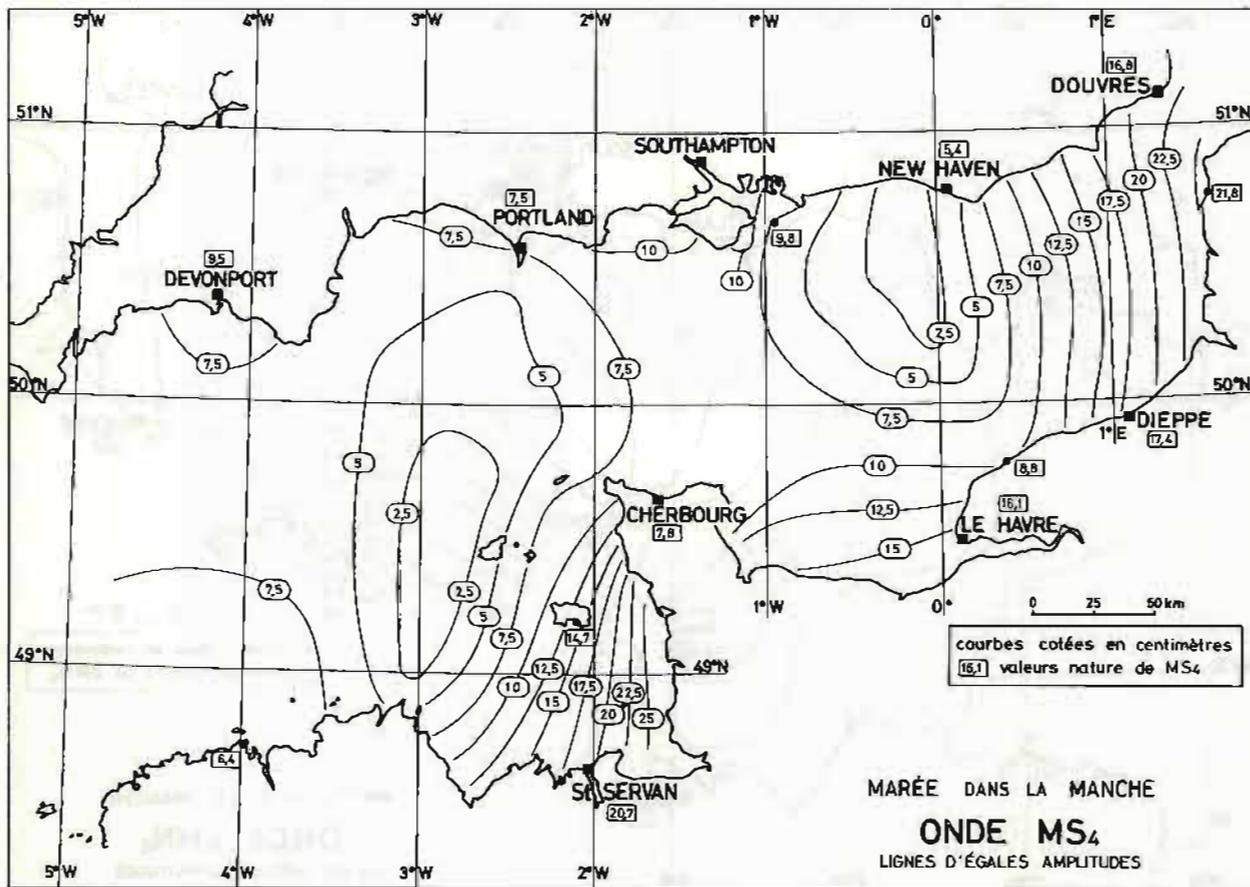


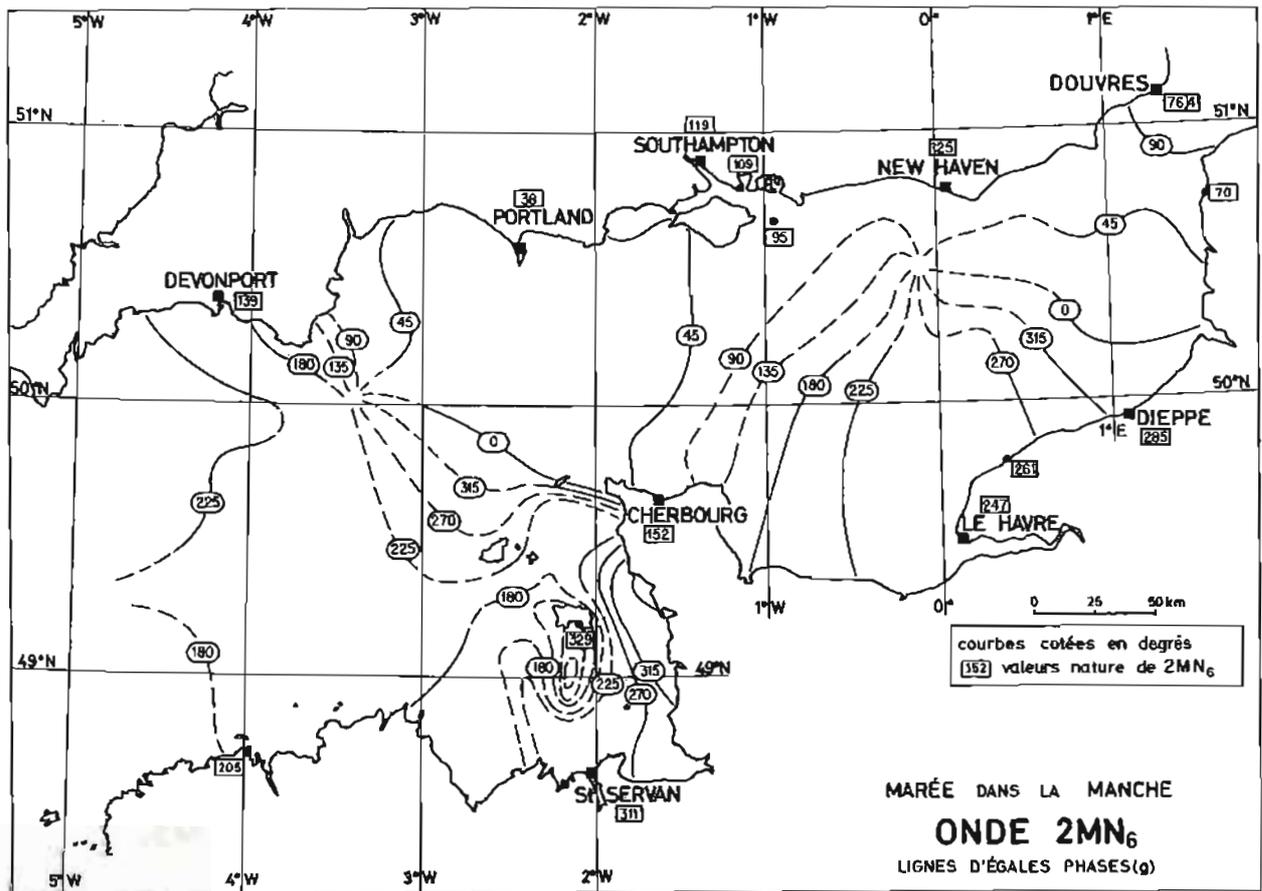
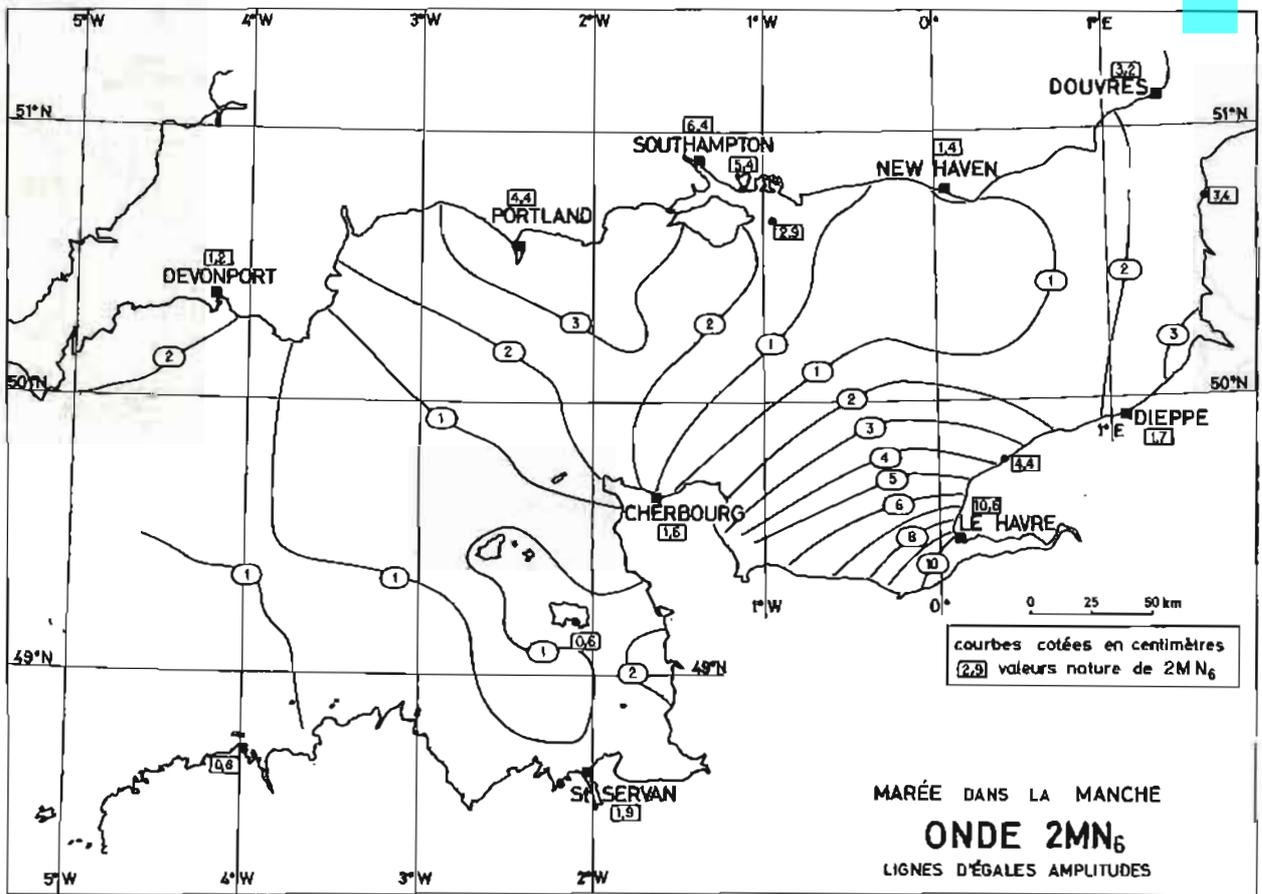


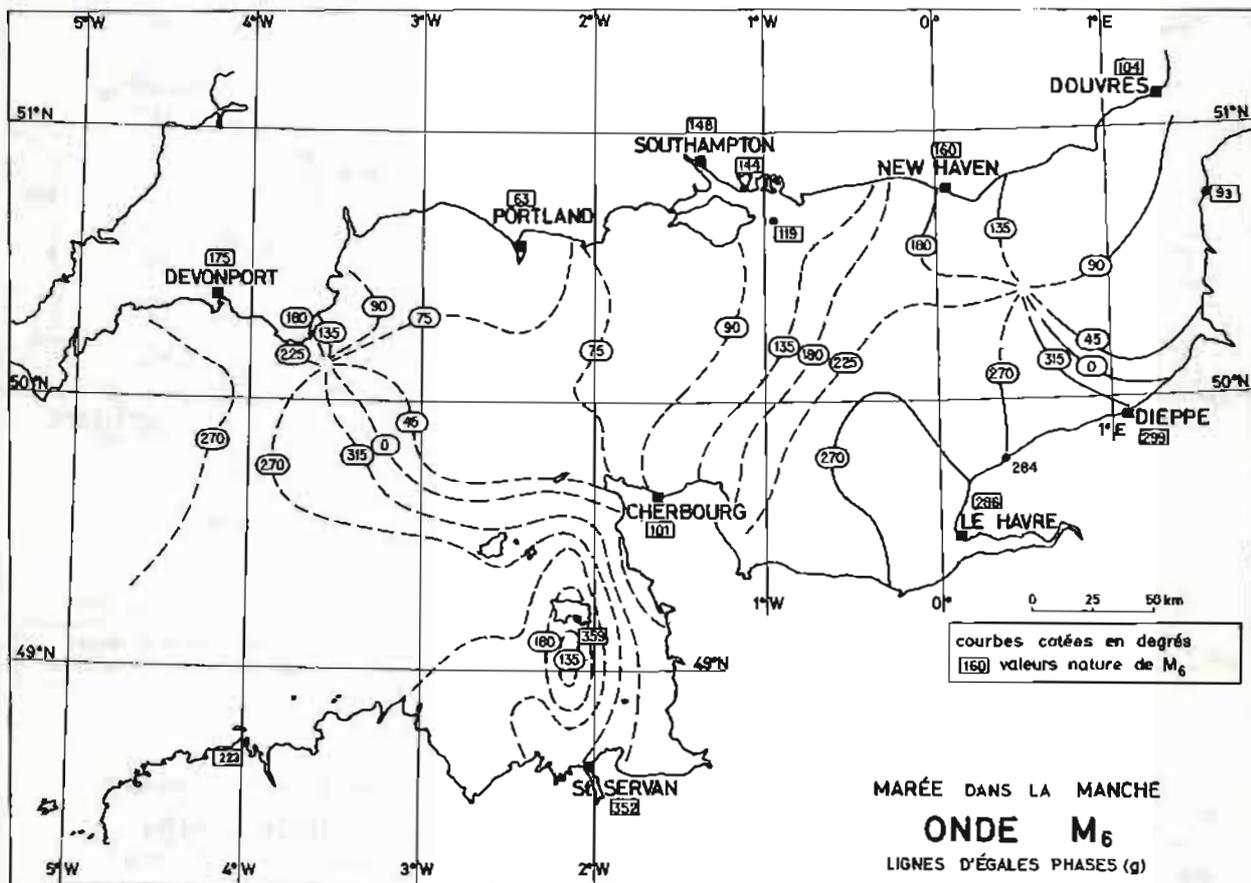
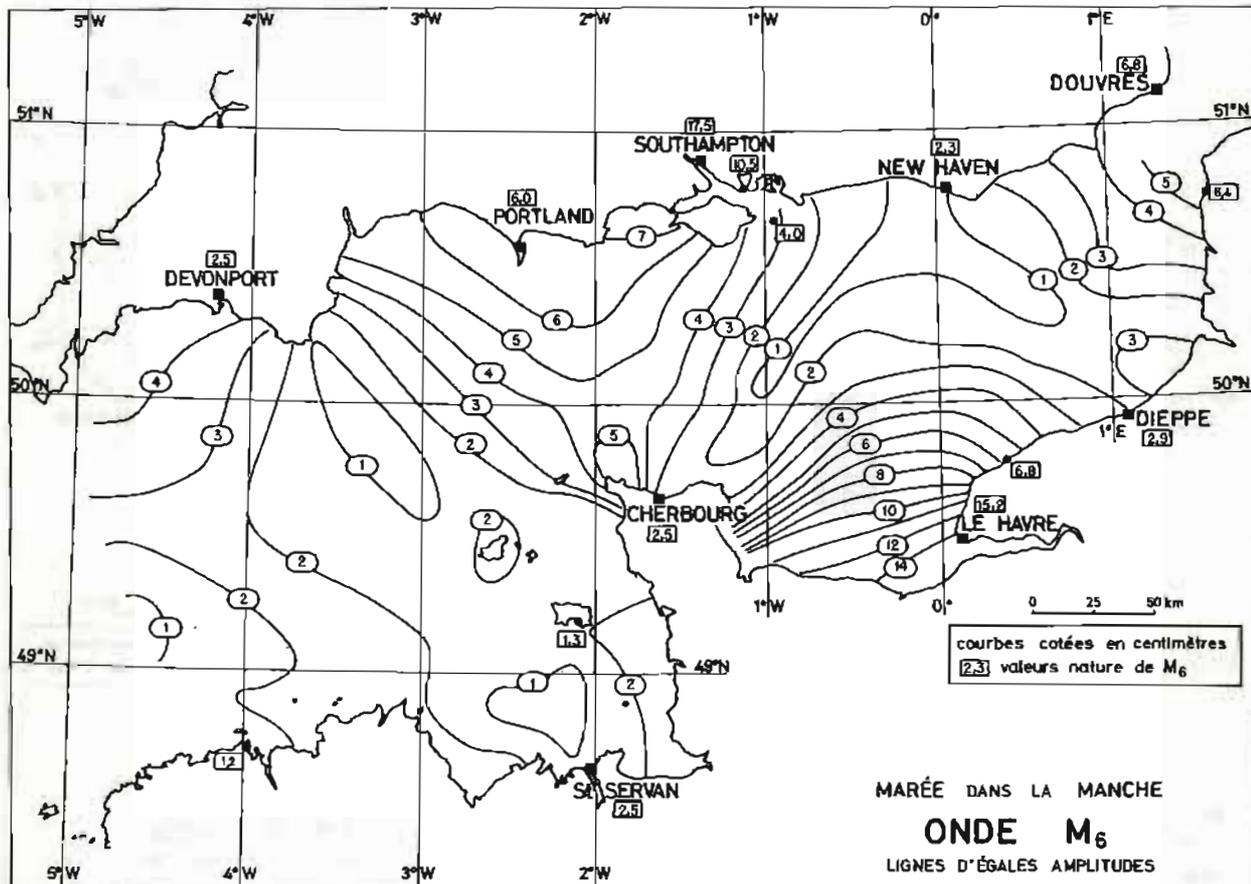


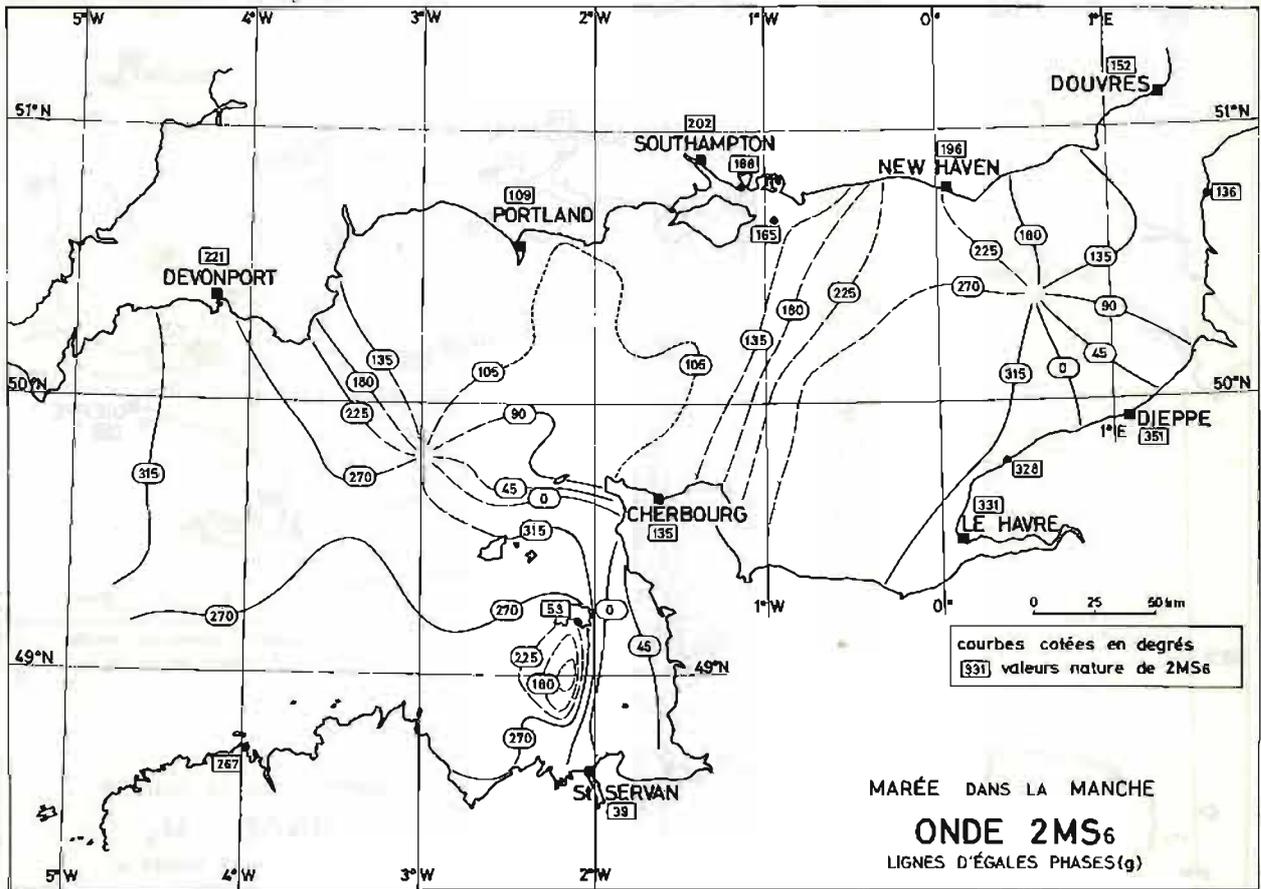
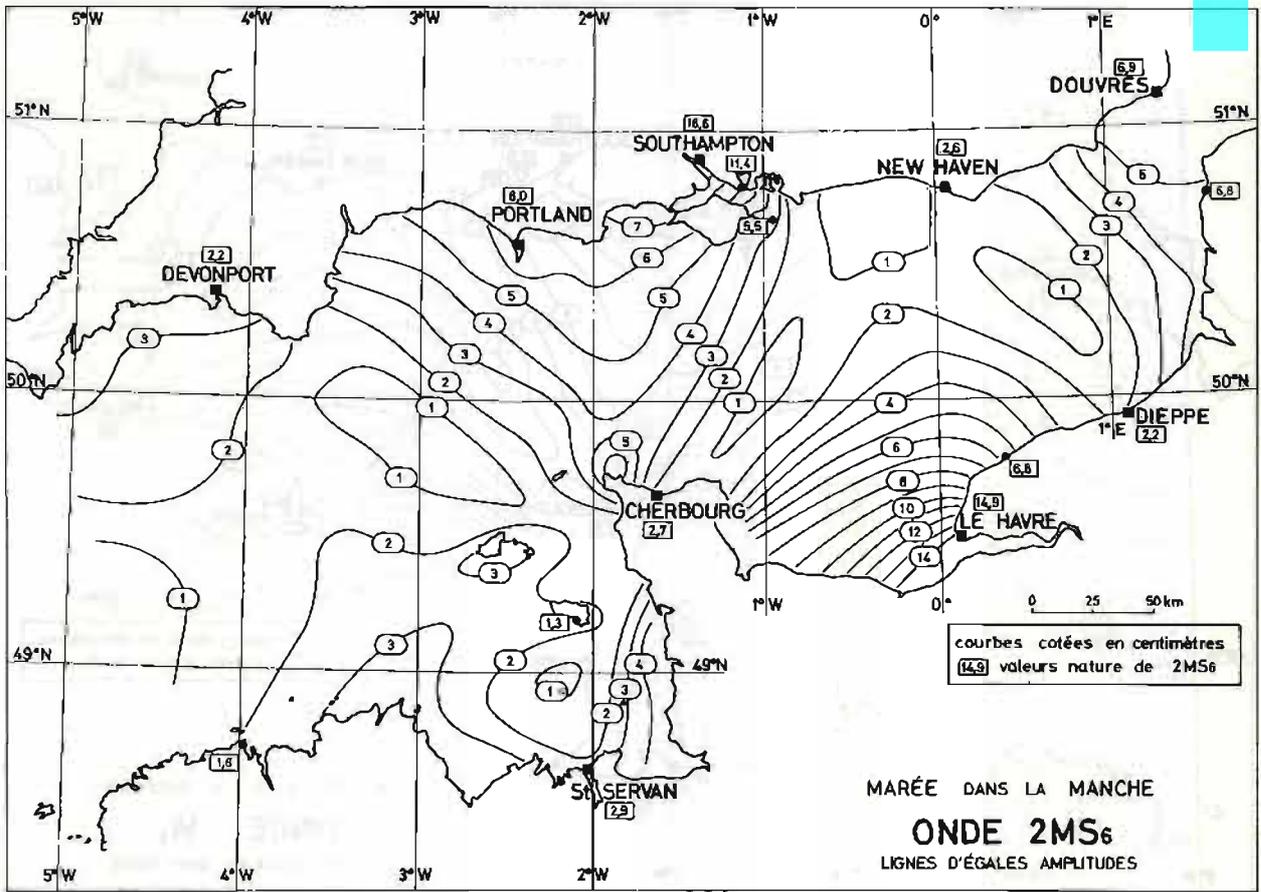












ÉTUDE DE LA VARIATION DE LA MASSE VOLUMIQUE DE L'EAU (EAU PURE ET EAU DE MER) EN FONCTION DE LA COMPOSITION ISOTOPIQUE ET DE LA TENEUR EN GAZ ATMOSPHÉRIQUES DISSOUS

par

M. M. MENACHÉ, M. C. BEAUVERGER

Institut Océanographique, Paris

et

M. G. GIRARD

Bureau International des Poids et Mesures, Sèvres (*)

SOMMAIRE

PRÉAMBULE (M. M. Menaché).

Chapitre I. — *Composition isotopique de l'eau. Son action sur la masse volumique* (M. M. Menaché).

- I.1. Composition isotopique de l'eau.
- I.1.1. Répartition dans la nature des proportions isotopiques de l'eau.
- I.1.2. Eau de mer et étalon d'isotopie.
- I.1.3. Ecart relatifs δ par rapport au SMOW.
- I.1.4. Relation entre δ_{17} , δ_{18} et δ_{16} .
- I.1.5. Deuxième étalon d'isotopie, le SLAP.
- I.2. Relation entre la masse volumique et la composition isotopique de l'eau.
- I.2.1. Relation simplifiée.
- I.2.2. Relation devant assurer une meilleure précision.

Annexe. Quelques données sur le SMOW.

Chapitre II. — *Détermination de la masse volumique de l'eau par la méthode hydrostatique* (M. G. Girard).

- II.1. Introduction.
- II.2. Installation et technique de mesure.
- II.3. Précautions prises lors des mesures.
- II.3.1. Température.
- II.3.2. Pression atmosphérique.
- II.3.3. Choix d'un matériau pour le corps immergé.
- II.3.4. Dégazage de l'eau.
- II.3.5. Revêtement de noir de platine sur le fil de suspension.
- II.4. Détermination expérimentale.
- II.5. Masse volumique de référence et dilatation thermique de l'eau.
- II.5.1. Valeur absolue de la masse volumique du SMOW.
- II.5.2. Table de dilatation thermique de l'eau.
- II.5.3. Table de dilatation du SMOW.
- II.6. Calcul de la masse volumique et résultats.
- II.6.1. Volume du corps immergé.
- II.6.2. Correction de température et de compressibilité de l'eau.
- II.6.3. Correction pour les gaz dissous.
- II.6.4. Vérification de la formule (I.28).

II.6.5. Résultats.

II.7. Conclusion.

Chapitre III. — *Analyse par chromatographie en phase gazeuse des gaz atmosphériques dissous dans l'eau (eau pure et eau de mer)* (M. C. Beauverger).

- III.1. Technique d'analyse par chromatographie en phase gazeuse : principe et terminologie.
- III.2. Application à l'analyse des gaz atmosphériques dissous dans un échantillon d'eau (eau pure et eau de mer).
- III.2.1. Appareillage.
- III.2.2. Schéma de montage.
- III.2.3. Fonctionnement de l'installation chromatographique.
- III.3. Solubilité des principaux gaz atmosphériques dans l'eau de mer.
- III.3.1. Définitions.
- III.3.2. Calcul de la solubilité.
- III.4. Schéma d'une analyse chromatographique des gaz atmosphériques en solution dans l'eau de mer.
- III.4.1. Dosage de N_2 , O_2 et Ar.
- III.4.2. Dosage du CO_2 .
- III.5. Application : vitesses comparées de dissolution dans l'eau des principaux gaz atmosphériques.
- III.5.1. Objet de l'étude.
- III.5.2. Conditions du déroulement de l'expérience.
- III.5.3. Relation entre les teneurs en azote et en oxygène atmosphériques dissous d'un échantillon d'eau pure non saturée.
- III.5.4. Accroissement en fonction du temps des teneurs en azote et en oxygène atmosphériques d'un échantillon d'eau pure, préalablement dégazé, exposé à l'air sans agitation.

BIBLIOGRAPHIE.

Table 1 : Table de la masse volumique du SMOW.

Table 2 : Table donnant la valeur de ρ_{16}/ρ_{18} .

Table 3 : Table donnant la valeur de ρ_{16}/ρ_D .

(*) Manuscrit reçu en juin 1978.

RÉSUMÉ

La connaissance de la masse volumique de l'eau de mer, à une exactitude de l'ordre de 1×10^{-6} , est indispensable dans de nombreux domaines des sciences physiques de l'Océan et, en premier lieu, en océanographie dynamique.

Les travaux dont il est rendu compte ont eu pour objectif d'améliorer cette connaissance par l'étude, négligée jusqu'alors, de l'influence sur cette grandeur, de deux facteurs : la composition isotopique et la teneur en gaz atmosphériques dissous.

La méthode de la pesée hydrostatique, utilisée dans ce travail pour la détermination de la masse volumique d'échantillons d'eau, ne permettait pas de protéger ces échantillons, d'une façon suffisante, de l'effet de l'évaporation. Elle ne pouvait donc s'appliquer directement à l'eau de mer, l'influence de chacun des deux facteurs, qu'il s'agissait de déterminer, étant limitée à quelques unités de la sixième décimale.

Les mesures ont donc été faites sur l'eau pure, les résultats ainsi obtenus étant directement applicables à l'eau de mer. Elles ont permis, du même coup, une amélioration égale de la connaissance de la masse volumique de l'eau pure, grandeur métrologique de très grande importance.

Un exposé détaillé est présenté sur les caractéristiques isotopiques des eaux naturelles, eaux pures et eaux de mer, et une relation est proposée pour le calcul de la différence de masse volumique de deux échantillons d'eau en fonction de leurs différences de teneur en Oxygène-18 et Deutérium.

La méthode et le matériel de pesée hydrostatique utilisés pour la vérification expérimentale de cette relation sont présentés en détail, de même que le mode de calcul auquel il a été fait appel et les normes adoptées à la base de ce calcul. La relation a été correctement confirmée par l'expérience.

Les travaux préliminaires à l'étude expérimentale des gaz atmosphériques dissous sont très avancés.

La technique d'analyse de ces gaz par chromatographie en phase gazeuse utilisée dans ce travail est exposée en détail. Elle a été appliquée à l'étude de la vitesse comparée de dissolution de l'oxygène et de l'azote atmosphériques dans un cylindre d'eau pure préalablement dégazée exposé sans agitation au contact de l'atmosphère.

Il a été établi qu'à tout instant, au cours de la dissolution, les taux de solubilité (rapport de la teneur en un gaz donné à la solubilité de ce gaz correspondant aux conditions de l'expérience) de l'oxygène et de l'azote dans l'eau étaient égales. Il est ainsi possible, quand la saturation n'est pas atteinte, de se contenter de titrer l'oxygène dissous par la méthode de Winkler et d'en déduire, sans autre analyse, la teneur en azote dissous. Cette propriété simplifie considérablement l'étude expérimentale de l'influence sur la masse volumique de l'eau, des deux principaux gaz atmosphériques qui y sont dissous.

ABSTRACT

A knowledge of the absolute density of sea water with an accuracy of an order of 1×10^{-6} is essential in many fields of the Physical Sciences of the Ocean and particularly in dynamical oceanography.

The aim of the study reported here is precisely to increase this knowledge by examining the influence, neglected until now, on this quantity, of two parameters : isotopic composition and the content of atmospheric gases.

The hydrostatic weighing method, used in this work to determine the absolute density of water samples, could not prevent these samples from being affected by evaporation; it cannot then be directly applied to sea water, the influence of each of these two parameters, to be determined, being limited to a few units of the sixth decimal place.

Measurements have therefore been made on pure water, the results obtained being applicable directly to sea water. These measurements moreover have increased at the same time our knowledge of pure water density, a very important metrological quantity.

A detailed account is presented of the isotopic characteristics of natural waters, pure and sea waters, and a relationship is proposed for calculating the absolute density difference of two water samples in terms of their differences in Oxygen-18 and Deuterium content.

The hydrostatic weighing method and materials used to verify experimentally this relationship are given in detail, as well as the type of calculation used and the standard values adopted for this calculation. The relationship has been properly confirmed by the experiments.

Preliminary work on the experimental study of dissolved atmospheric gases is well advanced.

The gas-solid chromatography technique used in this work for the analysis of these gases is stated in detail. This technique has been applied to the study of the comparative dissolution rate of atmospheric oxygen and nitrogen in a pure water cylinder previously degassed and exposed without disturbance to contact with the atmosphere.

It has been established that at any time during dissolution, the solubility ratio (ratio of a given gas content to the solubility of this gas corresponding to the experimental conditions) of oxygen and nitrogen in the water remain equal. It became then possible, when saturation is not reached, to merely carry out a dissolved oxygen titration by the Winkler method and to deduce, without further analysis, the dissolved nitrogen content.

This property simplifies considerably the experimental study of the influence of these two main atmospheric dissolved gases on the absolute density of the water.

PRÉAMBULE

(M. M. Menaché)

La masse volumique de l'eau de mer est l'une des grandeurs fondamentales dont la connaissance aussi exacte que possible, et au moins à 1×10^{-6} près, est indispensable dans l'immense majorité des problèmes qui se posent dans les Sciences Physiques de l'Océan et, en tout premier lieu, dans la Dynamique Marine. Son gradient vertical détermine

le degré de stabilité de l'eau océanique en un lieu et à une profondeur donnés. Le champ des masses volumiques dans les trois dimensions d'une zone océanique permet, en particulier, la détermination indirecte en grandeur, en direction, et à toutes profondeurs, des courants dont cette zone est le siège.

L'étude dont il va être rendu compte a pour objec-

tif une connaissance améliorée de la masse volumique de l'eau de mer par l'étude, négligée jusque là, de deux facteurs : la composition isotopique et la teneur en gaz atmosphériques dissous.

L'étude directe sur l'eau de mer de ces deux paramètres serait extrêmement difficile à réussir, leur action sur la masse volumique étant limitée, pour chacun d'eux, à quelques unités de la sixième décimale. Les observations devront ainsi se faire à mieux que 1×10^{-6} , et à l'abri du moindre risque d'évaporation.

Par contre, cette étude pourrait plus aisément se faire sur l'eau pure, et les résultats obtenus seraient directement applicables à l'eau de mer.

Le travail entrepris dans cette direction par notre équipe de recherche avait pour autre objectif une amélioration parallèle de la connaissance de la masse volumique de l'eau pure, avec les importantes conséquences suivantes :

1) Les déterminations de masse volumique de l'eau de mer se font par référence à l'eau pure, et toute amélioration de l'exactitude des données sur la masse volumique de l'eau pure entraîne automatiquement une égale amélioration de l'exactitude des données sur la masse volumique de l'eau de mer.

2) L'eau pure est un liquide métrologique très important, utilisé comme liquide de référence dans les déterminations d'un grand nombre de grandeurs physiques et, notamment, pour les mesures précises de volume. Elle est, en particulier, utilisée pour la mesure du volume des prototypes de masse, dont la connaissance est nécessaire au calcul de la poussée de l'air dans les comparaisons de masses.

Ceci explique que l'étude sur l'eau pure des deux paramètres mentionnés intéressait autant la Métrologie que l'Océanographie, et que le travail accompli ait été effectué en étroite collaboration entre le Bureau International des Poids et Mesures (B.I.P.M.) et l'Institut Océanographique.

Ce travail a commencé en 1965 par l'étude de l'influence de la composition isotopique de l'eau pure sur sa masse volumique. Aucun travail n'ayant jamais été entrepris sur cette question, nous avons dû partir de zéro et établir, au début, une formule qu'il s'est agi, ensuite, de confronter à l'expérience. Les déterminations de masse volumique ont été effectuées par la méthode de la pesée hydrostatique, par G. Girard, au Bureau International des Poids et Mesures. Tout au long des travaux, l'installation de la salle des balances du B.I.P.M. et la technique de mesure mise en œuvre, ont été constamment améliorées, la précision atteinte aujourd'hui étant de l'ordre de $0,2 \times 10^{-6}$, soit $0,2 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$.

Cette étude, qui s'est poursuivie jusqu'en 1975, a permis d'établir une relation entre la composition isotopique d'un échantillon d'eau et sa masse volumique, valable dans un large intervalle de température (au moins entre 0 et 30 °C).

L'influence des gaz atmosphériques dissous sur la masse volumique de l'eau pure avait fait l'objet,

à la fin du siècle dernier, de travaux à caractère préliminaire effectués par Marek (1891) et dont les résultats, en attendant mieux, sont utilisés comme première approximation. L'eau saturée en gaz atmosphériques dissous est trouvée plus légère que la même eau totalement débarrassée de ces gaz, la différence étant de l'ordre de $3 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$ de 0 à 14 °C, puis diminuant pour s'annuler à partir de 20 °C.

Chappuis (1910) a procédé à des mesures de contrôle sur les valeurs de Marek. La différence de masse volumique correspondant aux deux conditions extrêmes, observée entre 5 et 8 °C, est trouvée égale à $3,0 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$.

Nous devons, malheureusement, faire aux observations de Marek les reproches suivants :

1) Ces observations se réfèrent à des conditions d'absence d'air et de saturation certainement éloignées de la réalité. Les valeurs trouvées par Marek sont ainsi trop faibles ce qui, d'ailleurs, a été confirmé par de récentes observations préliminaires de G. Girard (résultats non publiés).

2) Les observations sont limitées aux seules conditions extrêmes et c'est bien dommage; des observations, qui auraient été faites en des points intermédiaires, auraient permis d'améliorer sensiblement les résultats obtenus.

Nos travaux sur l'influence des gaz dissous n'ont pu vraiment commencer que récemment, lorsque ceux concernant la composition isotopique étaient sur le point de s'achever. Ils se sont limités à la mise au point des techniques de mesure, qui devront être mises en œuvre lors des mesures à caractère définitif.

La méthode d'observation choisie consiste à effectuer des mesures simultanées de masse volumique et de teneur en gaz dissous sur un échantillon d'eau fortement dégazé au départ, et dont la teneur en gaz est progressivement augmentée, jusqu'au voisinage de la saturation.

La masse volumique est déterminée par la méthode de la pesée hydrostatique, déjà utilisée pour l'étude du facteur isotopie, et qui a déjà atteint un haut degré de précision.

Une méthode de dosage de l'oxygène et de l'azote atmosphériques dissous, par chromatographie en phase gazeuse, a été mise au point par C. Beauverger. Elle a permis d'entreprendre, dans de bonnes conditions, les études préliminaires indispensables : vitesse de dissolution de ces deux gaz dans une eau pure immobile, préalablement dégazée, relation entre les teneurs en oxygène et en azote au cours de leur dissolution dans l'eau. Une telle relation a été établie, ce qui a permis par la suite de limiter les analyses au seul oxygène dissous.

Bien que l'ensemble des travaux entrepris et des résultats obtenus dans le cadre de cette étude soit l'œuvre collective de l'équipe de recherche, chacun de nous rendra compte, sous sa signature,

de la partie du programme de travail dont il a assumé la responsabilité.

C'est ainsi que G. Girard rendra compte des travaux de détermination de masse volumique, de la technique mise en œuvre par ses soins de la pesée hydrostatique, et des résultats obtenus.

C. Beauverger rendra compte, de son côté, de la technique d'analyse des gaz atmosphériques dissous, développée par ses soins, ainsi que des travaux préliminaires indispensables : vitesses comparées de dissolution de l'azote et de l'oxygène atmosphériques dans l'eau; relation entre les teneurs

de ces deux gaz au cours de cette dissolution.

M. Menaché, enfin, traitera de la composition isotopique de l'eau et de la relation qu'il a établie entre ce paramètre et la masse volumique.

Ces travaux ont bénéficié, au départ, du soutien financier du Centre National pour l'Exploitation des Océans (C.N.E.X.O.), puis, successivement, de ceux du Centre National de la Recherche Scientifique (C.N.R.S.) et de la Direction des Recherches et Moyens d'Essais (D.R.M.E.) de la Marine Nationale. L'équipe de recherche présente à ces organismes l'expression de sa profonde gratitude.

CHAPITRE PREMIER

COMPOSITION ISOTOPIQUE DE L'EAU. SON ACTION SUR LA MASSE VOLUMIQUE

(M. M. Menaché)

1.1. COMPOSITION ISOTOPIQUE DE L'EAU

L'eau contient en proportions non négligeables et légèrement variables d'un échantillon à un autre :

a) 2 isotopes stables de l'hydrogène, le protium ou hydrogène léger, ^1H , le plus abondant, de masse atomique relative voisine de 1, et le deutérium, ^2H ou D, de masse atomique relative voisine de 2;

b) 3 isotopes de l'oxygène, ^{16}O , le plus abondant, ^{17}O et ^{18}O , ayant des masses atomiques relatives voisines de 16, 17 et 18.

Un troisième isotope de l'hydrogène, le tritium, ^3H ou T, de masse atomique relative voisine de 3, et quelques autres isotopes de l'oxygène, tous radioactifs, existent dans la nature à l'état de traces et n'ont pas d'influence mesurable sur la masse volumique de l'eau. Le plus abondant est le tritium dont la teneur dans les eaux naturelles est aujourd'hui de 1×10^{-17} à 1×10^{-16} .

$[\text{H}]$, $[\text{D}]$, $[\text{O}^{16}]$, $[\text{O}^{17}]$, $[\text{O}^{18}]$ désignant les concentrations (quantité de matière divisée par le volume) des différents nucléides dans un échantillon donné d'eau, la composition isotopique de cet échantillon peut être définie soit par les valeurs des « rapports isotopiques » :

$$r_{18} = [\text{O}^{18}]/[\text{O}^{16}] ; r_{17} = [\text{O}^{17}]/[\text{O}^{16}] ;$$

$$r_{\text{D}} = [\text{D}]/[\text{H}] \quad (1.1)$$

soit par celles des « fractions isotopiques » :

$$a_{18} = \frac{[\text{O}^{18}]}{[\text{O}^{16}] + [\text{O}^{17}] + [\text{O}^{18}]} ;$$

$$a_{17} = \frac{[\text{O}^{17}]}{[\text{O}^{16}] + [\text{O}^{17}] + [\text{O}^{18}]} ;$$

$$a_{16} = 1 - a_{17} - a_{18} \quad (1.2)$$

$$a_{\text{D}} = \frac{[\text{D}]}{[\text{H}] + [\text{D}]} ; a_{\text{H}} = 1 - a_{\text{D}}$$

Dans un échantillon d'eau, l'élément oxygène, symbole O, est composé des 3 isotopes d'oxygène dans les proportions a_{16} , a_{17} et a_{18} ; de même, l'élément hydrogène, symbole H, est un mélange de ^1H et D dans les proportions a_{H} et a_{D} .

Pour toutes les eaux que l'on peut trouver dans la nature, les fractions isotopiques varient dans les faibles limites suivantes :

$$1,9 \leq a_{18} \times 10^3 \leq 2,0$$

$$0,36 \leq a_{17} \times 10^3 \leq 0,37 \quad (1.3)$$

$$0,1 \leq a_{\text{D}} \times 10^3 \leq 0,2$$

A l'aide des 5 nucléides ci-dessus mentionnés, on devrait pouvoir former 9 molécules différentes d'eau. Mais, étant donné les faibles proportions des isotopes denses dans les eaux naturelles, la probabilité de rencontre de deux quelconques de ces isotopes dans une molécule d'eau est absolument négligeable, de sorte que l'on ne trouve dans la nature, en quantités mesurables, que les quatre variétés isotopiques suivantes :

$^1\text{H}_2^{16}\text{O}$, la plus légère et la plus abondante, $^1\text{H}_2^{17}\text{O}$, $^1\text{H}_2^{18}\text{O}$, et $^1\text{HD}^{16}\text{O}$.

Le tableau ci-dessous rassemble les symboles par lesquels nous désignerons différentes grandeurs physiques correspondant à ces différentes variétés d'eau : fraction molaire, masse et volume molaires, masse volumique

Variété d'eau	Fraction molaire	Masse molaire	Volume molaire	Masse volumique
$^1\text{H}_2^{16}\text{O}$	$N_{16} = a_{16} - 2a_{\text{D}}$	M_{16}	V_{16}	ρ_{16}
$^1\text{H}_2^{17}\text{O}$	$N_{17} = a_{17}$	M_{17}	V_{17}	ρ_{17}
$^1\text{H}_2^{18}\text{O}$	$N_{18} = a_{18}$	M_{18}	V_{18}	ρ_{18}
$^1\text{HD}^{16}\text{O}$	$N_{\text{HD}} = 2a_{\text{D}}$	M_{HD}	V_{HD}	ρ_{HD}
D_2^{16}O	$N_{\text{D}} \approx 0$	M_{D}	V_{D}	ρ_{D}
Mélange	1 mole	M	V	ρ

Nous poserons :

$$\begin{aligned} m_i &= M_i/M_{16} \\ v_i &= V_i/V_{16} = m_i \rho_{16}/\rho_i \end{aligned} \quad (1.5)$$

1.1.1. Répartition dans la nature des proportions isotopiques de l'eau.

L'eau peut être considérée comme une solution dans la variété la plus légère et la plus abondante, ${}^1\text{H}_2{}^{16}\text{O}$, des trois variétés plus denses, ${}^1\text{H}_2{}^{17}\text{O}$, ${}^1\text{H}_2{}^{18}\text{O}$ et ${}^1\text{HD}^{16}\text{O}$. A une même température, les pressions de vapeur p des différentes variétés se rangent dans l'ordre suivant :

$$\rho({}^1\text{H}_2{}^{16}\text{O}) > \rho({}^1\text{H}_2{}^{17}\text{O}) > \rho({}^1\text{H}_2{}^{18}\text{O}) > \rho({}^1\text{HD}^{16}\text{O})$$

La pression de vapeur du solvant ${}^1\text{H}_2{}^{16}\text{O}$ est donc supérieure à celle des trois solutés. Lorsque les deux phases liquide et vapeur d'un échantillon d'eau sont en équilibre, la phase liquide est toujours plus riche en variétés denses, donc en isotopes denses, que la phase vapeur. Ceci entraîne les importantes conséquences suivantes :

1) L'eau distillée par les procédés classiques est généralement plus pauvre en isotopes denses que celle à partir de laquelle elle a été préparée.

2) Toutes les eaux qui existent sur le continent étant obtenues par une succession d'évaporations et de précipitations à partir des eaux de l'Océan, il en résulte que l'eau de mer est généralement plus riche en isotopes denses que les eaux continentales.

3) Les nuages formés par l'évaporation océanique, principalement dans les zones chaudes ou tempérées du globe, s'appauvrissent progressivement en isotopes denses par suite des précipitations successives qu'ils subissent au cours de leur progression en latitude vers les régions de plus en plus froides.

Les eaux de précipitation que l'on trouve sur le Continent sont donc :

- plus légères en climat froid qu'en climat chaud,
- de plus en plus légères à mesure que la latitude croît,
- à une même latitude, plus légères en montagne qu'en plaine,
- plus légères en saison froide qu'en saison chaude,
- en saison chaude, l'évaporation augmente encore la concentration en isotopes denses de la phase liquide.

1.1.2. Eau de mer et étalon d'isotopie.

Alors que la composition isotopique des eaux continentales varie dans un intervalle relativement large, celle de l'eau de mer, à condition que celle-ci soit soustraite aux influences côtières, reste remarquablement constante. Pour l'ensemble de l'Océan mondial, les variations des différentes fractions iso-

topiques ne dépassent jamais les limites extrêmes suivantes :

$$\begin{aligned} &\pm 4 \times 10^{-6} && \text{pour } {}^{18}\text{O} \\ &\pm 0,4 \times 10^{-6} && \text{pour } {}^{17}\text{O} \\ &\pm 2 \times 10^{-6} && \text{pour D} \end{aligned}$$

Cette propriété a été mise à profit par Craig (1961b) pour la définition d'une eau de mer moyenne, le SMOW (Standard Mean Ocean Water), devenue l'étalon universel pour la détermination de la teneur de l'eau en oxygène-18 et en deutérium.

Le SMOW a été matérialisé en 1968 par les soins de Craig (voir Gonfiantini, R., 1978) en mélangeant diverses eaux de mer bidistillées, de manière à se rapprocher le plus possible de la composition isotopique de définition. Ce premier lot de liquide étalon est conservé à l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (A.E.I.A.), à Vienne, Autriche, qui en distribue de petites quantités, environ 25 cm³, aux laboratoires spécialisés dans les analyses isotopiques qui en font la demande. Sa composition correspond aux valeurs suivantes :

$$\begin{aligned} r_{18}(\text{SMOW}) \times 10^6 &= 2\,005,20 \pm 0,45; \\ a_{18}(\text{SMOW}) \times 10^6 &= 2\,000,45 \pm 0,45 \end{aligned} \quad (1.6)$$

(Baertschi, 1976)

$$\begin{aligned} r_D(\text{SMOW}) \times 10^6 &= 155,76 \pm 0,05; \\ a_D(\text{SMOW}) \times 10^6 &= 155,74 \pm 0,05 \end{aligned}$$

(Hagemann *et al.*, 1970)

Bien que pratiquement identique à l'ancienne SMOW, défini par Craig en 1961, ce liquide étalon est aujourd'hui désigné par V-SMOW (Vienna-SMOW). Nous continuerons pour notre part à l'appeler SMOW, dans la suite de cet exposé.

Nous devons attirer l'attention sur la date très récente de la détermination faite par Baertschi, en 1976, qui a abouti aux valeurs données ci-dessus pour r_{18} et a_{18} . Jusque là, on utilisait les valeurs ci-après évaluées par Craig (1961 b) :

$$\begin{aligned} r_{18}(\text{SMOW}) \times 10^6 &= 1\,993,4 \pm 2,5; \\ a_{18}(\text{SMOW}) \times 10^6 &= 1\,989,5 \pm 2,5. \end{aligned}$$

La titration précise de l'oxygène-17 dans l'eau est extrêmement difficile à entreprendre et n'est, en fait, jamais effectuée. Le fait que la teneur de cet isotope varie, pour toutes les eaux du globe, dans de très faibles limites, atténue heureusement l'intérêt de cette analyse. Pour le SMOW, on admet les valeurs approchées suivantes :

$$\begin{aligned} r_{17}(\text{SMOW}) \times 10^6 &= 372; \\ a_{17}(\text{SMOW}) \times 10^6 &= 371 \end{aligned} \quad (1.6')$$

1.1.3. Ecart relatif δ par rapport au SMOW.

Les analyses isotopiques de l'eau sont généralement faites au spectromètre de masse. On obtient directement les écarts relatifs :

$$\begin{aligned} \delta_{18} &= \left[\frac{r_{18}(\text{échantillon})}{r_{18}(\text{SMOW})} - 1 \right] \times 10^3; \\ \delta_D &= \left[\frac{r_D(\text{échantillon})}{r_D(\text{SMOW})} - 1 \right] \times 10^3 \end{aligned} \quad (1.7)$$

Les valeurs de δ_{18} et δ_D sont obtenues sans que la connaissance précise de $r_{18}(\text{SMOW})$ et $r_D(\text{SMOW})$ soit nécessaire. Pour cette raison, δ_{18} et δ_D sont les deux paramètres que l'on utilise de préférence pour caractériser la composition isotopique d'un échantillon donné d'eau.

On pose enfin, bien que la titration de ^{17}O ne soit jamais faite :

$$\delta_{17} = \left[\frac{r_{17}(\text{échantillon})}{r_{17}(\text{SMOW})} - 1 \right] \times 10^3 \quad (1.7')$$

1.1.4. Relations entre δ_{17} , δ_D et δ_{18} .

Nous appelons « eau naturelle » une eau trouvée dans la nature (donc non formée artificiellement) et dont la composition n'a pas subi d'altération sensible en laboratoire.

Pour les eaux naturelles, on établit la relation suivante :

$$\delta_{17} = \frac{1}{2} \delta_{18} \quad (1.8)$$

qui permet d'éliminer δ_{17} dans les calculs, ceux de masse volumique en particulier.

Une autre relation, qui n'a qu'une valeur statistique, relie, pour les eaux naturelles δ_D à δ_{18} :

$$\delta_D = c\delta_{18} + d \quad (1.9)$$

Pour l'immense majorité des eaux continentales, en particulier pour celles des zones froides et tempérées, on a, d'après Craig (1961 a) :

$$\delta_D = 8\delta_{18} + 10 \quad (1.10)$$

c est inférieur à 8 dans les zones chaudes où l'évaporation est intense, en particulier pour certains lacs tropicaux fermés. Pour ces zones, $c = 5$ est une moyenne acceptable.

Pour l'eau de mer, enfin, on a, en moyenne :

$$\delta_D = 7\delta_{18} \quad (1.11)$$

La relation (1.9), qui n'est pas applicable dans les calculs précis, peut être utile dans des études approchées, celle de la répartition géographique de la masse volumique de l'eau par exemple.

1.1.5. Deuxième étalon d'isotopie : le SLAP.

Un deuxième étalon d'isotopie, le SLAP (Standard Light Antarctic Precipitation), eau de fusion des glaces de l'Antarctique et l'une des plus pauvres en isotopes denses que l'on puisse trouver dans la nature, est également conservé à l'A.I.E.A., pour les besoins de l'étalonnage des spectromètres de masse. Sa composition correspond à :

$$\begin{aligned} \delta_{18}(\text{SLAP}) &= -55,5; \\ \delta_D(\text{SLAP}) &= -428 \end{aligned} \quad (1.12)$$

(Gonfiantini, 1978)

1.2. RELATION ENTRE LA MASSE VOLUMIQUE ET LA COMPOSITION ISOTOPIQUE DE L'EAU

1.2.1. Relation simplifiée.

Une assez bonne relation peut être aisément établie à partir des deux hypothèses suivantes :

a) Toutes les variétés isotopiques de l'eau ont même volume molaire V ;

b) L'eau est considérée comme un mélange parfait des quatre variétés isotopiques qui la composent. Le volume molaire de ce mélange est donc aussi égal à V .

On simplifiera enfin le calcul en prenant pour masses atomiques relatives des nucléides les valeurs les plus simples :

$$A_r(^1\text{H}) = 1; A_r(\text{D}) = 2; \\ A_r(^{16}\text{O}) = 16; A_r(^{17}\text{O}) = 17; A_r(^{18}\text{O}) = 18,$$

ce qui donne :

$$M_{16} = 18 \times 10^{-3} \text{ kg}; \quad M_{17} = M_{HD} = 19 \times 10^{-3} \text{ kg}; \\ M_{18} = M_D = 20 \times 10^{-3} \text{ kg}.$$

La masse molaire du mélange constituant un échantillon d'eau est, d'après le tableau 1.4 :

$$M \times 10^3 / \text{kg} = 18 + 2a_{18} + a_{17} + 2a_D$$

Le volume molaire étant le même pour toutes les variétés d'eau, comme pour leur mélange, on peut écrire :

$$\Delta M / M = \Delta \rho / \rho = \frac{\Delta a_{18} + \frac{1}{2} \Delta a_{17} + \Delta a_D}{9 + a_{18} + \frac{1}{2} a_{17} + a_D} \quad (1.13)$$

en posant :

$$R = a_{18} + \frac{1}{2} a_{17} + a_D \quad (1.14)$$

Dans l'équation (1.13), ρ représente la masse volumique d'un échantillon d'eau A caractérisé par les paramètres a_{18} , a_{17} , a_D et $\Delta \rho$ la différence de masse volumique entre cette eau A et une eau B présentant, par rapport à A, les différences isotopiques Δa_{18} , Δa_{17} et Δa_D .

On peut simplifier en écrivant :

$$\Delta \rho / \rho = \frac{1}{9} \left(\Delta a_{18} + \frac{1}{2} \Delta a_{17} + \Delta a_D \right) \quad (1.15)$$

et en acceptant sur le premier membre une erreur égale à

$$\frac{1}{81} R \cdot \Delta R.$$

Pour les eaux naturelles,

$$\frac{1}{81} R \cdot \Delta R \leq 6 \times 10^{-9}$$

absolument négligeable.

On remarquera que dans l'équation (1.15), $\Delta\rho$ est fonction des seuls paramètres Δa_i , c'est-à-dire des proportions des différents isotopes contenus dans les deux eaux considérées, ce qui est une conséquence de l'hypothèse a). L'écart $\Delta\rho$ est donc indépendant de la répartition de ces isotopes pour la formation des diverses molécules d'eau. Cette équation peut donc s'appliquer d'une façon très générale, dans un domaine de variations isotopiques considérablement plus important que celui des eaux naturelles, à des eaux aussi bien naturelles que synthétiques, légères ou denses. Elle conviendrait particulièrement aux calculs d'extrapolation sur les eaux dites « lourdes », D_2O ou $H_2^{18}O$. A partir de la valeur mesurée de la masse volumique d'une eau « lourde » D_2O , composée de l'élément oxygène et du deutérium mélangé à une faible proportion de 1H , on calculerait la masse volumique de D_2O , ne contenant que le deutérium à l'état pur ($a_D = 1$) ou, mieux, celle de la variété isotopiquement pure $D_2^{16}O$ ($a_D = a_{16} = 1$). Une extrapolation analogue peut se faire à partir de $H_2^{18}O$ (élément H, ^{18}O mélangé à de faibles proportions de ^{16}O et ^{17}O) pour obtenir la masse volumique de $H_2^{18}O$ ($a_{18} = 1$) ou même de $^1H_2^{18}O$ ($a_H = a_{18} = 1$).

C'est par un tel calcul d'extrapolation que nous avons calculé la masse volumique des trois variétés « isotopiquement pures » d'eau :

$$^1H_2^{16}O \quad (a_H = a_{16} = 1), \\ ^1H_2^{18}O \quad (a_H = a_{18} = 1) \quad \text{et} \quad D_2^{16}O \quad (a_D = a_{16} = 1) \\ \text{(voir plus loin, formules 1.26).}$$

Limitons-nous maintenant au domaine des eaux naturelles. Il est facile de démontrer que, ρ (SMOW) représentant la masse volumique du SMOW, on a à mieux que 1×10^{-6} près :

$$\frac{\Delta\rho}{\rho} = \frac{\Delta\rho}{\rho \text{ (SMOW)}} = \frac{\Delta\rho}{\rho_{16}} = \Delta\rho \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$$

ce qui permet d'écrire :

$$\Delta\rho/(\text{kg/m}^3) = \frac{10^3}{9} \left(\Delta a_{18} + \frac{1}{2} \Delta a_{17} + \Delta a_D \right) \quad (1.16)$$

l'équation devenant indépendante de la température.

Il est également facile de démontrer que, dans (1.16), on peut confondre Δa_i avec Δr_i . En différenciant les équations (1.7) et (1.7') et en tenant compte des valeurs numériques données dans les équations (1.6) et (1.6'), nous obtenons :

$$\Delta a_{18} = 2,005 \times 10^{-6} \Delta\delta_{18} \\ \Delta a_{17} = 0,372 \times 10^{-6} \Delta\delta_{17} \\ \Delta a_D = 0,156 \times 10^{-6} \Delta\delta_D$$

En transposant dans (1.16) et en tenant compte de la relation

$$\delta_{17} = \frac{1}{2} \delta_{18},$$

nous obtenons :

$$\Delta\rho \times 10^3/(\text{kg/m}^3) = 0,233 \Delta\delta_{18} + 0,0173 \Delta\delta_D \quad (1.17)$$

formule plus commode sous la forme :

$$(\rho - \rho \text{ (SMOW)}) \times 10^3/(\text{kg/m}^3) = \\ = 0,233 \delta_{18} + 0,017 \delta_D \quad (1.18)$$

Remarquons pour finir que l'écart $\Delta\rho$ pour deux eaux naturelles quelconques est limité à $0,02 \text{ kg/m}^3$.

1.2.2. Relation devant assurer une meilleure précision.

Pour le calcul d'une telle relation, nous nous placerons exclusivement dans le domaine de variation des eaux naturelles, la limite inférieure correspondant au SLAP ($\delta_{18} = -55,5$; $\delta_D = -428$), et la limite supérieure aux eaux de certains lacs tropicaux pour lesquels on a $\delta_{18} = +10$; $\delta_D = +60$. Nous continuerons à considérer l'eau comme un mélange parfait. Par contre, l'hypothèse suivant laquelle les volumes molaires des différentes variétés d'eaux sont égaux n'est plus tout à fait sûre et nous avons préféré l'abandonner.

Nous avons donc cherché à faire appel aux données disponibles sur la masse volumique des quatre variétés d'eau :

$$^1H_2^{16}O, \quad ^1H_2^{18}O, \quad ^1H_2^{17}O, \quad \text{et} \quad ^1HD^{16}O.$$

Malheureusement de telles données manquent totalement pour $^1H_2^{17}O$ et $^1HD^{16}O$, la première se prêtant mal aux analyses isotopiques et la seconde ne pouvant être isolée pour les mesures.

Pour ces deux variétés, nous avons dû faire appel aux deux hypothèses supplémentaires suivantes :

1° le volume molaire de $^1H_2^{17}O$ est la moyenne arithmétique de ceux de $^1H_2^{16}O$ et $^1H_2^{18}O$;

2° le volume molaire de $^1HD^{16}O$ est la moyenne arithmétique de ceux de $^1H_2^{16}O$ et $D_2^{16}O$, soit :

$$2 V_{17} = V_{16} + V_{18}, \\ 2 V_{HD} = V_{16} + V_D.$$

D'après le tableau (1.4), la masse et le volume molaires du mélange sont successivement :

$$M = M_{16} + (M_{18} - M_{16}) a_{18} + (M_{17} - M_{16}) a_{17} + \\ + (M_D - M_{16}) a_D \quad (1.19)$$

$$V = V_{16} + (V_{18} - V_{16}) \left(a_{18} + \frac{1}{2} a_{17} \right) + \\ + (V_D - V_{16}) a_D. \quad (1.20)$$

soit :

$$m = M/M_{16} = 1 + (m_{18} - 1) a_{18} + (m_{17} - 1) a_{17} + (m_D - 1) a_D \quad (1.21)$$

$$v = V/V_{16} = 1 + (v_{18} - 1) \left(a_{18} + \frac{1}{2} a_{17} \right) + (v_D - 1) a_D \quad (1.22)$$

$$m \rho_{16}/\rho = 1 + \left(m_{18} \frac{\rho_{16}}{\rho_{18}} - 1 \right) \left(a_{18} + \frac{1}{2} a_{17} \right) + \left(m_D \frac{\rho_{16}}{\rho_D} - 1 \right) a_D \quad (1.23)$$

Le calcul des masses molaires a été fait en se rapportant au Système des Masses Atomiques relatives de 1973 (IUPAC, 1974), qui donne pour les différents nucléides :

$$\begin{aligned} A_r(^1\text{H}) &= 1,007\,825 \\ A_r(\text{D}) &= 2,014\,102 \end{aligned}$$

$$\rho_{16}/\rho = \frac{1 + (1,111\,281\,63 \rho_{16}/\rho_{18} - 1) \left(a_{18} + \frac{1}{2} a_{17} \right) + (1,111\,742\,97 \rho_{16}/\rho_D - 1) a_D}{1 + 0,111\,281\,63 a_{18} + 0,055\,757\,16 a_{17} + 0,111\,742\,97 a_D} \quad (1.24)$$

L'équation finale s'obtient en différenciant l'équation ci-dessus par rapport aux fractions isotopiques a_i , puis en substituant les rapports isotopiques r_i et, finalement, les écarts relatifs δ_i . Ceci a permis de procéder à des simplifications successives en négligeant des termes dont le total est inférieur à $1,5 \times 10^{-8}$.

La formule obtenue est :

$$10^6 \times \Delta\rho/\rho = (1 - \rho_{16}/\rho_{18}) (2,218 \Delta\delta_{18} + 0,206 \Delta\delta_{17}) + 0,173\,1 (1 - \rho_{16}/\rho_D) \Delta\delta_D$$

dans laquelle $\Delta\delta_{18}$, $\Delta\delta_{17}$ et $\Delta\delta_D$ représentent les différences des écarts relatifs δ_{18} , δ_{17} et δ_D de deux échantillons d'eau dont la différence de masse volumique est $\Delta\rho$.

Dans cette formule, nous pouvons toujours remplacer au dénominateur, sans erreurs sensibles, ρ par ρ_{16} ou ρ (SMOW) et écrire :

$$\Delta\rho/\rho = (\rho - \rho_{16})/\rho_{16} = (\rho - \rho(\text{SMOW}))/\rho(\text{SMOW}).$$

Si l'un des deux échantillons est le SMOW, nous aurons :

$$10^6 (\rho - \rho(\text{SMOW}))/\rho(\text{SMOW}) = (2,218 \delta_{18} + 0,206 \delta_{17}) (1 - \rho_{16}/\rho_{18}) + 0,173\,1 (1 - \rho_{16}/\rho_D) \delta_D. \quad (1.25)$$

Cette formule permet de calculer la masse volumique ρ à toute température, à condition que $\rho(\text{SMOW})$, ρ_{16} , ρ_{18} et ρ_D soient connues à la même température. $\rho(\text{SMOW})$ devra être connue à une précision égale à celle qu'on désire obtenir sur ρ . Par contre, pour ρ_{16} , ρ_{18} et ρ_D , nous pourrions nous contenter d'une précision de quelques centièmes de kilogrammes par mètre cube.

$$\begin{aligned} A_r(^{16}\text{O}) &= 15,994\,915 \\ A_r(^{17}\text{O}) &= 16,999\,133 \\ A_r(^{18}\text{O}) &= 17,999\,16 \end{aligned}$$

Nous avons ainsi :

$$M_{16} = M(^1\text{H}_2^{16}\text{O}) = 18,010\,565 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$M_{17} = M(^1\text{H}_2^{17}\text{O}) = 19,014\,783 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$m_{17} = M_{17}/M_{16} = 1,055\,75716$$

$$M_{18} = M(^1\text{H}_2^{18}\text{O}) = 20,014\,810 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$m_{18} = M_{18}/M_{16} = 1,111\,281\,63$$

$$M_D = M(\text{D}_2^{16}\text{O}) = 20,023\,119 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$m_D = M_D/M_{16} = 1,111\,742\,97$$

On remarque que l'on a :

$$m_{17} = (1 + m_{18}/2) + 0,116\,35 \times 10^{-3}$$

En remplaçant les paramètres m_i par leurs valeurs numériques, on obtient :

Remarquons que dans cette équation, calculée à l'aide de la valeur récemment déterminée de a_{18} (SMOW), ($2000,45 \times 10^{-6}$ au lieu de $1989,5 \times 10^{-6}$), le coefficient de δ_{18} est légèrement supérieur (2,218 au lieu de 2,2055) à celui qui figure dans les publications antérieures (Girard, G. et Menaché, M., 1971). Cette légère différence n'a pas d'influence sensible sur la valeur calculée de ρ .

a) *Masse volumique du SMOW.* — Il est conseillé de se référer à la table provisoire de la masse volumique du SMOW exempte de gaz atmosphérique dissous entre 0 et 40 °C et sous 101 325 Pa, publiée par l'Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée (U.I.C.P.A.) (IUPAC, 1976). Cette table provisoire a été établie pour répondre aux besoins de la détermination précise de la masse volumique de l'eau, en attendant que certaines lacunes dans la connaissance de cette dernière grandeur soient éliminées. Ces lacunes concernent l'absence d'une valeur absolue précise et une connaissance insuffisante de la dilatation thermique. Les valeurs relevées sur cette table provisoire pourront être corrigées dans l'avenir lorsque ces deux lacunes auront été comblées.

Cette question sera traitée plus en détail dans la deuxième partie de cet article (2.5, « masse volumique de référence et dilatation thermique de l'eau »).

b) *Masse volumique ρ_{16} , ρ_{18} et ρ_D des variétés « isotopiquement pures » $^1\text{H}_2^{16}\text{O}$, $^1\text{H}_2^{18}\text{O}$, D_2^{16}O .* — Ces variétés sont ainsi désignées parce que chacune d'elles est formée de deux seuls et mêmes

nucléides : $^1\text{H}_2^{16}\text{O}$ ($a_H = a_{16} = 1$); $^1\text{H}_2^{18}\text{O}$ ($a_H = a_{18} = 1$); D_2^{16}O ($a_D = a_{16} = 1$). Aucune donnée n'existe jusqu'ici sur leurs masses volumiques, les données disponibles se rapportant à :

- 1) l'eau H_2O , composée des éléments H et O;
- 2) H_2^{18}O , composée de ^{18}O à l'état pur ($a_{18} = 1$) et de l'élément hydrogène;
- 3) D_2O , composée de D à l'état pur ($a_D = 1$) et de l'élément oxygène.

Les valeurs de ρ_{16} , ρ_{18} et ρ_D peuvent être obtenues par extrapolation à l'aide de la formule (1.16) :

$$\Delta\rho/(\text{kg/m}^3) = \frac{10^3}{9} \left(\Delta a_{18} + \frac{1}{2} \Delta a_{17} + \Delta a_D \right)$$

On prendra pour les éléments H et O les proportions moyennes :

$$a_{18} = 1,99 \times 10^{-3}; \quad a_{17} = 0,37 \times 10^{-3}; \\ a_D = 0,16 \times 10^{-3}.$$

On obtient :

$$\begin{aligned} \rho(^1\text{H}_2^{16}\text{O}) - \rho(\text{H}_2\text{O}) &= -0,26 \text{ kg/m}^3 \\ \rho(^1\text{H}_2^{18}\text{O}) - \rho(\text{H}_2^{18}\text{O}) &= -0,02 \text{ kg/m}^3 \\ \rho(\text{D}_2^{16}\text{O}) - \rho(\text{D}_2\text{O}) &= -0,24 \text{ kg/m}^3 \quad (1.26) \end{aligned}$$

c) *Calcul, à une température donnée, de la masse volumique d'un échantillon d'eau naturelle à l'aide de la formule (1.25).* — Pour faciliter les calculs, nous donnons, à la fin de cet exposé, les trois tables ci-après, toutes valables dans l'intervalle 0-40 °C, pour une eau exempte de gaz dissous sous 101 325 Pa :

table 1. — table de la masse volumique du SMOW, identique à celle de l'U.I.C.P.A.

table 2. — table donnant la valeur de ρ_{16}/ρ_{18} .

table 3. — table donnant la valeur de ρ_{16}/ρ_D .

Pour le calcul des tables 2 et 3, nous sommes partis des valeurs concernant l'eau H_2O (n'importe quelle table de masse volumique de l'eau conviendrait) et de celles de Steckel et Szapiro (1963) concernant H_2^{18}O et D_2O ; les trois systèmes de valeurs ont ensuite été corrigés à l'aide des équations (1.26).

L'équation (1.25) devrait permettre le calcul le plus précis de la masse volumique d'un échantillon d'eau compte tenu de la température. Elle est établie pour l'eau naturelle mais peut être appliquée au besoin à une eau faiblement enrichie en ^{18}O ou D, à condition que les proportions de ces isotopes demeurent dans les limites correspondant aux eaux

naturelles. Dans ces cas, δ_{17} devrait être connu. Pour les eaux naturelles, on prendra :

$$\delta_{17} = \frac{1}{2} \delta_{18}$$

A titre d'exemple, nous avons calculé les coefficients numériques de l'équation (1.25) pour les deux températures, 22 et 4,5 °C, auxquelles les déterminations de masse volumique ont été faites. Nous obtenons ainsi :

- 1) pour $t = 22$ °C :

$$(\rho - \rho(\text{SMOW})) \times 10^3/(\text{kg/m}^3) = 0,2350 \delta_{18} + 0,0168 \delta_D$$

- 2) pour $t = 4,5$ °C :

$$(\rho - \rho(\text{SMOW})) \times 10^3/(\text{kg/m}^3) = 0,2353 \delta_{18} + 0,0165 \delta_D$$

d) *Formule moyenne.* — La différence des résultats obtenus à l'aide de l'équation (1.25) à 22 et à 4,5 °C, calculée pour les limites extrêmes : $\delta_{18} = -55,5$; $\delta_D = -428$ est de $0,1 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$. L'écart $(\rho - \rho(\text{SMOW}))$ varie donc très faiblement avec la température. Nous avons alors établi, en 1970, la formule « moyenne » suivante, applicable à toute température de l'intervalle (0-40) °C :

$$(\rho - \rho(\text{SMOW})) \times 10^3/(\text{kg/m}^3) = 0,223 \delta_{18} + 0,021 \delta_{17} + 0,0166 \delta_D \pm 0,1 \quad (1.27)$$

qui, pour $\delta_{17} = 1/2 \delta_{18}$, devient :

$$(\rho - \rho(\text{SMOW})) \times 10^3/(\text{kg/m}^3) = 0,233 \delta_{18} + 0,0166 \delta_D \pm 0,1 \quad (1.28)$$

L'incertitude mentionnée ($\pm 0,1$) correspond aux écarts relatifs maximaux du SLAP ($\delta_{18} = -55,5$; $\delta_D = -428$).

Nous verrons plus loin que cette formule a été vérifiée à une précision de $0,10^{-3} \text{ kg/m}^3$ pour ces écarts relatifs maximaux.

C'est donc cette formule « moyenne » (1.28) dont nous recommandons l'application pour les eaux naturelles.

Notons que cette formule avait été calculée à partir de l'ancienne valeur $a_{18}(\text{SMOW}) = 1989,5 \times 10^{-6}$. A l'aide de la nouvelle valeur: $2000,45 \times 10^{-6}$, le coefficient de δ_{18} , dans la formule (1.28) est égal à 0,235. L'augmentation correspondante de $(\rho - \rho(\text{SMOW}))$ ne dépasse pas (pour le SLAP) la limite $0,1 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$.

Nous pensons donc préférable de garder l'ancienne formule correctement vérifiée par l'expérience.

ANNEXE

QUELQUES DONNÉES SUR LE SMOW

(Les calculs sont faits sans tenir compte de l'incertitude (inconnue) sur a_{18} (SMOW)).

1. Composition isotopique (rappel).

$$r_{18} \times 10^6 = 2005,20 \pm 0,45$$

$$a_{18} \times 10^6 = 2000,45 \pm 0,45$$

$$r_{17} \times 10^6 = 372$$

$$a_{17} \times 10^6 = 371$$

$$r_D \times 10^6 = 155,76 \pm 0,05$$

$$a_D \times 10^6 = 155,74 \pm 0,05$$

2. Masse molaire, calculée à l'aide de l'équation (1.19) :

$$M = M_{16} + (M_{18} - M_{16}) a_{18} + (M_{17} - M_{16}) a_{17} + (M_D - M_{16}) a_D$$

$$M = 18,015\,260 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$(M - M_{16}) = 4,695 \times 10^{-6} \text{ kg}$$

$$\frac{M - M_{16}}{M_{16}} = 0,260\,70 \times 10^{-3}$$

$$m = M/M_{16} = 1,000\,260\,70$$

3. Volume molaire, calculé à l'aide de la formule (1.20) :

$$V - V_{16} = (V_{18} - V_{16}) \left(a_{18} + \frac{1}{2} a_{17} \right) + (V_D - V_{16}) a_D$$

On a les valeurs moyennes suivantes dans l'intervalle (0-40) °C :

$$V_{16} \times 10^6/\text{m}^3 = 18,08_6 \pm 0,07$$

$$V_{18} \times 10^6/\text{m}^3 = 18,06_0 \pm 0,07$$

$$V_D \times 10^6/\text{m}^3 = 18,16 \pm 0,05$$

Il est intéressant de remarquer que l'on a :

$$v_{18} = \frac{V_{18}}{V_{16}} = 1 - 1,436 \times 10^{-3} \pm 0,7 \times 10^{-6} \quad (1.29)$$

$$v_D = \frac{V_D}{V_{16}} = 1 + 4,5 \times 10^{-3} \pm 1,7 \times 10^{-3}$$

On trouve :

$$V = V_{16} = (18,08_6 \pm 0,07) \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$(V - V_{16}) \times 10^6/\text{m}^3 = -(4,5 \pm 0,7) \times 10^{-5}$$

$$v - 1 = \frac{V - V_{16}}{V_{16}} = -(2,5 \pm 0,4) \times 10^{-6}$$

4. Masse volumique.

$$v = m \frac{\rho_{16}}{\rho} = 1 - 2,5 \times 10^{-6} \pm 0,4 \times 10^{-6}$$

$$\frac{\rho}{\rho_{16}} = 1 + 263,1 \times 10^{-6} \pm 1,5 \times 10^{-6}$$

$$\frac{\rho - \rho_{16}}{\rho_{16}} = (263 \pm 1) 10^{-6}$$

Dans l'intervalle (0-40) °C, on a :

$$\rho_{16} = (995,835 \pm 3,9) \text{ kg/m}^3$$

$$(\rho - \rho_{16})/(\text{kg/m}^3) = (263 \pm 1) (995,835 \pm 3,9) \times 10^{-6}$$

$$(\rho(\text{SMOW}) - \rho_{16})/(\text{kg/m}^3) = 0,262 \pm 0,002$$

CHAPITRE II

DÉTERMINATION DE LA MASSE VOLUMIQUE DE L'EAU PAR LA MÉTHODE HYDROSTATIQUE

**Améliorations apportées à cette technique.
Vérification expérimentale d'une relation entre la masse volumique
et la composition isotopique de l'eau**

(M. G. Girard)

2.1. INTRODUCTION.

La formule (1.28) permettant de calculer la différence de masse volumique de deux échantillons d'eau dont la différence de composition isotopique en deutérium, oxygène-17 et oxygène-18 est connue, avait été établie théoriquement par Menaché (1967). Il nous a semblé nécessaire de la confronter à l'expérience et nous avons pensé à utiliser l'installation de pesées hydrostatiques du Bureau International des Poids et Mesures (B.I.P.M.) qui venait d'être enrichie d'une nouvelle balance étudiée en collaboration par le B.I.P.M. et la Société Stanton en Grande-Bretagne.

De 1967 à 1970, dans des périodes de temps où le travail de routine de la section des masses du B.I.P.M. le permettait, une première étude expérimentale a été effectuée en utilisant des eaux naturelles distillées (eau de robinet, eau de mer, eau de fusion de glace de l'Arctique) et des eaux distillées artificiellement enrichies en isotopes denses (deutérium et oxygène-18) dont on a rendu compte (Menaché, 1970, Girard et Menaché, 1971).

De 1970 à 1973 l'augmentation de surface du laboratoire des masses par le creusement d'une salle en sous-sol au-dessous de celle qui existait à l'époque, la réinstallation des instruments et la réalisation des études d'étalonnage restées en attente pendant les travaux, nous ont empêché de poursuivre notre étude sur la masse volumique de l'eau. Ce temps fut mis à profit pour apporter certaines améliorations à notre équipement.

En 1974, des contrôles et des mises au point furent effectués et ce n'est qu'au début de 1975 qu'ont pu être faites les mesures dont il va être rendu compte.

Nous commencerons par décrire l'installation et la technique de mesure, ainsi que les précautions prises lors de chaque mesure. Nous décrirons ensuite les mesures que nous avons effectuées et l'expression du résultat obtenu en fonction des données de référence.

2.2. INSTALLATION ET TECHNIQUE DE MESURE.

Le travail a été fait sur l'installation de la pesée hydrostatique du B.I.P.M. Cette installation est spécialement conçue pour mesurer, par la méthode de double pesée par substitution, dite de Borda, la poussée d'Archimède exercée sur un corps solide par un échantillon d'eau dans lequel ce corps est immergé. On obtient la relation suivante entre cette poussée m , le volume V du corps et la masse volumique ρ de l'échantillon d'eau :

$$m = V\rho.$$

V peut être calculé (ou éliminé) en faisant, dans les mêmes conditions physiques (température, pression) des pesées hydrostatiques dans lesquelles le même corps solide est immergé dans un liquide de référence de masse volumique connue.

Avant le début des travaux, la balance hydrostatique, construite en 1963 par Stanton à Londres, a été entièrement révisée, avec succès par L. Oertling, Orpington, Grande-Bretagne. Outre la remise en état des plans et des couteaux, tous les réglages ont été vérifiés. A cette occasion, un dispositif permettant de limiter l'amplitude des oscillations à une valeur déterminée a été installé.

L'agrandissement du laboratoire du B.I.P.M. a permis d'installer la balance dans la seconde salle située en sous-sol. Les conditions de stabilité mécanique y sont très bonnes, la balance étant directement posée sur des piliers faisant corps avec une dalle de béton de 40 tonnes couvrant toute la surface de cette salle.

La stabilité thermique de cette salle est assurée par une climatisation générale. Les divers équipements dégagant de la chaleur sont mis en service suffisamment à l'avance, et une résistance chauffante est mise en marche à la place de l'observateur durant ses absences, afin de compenser l'apport de chaleur de ce dernier pendant le temps des mesures. De cette manière l'amplitude des variations

thermiques à court terme (de l'ordre de l'heure) est de 0,08 K.

A l'aide de ces précautions, les variations de température dans la cage de la balance au cours d'une pesée (environ 1 heure) n'ont pas été supérieures à 0,03 K, ce qui a rendu inutile l'existence d'une protection thermique autour de la balance.

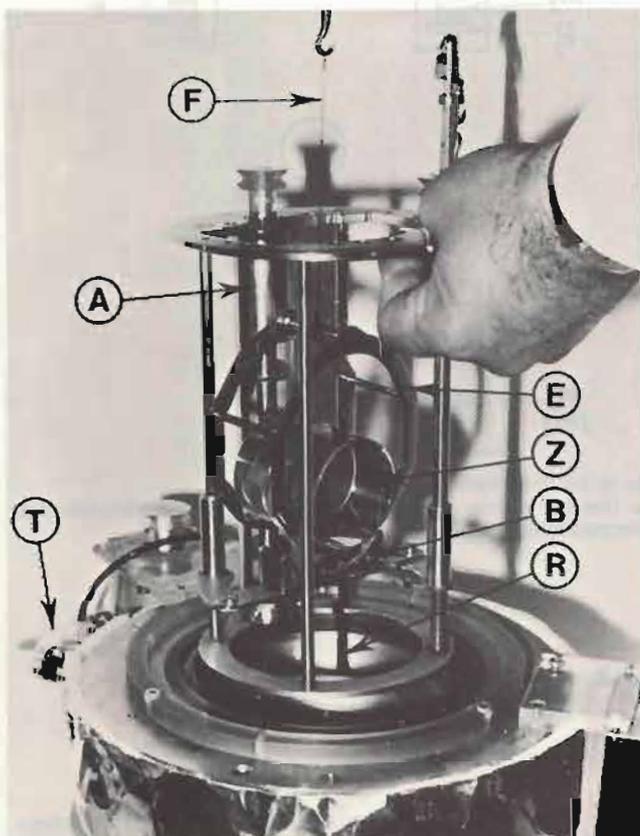


FIG. 2.1. — La balance hydrostatique installée au B.I.P.M. C, cage supérieure contenant la balance; C' cage inférieure contenant le récipient hydrostatique V; P, plateaux à deux étages; E, échelle de lecture; L, projecteur; O, pupitre de commande devant lequel se place l'observateur.

La balance (figure 2.1) n'est pas amortie et ses oscillations sont observées sur une échelle graduée placée à un mètre de distance de l'appareil.

Un mécanisme permet de procéder à un échange de masses sur le plateau de gauche sans avoir à ouvrir la cage de la balance.

Tous les mécanismes (libération ou blocage du fléau, échange des masses sur le plateau de gauche, addition d'une petite surcharge de masse connue sur l'un ou l'autre des bras du fléau en vue d'étalonner les graduations de l'échelle) sont commandés à une distance de un mètre de la balance, pour éviter que l'approche de l'observateur ne perturbe la température d'équilibre.

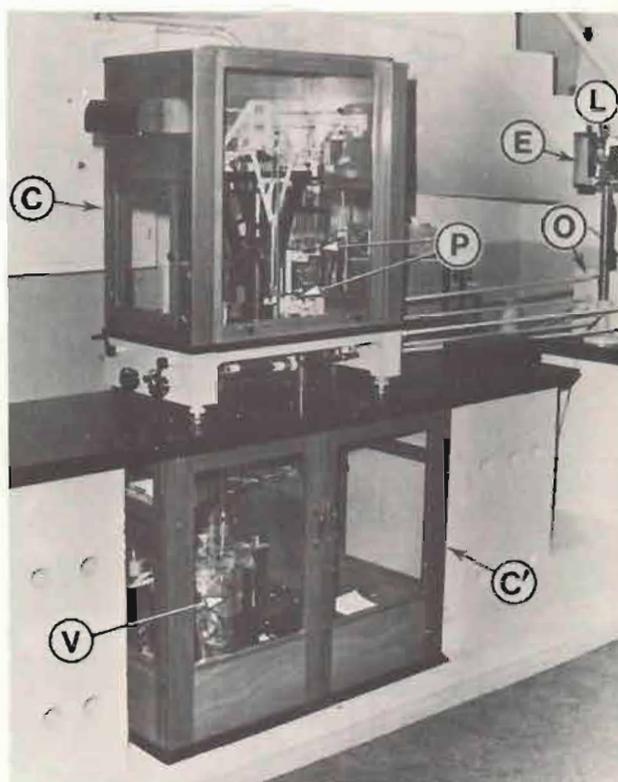


FIG. 2.2. — Détail du bain hydrostatique et du mécanisme de suspension et de manœuvre du cylindre dans l'eau à étudier.

Sous le plateau de gauche est suspendu un étrier dans lequel repose le cylindre (figure 2.2). Le fil de suspension en acier inoxydable, de 0,25 mm de diamètre, est recouvert par électrolyse d'un dépôt de noir de platine, dans la région où il traverse la surface de l'eau. Cet étrier est immergé dans l'eau à étudier, contenue dans un récipient d'une capacité de 2,5 dm³ environ, lui-même plongé dans un autre récipient plein d'eau (cuve extérieure) de 8,5 dm³ environ de capacité.

Un dispositif permet, à volonté, de procéder à une pesée avec le cylindre suspendu sous le plateau de gauche ou de libérer le cylindre et de procéder à la pesée de l'étrier seul. Le cylindre repose alors sur un « berceau » (voir figure 2.2).

Le schéma d'une détermination par la méthode hydrostatique adaptée à notre balance est indiqué à la figure 2.3.

Une première pesée A (figure 2.3.a), faite lorsque le cylindre K est préalablement décroché, s'effectue en plaçant sur le plateau gauche un étalon de 1 kilogramme en platine iridié, de masse m_2 et de masse volumique λ (égale à 21,5 g/cm³). L'équilibre est rétabli en plaçant à droite une tare t .

Soit M la masse du cylindre, V son volume, δ sa masse volumique, ρ la masse volumique de l'eau et a celle de l'air dans les conditions de l'expérience, enfin T la masse apparente de la tare dans l'air.

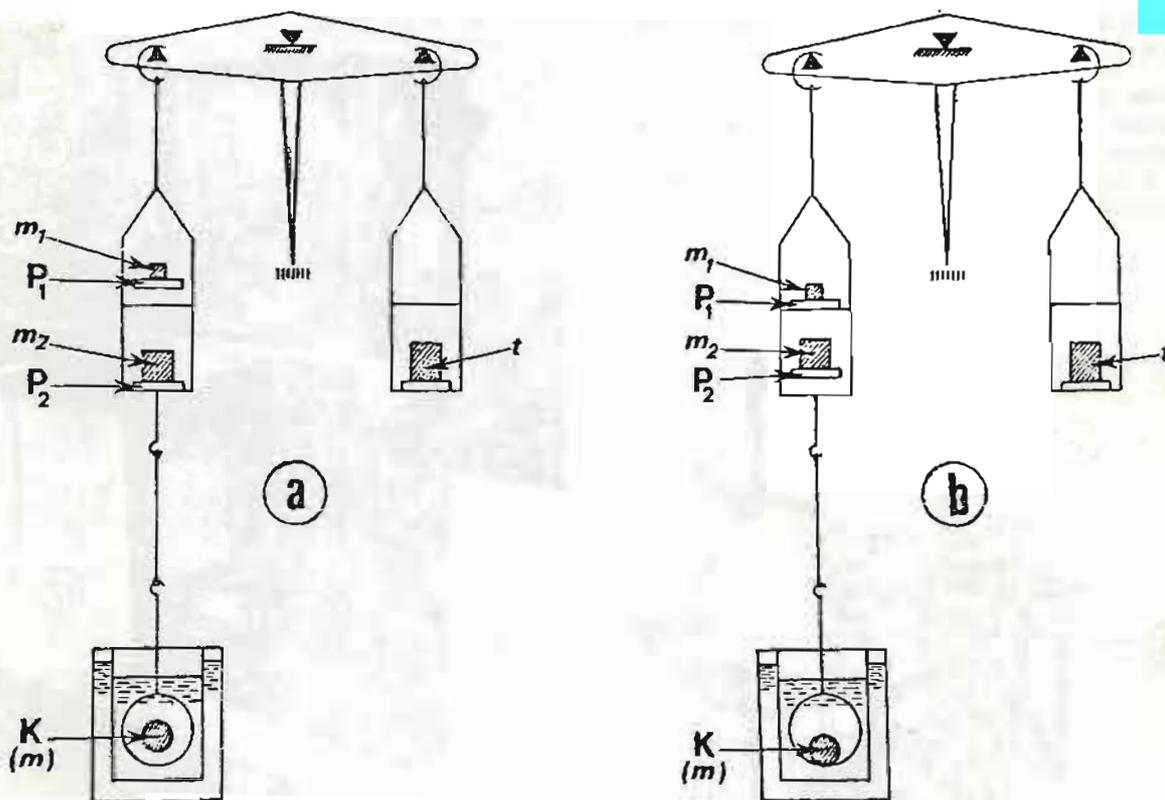


FIG. 2.3. — Schéma d'utilisation de la balance hydrostatique.
(Les masses des plateaux auxiliaires P_1 et P_2 sont éliminées du résultat grâce à une seconde pesée dans laquelle les masses m_1 et m_2 sont associées respectivement à P_2 et P_1).

L'équilibre A est représenté par l'équation :

$$T = m_2 (1 - a/\lambda) + [\text{masse apparente (étrier et fil de suspension)}] \quad (2.1)$$

Dans une pesée B (figure 2.3.b), se faisant avec le cylindre suspendu au plateau de gauche, ce plateau reçoit une surcharge égale à la masse apparente du cylindre dans l'eau, soit $(M - V\rho)$.

L'équilibre est rétabli sans toucher à la tare de droite en remplaçant à gauche la masse m_2 par une masse différente, m_1 .

L'équation du nouvel équilibre est donc :

$$T = M - V\rho + m_1 (1 - a/\lambda) + [\text{masse apparente (étrier et fil de suspension)}] \quad (2.2)$$

d'où

$$M - V\rho = (m_2 - m_1) (1 - a/\lambda). \quad (2.3)$$

Une pesée complète comprend la succession des 6 opérations suivantes :

- 1° une pesée A,
- 2° une pesée B,
- 3° une pesée A,
- 4° une pesée B,
- 5° une pesée A,
- 6° une pesée A au cours de laquelle on

ajoute une masse connue (de l'ordre de 3 mg) afin d'étalonner les graduations de l'échelle divisée, en surchargeant un plateau ou l'autre. (Une division de l'échelle correspond à environ 0,15 mg; les lectures sont faites au dixième de division près).

2.3. PRÉCAUTIONS PRISES LORS DES MESURES.

A côté des précautions prises pour l'installation de cette balance tant du point de vue mécanique que thermique, il y a celles qui doivent être observées dans la partie touchant le bain hydrostatique dans le but d'obtenir sur les résultats une précision et une reproductibilité les plus élevées possibles. Elles concernent plus particulièrement la stabilité et l'uniformité de la température, la connaissance de la pression atmosphérique, le choix judicieux de la nature du matériau constituant le corps immergé, le dégazage de l'eau et le revêtement du fil de suspension traversant l'interface air-eau.

2.3.1. Température.

Pour permettre d'effectuer des pesées à des températures quelconques pouvant être éloignées de l'ambiante, un thermostat a été construit permettant d'améliorer l'isolation thermique de l'eau étudiée et de rendre possible la poursuite d'un « brassage thermique » durant les pesées.

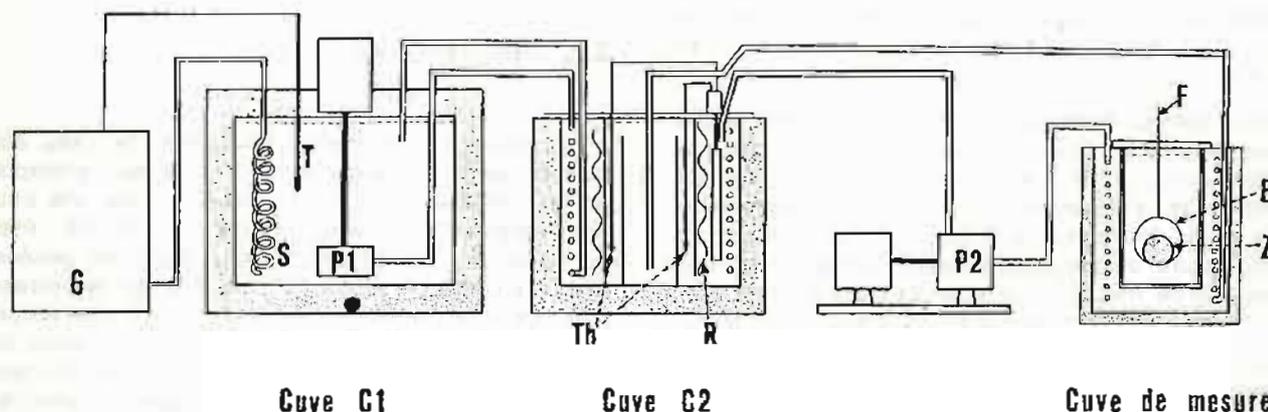


FIG. 2.4. — Schéma du thermostat.

Le thermostat, qui a pour but de réguler la température de l'eau de mesure, comprend les deux cuves C1 et C2.

Dans la cuve C1 plonge un serpentin de refroidissement S alimenté par un groupe frigorifique G. La température de cette cuve est régulée, à la valeur choisie par la sonde T. L'eau de C1 circule par l'intermédiaire d'une pompe P1 dans un serpentin situé dans la deuxième cuve, C2.

Le dispositif électronique de régulations commandé par les thermistances Th maintient la température désirée dans la cuve C2 en envoyant une puissance variable dans la résistance de chauffage R.

La pompe à écrasement P2 envoie l'eau à température régulée dans un serpentin logé dans la cuve extérieure entourant la cuve de mesure. On voit dans celle-ci le cylindre immergé Z et l'étrier E suspendu au plateau de la balance par l'intermédiaire du fil de suspension F.

Ce thermostat, dont le schéma est donné à la figure 2.4, est conçu pour permettre des mesures dans tout l'intervalle 0-25 °C. La régulation thermique dans la cuve hydrostatique est assurée par deux serpentins en cuivre immergés dans la cuve extérieure et enroulés en sens opposés sur toute la hauteur des parois. Les deux serpentins sont branchés en parallèle sur une pompe à écrasement et l'eau y circule en même temps, dans des sens opposés par rapport à la verticale. On obtient ainsi ce que nous avons appelé un « brassage thermique » de l'eau contenue dans la cuve extérieure. Une fois l'équilibre thermique atteint, son maintien ne provoque pas d'agitation de l'eau dans la cuve intérieure, de sorte que la circulation de l'eau du thermostat peut se poursuivre dans les deux serpentins, sans inconvénient, durant les pesées.

La cuve est isolée thermiquement aussi bien latéralement qu'à sa partie inférieure. Sa partie supérieure est fermée par un couvercle en plexiglass qui permet le passage du fil de suspension et des instruments de mesure et de contrôle de la température en limitant les échanges avec l'atmosphère.

Le mécanisme permettant d'associer ou de séparer le cylindre du dispositif de suspension est mû électriquement afin de ne pas exiger l'approche de l'observateur pour sa manipulation.

Les gradients horizontal et vertical de la température de l'eau au voisinage du cylindre sont contrôlés durant la pesée au moyen de thermocouples différentiels.

A 22 °C, la stabilité thermique de l'eau à court terme est de l'ordre du millikelvin, avec un gradient vertical du même ordre de grandeur sur 20 cm. A 4 °C, température très voisine de celle correspondant au minimum de dilatation de l'eau, cette stabilité est au moins égale à 0,01 K ; par contre, le gradient vertical peut atteindre 0,1 K sur 20 cm.

A toute température le gradient horizontal est pratiquement nul.

La température de l'échantillon d'eau observée est mesurée avec un thermomètre à résistance de platine, directement branché à un pont de mesure autonome, en courant alternatif, fabriqué en Grande-Bretagne par Automatic System Laboratories, modèle H 7. La température est exprimée dans l'Echelle Internationale Pratique de Température de 1968. Quinze mesures de température sont faites au cours d'une pesée. Compte tenu de la stabilité thermique, de la fréquence des mesures et du faible gradient vertical, on peut estimer que la température de l'eau est mesurée à 1 mK près à 22 °C et à 5 mK près vers 4 °C. Ceci entraîne sur la masse volumique de l'eau une incertitude inférieure à

$$0,2 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3 \text{ à } 22^\circ\text{C}$$

et

$$0,05 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3 \text{ à } 4^\circ\text{C}.$$

2.3.2. Pression atmosphérique.

La pression atmosphérique est mesurée en cours de pesée à l'aide d'une jauge à pression Texas Instruments, étalonnée par rapport au manobaromètre interférentiel du B.I.P.M. (Bonhoure, 1968) (exactitude 0,25 Pa). Cinq lectures sont faites, à 1 Pa près, au cours de chaque pesée.

2.3.3. Choix d'un matériau pour le corps immergé.

Dans les mesures préliminaires, le cylindre immergé était en acier inoxydable, matériau dont le

coefficient de dilatation cubique était proche de $46 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ (déterminé au B.I.P.M. entre 15 et 23 °C).

Un nouveau matériau, le « Zérodur », a été choisi pour son faible coefficient de dilatation cubique égal à $-0,7 \times 10^{-8} \text{ K}^{-1}$ entre 0 et 50 °C, ce qui permet de s'affranchir totalement de l'incertitude due à une éventuelle mauvaise connaissance de la température du corps immergé. L'incidence sur les mesures de masse volumique de l'eau devient pratiquement nulle à toute température entre 0 et 50 °C.

Nous avons donc opéré avec un cylindre en « Zérodur » ayant les caractéristiques suivantes : volume 130 cm³, masse 328 g, masse volumique voisine de 2,5 g/cm³ ; ce cylindre subit dans l'eau une poussée voisine de 130 grammes.

D'autre part, l'emploi d'un plongeur en « Zérodur » de faible masse volumique permet de réduire sensiblement l'incertitude sur la correction différentielle de la poussée de l'air qui s'exerce sur m_1 et m_2 , incertitude due à celle qui affecte la valeur de la masse volumique a de l'air.

En effet, d'après l'équation (2.3)

$$V(\delta - \rho) = (m_1 - m_2)(1 - a/\lambda)$$

l'incertitude sur a entraîne sur la correction de poussée de l'air $(m_1 - m_2)a/\lambda$, une incertitude d'autant plus faible que la différence $(m_1 - m_2)$ est plus faible ou, ce qui revient au même, que la masse volumique δ du plongeur est plus voisine de celle de l'eau (mais légèrement supérieure).

Avec le cylindre en acier inoxydable (volume voisin de 128 cm³, masse volumique 7,8 g/cm³) nous avons approximativement (en admettant $\rho = 1 \text{ g/cm}^3$) :

$$m_1 - m_2 = V(\delta - \rho) = 128 \times 6,8 = 870 \text{ g.}$$

Avec le cylindre en « Zérodur » cette valeur devient $130 \times 1,5 = 195 \text{ g.}$

La correction de poussée de l'air

$$(m_1 - m_2)a/\lambda = (m_1 - m_2)a/21,5$$

passé ainsi de l'acier inoxydable au « Zérodur » de 40,5 a à 9,1 a soit approximativement de 0,05 à 0,01 g.

Avec ce nouveau matériau l'incertitude due à la poussée de l'air entraîne sur la masse volumique de l'eau une incertitude inférieure à $1 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^3$.

Dans le même ordre d'idées, les inconvénients d'un changement rapide de la pression atmosphérique sur la stabilité de l'équilibre de la balance ont été atténués en remplaçant la tare en laiton (sur le plateau de droite), par une tare également en platine iridié. Les différences de volume des masses placées sur les deux plateaux en ont été sensiblement réduites et l'incertitude due à une variation des positions d'équilibre de l'instrument rendue tout à fait négligeable.

2.3.4. Dégazage de l'eau.

La valeur de la masse volumique de l'eau est donnée jusqu'à maintenant pour une eau exempte de gaz dissous. Il faut donc travailler sur une eau dont l'état se rapproche le plus possible de l'état de définition. En dégazant l'eau avant les pesées hydrostatiques on réduit l'importance de la correction due à la présence des gaz dissous, correction toujours mal connue. Ce faisant, on limite aussi le risque de formation de bulles d'air sur les parties immergées qui participent à la pesée (cylindre, étrier, fil de suspension).

Le dégazage se fait la veille de la pesée en soumettant le vase intérieur contenant l'eau à ébullition, le cylindre, etc., pendant plusieurs heures, à une pression sensiblement égale à la pression de vapeur de l'eau à la température des mesures. Le lendemain matin, après avoir laissé rentrer l'air, on vérifie qu'aucune bulle d'air n'est restée accrochée. Cette opération est facilitée avec le cylindre en « Zérodur », matière transparente.

2.3.5. Revêtement de noir de platine sur le fil de suspension.

Parmi les causes qui limitent la précision des pesées hydrostatiques, il faut aussi citer les effets de la tension superficielle au passage du fil de suspension à travers l'interface air-eau. Il en résulte une déformation du ménisque d'eau attaché au fil et un amortissement important des oscillations de la balance ; on observe alors de petits mouvements périodiques, d'une fréquence beaucoup plus grande que la fréquence propre de la balance.

Pour s'affranchir de cette source d'incertitude, le fil de suspension est recouvert au B.I.P.M. (Bonhôte, 1958), d'un dépôt de noir de platine de manière à y former une couche poreuse parfaitement mouillée par l'eau. De cette façon la période et l'amortissement doivent être très voisins de ceux de la balance fonctionnant dans l'air.

L'obtention de ce dépôt par électrolyse d'une solution de chlorure de platine demande beaucoup de soins. Il faut veiller à ce que la couche de noir de platine, qui est très fragile, soit bien uniforme et ne présente pas d'irrégularités dans la région utilisée.

Un fil recouvert dont l'aspect paraît satisfaisant peut ne pas convenir. On peut alors essayer de changer l'endroit de passage air-eau pour travailler dans une autre région et obtenir de meilleurs résultats. Sinon le dépôt doit être recommencé.

Une vérification du bon fonctionnement du fil de suspension est donnée par la constance de la période des oscillations.

Il faut également veiller à ce qu'il n'y ait pas de petites poussières à la surface de l'eau, ce qui aurait aussi pour conséquence de perturber gravement la période des oscillations.

2.4. DÉTERMINATIONS EXPÉRIMENTALES.

Les nouvelles déterminations dont nous allons rendre compte ont été faites, en bénéficiant des améliorations apportées à la technique de pesée hydrostatique, au voisinage de deux températures très différentes, 22 et 4,5 °C, dans l'espoir de vérifier que la formule (1.28) s'applique à un grand intervalle de température.

Les mesures ont été effectuées sur les trois échantillons suivants d'eau naturelle purifiée, d'origines très différentes, cités dans l'ordre des masses volumiques décroissantes :

1° *Eau de mer*, dont la composition isotopique moyenne durant les déterminations correspond à $\delta_{18} = -5$; $\delta_D = -24$. Cette eau, la plus dense, est plus légère que le SMOW d'environ 2×10^{-3} kg/m³.

2° *Eau de robinet* du B.I.P.M. Sa composition isotopique moyenne durant l'ensemble des déterminations correspond à $\delta_{18} = -11,5$; $\delta_D = -65$. Elle est plus légère que le SMOW d'environ 4×10^{-3} kg/m³.

3° *Eau de fusion des glaces de l'Antarctique*. Cet échantillon d'eau nous a aimablement été fourni par le Professeur E. Picciotto et M. Mennessier, Service de Géologie Nucléaire de l'Université Libre de Bruxelles (Belgique).

Il a été prélevé par M. Mennessier par 79°15'S et 40°30'E, altitude 3 700 m. La température moyenne annuelle en ce point est de -60 °C. C'est pratiquement l'eau la plus légère qui a pu être trouvée sur le globe. Ses caractéristiques isotopiques à son arrivée à notre laboratoire étaient : $\delta_{18} = -56,5$; $\delta_D = -428,5$, extrêmement voisines de celles du 2° étalon universel d'isotopie, le « SLAP » (Standard Light Antarctic Precipitation).

Après purification, et pendant la durée des déterminations, ses caractéristiques isotopiques moyennes correspondent à : $\delta_{18} = -58,6$; $\delta_D = -432$. Elle est plus légère que le SMOW d'environ 21×10^{-3} kg/m³.

Ces échantillons ont donc permis de procéder à des déterminations couvrant un intervalle de masse volumique de 19×10^{-3} kg/m³.

Les déterminations se sont déroulées du 6 mars au 2 mai 1975, d'abord à 22 °C puis à 4,5 °C. Les trois échantillons ont subi une double distillation avant les déterminations à 22 °C, puis une troisième avant celles à 4,5 °C.

Une série de neuf déterminations successives a été effectuée en moyenne sur chacun des trois

échantillons à chacune des deux températures. Seules les déterminations faites à 22 °C sur l'eau « antarctique » l'ont été au nombre de 6 seulement.

Par suite des prélèvements accompagnant chaque pesée, le niveau de l'eau dans la cuve intérieure était rétabli au bout de la 4^e pesée d'une même série, par addition d'une quantité du même échantillon. On procédait à un nouveau dégazage de l'eau après la 4^e pesée. Des prélèvements destinés aux analyses isotopiques étaient ainsi faits avant la première et la 5^e pesée. D'autres prélèvements, destinés à l'analyse de l'oxygène dissous étaient faits à la fin de chaque journée de travail.

Les analyses isotopiques ont été faites par spectromètre de masse par les soins de M^{me} L. Merlivat, au Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay.

La teneur en oxygène dissous a été déterminée par la méthode chimique de Winkler modifiée par Carpenter (1965). Nous verrons plus loin (voir § 2.6.3.) que la connaissance de la teneur en oxygène dissous suffit à calculer la correction des gaz atmosphériques dissous.

2.5. MASSE VOLUMIQUE DE RÉFÉRENCE ET DILATATION THERMIQUE DE L'EAU.

2.5.1. Principales difficultés rencontrées dans l'expression de la masse volumique de l'eau.

Dans les déterminations précises de la masse volumique de l'eau on se heurte principalement aux très graves lacunes suivantes :

a) *Absence d'une valeur absolue d'exactitude suffisante*. — Nous ne disposons malheureusement pas d'une valeur absolue d'exactitude suffisante correspondant à des valeurs définies des quatre paramètres : température, pression, concentration en gaz atmosphériques dissous, composition isotopique, à partir de laquelle nous aurions pu calculer, à une exactitude satisfaisante la masse volumique d'un échantillon d'eau pour toutes valeurs de ces paramètres.

Jusqu'à une époque toute récente, on ignorait, en effet, l'existence du dernier paramètre (composition isotopique). La détermination absolue, effectuée par des pesées hydrostatiques entre 1895 et 1905 au B.I.P.M. (Guillaume, 1927), correspond à la valeur maximale en fonction de la température de la masse volumique de l'eau privée de gaz atmosphériques dissous et sous la pression d'une atmosphère normale (101 325 Pa). La valeur obtenue,

$$\rho_{\max} = 999,972 \text{ kg/m}^3, \quad (2.4)$$

qui est encore aujourd'hui considérée comme donnée fondamentale, se rapporte, malheureusement, à une eau dont nous ignorons la composition isotopique.

Cette grave lacune n'a pas encore été comblée par de nouvelles déterminations absolues. De ce fait, la masse volumique de l'eau correspondant aux conditions d'une expérience est régulièrement calculée à partir de la valeur absolue ci-dessus mentionnée, à laquelle on apporte des corrections de température, de pression et de concentration en gaz dissous, sans se préoccuper de la composition isotopique.

Il faut remarquer que, lors de cette détermination absolue, tous les échantillons d'eau utilisés ont été obtenus par distillation d'eau de robinet du B.I.P.M.

La composition isotopique de l'eau de robinet du B.I.P.M., après double distillation a donc été étudiée (en 1971-1972) sur des prélèvements mensuels pendant plus d'une année. Sa composition moyenne correspond aux valeurs suivantes :

$$\delta_{18} = -10; \quad \delta_D = -60,$$

auxquelles correspondent d'après la formule (1.28) une différence moyenne de masse volumique

$$\rho_{\max} - \rho_{\text{SMOW}} = -3,3 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3, \quad (2.5)$$

ρ_{\max} (SMOW) représentant la valeur maximale de la masse volumique du SMOW exempt de gaz dissous, en fonction de la température, sous 101 325 Pa.

Il est malheureusement impossible d'évaluer avec précision la variation de cette composition depuis le début du siècle. Il est possible, d'autre part, que la technique de distillation utilisée à l'époque soit légèrement différente de la nôtre et donne lieu à un fractionnement isotopique légèrement différent. Mais il reste raisonnable de supposer que de tels écarts demeurent faibles et entraînent sur la masse volumique une erreur limitée à quelques millièmes de kilogrammes par mètre cube. En acceptant une telle erreur, la relation ci-dessus permet d'écrire

$$\rho_{\max} \text{ (SMOW)} = (999,972 + 0,003) \text{ kg/m}^3 \\ = 999,975 \text{ kg/m}^3.$$

Nous avons donc proposé (Girard et Menaché, 1972) que l'on substitue provisoirement à l'ancienne valeur de base $\rho_{\max} = 999,972 \text{ kg/m}^3$ qui se rapporte à une eau de composition inconnue, la valeur :

$$\rho_{\max} \text{ (SMOW)} = 999,975 \text{ kg/m}^3 \quad (2.6)$$

se rapportant à l'étalon d'isotopie et que nous désignerons dans la suite du texte comme *valeur fondamentale*.

Cette valeur provisoire sera légèrement corrigée lorsque l'on disposera du résultat précis de nouvelles déterminations absolues.

b) *Existence de différentes tables de dilatation de l'eau.* — Il existe, en effet pour l'intervalle (0-40) °C non pas une table unique mais plusieurs tables de dilatation thermique de l'eau donnant des valeurs différentes pour une même valeur de la température. Toutes ces tables concernent l'eau pure exempte de gaz dissous sous la pression d'une atmosphère normale (101 325 Pa) et permettent d'obtenir la *densité relative* $d = \rho/\rho_{\max}$, ρ étant la masse volumique à la température t et $\rho_{\max} = 999,972 \text{ kg/m}^3$, l'ancienne valeur fondamentale (2.4) (voir Menaché et Girard, 1972).

Deux seulement de ces tables, celle de Thiesen et al. (1900), et celle de Chappuis (1907), sont le fruit d'observations. Toutes les autres ont été par la suite calculées à partir de ces deux tables en se guidant sur diverses considérations.

Les valeurs figurant dans les tables de Thiesen et de Chappuis, présentent entre elles des écarts qui augmentent en valeur absolue avec la température, les valeurs de Thiesen étant généralement plus faibles que celles de Chappuis. A partir de 17 °C, ces écarts dépassent 1×10^{-6} , pour devenir rapidement inacceptables :

$$(6 \times 10^{-6} \text{ à } 25 \text{ °C}, \quad 9 \times 10^{-6} \text{ à } 40 \text{ °C}).$$

Les autres tables, établies à partir de celles de Thiesen ou de Chappuis, sont évidemment affectées des mêmes incertitudes.

Parmi ces tables, celle de Bigg (1967) est la première à avoir été établie après une étude statistique très sérieuse des différents groupes d'observations de Chappuis et de Thiesen et après avoir attribué à ces groupes des poids différents. Elle a ensuite été transformée en table de masse volumique en prenant pour ρ_{\max} la valeur 999,972 kg/m³.

2.5.2. Recommandation de l'Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée (U.I.C.P.A.).

Depuis 1965, la Commission I.4 (Commission on Physicochemical Measurements and Standards) de l'U.I.C.P.A. se préoccupe d'une meilleure connaissance de la masse volumique de l'eau.

En 1973, elle a décidé l'envoi d'une Recommandation demandant que des études soient entreprises en vue d'obtenir, à une exactitude suffisante, la valeur absolue de la masse volumique de l'eau à une ou deux températures, et une loi de sa variation en fonction de la température, de la composition isotopique et des gaz dissous.

En attendant que les mesures demandées aient pu être exécutées et que les résultats soient connus et analysés, la Commission a proposé l'utilisation d'une table provisoire de la masse volumique du SMOW en fonction de la température entre 0 et 40 °C (I.U.P.A.C., 1976).

A la lumière des travaux connus à cette époque, la Commission I.4 de l'U.I.C.P.A. préconisa donc que cette table provisoire soit établie en prenant comme valeur fondamentale celle que nous avons proposée (ρ_{\max} (SMOW) = 999,975 kg/m³) et comme table de dilatation, celle de Bigg. On voit tout de suite que cette table provisoire présentera deux défauts inévitables : connaissance insuffisante de la valeur absolue de la masse volumique de l'eau (voir § 2.5.1.a) et des valeurs légèrement incertaines du coefficient de dilatation (voir § 2.5.1.b).

La table ainsi établie donne la masse volumique du SMOW (correspondant à $\delta_{18} = \delta_D = 0$) en fonction de la température exprimée dans l'Echelle

Internationale Pratique de Température de 1968, entre 0 et 40 °C, sous la pression d'une atmosphère normale (101 325 Pa) et en l'absence de gaz dissous (voir Table 1). Cette table peut être calculée à l'aide de l'équation suivante :

$$\rho \text{ (SMOW)} / (\text{kg/m}^3) = a_0 + a_1 t / ^\circ\text{C} + a_2 t^2 / ^\circ\text{C}^2 + a_3 t^3 / ^\circ\text{C}^3 + a_4 t^4 / ^\circ\text{C}^4 + a_5 t^5 / ^\circ\text{C}^5 \quad (2.7)$$

avec

$$\begin{aligned} a_0 &= 999,842\,594, \\ a_1 &= 6,793\,952 \times 10^{-2}, \\ a_2 &= -9,095\,290 \times 10^{-3}, \\ a_3 &= 1,001\,685 \times 10^{-4}, \\ a_4 &= -1,120\,083 \times 10^{-6}, \\ a_5 &= 6,536\,332 \times 10^{-9}. \end{aligned}$$

L'adoption de cette table du SMOW suggère formellement de tenir compte de la composition isotopique dans tout calcul de masse volumique se rapportant à l'eau, contrairement à ce qui se faisait jusqu'ici. Pour une eau différente, caractérisée sur le plan isotopique, par des valeurs non nulles de δ_{18} et δ_D , la masse volumique se déduirait de celle du SMOW par la relation :

$$\rho \text{ (échantillon)} = \rho \text{ (SMOW)} - \Delta\rho, \quad (2.8)$$

$\Delta\rho$ étant la correction isotopique, calculée en fonction de δ_{18} et δ_D , par notre équation (1.28).

Les résultats obtenus par différents chercheurs qui, dans le passé, variaient sensiblement d'un laboratoire à un autre, en fonction de la situation géographique, de la saison et de la technique utilisée pour la purification de l'eau, peuvent être maintenant rapportés à une eau de référence et être ainsi comparables.

Lorsque les résultats des études préconisées par la Commission I.4 de l'U.I.C.P.A. seront obtenus et adoptés et qu'une nouvelle table sera établie pour le SMOW, tout résultat obtenu avec la table provisoire pourra et devra être recalculé à l'aide de la nouvelle.

Nous avons nous-même décidé d'adopter, à titre provisoire, la table du SMOW, comme référence pour le calcul relatif à cette étude.

2.6. CALCUL DE LA MASSE VOLUMIQUE ET RÉSULTATS.

2.6.1. Détermination du volume du corps immergé à 4,5 et 22 °C.

a) *Volume à 4,5 °C.* — A 4,5 °C la détermination pouvait se faire à la meilleure précision possible par la méthode hydrostatique. A cette température en effet, nous nous trouvons au voisinage immédiat du minimum de dilatation thermique de l'eau alors qu'en même temps celle du cylindre est négligeable.

Le volume du cylindre à 4,5 °C, $V_{4,5}$, a été raccordé à la table du SMOW qui donne à cette température

$$\rho_{4,5} \text{ (SMOW)} = 999,972\,82 \text{ kg/m}^3. \quad (2.9)$$

Cette valeur peut être considérée comme aussi exacte que la valeur fondamentale (2.6), les différentes tables de dilatation de l'eau, y compris celle de l'U.I.C.P.A., étant concordantes entre 4 et 5 °C. Nous la désignerons dans la suite de ce rapport par « valeur de référence ».

Une première valeur du volume du cylindre à 4,5 °C, considéré comme « provisoire », a été obtenue par une première série de pesées hydrostatiques.

$$V_{4,5} = 130,560\,987 \text{ cm}^3.$$

A partir de cette valeur, nous avons procédé au calcul des résultats des déterminations faites à 4,5 °C dans le cadre de la présente étude. Les valeurs observées de la masse volumique sont ramenées à 4,5 °C, 101 325 Pa et à une teneur nulle en gaz dissous. Elles sont finalement ramenées au SMOW à l'aide de la formule (1.28), δ_{18} et δ_D étant obtenus par les analyses isotopiques. La moyenne obtenue sur les trois échantillons étudiés pour la masse volumique du SMOW à 4,5 °C, 101 325 Pa et sans gaz dissous est :

$$\rho_{\text{obs. } 4,5} \text{ (SMOW)} = 999,980\,81 \text{ kg/m}^3,$$

supérieure de $8,0 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$ à la valeur de référence ci-dessus (2.9). On se ramène alors à cette valeur de référence en apportant au volume du cylindre une correction $\Delta V = +0,001\,044 \text{ cm}^3$, ce qui donne la valeur adoptée suivante :

$$V_{4,5} \text{ (corrigée)} = 130,562\,031 \text{ cm}^3 \quad (2.10)$$

b) *Volume à 22 °C.* — A cette température, la dilatation thermique de l'eau figurant dans la table de l'U.I.C.P.A. présente, par rapport aux autres tables, des écarts atteignant $4 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$. La méthode hydrostatique ne conviendrait donc pas à la détermination du volume du cylindre à cette température. Ce volume, V_{22} , a donc été calculé à partir de sa valeur à 4,5 °C et de celle du coefficient de dilatation cubique du « Zérodur ». On obtient :

$$V_{22} = V_{4,5} + (1 - 7 \times 10^{-8} \times 17,5) = 130,561\,871 \text{ cm}^3 \quad (2.11)$$

Etant donné la très faible valeur du coefficient de dilatation cubique du « Zérodur », la valeur ci-dessus a la même exactitude que celle de $V_{4,5}$ et est indépendante de la dilatation thermique de l'eau entre 4,5 et 22 °C.

Pour la raison indiquée ci-dessus, la valeur ρ_{22} (SMOW) obtenue à partir de cette valeur de V_{22} à la suite de la détermination de la masse volumique de l'eau peut être légèrement différente de la valeur figurant dans la table de l'U.I.C.P.A.

On procède alors au calcul des résultats des déterminations faites à 22 °C, en suivant le même schéma que celui utilisé pour 4,5 °C avec cette différence qu'aucune correction n'aura à être apportée à la valeur ci-dessus de V_{22} . Les valeurs observées de la masse volumique sont d'abord ramenées à

22 °C et 101 325 Pa, sans gaz dissous, puis au SMOW:

2.6.2. Correction de température et de compressibilité de l'eau.

Le résultat de chaque pesée faite à une température t et à une pression p est ramené respectivement à la température de 4,5 ou 22 °C à l'aide de la table de l'U.I.C.P.A. et à la pression de 101 325 Pa à l'aide des coefficients de compressibilité de l'eau donnés par Kell (1970) :

$$\text{à } 4,5 \text{ °C : } 0,4935 \times 10^{-9} \text{ Pa}^{-1};$$

$$\text{à } 22 \text{ °C : } 0,4562 \times 10^{-9} \text{ Pa}^{-1}.$$

2.6.3. Correction des gaz atmosphériques dissous.

Nous avons établi (voir 3.5.3.) que, dans un échantillon d'eau exposé à l'air sans agitation à une température quelconque t , mais non saturé en gaz atmosphériques dissous, les taux de saturation en oxygène et en azote dissous sont égaux à tout instant. Le taux de saturation $x(X)$ de l'échantillon en gaz X est égal au rapport de sa teneur actuelle $C(X)$ en X à la solubilité $s(X)$ de X dans l'échantillon à la température t , soit :

$$x(X) = C(X)/s(X); (0 \leq x(X) \leq 1).$$

On a donc à tout instant, pour l'échantillon considéré :

$$x(O_2) = x(N_2).$$

La détermination de $C(O_2)$, puis le calcul de $x(O_2)$ suffiront donc au calcul de la correction des gaz atmosphériques dissous.

La correction $\Delta\rho(O_2)$ qui permet de passer de la masse volumique de l'échantillon ayant un taux de saturation $x(O_2)$ en oxygène, à celle du même échantillon ne contenant pas de gaz atmosphériques dissous est de la forme :

$$\Delta\rho(O_2)/(\text{kg/m}^3) = a \cdot x(O_2) \quad (2.12)$$

a étant un coefficient numérique.

Des mesures à caractère préliminaire ont permis d'appliquer la relation (2.12) avec les valeurs approchées suivantes :

$$a = +0,002 \text{ à } 4,5 \text{ °C}; a = +0,001 \text{ à } 22 \text{ °C}.$$

Il faut toutefois remarquer que, dans le cas qui nous occupe, où nous avons à comparer les résultats obtenus sur trois échantillons différents, le calcul très précis n'est pas utile, une partie de cette correction s'éliminant par différence.

Si le coefficient a est connu avec une erreur Δa , la correction $\Delta\rho(O_2)$ est obtenue avec une erreur $\Delta_2\rho(O_2)/(\text{kg/m}^3) = \Delta a \cdot x(O_2)$.

La moyenne des résultats (colonne 9 des tableaux 2.1 et 2.2) des pesées faites à une température donnée sur le même échantillon sera affecté d'une erreur : $\Delta_2\rho(O_2) = \Delta a \cdot \bar{x}$, \bar{x} étant la moyenne arithmétique des résultats partiels.

La différence entre les valeurs obtenues à une température donnée sur deux échantillons 1 et 2 sera donc :

$$\Delta_2^2\rho(O_2) - \Delta_2^1\rho(O_2) = \Delta a(x_2 - x_1) \text{ kg/m}^3.$$

La différence $\bar{x}_2 - \bar{x}_1$ est généralement petite.

Ainsi, la plus grande différence entre les 3 moyennes \bar{x}_i (colonne 3) pris deux à deux est de 0,14 à 4,5 °C et 0,10 à 22 °C. En prenant $\Delta a \leq 1 \times 10^{-3}$, l'erreur à craindre sur les différences de masse volumique sera inférieure à $0,14 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$ à 4,5 °C et $0,10 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$ à 22 °C.

2.6.4. Vérification de la formule (1.28).

Si l'un des deux échantillons est le SMOW, l'équation s'écrit :

$$\begin{aligned} \Delta\rho \times 10^3/(\text{kg/m}^3) &= (\rho - \rho(\text{SMOW})) \times 10^3 \\ &= 0,233 \delta_{1R} + 0,0166 \delta_D. \end{aligned} \quad (2.13)$$

d'où :

$$\rho(\text{SMOW}) = \rho - \Delta\rho,$$

avec

$$\Delta\rho/(\text{kg/m}^3) = (0,233 \delta_{1R} + 0,0166 \delta_D) 10^{-3}.$$

En ajoutant $-\Delta\rho$ à la valeur observée ρ , on devrait trouver pour chacune des deux températures la valeur constante $\rho(\text{SMOW})$ qui lui correspond (sous 101 325 Pa et sans gaz dissous). La dispersion de cette valeur pour toutes les déterminations faites à la même température renseigne sur le degré de confiance que l'on pourra accorder à la formule (1.28) à cette température.

Nous devons remarquer que, bien que les observations aient commencé à 22 °C, le calcul a dû se faire d'abord pour $t = 4,5 \text{ °C}$. Les résultats vont donc être présentés d'abord à 4,5 °C (tableau 2.1), puis à 22 °C (tableau 2.2).

2.6.5. Résultats.

Les deux tableaux qui suivent donnent le détail des observations et des résultats obtenus aux deux températures 4,5 et 22 °C.

Il est utile de faire remarquer que la moyenne obtenue pour la masse volumique du SMOW, à 22 °C, indiquée au tableau 2.2

$$\rho_{22}(\text{SMOW}) = 997,7701 \text{ kg/m}^3$$

est différente de la valeur donnée par la table provisoire du SMOW préconisée par l'U.I.C.P.A.

$$\rho_{22}(\text{SMOW}) = 997,7730 \text{ kg/m}^3.$$

Tableau 2.1

Résultats des observations à 4,5 °C

Colonne 2 : Valeurs observées (en kg/m³) de la masse volumique ramenée à 4,5 °C, 101 325 Pa. Ces valeurs sont obtenues avec la valeur provisoire $V_{4,5} = 130,560\ 987\ \text{cm}^3$.

Colonne 3 : Taux de saturation x de l'oxygène dissous dans l'échantillon ($0 \leq x \leq 1$).

Colonne 4 : Correction de gaz dissous : $+ 0,002\ x\ \text{kg/m}^3$.

Colonne 7 : Valeur de $-\Delta\rho/(\text{kg/m}^3) = -(0,233\ \delta_{16} + 0,016\ 6\ \delta_D) \times 10^{-3}$.

Colonne 8 : Masse volumique $\rho_{4,5}$, ramenée au SMOW à 4,5 °C, 101 325 Pa, sans gaz dissous.

Colonne 9 : Moyenne de $\rho_{4,5}$ (SMOW) obtenue pour chaque échantillon. Sur la ligne inférieure, moyenne générale des trois échantillons.

Colonne 10 : La moyenne générale figurant au bas de la colonne 9 est ramenée à la valeur de référence $\rho_{4,5}$ (SMOW) = 999,972 8 en la diminuant de $8,0 \times 10^{-3}\ \text{kg/m}^3$. La moyenne pour chaque échantillon est également réduite de la même quantité.

Ce changement entraîne une légère augmentation du volume du cylindre de $0,001\ 044\ \text{cm}^3$; ce volume devient : $V_{4,5} = 130,562\ 031\ \text{cm}^3$.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Origine des échantillons N° des pesées	ρ observée 4,5° C, 101 325 Pa (kg/m ³)	gaz dissous		isotopie			ρ (SMOW) 4,5° C, 101 325 Pa sans gaz (kg/m ³)	ρ (SMOW) moyenne (kg/m ³)	ρ (SMOW) moyenne corrigée (nouveau volume) (kg/m ³)
		x (O ₂)	correction (kg/m ³)	δ_{18}	δ_D	$-\Delta\rho$ (kg/m ³)			
1. Eau de mer									
1	999,978 76	0,17	+ 0,000 34	- 5,85	- 28,6	+ 0,001 84	999,980 94		
2	54	0,23	46	"	"	"	84		
3	48	0,45	90	"	"	"	981 22		
4	42	0,51	1 02	"	"	"	28		
5	31	0,34	+ 0 68	- 5,90	- 29,4	+ 0,001 86	980 85	999,980 90	999,972 9
6	25	0,37	74	"	"	"	85		
7	977 81	0,49	98	"	"	"	66		
8	93	0,51	1 02	"	"	"	81		
9	73	0,54	1 08	"	"	"	67		
		0,40							
2. Robinet BIPM									
10	999,975 94	0,32	+ 0,000 64	- 12,35	- 73,4	+ 0,004 10	999,980 68		
11	976 03	0,36	72	"	"	"	85		
12	975 89	0,52	1 04	"	"	"	1 03		
13	82	0,55	1 10	"	"	"	1 02		
14	975 91	0,39	0 78	- 11,85	- 72,9	+ 0,003 97	0 66	999,980 76	999,972 8
15	98	0,43	86	"	"	"	81		
16	60	0,54	1 08	"	"	"	65		
17	59	0,57	1 14	"	"	"	70		
18	31	0,60	1 20	"	"	"	48		
		0,48							
3. Eau Antarctique									
19	999,959 83	0,19	+ 0,000 38	- 59,10	- 432,0	+ 0,020 94	999,981 15		
20	58	0,23	46	"	"	"	980 98		
21	21	0,41	82	"	"	"	0 97		
22	33	0,45	90	"	"	"	1 17		
23	959 18	0,15	30	- 59,15	- 432,5	+ 0,020 96	980 44	999,980 77	999,972 8
24	8 94	0,21	42	"	"	"	32		
25	75	0,44	88	"	"	"	59		
26	72	0,49	98	"	"	"	66		
27	63	0,53	1 06	"	"	"	65		
		0,34						999,980 81	999,972 8

Tableau 2.2

Résultats des observations à 22 °C

Les calculs sont faits avec $V_m = 130,561\,871\text{ cm}^3$.

Colonne 2 : Valeur observée de la masse volumique (en kg/m^3) ramenée à 22 °C et 101 325 Pa.

Colonne 3 : Taux de saturation x de l'oxygène dissous dans la solution.

Colonne 4 : Correction de gaz dissous : $+ 0,001 \times \text{kg/m}^3$.

Colonne 7 : Valeur de $-\Delta\rho$.

Colonne 8 : Masse volumique ρ_m (SMOW), à 22 °C, 101 325 Pa, sans gaz dissous.

Colonne 9 : Moyenne de ρ_m (SMOW) pour chacun des échantillons. Sur la ligne inférieure, moyenne générale des trois échantillons.

Cette moyenne générale est inférieure de $0,003\text{ kg/m}^3$ à la valeur donnée pour 22 °C dans la table de l'U.I.C.P.A. ($997,773\,0\text{ kg/m}^3$)

1 Origine des échantillons N° des pesées	2 ρ observée 22° C, 101 325 Pa (kg/m^3)	3 gaz dissous		5 isotopie			8 ρ (SMOW) 22° C, 101 325 Pa sans gaz (kg/m^3)	9 ρ (SMOW) moyenne (kg/m^3)	
		3 $x(\text{O}_2)$	4 correction (kg/m^3)	5 δ_{18}	6 δ_D	7 $-\Delta\rho$ (kg/m^3)			
1. Eau de mer									
1	997,768 30	0,35	+ 0,000 35	- 4,05	- 19,4	+ 0,001 27	997,769 92	997,769 94	
2	24	0,38	38	"	"	"	89		
3	7 98	0,60	60	"	"	"	85		
4	8 19	0,66	66	"	"	"	770 12		
5	8 50	0,36	36	- 3,8	- 18,7	+ 0,001 20	770 06		
6	59	0,42	42	"	"	"	21		
7	7 85	0,63	63	"	"	"	769 68		
8	94	0,66	66	"	"	"	80		
9	8 04	0,70	70	"	"	"	94		
		0,53							
2. Robinet BIPM									
10	997,766 71	0,41	+ 0,000 41	- 10,40	- 64,3	+ 0,003 49	997,770 61	997,770 36	
11	5 90	0,63	63	"	"	"	02		
12	5 94	0,68	68	"	"	"	11		
13	5 83	0,73	73	"	"	"	05		
14	766 55	0,46	46	- 10,95	- 64,8	+ 0,003 63	64		
15	40	0,50	50	"	"	"	53		
16	19	0,69	69	"	"	"	51		
17	03	0,73	73	"	"	"	39		
18	5 95	0,77	77	"	"	"	35		
		0,62							
3. Eau Antarctique									
19	997,748 37	0,47	+ 0,000 47	- 57,90	- 431,7	+ 0,020 66	997,769 50	997,769 83	
20	46	0,73	73	"	"	"	85		
21	06	0,79	79	"	"	"	51		
22	99	0,33	33	- 57,95	- 433,2	0,020 69	770 01		
23	99	0,36	36	"	"	"	04		
24	93	0,42	42	"	"	"	04		
		0,52							
									997,770 07

Cette différence montre bien qu'il est nécessaire que de nouvelles déterminations de la masse volumique de l'eau soient effectuées, et vient en appui à la Recommandation de l'U.I.C.P.A.

En effet, à cette température, les différentes tables existant actuellement donneraient, pour une eau ayant la composition isotopique du SMOW, les va-

leurs de masse volumique suivantes :

Thiesen	997,771 6 kg/m^3
Chappuis	997,776 9 kg/m^3
Steckel et Szapiro	997,771 8 kg/m^3
Mendéléev	997,770 9 kg/m^3
Tilton and Taylor	997,775 3 kg/m^3

2.7. CONCLUSION.

L'examen des tableaux 2.1 et 2.2 montre une excellente concordance des résultats obtenus. Cette concordance est de $0,1 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$ à $4,5^\circ\text{C}$ et de $0,3 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$ à 22°C . L'incertitude sur la moyenne générale ne doit pas dépasser $0,3 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$ aux deux températures.

La formule de correction isotopique que nous avons établie se trouve donc vérifiée à $4,5^\circ\text{C}$ et 22°C . Elle est donc valable au moins à l'intérieur

de l'intervalle $(4,5-22)^\circ\text{C}$ et il est raisonnable d'estimer que sa validité couvre l'intervalle $(0-30)^\circ\text{C}$.

La différence de masse volumique entre deux échantillons quelconques d'eau naturelle ne dépasse pas $0,02 \text{ kg/m}^3$. Pour un tel intervalle de masse volumique, la correction isotopique peut donc être calculée, en kilogrammes par mètre cube, avec une 3^e décimale exacte.

En fait, les eaux naturelles utilisées dans les différents laboratoires du monde où peuvent se faire des déterminations précises ne s'écartent pas les uns des autres de plus de $5 \text{ à } 7 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$. L'incertitude sur la correction isotopique est alors inférieure à $0,1 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$.

ANALYSE, PAR CHROMATOGRAPHIE EN PHASE GAZEUSE, DES GAZ ATMOSPHÉRIQUES DISSOUS DANS L'EAU (EAU PURE ET EAU DE MER)

(M.C. Beauverger)

3.1. ANALYSE DES GAZ PAR CHROMATOGRAPHIE EN PHASE GAZEUSE. PRINCIPE ET TERMINOLOGIE.

Nous avons appliqué la méthode de la chromatographie d'adsorption ou chromatographie *gaz-solide*, basée sur le principe suivant :

Un tube, appelé *colonne*, rempli d'un adsorbant solide pulvérulent, est traversé en permanence par un gaz appelé *gaz vecteur* ou *porteur* (dans notre cas, He ou H). L'adsorbant est désigné par *phase fixe* et le gaz vecteur par *phase mobile*. Le débit et la température du gaz vecteur sont, généralement, maintenus constants.

A la sortie de la colonne, le gaz vecteur traverse un « détecteur » dont le rôle est de signaler les changements que pourrait subir une propriété physique donnée de ce gaz. Les indications du détecteur sont converties en une faible tension électrique appliquée aux bornes d'entrée d'un millivoltmètre enregistreur. On obtient un enregistrement, avec le temps en abscisse et, en ordonnée, des millivolts.

Dans notre montage, le détecteur est un « catharomètre » sensible aux variations de la conductibilité thermique du flux gazeux qui le parcourt.

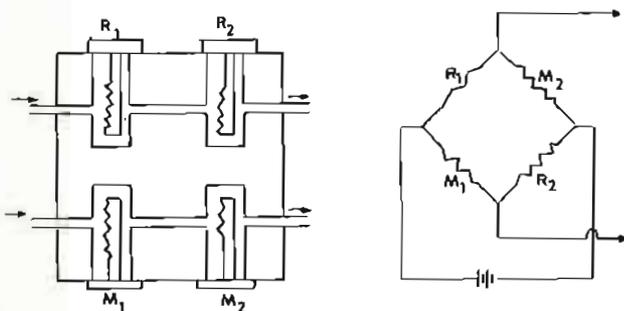


FIG. 3.1. — Schéma et montage électrique d'un détecteur à conductibilité thermique.

Il est constitué par quatre filaments métalliques disposés dans un pont de Wheatstone (fig. 3.1) : les deux éléments R_1 , R_2 sont placés dans le courant du gaz vecteur pur, les deux autres, M_1 , M_2 , dans le courant gazeux sortant de la colonne. La température et le débit des deux courants gazeux sont maintenus constants. Tant que les deux courants

sont constitués du même gaz vecteur pur, le pont est équilibré, et l'enregistrement obtenu est une droite, parallèle à l'axe des abscisses qu'on appelle *ligne de base*.

Si un petit volume d'un gaz différent, qu'on désigne par *soluté*, de conductibilité thermique différente de celle du gaz vecteur, est injecté à l'entrée de la colonne, il est entraîné par le gaz vecteur auquel il se mélange et, à la traversée du détecteur, sa présence est révélée par une modification de la conductibilité thermique du flux gazeux, dont l'importance croît avec la proportion du soluté dans le mélange.

La sensibilité de ce détecteur dépend de la nature du filament, de sa résistance, de sa température, de la forme de l'enceinte dans laquelle il est placé, de la nature du gaz vecteur et de la différence entre la conductibilité thermique de ce gaz et celle du gaz élué.

Nous nous placerons dans le cas où il existe une affinité entre le soluté et l'adsorbant contenu dans la colonne. Au contact de l'adsorbant, une partie du soluté est alors retenue sur la phase fixe et, en chaque section de la colonne, un équilibre s'établit entre cette fraction adsorbée et celle restant dans la phase gazeuse. La progression du soluté le long de la colonne se fera donc avec un retard qui varie avec l'affinité de l'adsorbant pour le gaz considéré. A la sortie de la colonne, la proportion du soluté dans la phase mobile augmente à partir de zéro, atteint un maximum, puis s'annule à nouveau. L'enregistrement obtenu a la forme d'un « pic », dont l'aire est proportionnelle au volume total du soluté dans les conditions physiques (température, pression) de l'expérience. Le facteur de proportionnalité ou de « conversion » peut être obtenu en répétant l'opération avec un volume connu du gaz considéré, ce gaz pouvant être utilisé à l'état pur, contenu dans un mélange étalon de gaz, ou en solution à une concentration connue dans un liquide étalon.

Si un volume V d'un gaz déterminé X a donné naissance à un pic d'aire $A(X)$, le facteur de conversion $k(X)$ de ce gaz est :

$$k(X) = V(X)/A(X) \quad (3.1)$$

Le temps moyen mis par un soluté pour parcourir la colonne est appelé *temps de rétention*. Il est mesuré, sur l'enregistrement, par l'intervalle entre l'instant de l'injection du soluté et celui correspon-

dant au sommet du pic. Pour un gaz donné, le temps de rétention augmente avec la longueur de la colonne chromatographique. Il est également fonction d'un certain nombre de paramètres, dont le débit et la température du gaz vecteur.

Si, maintenant, on injecte à l'entrée de la colonne, non plus un gaz étranger unique, mais un mélange de deux gaz, les temps de rétention correspondants seraient également différents. On peut alors agir sur les différents paramètres chromatographiques et, notamment, sur la longueur de la colonne, pour qu'à la sortie, ces deux gaz soient totalement séparés de manière que, sur l'enregistrement, les deux pics qui leur correspondent soient nettement distincts et qu'il soit possible de mesurer leurs aires séparément.

La méthode reste la même pour l'analyse d'un mélange de plus de deux gaz, mais les conditions

à remplir pour obtenir une bonne séparation de tous les constituants du mélange peuvent devenir de plus en plus malaisées à réaliser.

3.2. APPLICATION A L'ANALYSE DES GAZ ATMOSPHÉRIQUES DISSOUS DANS UN ÉCHANTILLON D'EAU.

3.2.1. Appareillage.

Nous avons utilisé un chromatographe Intersmat modèle ICG 12M, dans lequel le détecteur est un catharomètre.

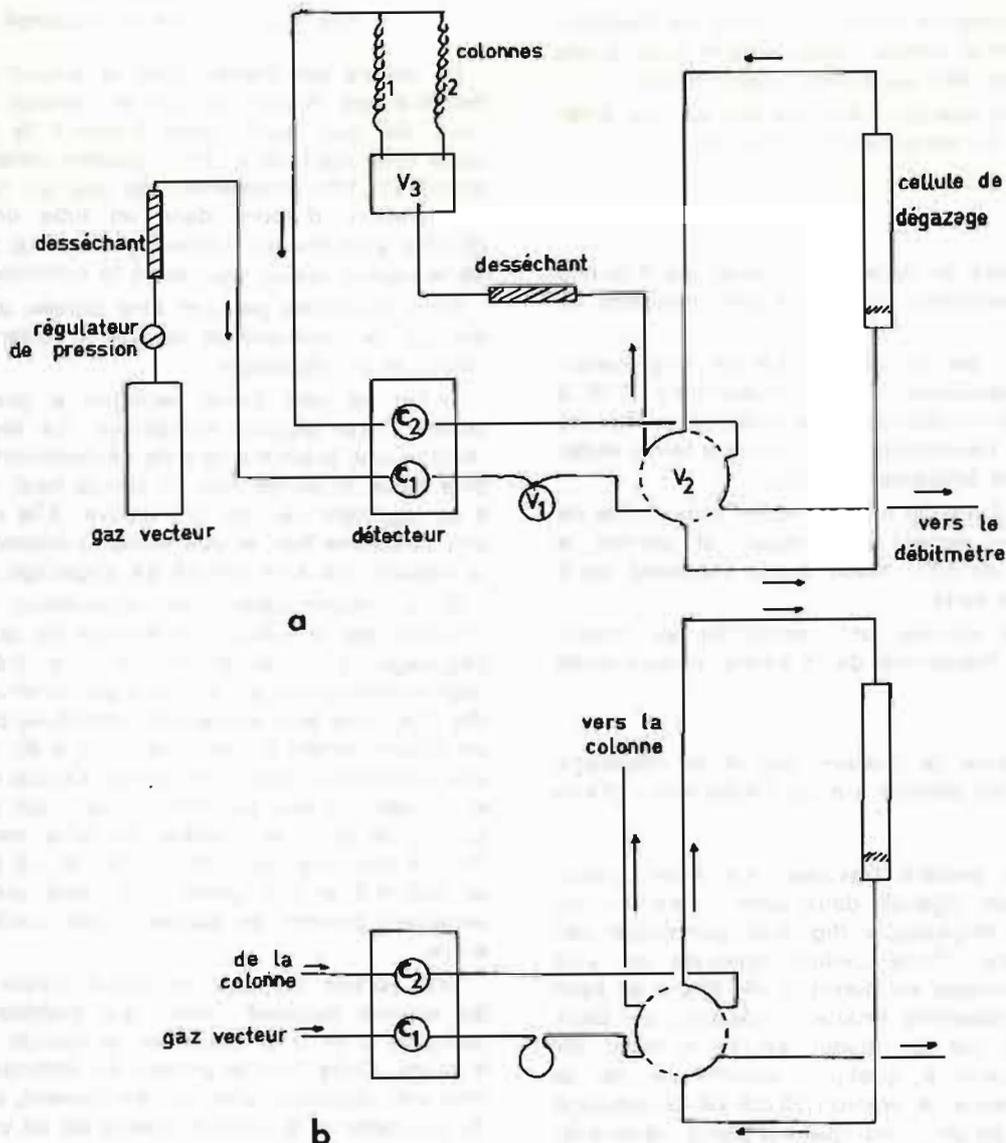


FIG. 3.2. — Schéma du montage chromatographique.

a) Analyse.

b) Expulsion de l'eau de la cellule de dégazage.

V_1 , boucle d'échantillonnage ; V_2 , vanne à 6 voies ; V_3 , vanne à 2 voies ; C_1 , C_2 , cellules du détecteur.

Le chromatographe est branché sur un régulateur automatique de tension Drush, type RTA/1000/120. Il est accompagné d'un enregistreur potentiométrique Servotrace, et d'un intégrateur numérique ITT 1001, permettant d'obtenir automatiquement l'aire de chaque pic.

Nous avons utilisé comme gaz vecteur l'hélium et, occasionnellement, l'hydrogène. Le détecteur est parcouru par un courant de 180 mA pour l'hélium et de 210 mA pour l'hydrogène. Le débit gazeux est réglé à 50 cm³/min. Il est contrôlé par un débitmètre à bulle de savon branché à la sortie de l'appareil.

Nous avons préféré travailler à la température ambiante.

3.2.2. Schéma de montage.

Nous nous sommes inspirés de celui de Swinerton, Linnenbom et Cheek (1962), auquel nous avons dû apporter de très sensibles modifications.

Voici d'abord quelques explications sur les différentes parties de notre montage (fig. 3.2).

a) Colonnes.

Deux colonnes en acier inoxydable, de 6,35 mm de diamètre extérieur (1/4 inch) sont montées en parallèle.

La colonne 1 est un tube de 3 m de long, rempli de tamis moléculaire 13 X, granulométrie 0,18 à 0,25 mm (60-80 « mesh »). Cette colonne permet de séparer N₂ de l'ensemble (O₂ + Ar). Le tamis moléculaire absorbe totalement le CO₂.

La colonne 2 est un tube en acier inoxydable de 50 cm de long, rempli de porapak, et permet la seule analyse du CO₂. Nous avons supprimé cette colonne par la suite.

La colonne choisie est raccordée au circuit gazeux par la manœuvre de la vanne à deux voies V₃.

b) Dispositif pour le prélèvement et le dégazage d'une quantité déterminée de l'échantillon d'eau à analyser.

Nous avons préféré travailler sur 1 cm³ d'eau. Ce volume est injecté dans une « cellule » ou « chambre de dégazage » (fig. 3.3), parcourue par le gaz vecteur. Cette cellule consiste en une ampoule cylindrique en plexiglas de 20 cm de haut sur 1 cm de diamètre intérieur, séparée en deux compartiments par un disque en verre fritté, de porosité 0, placé à quelques millimètres de la tubulure inférieure. A environ 15 cm de la tubulure supérieure, la paroi cylindrique est percée d'un trou contre lequel est appliquée une capsule en caoutchouc de silicone (septum) et qui peut servir à l'introduction de l'échantillon à l'aide d'une seringue Hamilton, munie d'une aiguille métallique à injection.

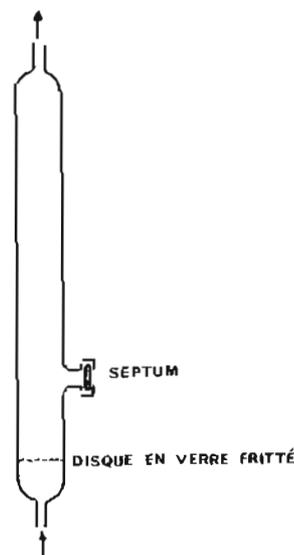


FIG. 3.3. — Cellule de dégazage.

La cellule est placée dans le circuit gazeux de manière que le gaz vecteur la traverse de bas en haut. Ce gaz, après avoir traversé le disque en verre fritté, barbote en fines gouttes dans le liquide, entraînant très rapidement les gaz qui s'y trouvent en solution, d'abord dans un tube déshydratant (SO₃Ca anhydre ou « dryerite ») qui le débarrasse de la vapeur d'eau, puis dans la colonne choisie.

Deux procédés peuvent être utilisés pour l'introduction de l'échantillon liquide à l'intérieur de la chambre de dégazage.

1) On se sert d'une seringue à gaz Hamilton munie d'une aiguille métallique. La seringue est remplie une première fois de l'échantillon à étudier, puis vidée, la pointe tournée vers le haut, de manière à en expulser l'air qui s'y trouve. Elle est remplie une deuxième fois, et son contenu injecté, à travers le septum, dans la cellule de dégazage.

2) Le volume désiré de l'échantillon liquide est introduit par la tubulure inférieure de la cellule de dégazage, à l'aide d'une « boucle d'échantillonnage » montée sur une vanne à gaz rotative à 6 voies (fig. 3.4). Une telle vanne est constituée par un bloc en téflon portant 6 raccords (n° 1 à 6), disposés à égale distance suivant un cercle. Contre ce bloc est appliquée une tête portant 3 canaux qui permettent, suivant la position choisie, de faire communiquer deux à deux les raccords 1-2, 3-4 et 5-6 (position 1) ou 2-3, 4-5 et 6-1 (position 2). Une clef à grand débattement permet de passer d'une position à une autre.

Une portion de tube en métal, nylon ou téflon, de volume supposé connu, est montée entre les raccords 3 et 6 et constitue la boucle d'échantillonnage. Cette boucle permet de délivrer des volumes bien reproductibles et, très souvent, il est inutile de procéder à la mesure exacte de ce volume.

Le procédé de la boucle d'échantillonnage peut être également utilisé pour injecter dans le circuit gazeux un volume donné d'un mélange étalon de gaz.

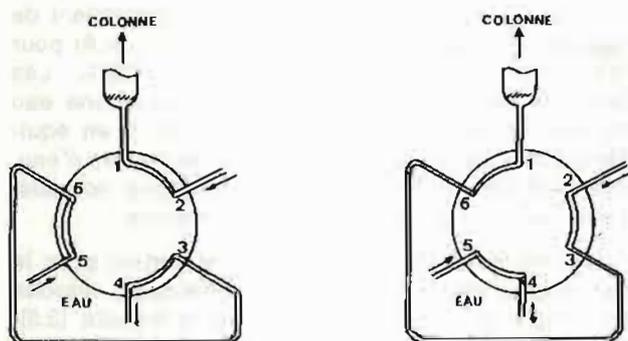


FIG. 3.4. — Vanne rotative à 6 voies avec boucle d'échantillonnage.

Position 1 : L'eau circule dans la boucle d'échantillonnage.
Position 2 : Le contenu de la boucle est injecté dans le circuit gazeux.

Nous en verrons l'utilité plus loin. Sur la figure 3.2, cette boucle est représentée par V_1 .

c) Tubes déshydratants.

Il s'agit de tubes en nylon de 30 cm de long et de 3,2 mm (1/8 inch) de diamètre extérieur, remplis de dryerite colorée, laquelle vire du bleu au rose lorsque le produit est chargé d'humidité. Ces tubes déshydratants sont remplacés après une dizaine d'injections d'eau d'environ 1 cm^3 dans la cellule de dégazage.

d) Dispositif de vidange de l'eau à la fin d'une analyse.

A la fin d'une analyse, le liquide contenu dans la chambre de dégazage peut être éjecté à l'extérieur, par une manœuvre de la vanne à six voies V_2 (fig. 3.2), sur laquelle la chambre de dégazage est branchée aux raccords 3-6.

En position 1 (fig. 3.2.a), le gaz vecteur traverse d'abord la chambre de dégazage dans le bon sens (du bas vers le haut), puis l'une des deux colonnes et le détecteur, avant de sortir dans l'atmosphère.

En position 2 (fig. 3.2.b), ce gaz, venant de la colonne choisie et du détecteur, traverse la chambre de dégazage dans le sens inverse, du haut vers le bas. Le liquide contenu dans cette chambre de dégazage, entraîné par le flux gazeux, traverse le verre fritté et est injecté à l'extérieur avec le gaz vecteur.

3.2.3. Fonctionnement de l'installation chromatographique.

A la suite des explications qui précèdent, le fonctionnement du circuit chromatographique apparaît clairement sur la figure 3.2.

Le gaz vecteur traverse d'abord l'une des deux cellules C_1 du détecteur, puis l'une des deux colonnes et s'échappe dans l'air après avoir traversé la deuxième cellule C_2 du détecteur. En dehors des analyses, ces deux cellules, C_1 et C_2 , sont parcourues par le gaz vecteur pur et le pont de Wheatstone reste équilibré. On obtient, sur l'enregistreur, le tracé d'une ligne de base rectiligne et bien parallèle à l'axe des abscisses.

Pour procéder à une analyse, la vanne V_2 est placée en position 1 (fig. 3.2.a) et une quantité d'eau est introduite dans la chambre de dégazage, à l'aide de la boucle V_1 ou d'une seringue Hamilton. L'eau est rapidement débarrassée des gaz qu'elle contenait en solution. Ceux-ci sont entraînés par le gaz vecteur qui traverse d'abord le tube déshydratant, puis l'une des deux colonnes et s'évade finalement vers l'extérieur après avoir traversé la cellule C_2 . Celle-ci se trouve donc parcourue par le gaz vecteur chargé de soluté, alors que C_1 continue à être parcourue par le gaz vecteur pur. Le déséquilibre du pont de Wheatstone se traduit par l'enregistrement des divers pics correspondant aux divers composants du soluté.

A la fin de l'analyse, la vanne V_2 est mise en position 2 (fig. 3.2.b) et l'eau qui se trouvait dans la chambre de dégazage est éjectée à l'extérieur. V_2 est ensuite remise en position 1.

3.3. SOLUBILITÉ DES PRINCIPAUX GAZ ATMOSPHÉRIQUES DANS L'EAU DE MER.

3.3.1. Définitions.

Dans ce qui va suivre, l'eau pure sera considérée comme une eau de mer de salinité nulle.

Les deux définitions suivantes se rapportent à une eau de mer de salinité S , en équilibre avec une atmosphère contenant un gaz X , donc saturée en ce gaz, les deux phases se trouvant à une même température :

1) Le coefficient de solubilité de Bunsen, $\alpha(X)$, d'un gaz X , représente le volume de X ramené aux température et pression normales (T.P.N.), soit 0°C et 1 atmosphère normale (101 325 Pa), en solution dans l'unité de volume du liquide, lorsque la pression partielle de X est égale à 1 atmosphère normale.

2) Le terme général de « solubilité », $s(X)$, appliqué à un gaz atmosphérique X en équilibre avec un échantillon d'eau de mer représente la teneur de cet échantillon en X correspondant à la pression partielle $p(X)$ que ce gaz possède dans l'atmosphère au moment d'une expérience. L'eau de mer est alors saturée en X . Cette teneur en X est très généralement exprimée en centimètres cubes de gaz par décimètre cube d'eau (le gaz X étant ramené

aux conditions normales), mais on trouve aussi des données exprimées en diverses autres unités : centimètre cube par kilogramme (cm^3/kg), milligramme par kilogramme (mg/kg), micromole par décimètre cube ($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$) et micromole par kilogramme ($\mu\text{mol}/\text{kg}$). Nous adopterons comme unité le centimètre cube par décimètre cube (cm^3/dm^3) dans la suite de cet exposé.

3.3.2. Calcul de la solubilité.

Considérons un mélange de gaz soumis à une pression P , en équilibre avec un liquide qu'il surmonte. L'état d'équilibre entraîne les deux conséquences suivantes :

1) la phase liquide est saturée de chacun des composants de la phase gazeuse;

2) inversement, la phase gazeuse est saturée de la vapeur dégagée par le liquide.

Soit X l'un des composants du mélange gazeux, $N(X)$ la fraction molaire de ce composant dans le mélange et $p(X)$ sa pression partielle dans la phase gazeuse.

$$p(X) = N(X) P \quad (3.2)$$

Considérons maintenant un échantillon d'eau en équilibre avec l'atmosphère qui le surmonte. Les fractions molaires des principaux composants de l'atmosphère, vapeur d'eau non comprise, sont, d'après Glueckauf (1951) :

$$N(\text{N}_2) = 0,78084$$

$$N(\text{O}_2) = 0,20946$$

$$N(\text{Ar}) = 0,00934$$

$$N(\text{CO}_2) = 0,00034,$$

pouvant légèrement varier de part et d'autre de cette moyenne.

Soit p_s la somme des pressions partielles de ces quatre composants, p_0 celle de la vapeur d'eau (saturante), à la température t' de l'atmosphère, P la pression atmosphérique ($P = p_s + p_0$) et $e/100$ l'humidité relative. X étant un des principaux composants de l'atmosphère, on a :

$$p(X) = N(X) p_s = N(X) (P - p_0 e/100). \quad (3.3)$$

D'après la loi de Henri, la solubilité $s(X)$ est proportionnelle à la pression partielle $p(X)$ du gaz X dans l'atmosphère :

$$s(X) = \alpha(X) p(X) \times 10^3/\text{atm}. \quad (3.4)$$

Le rapport de proportionnalité $\alpha(X)$, exprimé en cm^3/cm^3 pour $p = 1$ atmosphère (101 325 Pa) est le coefficient de Bunsen.

Il est vraiment commode de prendre pour unité de pression le millimètre de mercure (mmHg), soit :

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg}; \quad 1 \text{ mmHg} = 133,3224 \text{ Pa}$$

On a alors :

$$\begin{aligned} s(X)/(\text{cm}^3 \text{ dm}^{-3}) &= \alpha(X) \times 10^3 p(X)/(760 \text{ mmHg}) = \\ &= \alpha(X) N(X) (P - p_0 e/100) \times \\ &\quad \times 10^3/(760 \text{ mmHg}) \end{aligned} \quad (3.5)$$

Weiss (1970) a publié des tables du coefficient de Bunsen α et de la solubilité s pour N_2 , O_2 et Ar pour les intervalles $(-1, +40)^\circ\text{C}$ et $(0-40)\%$. Les données de solubilité sont calculées pour une eau de mer de température t et de salinité S en équilibre avec une atmosphère saturée de vapeur d'eau, exerçant une pression d'une atmosphère normale. Leur précision est généralement suffisante.

Des données plus précises, utiles surtout pour le cas d'eaux étalon de gaz atmosphériques dissous peuvent être calculées à l'aide de la formule (3.5), les valeurs de X étant obtenues sur les tables du coefficient de Bunsen de Weiss.

Murray et Riley (1971) ont publié une table donnant les valeurs du coefficient de Bunsen pour le CO_2 en fonction de la température (t de -2 à 38°C) et de la chlorinité (Cl de 0 à 20%). Il n'existe pas de table de la solubilité s du CO_2 , la pression partielle de ce gaz dans l'atmosphère étant trop fluctuante.

Les tables 3.1 et 3.2 donnent respectivement les valeurs du rapport $s(\text{Ar})/s(\text{N}_2)$ et $s(\text{Ar})/s(\text{O}_2)$, pour diverses valeurs de la température et de la salinité. Elles permettent de dégager les deux relations suivantes, pour les intervalles $0-30^\circ\text{C}$ et $0-40\%$:

$$s(\text{Ar})/s(\text{N}_2) = (26,6 \pm 1,0) \times 10^{-3} \quad (3.6)$$

$$s(\text{Ar})/s(\text{O}_2) = 49 \times 10^{-3}. \quad (3.7)$$

L'examen de ces diverses tables permet de constater que, sur les quatre gaz atmosphériques considérés, deux, Ar et CO_2 , ont, dans toutes les conditions de température et de salinité, des solubilités dans l'eau de mer très faibles, dont la somme ne dépasse pas, en volume, 4% du total des solubilités de ces quatre gaz.

$$\frac{s(\text{Ar}) + s(\text{CO}_2 \text{ atmosphérique})}{\sum s(X)} \leq 0,04$$

L'action totale sur la masse volumique des gaz atmosphériques en solution dans l'eau étant limitée à environ $3 \times 10^{-3} \text{ kg}/\text{m}^3$, la part correspondante dans cette action de Ar et du CO_2 dissous peut être considérée comme négligeable. Les titrations de Ar et du CO_2 dissous sont donc sans intérêt dans la présente étude consacrée aux problèmes de la masse volumique et il peut y être renoncé.

Table 3.1.

$10^3 \cdot s(\text{Ar})/s(\text{N}_2)$

$t/^\circ\text{C}$	$S(\%)$			
	0	20	35	40
0	27,0	27,3	27,6	27,6
5	26,8	27,1	27,3	27,4
10	26,6	26,9	27,1	27,1
20	26,2	26,4	26,6	26,7
30	25,7	26,0	26,2	26,2
$s(\text{Ar})/s(\text{N}_2) = (26,6 \pm 1,0) \times 10^{-3}$				

Table 3.2.
 $10^3 \cdot s(\text{Ar})/s(\text{O}_2)$

$t, ^\circ\text{C}$	$S/(\%)$			
	0	20	35	40
0	48,74	48,66	48,60	48,58
5	48,84	48,78	48,74	48,72
10	48,93	48,88	48,84	48,83
20	49,02	49,01	48,99	48,99
30	49,05	49,06	49,07	49,07

$s(\text{Ar}/s(\text{O}_2)) = (48,8 \pm 0,3) \times 10^{-3}$

Par ailleurs, pour l'oxygène dissous, la méthode chimique d'analyse de Winkler, améliorée par Carpenter (1965), permet d'obtenir des résultats à la précision de 0,5 %, alors que la chromatographie ne permet pas, pour le moment, de dépasser le seuil de 2 %. Nous avons donc doublé toutes les analyses chromatographiques par une titration chimique, et c'est le résultat de cette dernière titration qui est retenu pour notre travail.

Finalement, l'intérêt de la méthode chromatographique se trouve limité à l'étude du seul azote atmosphérique dissous.

Nous allons toutefois indiquer la marche à suivre pour procéder, par chromatographie, à la titration des quatre composants principaux de l'atmosphère.

3.4. SCHÉMA D'UNE ANALYSE CHROMATOGRAPHIQUE DES GAZ ATMOSPHÉRIQUES EN SOLUTION DANS L'EAU DE MER.

L'analyse complète d'un échantillon d'eau de mer, portant sur les quatre principaux composants de l'air, consiste en deux opérations séparées : la première utilise la colonne de tamis moléculaire et permet d'obtenir la teneur en N_2 , O_2 et, accessoirement, Ar ; la seconde utilise la colonne de porapak Q pour le dosage du CO_2 gazeux.

3.4.1. Dosage de N_2 , O_2 et A.

L'analyse est faite sur un volume V , voisin de 1 cm^3 , de l'échantillon d'eau, à travers la colonne n° 1. Nous obtenons deux pics distincts, celui de N_2 , suivi d'un pic sensiblement plus petit, correspondant à l'ensemble ($\text{O}_2 + \text{Ar}$), ces deux derniers gaz ayant même temps de rétention. L'analyse est répétée en moyenne cinq fois et est régulièrement accompagnée d'une titration chimique de O_2 .

Différentes méthodes permettraient de séparer, dans l'analyse, l'oxygène de l'argon :

1° En allongeant considérablement la longueur de la colonne (Vizard et Wynne, 1959).

2° En opérant à basse température (-72°C) (Lard et Horn, 1960).

3° En dosant la vapeur d'eau obtenue par catalyse à partir de l'oxygène, en présence de l'hydrogène comme gaz vecteur (Swinnerton et al., 1964 ; Weiss et Craig, 1973). Mais étant donné la très faible teneur de l'eau de mer en Ar (moins de $0,05 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$), nous avons trouvé plus simple et tout aussi précis de calculer cette teneur à partir de celles obtenues pour un même échantillon en N_2 et O_2 .

Pour passer de l'aire du pic A (X) au volume correspondant du gaz X, nous utilisons comme eau étalon de préférence une eau pure saturée en gaz atmosphériques dissous, dans des conditions bien connues. Cette eau étalon est obtenue en faisant barboter pendant 15 à 20 minutes de l'air filtré dans 100 cm^3 d'eau distillée. La température t de l'eau, celle t' de l'air, la pression atmosphérique P et l'humidité relative $e/100$ sont notées.

On vérifie que l'eau étalon ainsi préparée est bien saturée en gaz atmosphériques, en procédant à une titration chimique de O_2 . Ce contrôle devrait être fréquemment répété en cours d'utilisation (deux fois par jour suffisent s'il n'y a pas de variations brutales de pression). On renouvelle cette eau étalon dès que le résultat de l'analyse chimique s'écarte sensiblement de la valeur calculée $s(\text{O}_2)$.

L'utilisation d'une telle eau étalon simplifie considérablement les calculs, en permettant d'avoir directement la teneur en X, $C(X)$, des échantillons d'eau analysés sans avoir à connaître la valeur exacte du volume V titré (volume de la boucle d'échantillonnage ou de la seringue), ni même à calculer celle du facteur de conversion $k(X)$. On évite, en particulier, la détermination du volume V , opération souvent difficile à faire à la précision requise.

Toutes les analyses, en effet, celles des divers échantillons et de l'eau étalon, étant faites sur ce même volume V , la comparaison des résultats d'analyse d'un échantillon quelconque et de l'eau étalon permet d'écrire :

$$C(X)/s'(X) = A(X)/A'(X) \quad (3.8)$$

$C(X)$ étant la teneur en X de l'échantillon, $s'(X)$ la solubilité de X dans l'eau étalon, $A(X)$ et $A'(X)$ les aires respectives des pics de X correspondant à l'échantillon et à l'eau étalon.

Comme pour la solubilité, la teneur (X) est exprimée, dans la suite de cet exposé, en cm^3/dm^3 (centimètre cube de X (ramené aux conditions normales) par décimètre cube de l'échantillon).

On constate ainsi que le volume V et le coefficient de conversion $k(X)$ se trouvent éliminés.

Dans la suite de ce texte, nous désignerons régulièrement par $C(X)$, $s(X)$, $A(X)$ les grandeurs se rapportant à un échantillon d'eau, et par $C'(X)$, $s'(X)$, $A'(X)$, celles qui se rapportent à l'eau étalon.

• La relation (3.8) est immédiatement applicable à l'azote dissous :

$$C(N_2) = s'(N_2) A(N_2)/A'(N_2).$$

Si l'on veut obtenir les concentrations de l'oxygène et de l'argon, sans avoir recours à l'analyse chimique de l'oxygène, il est nécessaire, tout d'abord, de calculer les fractions $A(O_2)$ et $A(Ar)$ du pic $(O_2 + Ar)$ correspondant à chacun de ces deux gaz. A priori, ce calcul peut être différent pour l'eau étalon, dans laquelle les concentrations des différents gaz en solution sont connues, et pour un échantillon quelconque, ne correspondant pas à l'état de saturation. Pour ce dernier cas, le calcul est également différent selon qu'il s'agit d'un échantillon d'eau pure ou d'eau de mer.

Commençons par le cas de l'eau étalon.

Soit :

$A'(O_2 + Ar)$, l'aire du pic $(O_2 + Ar)$,

$A'(O_2)$, $A'(Ar)$, les parties de cette aire correspondant respectivement à O_2 et à Ar ,

$k(X)$, le facteur de conversion du gaz X .

Nous avons :

$$\begin{aligned} A'(O_2 + Ar) &= A'(O_2) + A'(Ar) = \\ &= A'(O_2) \left(1 + \frac{s'(Ar)}{s'(O_2)} \times \frac{k(O_2)}{k(Ar)} \right) \\ &= A'(O_2) \left(1 + 0,049 \frac{k(O_2)}{k(Ar)} \right) \end{aligned}$$

en tenant compte de l'équation (3.7).

Nous avons procédé à la détermination du rapport $k(O_2)/k(Ar)$ en titrant alternativement deux mélanges étalon de gaz, un mélange $(O_2 - N_2)$ et un second $(Ar - N_2)$, dans les proportions suivantes :

Mélange n° 1 : $(19,26 \pm 0,02) \% O_2$, $80,74 \% N_2$,

Mélange n° 2 : $(51 \pm 1) \% Ar$, $49 \% N_2$.

Les deux bouteilles renfermant ces mélanges ont été raccordées à deux vannes à six voies, montées en série, munies, chacune, d'une boucle d'échantillonnage de 0,2 à 0,3 cm³. Une série de 10 titrations a été faite, en alternance sur l'un, puis sur l'autre mélange, chacun ayant été ainsi titré cinq fois. L'opération a été répétée une seconde fois à deux mois d'intervalle. Les moyennes obtenues pour le rapport $k(O_2)/k(Ar)$ sont les suivantes :

1^{re} série de déterminations : $k(O_2)/k(Ar) = 1,136$,

2^e série de déterminations : $k(O_2)/k(Ar) = 1,129$.

En prenant $k(O_2)/k(Ar) = 1,14$, nous obtenons :

$$A'(O_2)/A'(O_2 + Ar) = 0,947 \approx 0,95.$$

On s'aperçoit finalement qu'en prenant

$$k(O_2)/k(Ar) = 1,$$

on trouve pratiquement le même résultat (écart de l'ordre de 3×10^{-3}).

Nous prendrons donc :

$$A'(O_2)/A'(O_2 + Ar) = 0,95 \quad (3.9)$$

$$A'(Ar)/A'(O_2 + Ar) = 0,05$$

avec :

$$k(Ar) = k(O_2) = \frac{s'(O_2)}{0,95 A'(O_2 + Ar)} \quad (3.10)$$

Plaçons-nous maintenant dans le cas d'un échantillon d'eau pure, non saturée en gaz atmosphériques. L'oxygène en solution dans un tel échantillon est d'origine exclusivement atmosphérique et n'a pu participer à aucune réaction chimique ou biologique susceptible d'en modifier la concentration. Nous avons établi que, dans ce cas, les deux principaux gaz, N_2 et O_2 , ont toujours le même taux de saturation, ce terme « taux de saturation » représentant, pour un gaz X , l'expression : $C(X)/s(X)$, C et s se rapportant à la température de l'échantillon.

Nous avons donc toujours :

$$C(N_2)/s(N_2) = C(O_2)/s(O_2) \quad (3.11)$$

Il est facile d'établir que, dans ces conditions, le taux de saturation de l'argon est, de même, égal à celui des deux autres gaz, ce qui permet d'écrire plus généralement :

$$C(N_2)/s(N_2) = C(O_2)/s(O_2) = C(Ar)/s(Ar) \quad (3.12)$$

Ces relations signifient qu'au cours du processus de dissolution des gaz atmosphériques, les concentrations à un instant donné de deux quelconques de ces gaz demeurent entre elles dans un rapport constant, égal au rapport des solubilités de ces deux gaz :

$$C(N_2)/C(O_2) = s(N_2)/s(O_2),$$

$$C(N_2)/C(Ar) = s(N_2)/s(Ar). \quad (3.13)$$

Ces équations seront vérifiées plus loin.

En particulier, les équations (3.6) et (3.7) permettent d'écrire, pour l'eau pure :

$$5 \quad C(Ar)/C(N_2) = (26,6 \pm 1,0) 10^{-3} \quad (3.14)$$

$$C(Ar)/C(O_2) = 49 \times 10^{-3} \quad (3.15)$$

De même, les relations (3.9), établies pour une eau pure saturée, s'appliquent à l'eau non saturée :

$$A(O_2)/A(O_2 + Ar) = 0,95$$

$$A(Ar)/A(O_2 + Ar) = 0,05 \quad (3.16)$$

On a finalement, pour l'eau pure :

$$C(O_2) = s'(O_2) \frac{A(O_2 + Ar)}{A'(O_2 + Ar)} \quad (3.17)$$

$$C(Ar) = s'(Ar) \frac{A(O_2 + Ar)}{A'(O_2 + Ar)}$$

Plaçons-nous maintenant dans le cas où l'échantillon est de l'eau de mer, dans laquelle la quantité d'oxygène, présente en solution, est la conséquence d'un ensemble de réactions chimiques (oxydation, réduction), biologiques (respiration, photosynthèse), etc., en plus du phénomène d'échange avec l'atmo-

sphère. La relation (3.15), entre les concentrations en argon et en oxygène, établie dans le cas de l'eau pure, cesse d'être valable ici. Par contre, les concentrations de l'échantillon en Ar et en N₂ proviennent uniquement de la dissolution de l'air et demeurent liées par la relation (3.14) :

$$C(\text{Ar})/C(\text{N}_2) = (26,6 \pm 1,0) \times 10^{-3}$$

Cette formule peut être appliquée à l'ensemble de l'intervalle 0-40 °C et permet de calculer C(Ar) avec une incertitude ne dépassant pas 0,02 cm³/dm³.

On peut rendre cette incertitude tout à fait négligeable à partir des considérations suivantes :

1° s'il s'agit d'une eau de mer de surface, dont la température est t , on remplacera, dans l'équation ci-dessus, la moyenne $(26,6 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$ par la valeur correspondant à t , qu'on calculera à l'aide du tableau 3.1;

2° s'il s'agit d'une eau subsuperficielle, on admettra que cette eau avait été saturée en azote et en argon lorsqu'elle se trouvait en surface. En plongeant, cette eau a conservé intactes ses teneurs en N₂ et Ar dissous, mais sa température ayant diminué, ces teneurs, C(N₂) et C(Ar), ne correspondent plus à la saturation. En se reportant à la table de solubilité de l'azote de Weiss, on relèvera la température t , à laquelle la solubilité est justement égale à C(N₂). On se reportera alors au tableau 3.1. pour avoir la valeur du rapport $s(\text{Ar})/s(\text{N}_2)$ correspondant à t . Il suffit de connaître t à ± 5 °C.

C(Ar) étant ainsi calculé, on calcule la fraction A(Ar) du pic (O₂ + Ar) correspondant à l'argon ; on en déduit celle, A(O₂), correspondant à l'oxygène et, finalement, C(O₂) :

$$C(\text{O}_2) = k(\text{O}_2) A(\text{O}_2 + \text{Ar}) - C(\text{Ar}) \quad (3.18)$$

$k(\text{O}_2)$ étant donné par l'équation (3.10) :

$$k(\text{O}_2) = k(\text{Ar}) = \frac{s'(\text{O}_2)}{0,95 A'(\text{O}_2 + \text{Ar})}$$

[Remarque : L'emploi de l'eau étalon est parfois critiqué parce qu'en toute rigueur, les conditions de saturation pourraient n'y être pas exactement atteintes et, en conséquence, les valeurs attribuées aux diverses concentrations pourraient être très légèrement erronées. Nous avons fréquemment utilisé cette méthode, dont nous avons testé la valeur par la titration chimique de l'oxygène. Les écarts que nous avons trouvés entre les résultats de l'analyse chimique et le calcul de $s(\text{O}_2)$, dans les conditions de l'expérience (température, pression, humidité), sont toujours restés dans les limites de précision de la méthode qui est, ne l'oublions pas, de 2%. Nous ne devons pas non plus oublier que, lorsqu'un échantillon d'eau est reconnu saturé en O₂, il l'est également dans les autres gaz de l'atmosphère.]

Pour les analyses sur l'eau pure, où l'on chercherait la meilleure précision possible, nous proposons, ci-après, une variante qui substitue à l'emploi de l'eau étalon celui d'un mélange étalon de gaz, associé à la titration chimique de l'oxygène. Cette méthode permettrait d'avoir N₂ avec une précision améliorée.

A l'aide d'une boucle de 0,2 à 0,3 cm³, on procède à l'analyse chromatographique d'un mélange étalon de gaz N₂—O₂. Nous avons utilisé le mélange étalon n° 1, cité plus haut, contenant $(19,26 \pm 0,02)\%$ de O₂, le reste en N₂. Soit : N(N₂) et N(O₂), les proportions molaires de N₂ et O₂ dans le mélange ; A₀(N₂) et A₀(O₂), les aires des deux pics obtenus.

On a :

$$\frac{k(\text{N}_2)}{k(\text{O}_2)} = \frac{N(\text{N}_2)}{N(\text{O}_2)} \times \frac{A_0(\text{O}_2)}{A_0(\text{N}_2)} = u \quad (3.19)$$

La bonne connaissance des fractions N(N₂) et N(O₂) permet d'obtenir le rapport $k(\text{N}_2)/k(\text{O}_2)$ avec une excellente précision.

A partir du résultat de l'analyse chimique, C(O₂), on calcule successivement C(Ar) = 0,05 C(O₂), puis le facteur de conversion

$$k(\text{O}_2) = C(\text{O}_2)/0,95 A(\text{O}_2 + \text{Ar}), \quad k(\text{N}_2) = u k(\text{O}_2),$$

et enfin :

$$C(\text{N}_2) = k(\text{N}_2) A(\text{N}_2).$$

3.4.2. Dosage du CO₂.

A la suite de la titration (avec la colonne n° 1) de N₂, O₂ et Ar, on peut procéder, sur les mêmes échantillons d'eau, à la titration du CO₂, en utilisant cette fois la colonne n° 2 de porapak.

Au sujet de cette titration, nous devons faire les remarques suivantes :

1) certains auteurs, Swinnerton et al. (1962) en particulier, font état d'un montage permettant de titrer en une seule fois l'ensemble des quatre principaux gaz atmosphériques. En fait, l'expérience nous a révélé qu'il est extrêmement difficile d'obtenir, d'une façon durable, une bonne séparation du pic de CO₂ de celui de (O₂ + Ar) qui le suit immédiatement. Weiss et Craig (1973), qui ont fait les mêmes expériences, en sont venus à préconiser l'utilisation simultanée de deux chromatographes, un pour le CO₂, le second pour les trois autres gaz. Nous avons trouvé, quant à nous, plus commode l'utilisation d'un appareil unique, dans lequel les deux colonnes (n° 1, tamis moléculaire et n° 2, porapak) sont montées en parallèle et peuvent être utilisées en alternance;

2) nous avons indiqué plus haut que la teneur de l'eau de mer en CO₂ gazeux est trop faible pour avoir un effet mesurable sur la masse volumique de cette eau. Dans une étude consacrée à la masse volumique, la titration du CO₂ se trouve donc sans intérêt. Nous y avons renoncé pour notre part en supprimant, sur notre montage, la colonne n° 2.

Notre procédé de titration du CO₂ pourrait, toutefois, être utile dans d'autres domaines de recherche, notamment dans l'étude du CO₂ total dans l'eau de mer (CO₂ gazeux, plus celui libéré par les carbonates et les bicarbonates). Dans ce dernier cas, il est nécessaire d'introduire dans la cellule de déga-

zage une petite quantité d'acide fort, avant l'introduction de l'échantillon à analyser.

A titre de comparaison, on trouve facilement, dans les eaux de mer subsuperficielles, des teneurs en CO_2 total de l'ordre de $50 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$, alors que la solubilité dans l'eau de mer du CO_2 gazeux ne dépasse pas, dans les conditions les plus favorables, $0,7 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$.

Nous allons décrire la méthode de titration du CO_2 , applicable surtout au CO_2 total (ΣCO_2).

A l'aide de la vanne à deux voies V_3 (fig. 3.2), on raccorde au circuit gazeux la colonne n° 2.

Pour une détermination du CO_2 total, on commencera par injecter dans la cellule de dégazage un volume voisin de $0,1 \text{ cm}^3$ de H_3PO_4 à 50 % et on attendra 3 à 4 minutes (pour permettre la sortie des pics correspondant aux gaz en solution dans l'acide) avant d'injecter un volume V , voisin de 1 cm^3 , de l'échantillon à titrer. L'addition de l'acide est supprimée lorsqu'il s'agira de titrer le seul CO_2 gazeux en solution. On obtient, sur l'enregistrement, d'abord un premier pic, très aigu, correspondant à l'air séparé de son CO_2 (appelé pic « composite »), puis le pic du CO_2 .

Pour convertir l'aire de ce dernier pic (ΣCO_2) en teneur $C(\Sigma\text{CO}_2)/(\text{cm}^3/\text{dm}^3)$, on fait la même titration sur un volume égal V d'une eau étalon de CO_2 .

Nous avons préparé une telle eau étalon, destinée aux titrations du CO_2 total, à partir d'un mélange étalon de gaz ayant les proportions approximatives suivantes : N_2 : 0,73; O_2 : 0,20; CO_2 : 0,07.

L'installation destinée à cette préparation est schématisée sur la figure 3.5. On choisira pour cette installation un endroit du laboratoire soustrait aux grandes fluctuations thermiques.

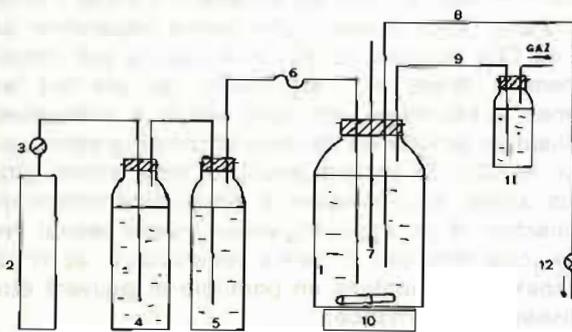


FIG. 3.5. — Préparation d'une eau étalon.

1. flacon, 5 litres ; 2. mélange de gaz ; 3. détendeur ; 4 et 5. barboteurs ; 6. tube d'arrivée du mélange de gaz ; 7. thermomètre à 0,1 K ; 8. tube de prélèvement ; 9. tube de sortie du gaz ; 10. agitateur magnétique ; 11. barboteur ; 12. robinet pour les prélèvements.

Environ 4 dm^3 d'eau bidistillée, destinée à la préparation de l'eau étalon de CO_2 , sont placés dans le flacon 1, en même temps qu'un barreau aimanté. Ce flacon est fermé hermétiquement à l'aide d'un bouchon à 4 trous, destiné à loger un thermomètre à mercure, 7, à 0,1 K et trois tubes de verre. Le tube

6, qui sert à l'arrivée du mélange gazeux, peut coulisser au travers du bouchon de manière que son extrémité soit placée, à volonté, en dessus ou au dessous du niveau de l'eau. A la sortie du flacon, le gaz s'échappe par le tuyau 9 à travers le barboteur 11. Le tube 8 sert au prélèvement de l'eau et se ferme, à l'extérieur, à l'aide du robinet 12. Il est maintenu plein d'eau durant la préparation puis l'utilisation de l'eau étalon.

On commence par faire coulisser le tube 6, de manière que son extrémité soit immergée dans l'eau du flacon 1 et on fait actionner l'agitateur magnétique. On ouvre la bouteille 2 contenant le mélange gazeux, dont on règle le débit à environ $15 \text{ cm}^3/\text{min}$. Ce mélange traverse d'abord les deux barboteurs 4 et 5, qui le chargent en vapeur d'eau, puis vient barboter dans le flacon 1. On peut ainsi considérer que la nappe gazeuse contenue dans ce flacon est saturée en vapeur d'eau.

Le barbotage du gaz et l'agitation de l'eau sont poursuivis pendant une journée (environ 8 heures), durant laquelle la température de l'eau, celle de l'air, ainsi que la pression atmosphérique sont notées toutes les heures.

Au terme de la journée, l'eau contenue dans le flacon 1 peut être considérée comme saturée des divers gaz du mélange. Le tube n° 2 est alors remonté de manière que son extrémité vienne au-dessus du niveau de l'eau et on réduit au minimum le débit gazeux. L'agitation est maintenue jusqu'au lendemain.

L'eau ainsi préparée, en équilibre avec le mélange gazeux saturé de vapeur d'eau, contient, en solution à 20°C , environ $59 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$ de CO_2 , $11 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$ de N_2 et $6 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$ de O_2 .

Une valeur plus exacte de la solubilité de CO_2 dans l'eau étalon peut être calculée à l'aide de la formule 3.5, le coefficient de Bunsen étant pris dans la table de Riley et Murray, les fractions molaires $N(\text{N}_2)$, $N(\text{O}_2)$ et $N(\text{CO}_2)$ étant celles du mélange gazeux étalon. Les proportions des deux principaux gaz, N_2 et O_2 , sont suffisamment voisines de celles de l'air, pour qu'il soit permis de prendre pour la pression p_0 , de la vapeur d'eau la valeur correspondant à l'atmosphère.

Les calculs sont faits pour les moyennes de température et de pression notées au cours de la préparation.

L'emploi d'un thermostat pour la préparation et la conservation de l'eau étalon est inutile, étant donné la précision relative de la méthode, 2 %, à condition que l'installation soit faite dans un lieu à fluctuations thermiques modérées.

En désignant par A l'aire du pic correspondant à l'échantillon, A' celle du pic correspondant à l'eau étalon, $s'(\text{CO}_2)$ la solubilité du CO_2 gazeux dans cette eau étalon on obtient la teneur $C(\Sigma\text{CO}_2)$ de l'échantillon en CO_2 total par la formule :

$$C(\Sigma\text{CO}_2) = s'(\text{CO}_2) \frac{A}{A'}$$

3.5. APPLICATION : VITESSES COMPARÉES DE DISSOLUTION DANS L'EAU DES PRINCIPAUX GAZ ATMOSPHÉRIQUES.

3.5.1. Objet de l'étude.

L'étude consiste à exposer à l'air un échantillon d'eau pure, partiellement ou totalement dégazée et à suivre l'évolution, en fonction du temps, de la teneur de cette eau en les principaux constituants de l'atmosphère. L'intérêt de cette étude est double :

1) il s'agit de voir si une ou des relations peuvent être établies entre ces diverses teneurs, de manière que la connaissance, à un moment donné, de l'une d'elles suffise à déterminer les autres et à permettre le calcul de la variation de la masse volumique de cet échantillon. Une conclusion positive apporterait une simplification considérable au problème de la détermination de la masse volumique de l'eau, en permettant de limiter les analyses des gaz dissous à celle de l'oxygène, particulièrement aisée par voie chimique. Une telle possibilité de simplification existe, mais seulement pour le cas limite de la saturation.

Cet aspect de l'étude nous paraît, de loin, le plus important.

2) il s'agit aussi de voir si l'on peut construire, dans des conditions bien définies d'exposition à l'air et d'agitation, une courbe moyenne de variation, en fonction du temps, des différentes teneurs. Les conditions de l'expérience devraient être choisies de manière à reproduire, aussi fidèlement que possible, celles dans lesquelles se font les déterminations de masse volumique.

Si l'on doit procéder sur un échantillon d'eau à une succession de déterminations de masse volumique, durant lesquelles l'échantillon devra rester exposé à l'air, et si l'on dispose d'une telle courbe de variation, il suffirait de procéder à l'analyse des gaz dissous, à un instant noté, avant le début des déterminations puis de se reporter à la courbe pour obtenir les teneurs à des instants ultérieurs.

3.5.2. Conditions de déroulement de l'expérience

L'étude a été limitée aux deux constituants les plus importants de l'air, N_2 et O_2 , l'influence sur la masse volumique du reste des gaz en solution (environ 4 % du volume total des gaz dissous) pouvant être considérée comme négligeable.

Elle a été faite sur une eau préalablement appauvrie en gaz, maintenue sans agitation à une température constante ($22 \pm 4 \pm 0,2^\circ C$) au contact de

l'atmosphère, dans une cuve cylindrique découverte dont les dimensions sont très proches de celles de la cuve servant aux pesées hydrostatiques. Des prélèvements sont faits à divers intervalles de temps sur lesquels les concentrations de N_2 et O_2 sont déterminées par chromatographie en phase gazeuse. Ces conditions reproduisent, bien entendu, celles qui règnent dans la cuve que nous utilisons pour les pesées hydrostatiques.

La régulation thermique de l'eau placée dans la cuve et d'une eau étalon placée dans un ballon est obtenue à l'aide d'un ensemble thermostat-cryostat, le montage étant schématisé sur la fig. 3.6.

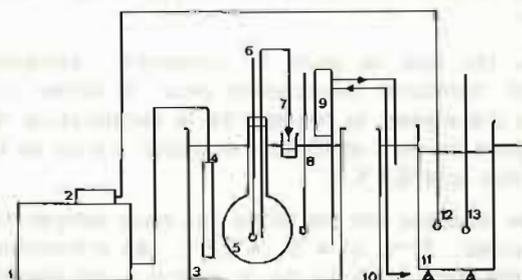


FIG. 3.6. — Etude de la dissolution de l'azote et de l'oxygène atmosphériques dans une eau préalablement appauvrie en gaz.

1. cryostat réversible ; le compresseur fonctionne en permanence, dans un sens ou dans l'autre, suivant les indications de la sonde 12, de manière à ce que la canne 4 fournisse ou enlève de la chaleur à la cuve 3 du thermostat ; 2. régulateur de température commandant le sens de fonctionnement du compresseur, suivant les indications de la sonde 12 ; 3. thermostat, régulation à 0,01 K, capacité de la cuve 4 litres ; 4. canne réversible, réfrigérante-chauffante, commandée par le régulateur de température 2, pouvant assurer une constance de température de 0,05 K ; 5. ballon de 2 litres à col long, bouché, contenant l'eau étalon ; 6. thermomètre à 0,1 K ; 7. tube pour prélèvement ; 8. thermomètre à contact ; 9. pompe aspirante-refoulante, maintenant une circulation avec la deuxième cuve ; 10. deuxième cuve thermostatique ; 11. cuve cylindrique en pyrex contenant l'échantillon à étudier ; diamètre intérieur 146 mm, hauteur intérieure 265 mm ; 12. sonde commandant le régulateur de température 2 ; 13. thermomètre à 0,1 K.

L'eau étalon et l'échantillon sont tous deux préparés à partir d'une même eau bidistillée. L'eau étalon, contenue dans le ballon 5 (fig. 3.5), lui-même placé dans la cuve 3 du thermostat, est obtenue, procédé déjà décrit, par barbotage d'air comprimé sous agitation, pendant environ 8 heures. La saturation est contrôlée par dosage chimique de l'oxygène.

L'échantillon, d'environ 5 dm³, est placé dans un ballon en pyrex de 6 dm³ et porté à ébullition pendant 15 minutes, de façon à être débarrassé de la plus grande partie de ses gaz. Il est ensuite refroidi à la température ambiante sous le vide d'une trompe à eau. La cuve 11 (fig. 3.6) est alors retirée et le ballon est mis à sa place dans la cuve extérieure 10.

Lorsque l'équilibre de température est atteint, on laisse entrer lentement l'air dans le ballon, celui-ci est retiré du thermostat et la cuve 11 remise à sa

place. Quatre décimètres cubes sont alors transférés par siphonnage du ballon dans la cuve 11. Sur la face externe de cette cuve, on a tracé deux traits horizontaux délimitant des volumes de 4 et 3 dm³. La hauteur de l'eau dans la cuve est alors respectivement de 24 et 18 cm. Au début des observations, l'eau affleure le trait supérieur et il y est mis fin lorsque le niveau atteint le trait inférieur.

Les déterminations commencent aussi rapidement que possible, après l'installation de la cuve 11 dans le thermostat. Chaque analyse de l'échantillon est répétée 5 fois et immédiatement suivie de l'analyse de l'eau étalon également répétée 5 fois, puis d'une titration chimique de l'oxygène sur l'échantillon.

Du fait que la cuve 11 contenant l'échantillon devait demeurer découverte pour la durée d'une série d'analyses, le réglage de la température dans les deux cuves 3 et 10 du thermostat n'a pu se faire à mieux que 0,2 K.

Les mesures ont été faites aux deux températures suivantes : 22 °C et 4 °C. A 22 °C, les prélèvements ont été faits à l'aide de la seringue de Hamilton. A 4 °C, l'étanchéité de la seringue devient insuffisante et les prélèvements ont été faits à l'aide d'une boucle d'étalonnage.

3.5.3. Relation entre les teneurs en azote et en oxygène atmosphériques dissous d'un échantillon d'eau pure non saturée.

La figure 3.7 reproduit les résultats d'une série d'analyses faites à 22 °C.

Les deux courbes donnant les valeurs des taux de saturation $x(N_2)$ et $x(O_2)$ tracées en fonction du temps d'exposition à l'air, sont pratiquement confondues, ce qui permet d'écrire aux erreurs des mesures près :

$$x(N_2) = x(O_2) \quad (3.20)$$

Les fluctuations de la température du thermostat, limitées à $\pm 0,2$ K, entraînent sur les valeurs de x une incertitude relative ne dépassant pas 0,5 %, donc négligeable.

Le même résultat est obtenu à 4 °C, de sorte que l'équation (3.20) est applicable à un grand intervalle de température d'au moins (4-22) °C.

Il résulte que l'on a, à tout instant, et au moins dans l'intervalle (4-22) °C :

$$\frac{C(N_2)}{C(O_2)} = \frac{s(N_2)}{s(O_2)} \quad (3.21)$$

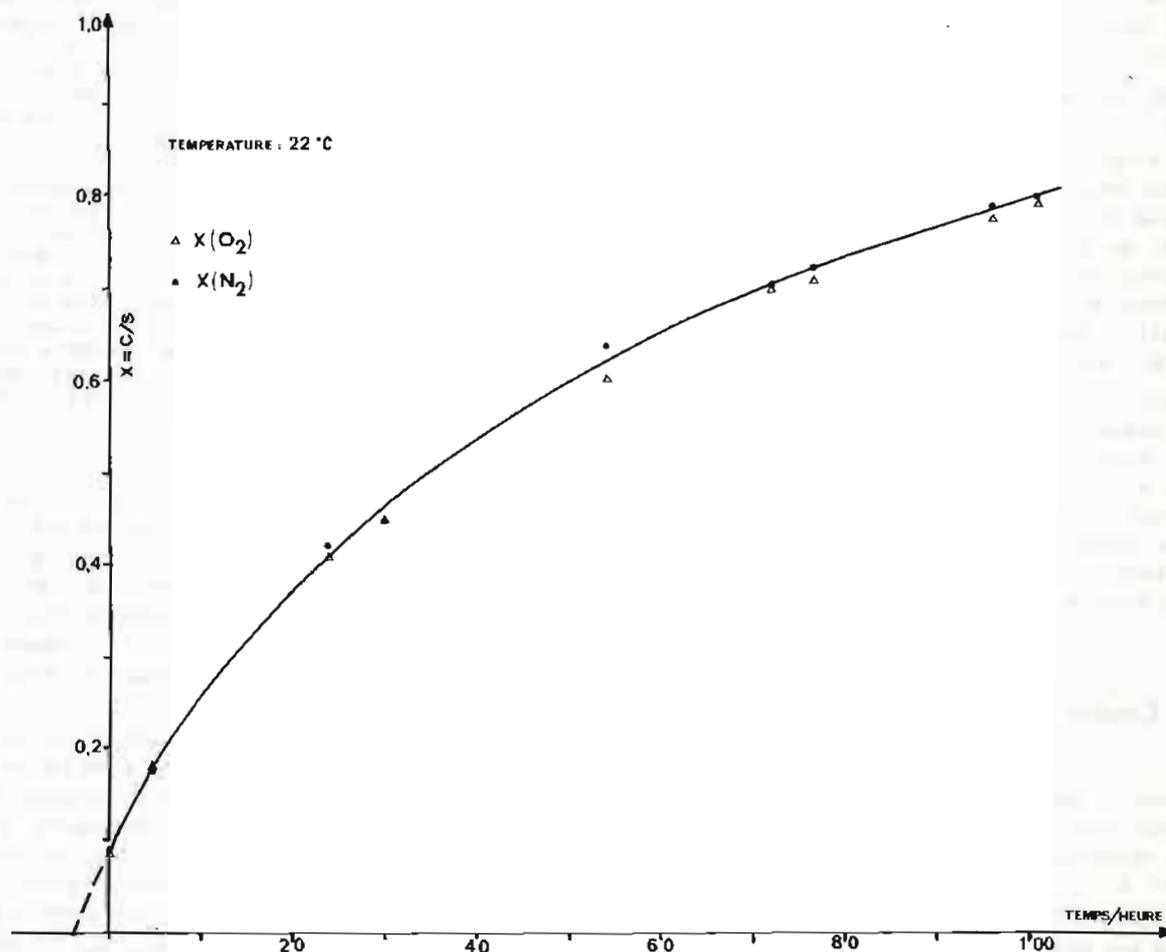


FIG. 3.7. — Variation, en fonction du temps, du taux de saturation en azote et en oxygène atmosphériques, à 22 °C, d'une eau préalablement dégazée.

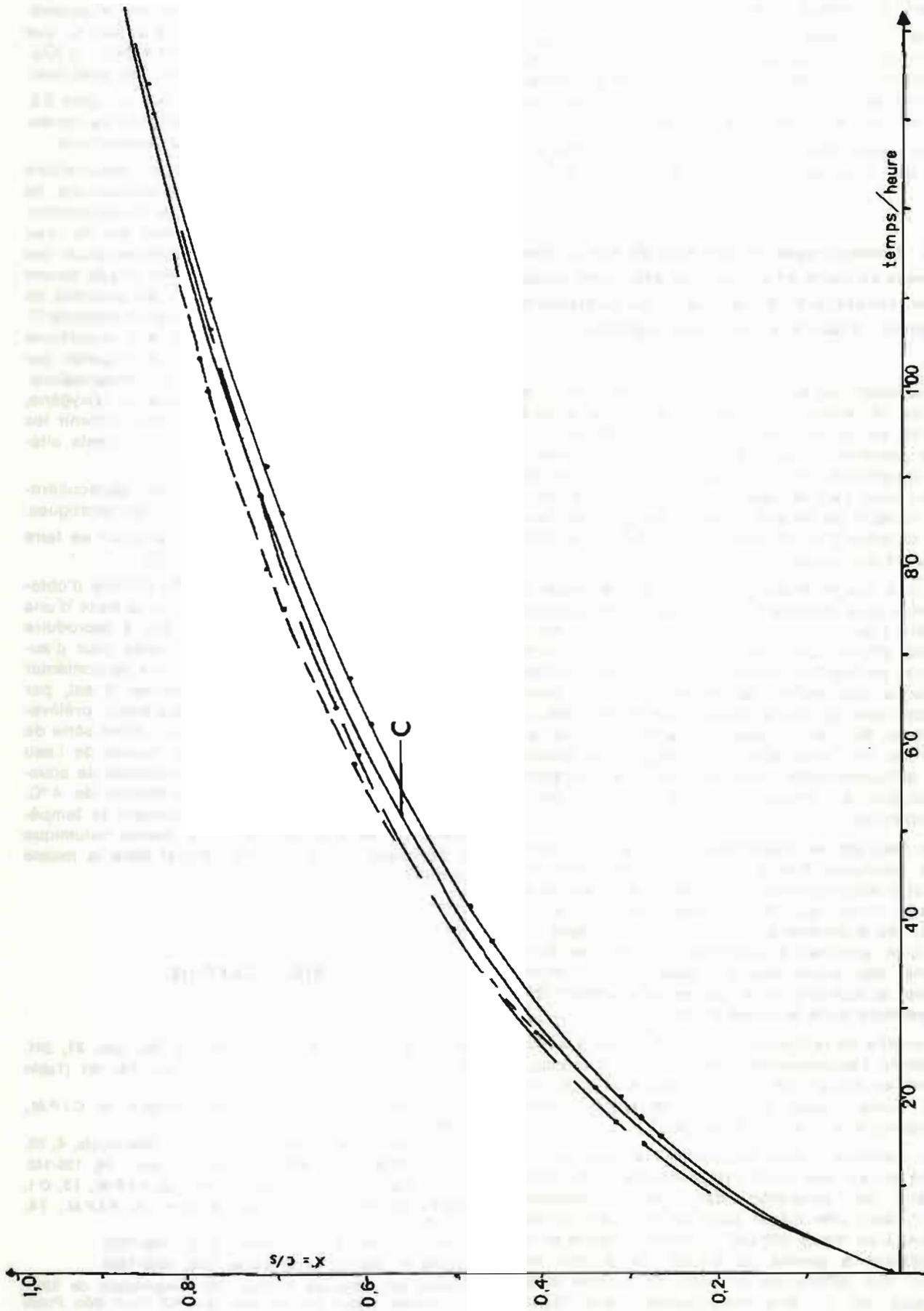


FIG. 3.8. — Courbe (C) de variation, en fonction du temps, du taux de saturation en azote et en oxygène atmosphériques, d'une eau pure totalement dégazée, exposée à l'air à l'instant 0. C est obtenue à partir de trois séries différentes d'observations.

les solubilités se rapportant aux conditions de température de chaque expérience.

Il est donc possible, dans une étude sur les gaz dissous dans un échantillon d'eau, même si cet échantillon n'est pas saturé, de se limiter à la titration chimique de l'oxygène et déduire la teneur en azote dissous à partir de la formule (3.20).

Nous avons déjà fait état de cette propriété en 3.4.1., que nous avons d'ailleurs étendue à l'argon.

3.5.4. Accroissement, en fonction du temps, des teneurs en azote et en oxygène atmosphériques d'un échantillon d'eau pure, préalablement dégazée, exposée à l'air sans agitation.

La variation, en fonction du temps d'exposition à l'air, de la teneur d'une eau pure préalablement dégazée, en un gaz atmosphérique dépend de plusieurs paramètres, dont les plus importants sont : l'état d'agitation de l'eau, l'aire de la couche de contact avec l'air, la hauteur de l'eau dans le récipient lorsque ce récipient est cylindrique, les facteurs commandant l'évaporation (agitation de l'air au-dessus du liquide, humidité relative).

De tous ces facteurs, l'agitation de l'eau nous a semblé le plus important, l'existence d'une agitation accélérant le processus de dissolution. Nous nous sommes efforcés de travailler en l'absence de toute agitation perceptible, nous plaçant dans les mêmes conditions que celles qui règnent dans la cuve hydrostatique au cours d'une mesure de masse volumique. Mais si, au cours d'une série d'observations, une très faible agitation du liquide est provoquée, la courbe représentative du taux de saturation en fonction du temps change d'allure au point correspondant.

Nos résultats se rapportent à de l'eau pure non agitée, maintenue à température constante dans une cuve cylindrique découverte, de 14,6 cm de diamètre intérieur, dans laquelle sa hauteur est de (21 ± 3) cm. Les expériences se sont déroulées dans un local clos, soustrait à l'agitation de l'air. Les fluctuations des conditions ambiantes (température, pression et humidité) sont restées relativement faibles pendant toute la durée de l'étude.

La courbe de la figure 3.7, correspondant à 22 °C, représente l'accroissement, en fonction du temps exprimé en heure, des taux de saturation $x(N_2)$ et $x(O_2)$. Cette courbe est commode parce qu'elle correspond à la fois aux deux gaz.

Les conditions, dans lesquelles les expériences ont été entreprises, n'ont pas permis de faire varier le taux de saturation dans tout l'intervalle (0—1), dans une même série de mesures correspondant à un même échantillon d'eau. Chaque série de mesures a permis de tracer une portion de courbe. Les différentes portions de courbe ainsi obtenues ont pu être superposées d'une façon

satisfaisante en les faisant glisser les unes par rapport aux autres le long de l'axe des abscisses. Nous avons ainsi obtenu une courbe unique C, que nous avons prolongée jusqu'au point $x(N_2) = x(O_2) = 0$, où nous avons placé l'origine des abscisses.

Une telle courbe est reproduite sur la figure 3.8, en même temps que les portions de courbes correspondant à trois séries différentes d'observations.

Il est donc établi que, lorsque des observations physiques répétées (pour nous, déterminations de masse volumique) doivent être faites en laboratoire, dans des conditions bien déterminées, sur de l'eau préalablement dégazée et que la connaissance des teneurs de cette eau en N_2 et O_2 est exigée durant le déroulement des observations, il est possible de construire au préalable une courbe expérimentale C, correspondant le mieux possible aux conditions requises et à laquelle on pourrait se reporter par la suite. Il suffirait alors, au début des observations, de procéder à une titration chimique de l'oxygène, puis de se reporter à la courbe C pour obtenir les valeurs de $x(N_2)$ et de $x(O_2)$, à des instants ultérieurs.

L'utilisation d'une telle courbe est particulièrement avantageuse pour les pesées hydrostatiques.

La construction d'une courbe C pourrait se faire par la simple titration chimique de O_2 .

Remarquons qu'il est souvent très difficile d'obtenir que les mesures devant permettre le tracé d'une courbe C soient menées de manière à reproduire très exactement les conditions choisies pour d'autres genres d'observation et l'on devra se contenter de s'en rapprocher le mieux possible. Il est, par exemple, difficile, à cause des nombreux prélèvements qui doivent être faits au cours d'une série de mesures, de maintenir constant le niveau de l'eau dans le récipient. Il est souvent impossible de soustraire l'eau à toute agitation. Au-dessus de 4 °C, par exemple, l'évaporation, en abaissant la température de surface, augmente la masse volumique et provoque un mouvement vertical dans la masse liquide.

BIBLIOGRAPHIE

- BAERTSCHI, P., 1976. — *Earth Planet. Sci. Lett.*, **31**, 341.
 BIGG, P.H., 1967. — *Brit. J. Appl. Phys.*, **18**, 521 (Table p. 523).
 BONHORE, A., 1958. — *Procès verbaux du C.I.P.M.*, **26 A**, 122.
 BONHORE, J. et TERRIEN, J., 1968. — *Metrologia*, **4**, 59.
 CARPENTER, J.H., 1965. — *Limnol. Ocean.*, **10**, 135-143.
 CHAPPUIS, P., 1907. — *Trav. et Mém. du B.I.P.M.*, **13**, D 1.
 CHAPPUIS, P., 1910. — *Trav. et Mém. du B.I.P.M.*, **14**, 1-63.
 CRAIG, H., 1961 a. — *Sciences*, **133**, 1702-1703.
 CRAIG, H., 1961 b. — *Sciences*, **133**, 1833-1834.
 Echelle Internationale Pratique de Température de 1968, *Comptes-rendus des séances de la 13^e Conf. Gén. Poids*

- et Mesures, 1967-1968, p. A 1 ; C.C.T., 8^e Session, 1967, p. A 1 ; *Metrologia*, 1969, **5**, 35 (version anglaise).
- GIRARD, G. et MENACHÉ, M., 1972. — *C. R. Acad. Sciences*, Paris, **274**, Série B, 377.
- GIRARD, G. et MENACHÉ, M., 1971. — *Metrologia*, **7**, 83-87.
- GLUECKAUF, E., 1951. — *Am. Met. Soc.* (Boston), 3-10.
- GONFIANTINI, R., 1978. — *Nature*, **271** (5645), 534-536.
- GUILLAUME, Ch., Ed., 1927. — La création du B.I.P.M. et son œuvre, Gauthier-Villars (Paris), p. 240.
- HAGEMANN, R., NIEFF, G., ROTH, E., 1970. — *Tellus*, **22**, 712.
- I.U.P.A.C. (Int. Union of Pure and Applied Chem., Commission on atomic weights), 1974. — Table of relative Atomic masses of selected Nuclides, p. 600-602, in Atomic weight of Elements, 1973, *Pure applied Chem.*, **37**, 591-603.
- I.U.P.A.C. (Commission on Physico-Chemical Measurements and Standards, subcommission on calibration and test materials), 1976, *Pure Applied Chem.*, **45** (1), 1-9.
- LARD, E.W. et HORN, R.C. 1960. — *Anal. Chem.*, **32** (7), 878-879.
- MAREK, W., 1891. — *Annalen der Physik und Chemie*, **44**, 171-172.
- MENACHÉ, M., 1967. — *Metrologia*, **3**, 58.
- MENACHÉ, M. et GIRARD, G., 1970. — *C. R. Acad. Sciences*, Paris, **270**, Série B, 1513.
- MENACHÉ, M. et GIRARD, G., 1972. — Publication conjointe Institut Océanographique et B.I.P.M. ; texte anglais publié dans *Metrologia*, 1973, **9**, 62.
- MURRAY, C.N. et RILEY, J.P., 1971. — *Deep Sea Res.*, **18**, 533-541.
- STECKEL, F., SZAPIRO, S., 1963. — *Trans Farad. Soc.*, **59**, 331.
- SWINNERTON, J.W., LINNENBOM, V.J. et CHEEK, C.H., 1962. — *Anal. Chem.*, **34** (4), 483-485.
- SWINNERTON, J.W., LINNENBOM, V.J. et CHEEK, C.H., 1964. — *Anal. Chem.*, **36**, 1669-1671.
- THIESEN, M., SCHEEL, K. et DIESSELHORST, H., 1900. — *Wissens. Abhand der P.T.R. III*, **68**.
- VIZARD, G.S. et WYNNE, A., 1959. — *Chem. and Ind.*, London, 196-197.
- WEISS, R.F., 1970. — *Deep Sea Res.*, **17**, 721-735.
- WEISS, R.F. et CRAIG, H., 1973. — *Deep Sea Res.*, **20**, 291-303.

Table 1

Masse volumique, ρ /(kg/m³), du SMOW exempt de gaz atmosphériques dissous sous la pression de 101 325 Pa, pour l'intervalle de température (0-40) °C. La température, t_{68} /°C, est exprimée dans l'Echelle Internationale Pratique de Température de 1968.

$t_{68}/^{\circ}\text{C}$,0	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9
0	999,8426	8493	8558	8622	8683	8743	8801	8857	8912	8964
1	999,9015	9065	9112	9158	9202	9244	9284	9323	9360	9395
2	999,9429	9461	9491	9519	9546	9571	9596	9616	9636	9655
3	999,9672	9687	9700	9712	9722	9731	9738	9743	9747	9749
4	999,9750	9748	9746	9742	9736	9728	9719	9709	9696	9683
5	999,9668	9651	9632	9612	9591	9568	9544	9518	9490	9461
6	999,9430	9398	9365	9330	9293	9255	9216	9175	9132	9088
7	999,9043	8996	8948	8898	8847	8794	8740	8684	8627	8569
8	999,8509	8448	8385	8321	8256	8189	8121	8051	7980	7908
9	999,7834	7759	7682	7604	7525	7444	7362	7279	7194	7108
10	999,7021	6932	6842	6751	6658	6564	6468	6372	6274	6174
11	999,6074	5972	5869	5764	5658	5551	5443	5333	5222	5110
12	999,4996	4882	4766	4648	4530	4410	4289	4167	4043	3918
13	999,3792	3665	3536	3407	3276	3143	3010	2875	2740	2602
14	999,2464	2325	2184	2042	1899	1755	1609	1463	1315	1166
15	999,1016	0864	0712	0558	0403	0247	0090	9932*	9772*	9612*
16	998,9450	9287	9123	8957	8791	8623	8455	8285	8114	7942
17	998,7769	7595	7419	7243	7065	6886	6706	6525	6343	6160
18	998,5976	5790	5604	5416	5228	5038	4847	4655	4462	4268
19	998,4073	3877	3680	3481	3282	3081	2880	2677	2474	2269
20	998,2063	1856	1649	1440	1230	1019	0807	0594	0380	0164
21	997,9948	9731	9513	9294	9073	8852	8630	8406	8182	7957
22	997,7730	7503	7275	7045	6815	6584	6351	6118	5883	5648
23	997,5412	5174	4936	4697	4456	4215	3973	3730	3485	3240
24	997,2994	2747	2499	2250	2000	1749	1497	1244	0990	0735
25	997,0480	0223	9965*	9707*	9447*	9186*	8925*	8663*	8399*	8135*
26	996,7870	7604	7337	7069	6800	6530	6259	5987	5714	5441
27	996,5166	4891	4615	4337	4059	3780	3500	3219	2938	2655
28	996,2371	2087	1801	1515	1228	0940	0651	0361	0070	9778*
29	995,9486	9192	8898	8603	8306	8009	7712	7413	7113	6813
30	995,6511	6209	5906	5602	5297	4991	4685	4377	4069	3760
31	995,3450	3139	2827	2514	2201	1887	1572	1255	0939	0621
32	995,0302	9983*	9663*	9342*	9020*	8697*	8373*	8049*	7724*	7397*
33	994,7071	6743	6414	6085	5755	5423	5092	4759	4425	4091
34	994,3756	3420	3083	2745	2407	2068	1728	1387	1045	0703
35	994,0359	0015	9671*	9325*	8978*	8631*	8283*	7934*	7585*	7234*
36	993,6883	6531	6178	5825	5470	5115	4759	4403	4045	3687
37	993,3328	2968	2607	2246	1884	1521	1157	0793	0428	0062
38	992,9695	9328	8960	8591	8221	7850	7479	7107	6735	6361
39	992,5987	5612	5236	4860	4483	4105	3726	3347	2966	2586
40	992,2204									

Table 2

Table donnant la valeur de ρ_{1c}/ρ_{1s} .

	,0	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9
0	0,89863	63	63	63	63	63	63	63	63	63
1	0,89863	63	63	63	63	63	63	63	63	63
2	0,89863	62	62	62	62	62	62	62	62	62
3	0,89862	62	62	62	62	62	62	62	62	62
4	0,89862	62	62	61	61	61	61	61	61	61
5	0,89861	61	61	61	61	61	61	61	61	61
6	0,89861	61	61	61	60	60	60	60	60	60
7	0,89860	60	60	60	60	60	60	60	60	60
8	0,89860	60	60	60	60	60	60	59	59	59
9	0,89859	59	59	59	59	59	59	59	59	59
10	0,89859	59	59	59	59	59	59	59	59	59
11	0,89858	58	58	58	58	58	58	58	58	58
12	0,89858	58	58	58	58	58	58	58	58	58
13	0,89858	58	58	58	58	57	57	57	57	57
14	0,89857	57	57	57	57	57	57	57	57	57
15	0,89857	57	57	57	57	57	57	57	57	57
16	0,89857	57	56	56	56	56	56	56	56	56
17	0,89856	56	56	56	56	56	56	56	56	56
18	0,89856	56	56	56	56	56	56	56	56	56
19	0,89856	55	55	55	55	55	55	55	55	55
20	0,89855	55	55	55	55	55	55	55	55	55
21	0,89855	55	55	55	55	55	55	55	55	55
22	0,89855	55	55	54	54	54	54	54	54	54
23	0,89854	54	54	54	54	54	54	54	54	54
24	0,89854	54	54	54	54	54	54	54	54	54
25	0,89854	54	54	54	54	54	54	54	54	53
26	0,89853	53	53	53	53	53	53	53	53	53
27	0,89853	53	53	53	53	53	53	53	53	53
28	0,89853	53	53	53	53	53	53	53	53	53
29	0,89853	53	53	53	53	53	53	53	52	52
30	0,89852	52	52	52	52	52	52	52	52	52
31	0,89852	52	52	52	52	52	52	52	52	52
32	0,89852	52	52	52	52	52	52	52	52	52
33	0,89852	52	52	52	52	52	52	52	52	52
34	0,89852	51	51	51	51	51	51	51	51	51
35	0,89851	51	51	51	51	51	51	51	51	51
36	0,89851	51	51	51	51	51	51	51	51	51
37	0,89851	51	51	51	51	51	51	51	51	51
38	0,89851	51	51	51	51	50	50	50	50	50
39	0,89850	50	50	50	50	50	50	50	50	50
40	0,89850									

Table 3

Table donnant la valeur de ρ_{10}/ρ_{10} .

	,0	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9
0	0,90507	06	04	03	01	00	98*	97*	96*	94*
1	0,90493	91	90	89	87	86	85	83	82	81
2	0,90479	78	77	75	74	73	71	70	69	67
3	0,90466	65	64	62	61	60	58	57	56	55
4	0,90453	52	51	50	49	47	46	45	44	43
5	0,90441	40	39	38	37	35	34	33	32	31
6	0,90430	28	27	26	25	24	23	22	21	19
7	0,90418	17	16	15	14	13	12	11	10	09
8	0,90408	06	05	04	03	02	01	00	99*	98*
9	0,90397	96	95	94	93	92	91	90	89	88
10	0,90387	86	85	84	83	82	81	80	79	78
11	0,90377	76	75	75	74	73	72	71	70	69
12	0,90368	67	66	65	64	63	63	62	61	60
13	0,90359	58	57	56	55	55	54	53	52	51
14	0,90350	49	49	48	47	46	45	44	44	43
15	0,90342	41	40	39	39	38	37	36	35	35
16	0,90334	33	32	31	31	30	29	28	27	27
17	0,90326	25	24	24	23	22	21	21	20	19
18	0,90318	18	17	16	15	15	14	13	13	12
19	0,90311	10	10	09	08	08	07	06	05	05
20	0,90304	03	03	02	01	01	00	99*	99*	98*
21	0,90297	97	96	95	95	94	93	93	92	91
22	0,90291	90	89	89	88	87	87	86	85	85
23	0,90284	84	83	82	82	81	81	80	79	79
24	0,90278	77	77	76	76	75	74	74	73	73
25	0,90272	72	71	70	70	69	69	68	68	67
26	0,90266	66	65	65	64	64	63	62	62	61
27	0,90261	60	60	59	59	58	58	57	56	56
28	0,90255	55	54	54	53	53	52	52	51	51
29	0,90250	50	49	49	48	48	47	47	46	46
30	0,90245	45	44	44	43	43	42	42	41	41
31	0,90240	40	39	39	38	38	37	37	36	36
32	0,90236	35	35	34	34	33	33	32	32	31
33	0,90231	30	30	30	29	29	28	28	27	27
34	0,90226	26	26	25	25	24	24	23	23	23
35	0,90222	22	21	21	21	20	20	19	19	18
36	0,90218	18	17	17	16	16	16	15	15	14
37	0,90214	14	13	13	12	12	12	11	11	10
38	0,90210	10	09	09	09	08	08	07	07	07
39	0,90206	06	06	05	05	04	04	04	03	03
40	0,90203									

DEUXIÈME PARTIE



MISSION HYDROGRAPHIQUE DE DRAGAGE

(17 février 1972 - 1^{er} août 1972)

MISSION OCÉANOGRAPHIQUE DE MÉDITERRANÉE

(1^{er} août 1972 - 2 novembre 1972)

par

M. Jean-François BONNOT

Ingénieur en Chef de l'Armement (hydrographe)

SOMMAIRE

I^{re} partie. INTRODUCTION GÉNÉRALE.

Chapitre I.1. Généralités.

Chapitre I.2. Constitution de la Mission Océanographique de Méditerranée.

I.2.1. Moyens flottants.

1. B.O. *Origny*.
2. BH. 1 *La Recherche*.
3. Les BH. 2 *Octant et Alidade*.

I.2.2. Moyens propres à la Mission.

1. Véhicules.
2. Radiolocalisation.
3. Matériels de transmission.

I.2.3. Locaux : Base de la Mission Océanographique de Méditerranée.

I.2.4. Personnel.

1. Ingénieur, Officiers.
2. Officiers-mariniers hydrographes.
3. Quartiers-maîtres et matelots.
4. Personnel civil spécialisé.
5. Organisation.

Chapitre I.3. Activité générale et travaux effectués.

I.3.1. Travaux réalisés par la M.H.D.

I.3.2. Travaux hydrographiques réalisés par la M.O.M

1. Travaux hydrographiques côtiers.
2. Travaux de grande sonde.
3. Travaux divers.

I.3.3. Campagnes océanographiques.

I.3.4. Essais de matériels.

I.3.5. Concours divers apportés par la M.O.M.

II^e partie. TRAVAUX HYDROGRAPHIQUES.

Chapitre II.1. Exploration sonar en Manche Occidentale.

(M.H.D. : 1^{er} mars - 3 juillet 1972).

II.1.1. Généralités. Nature des travaux.

II.1.2. Exécution du levé et des recherches d'épaves.

II.1.3. Travaux divers.

II.1.4. Conclusion.

Chapitre II.2. Travaux hydrographiques côtiers en Méditerranée Occidentale (M.O.M., 1^{er} août 1972 - 1^{er} novembre 1975).

II.2.1. Généralités.

II.2.2. Levé dans les limites de la carte 5329 : de la presqu'île de Giens au cap Camarat.

II.2.3. Levé dans les limites de la carte 5116 : de l'embouchure du Petit Rhône au golfe de Fos.

II.2.4. Levé aux abords de Saint-Raphaël : de la pointe des Issambres au cap Roux.

II.2.5. Levé du port et de la rade de Toulon.

Chapitre II.3. Travaux de grande sonde.

II.3.1. Généralités : Situation et nature des travaux.

II.3.2. Levé intermédiaire entre la frontière italienne et le cap Camarat.

II.3.3. Levé intermédiaire au Sud de Marseille.

II.3.4. Levé intermédiaire du talus continental au large des côtes espagnoles.

Chapitre II.4. Travaux divers.

II.4.1. Vérification de deux hauts-fonds au Sud de la Sardaigne.

II.4.2. Opération Zara, phase n° 1 : Levé expéditif dans la région de Solenzara (Côte Est de Corse).

II.4.3. Révision des amers de la côte Sud méditerranéenne.

II.4.4. Observation de la marée à Calvi (Corse).

Annexes à la II^e Partie.

Annexe n° 1 : Liste de coordonnées de points géodésiques ou amers.

1. Points situés dans la zone couverte par la carte 5329.
2. Points situés dans la zone couverte par la carte 5116.
3. Points de la région de Saint-Raphaël.
4. Points du port et de la rade de Toulon.
5. Amers de la côte méditerranéenne d'origines diverses fichés par la Mission en 1975.

Annexe n° 2 : Positions des balises Trident 1.

III^e partie. CAMPAGNES OCÉANOGRAPHIQUES.

Chapitre III.1. Campagnes océanographiques : Généralités.

Chapitre III.2. Campagne MEDMILOC 72.

Chapitre III.3. Campagne COBLAMED 73.

Chapitre III.4. Campagne HYDROMED A. hiver.

Chapitre III.5. Campagne HYDROMED A. été.

IV^e partie. ESSAIS DE MATÉRIEL.

Chapitre IV.1. Essais par grands fonds d'un largueur acoustique.

Chapitre IV.2. Essais du matériel Trident II.

Chapitre IV.3. Evaluation du sondeur latéral Edgerton Mark 1 B pour embarcation.

V^e partie. NOTES TECHNIQUES.

Note technique n° 1 : Utilisation complémentaire du Trident 1 et du Toran 3 G pour l'exécution de levés à petite échelle.

Note technique n° 2 : Précision du système Oméga différentiel en Méditerranée Occidentale aux abords de Toulon.

Première partie

INTRODUCTION GÉNÉRALE

I.1. GÉNÉRALITÉS.

Le présent rapport décrit l'ensemble des travaux hydro-océanographiques qui ont été effectués sous la direction de l'Ingénieur en Chef de l'Armement (hydrographe), Jean-François Bonnot du 17 février 1972 au 2 novembre 1975.

Pendant cette période, cet ingénieur a dirigé successivement :

— La Mission Hydrographique de Dragage (M.H.D.) (17 février - 1^{er} août) basée à Cherbourg et comprenant le BH. 1 *La Recherche* et les BH. 2 *Octant* et *Alidade*.

— La Mission Océanographique de Méditerranée (M.O.M.) créée à Toulon le 1^{er} août 1972 à la suite de la fusion du Bureau d'Etudes Océanographiques (B.E.O.) et de la M.H.D. transférée en Troisième Région Maritime.

L'activité menée dans le cadre de la M.H.D. a consisté essentiellement en un levé Sonar en Manche Occidentale d'une durée de quatre mois. Aucune modification de structure ni de moyens, amplement décrits par le Directeur de Mission précédent (I.P.A. Piéretti) n'a été apportée à la M.H.D. Il est donc inutile de présenter à nouveau cette Mission (*).

Par contre, il est important, avant de développer l'activité menée en Méditerranée, de définir l'organisation et les moyens de la M.O.M.

I.2. CONSTITUTION DE LA MISSION Océanographique de Méditerranée.

La M.O.M. est formée, depuis sa création, de :

— un organe de direction (constitué en unité) possédant son plan d'armement propre et doté de véhicules et de matériels. Cet organe de direction fonctionne sur les unités suivantes :

(*) *Annales Hydrographiques*, 5^e série, vol. 5, 2. 1977. (I.C.A. Piéretti).

— un élément naval : le Groupe des bâtiments océanographiques de Méditerranée (G.B.O.M.) comprenant le B.O. *Origny*, le BH. 1 *La Recherche*, les BH. 2 *Octant* et *Alidade* (**).

Le Commandant de l'*Origny* est le Commandant du Groupe.

Le Directeur de Mission est en général embarqué à bord de *La Recherche*.

— un élément terrestre : la Base de la Mission Océanographique de Méditerranée (B.M.O.M.) installée dans les anciens locaux du B.E.O. La M.O.M. est rattachée organiquement à l'Amiral Commandant l'escadre de la Méditerranée, le G.B.O.M. au Commandant de la Troisième Escadrille de Dragage, la B.M.O.M. au Major Général. Ces différents rattachements qui peuvent paraître curieux n'ont pas été source de difficultés pour le fonctionnement de la Mission.

2.1. Moyens flottants.

Mis à part les 2 BH.2 qui sont identiques, les bâtiments du G.B.O.M. sont de types très différents, uniques dans leur genre et spécialisés dans des tâches différentes. Cette diversité confère à la Mission une certaine polyvalence; elle occasionne en contrepartie une certaine dispersion dans l'emploi des moyens et présente des inconvénients au niveau de l'entretien.

2.1.1. — Le B.O. *Origny* est un ancien dragueur océanique transformé en bâtiment océanographique. Il est vieux et usé et a eu un grand nombre d'avaries sérieuses au niveau de la propulsion et des auxiliaires qui ont été la source de retards importants dans l'exécution des travaux et parfois même d'arrêts intempestifs d'opérations en cours qu'il était le seul à pouvoir effectuer.

Il est actuellement hasardeux de lui confier certains travaux dans le cadre d'un programme suivi et serré.

(**) B.O. : Bâtiment Océanographique. — BH. 1 : Bâtiment Hydrographique de 1^{re} Classe. — BH. 2 : Bâtiment Hydrographique de 2^e Classe.

Lorsqu'il servait de support au B.E.O., ce bâtiment avait été équipé pour effectuer les mesures courantes d'océanographie : stations profondes à fil vertical supportant des instruments de mesure légers, carottages, mouillage de lignes par grands fonds, remorquages d'instruments. Il était ainsi équipé de deux portiques basculants (un portique latéral et un portique arrière), de deux treuils Mécabolier 25 CV à Ward Leonard et d'un treuil arrière de 4 tonnes.

Il pouvait, mais dans des conditions un peu précaires, effectuer des levés bathymétriques à l'aide d'un sondeur Ocean Sonics.

Enfin il était équipé d'un bathythermographe Sipican.

Aménagements apportés à ce bâtiment dans le cadre de la M.O.M. :

- hiver 1972-1973 : transformation de l'ancien Central-Opérations (C.O.) en véritable passerelle d'hydrographie avec installation d'un interrogateur Trident 1, d'un récepteur Toran, de l'enregistreur Ocean Sonics et d'une table à dessin comportant deux postes de travail.

- hiver 1974-1975 : installation dans l'ancien C.O. d'une Station Sylosat et remplacement du Sondeur Ocean Sonics par un Sondeur Elac Deneb grands fonds équipé d'une loupe.

Ainsi ce bâtiment se trouvait apte à exécuter :

- l'ensemble des mesures océanographiques classiques ;
- des levés bathymétriques profonds (« levés intermédiaires »).

Ce qui a limité son efficacité est en définitive son mauvais état général.

L'*Origny* a été commandé successivement par :

- le Capitaine de Corvette Thomas jusqu'en août 1973 ;
- le Capitaine de Corvette Grovel d'août 1973 à août 1974 ;
- le Capitaine de Corvette Fouchier d'août 1974 à février 1976.

2.1.2. — Le BH. 1 *La Recherche* est également un vieux bateau. De conception plus simple et plus robuste, il est en général soumis à un nombre d'avaries moindre. Ces avaries sont parfois longues à réparer en raison de son caractère unique. Ses points faibles sont actuellement les auxiliaires pour lesquels il n'y a pas de rechanges et la vétusté du câblage électrique et du collecteur d'incendie. Le fonctionnement du dispositif de lancement à l'air du moteur principal peu sûr depuis la construction du bâtiment a été sérieusement amélioré au cours de l'hiver 1973-1974 par le changement de l'arbre à cames.

Porteur de trois vedettes de 8,30 m équipées de sondeurs, il est spécialisé dans la bathymétrie côtière et peut effectuer dans de bonnes conditions des levés de grande sonde. Dans ce cas, son ren-

dement est limité par son faible rayon d'action (7 journées sous propulsion).

L'équipement scientifique de ce bâtiment est simple et n'a pas beaucoup varié au fil des années. Il comprend les récepteurs de radiolocalisation classiques Toran-Trident I, des sondeurs petits fonds et grands fonds et un Sonar Duba 18 simplifié pour la recherche des épaves.

Le sondeur grands fonds est un sondeur Elac Deneb (0-5 680 m) muni d'une loupe. En 1972, les sondeurs petits fonds de *La Recherche* et de ses vedettes étaient des Kelvin Hugues MS26F. Ils furent remplacés par des sondeurs Atlas Deso 10 (0-280 m) au cours de l'hivernage 1974-1975.

La Recherche a été commandée successivement par :

- l'Officier Principal des Equipages Placet de juillet 1971 à janvier 1973 ;
- l'Officier des Equipages de 1^{re} Classe Metéyé de janvier 1973 à septembre 1975 ;
- l'Officier des Equipages de 1^{re} Classe Richou à partir de septembre 1975.

2.1.3. — Les BH. 2 *Octant* et *Alidade*. Anciens petits chalutiers d'une vingtaine de mètres, ces deux petits bâtiments sont identiques. Bien qu'âgés, ils sont en bon état et parfaitement entretenus par leur Commandant. Comme *La Recherche*, ils sont uniques dans leur genre et les délais de réparation sont en général très longs. Ce sont les embrayeurs qui sont la source principale des avaries.

Initialement, ils avaient été conçus et équipés pour remorquer une drague hydrographique. Sauf à titre d'entraînement cette opération est devenue extrêmement rare.

Ils sont équipés d'un sondeur petit fond ; le remplacement des Kelvin Hughes MS26F par des sondeurs Atlas Deso 10 (0-280 mètres) a eu lieu au cours de l'hivernage 1972-1973. Ils peuvent être équipés d'un interrogateur Trident 1. Quelques aménagements mineurs ont été opérés pour améliorer les conditions de travail en sonde :

- installation en passerelle, en plus de la table existante, d'une table à dessin démontable qui permet à l'hydrographe embarqué de construire la sonde en temps réel sans gêner l'officier de quart ;
- aménagement des « Tapes » de dragage pour faciliter le mouillage et le repêchage des lignes de courantométrie.

Ces bâtiments sont bien adaptés :

- au mouillage des lignes de courantométrie par des fonds ne dépassant pas 200 mètres ;
- à la prise des natures de fonds jusqu'à 100 mètres de profondeur.

Ils peuvent faire de la moyenne sonde correctement mais leurs possibilités sont limitées par :

- le faible armement en personnel (il n'est pas possible d'embarquer en plus de l'équipage normal plus d'un officier-marinier hydrographe) qui ne leur permet pas d'effectuer la sonde en continu pendant

plusieurs jours et les oblige à mouiller chaque soir près de la côte.

— leur faible autonomie ;

— leur régime de roulis qui interdit la sonde par mer supérieure à force 3 ;

— les faibles performances de leur sondeur. Or, en Méditerranée, les zones où les fonds sont inférieurs à 280 mètres sont réduites.

Leur utilisation en sonde est donc relativement peu rentable en Méditerranée. Ils ont par contre été souvent utilisés pour effectuer les reconnaissances maritimes d'amers, ils peuvent également être utilisés pour surveiller une vedette de sonde lorsque le bâtiment de 1^{re} classe porteur effectue des levés au large. (voir levé de Saint-Raphaël, chapitre II.2.5.).

Les commandants successifs ont été :

Octant

Maître principal (*hydrographe*), LAGATHU jusqu'en avril 1972.

Maître principal (*hydrographe*) DENIS, d'avril 1972 à avril 1975.

Maître principal (*manœuvrier*) SERTILANGE, depuis le 2 avril 1975.

Alidade

Maître principal (*hydrographe*) GUILLEMOT, jusqu'en avril 1973.

Maître principal (*manœuvrier*) LE GALL, d'avril 1973 à avril 1975.

Maître principal (*hydrographe*) HARMANGE, depuis avril 1975.

2.2. Moyens propres à la Mission.

Outre le matériel spécifique classique, la Mission disposait des moyens suivants :

2.2.1. Véhicules.

A sa création, la Mission a été dotée d'un plan d'armement comprenant quatre véhicules :

- un break 404 Peugeot ;
- une camionnette 1 200 kg Citroën type Junker ;
- une camionnette Renault 4 L ;
- un camion P 48.

Bien que relativement fragiles, ces véhicules sont assez bien adaptées, par leur diversité aux besoins de la Mission. Sauf cas particuliers relativement rares (levé des Bouches-du-Rhône, voir chapitre II.2.3.) la nécessité de véhicules tous terrains ne s'est pas faite sentir, et il était préférable de disposer de véhicules routiers plus rapides et plus faciles à dépanner.

Ils ont effectué dans leur ensemble 90 000 km environ par an pendant trois ans. Soumis par ailleurs à un régime assez dur, ils se sont usés rapidement et ont été soumis à de nombreuses immobilisations au Centre Auto de Toulon. Bien que

conduits la plupart du temps par de jeunes appelés ils n'ont subi aucun accident de la circulation.

2.2.2. Radiolocalisation.

La fusion des matériels du B.E.O. et le M.H.D. a doté la M.O.M. d'une chaîne Trident 1 (système circulaire de radiolocalisation) (*) comprenant :

- trois interrogateurs ;
- dix balises.

Le volume de cet ensemble a donné une très grande souplesse pour l'exécution des travaux en permettant en particulier l'exécution simultanée de levés disjoints.

En début 1974, la Mission a été dotée d'une chaîne Toran 3G à un réseau (*) en provenance de Brest; cette chaîne fut complétée fin 1974 par deux autres réseaux. La Mission se trouve donc équipée pour effectuer n'importe quel levé en Méditerranée.

2.2.3. Matériels de transmission.

La Mission est équipée de façon classique. Elle possède :

— des moyens de transmission à longue portée constitués par six postes émetteurs récepteurs (TRMM 3A) à bande latérale unique (BLU). Trois d'entre eux sont installés à poste fixe sur *La Recherche*, *l'Octant* et *l'Alidade*, les trois autres sont disponibles pour équiper des stations à terre. Ce matériel est d'excellente qualité et fonctionne parfaitement. Le nombre de postes est largement suffisant.

— des moyens de transmission à courte portée pour les liaisons vedettes — bâtiment porteur et le radioguidage. De 1972 à 1975, ils ont été progressivement modernisés, et les postes TRPP 13 et TRBP 11 ont remplacé de façon avantageuse les ANGRC 9 et ANGRC 10 anciens et vétustes. L'équipement actuel est constitué de 9 TRPP13, 6 TRPP11, (8 ANGRC 10 encore en bon état ont été conservés en rechange).

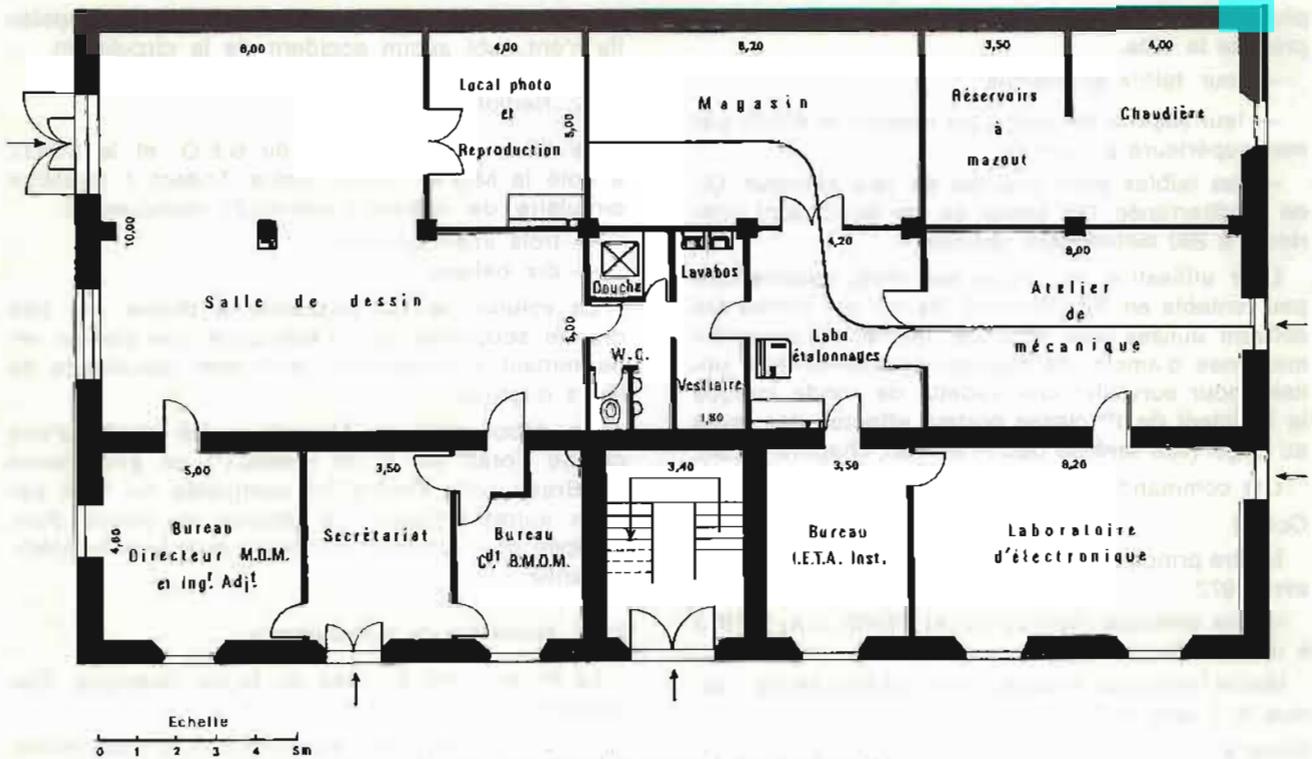
2.3. Locaux : Base de la Mission Océanographique de Méditerranée (B.M.O.M.).

A sa création, la Mission disposait des locaux qui appartenaient au B.E.O. Ceux-ci étaient composés :

— de l'immeuble de l'Observatoire, situé en ville, à l'extérieur de l'arsenal de Toulon, et dans lequel se trouvaient les bureaux, les salles de rédaction et les casernements du personnel équipage ;

— du rez-de-chaussée de l'immeuble du Laboratoire de Chimie analytique (L.C.A.) de Toulon, situé à l'intérieur de l'arsenal et qui abritait les différents laboratoires du B.E.O. (électronique, chimie de l'eau de mer, géologie et sédimentologie) ;

(*) Cours de radiolocalisation de l'I.C.A. Milard. Ecole Nationale Supérieure de Techniques Avancées.



PL. I.1. — Plan des locaux de la B.M.O.M.

— de magasins sur le terre-plein du quai Noël à proximité immédiate des postes d'amarrage des bâtiments.

Dans les mois qui suivirent la création de la M.O.M., les laboratoires de chimie de l'eau de mer et de géologie furent transférés à l'Établissement Principal du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (E.P.S.H.O.M.) et, en avril 1973, la B.M.O.M. fut installée complètement au rez-de-chaussée du L.C.A. après un réaménagement complet du plan des locaux. Le plan actuel est fourni par la planche n° I.1.

Les magasins de terre-plein du quai Noël, bien que constitués par des baraques vétustes, furent également réaménagés en vue d'affecter à chaque bâtiment deux « boxes » permettant de stocker dans l'un du matériel appartenant en propre au bâtiment, dans l'autre le matériel hydro-océanographique utilisé de façon spécifique par ce bâtiment. Le matériel scientifique et le matériel commun de la Mission pouvant être utilisé par l'ensemble des bâtiments étaient stockés dans le magasin de la B.M.O.M.

Dans la nouvelle configuration d'utilisation des locaux par la M.O.M. l'immeuble de l'observatoire ne servait plus si ce n'est pour loger le personnel de la B.M.O.M. et de façon épisodique le personnel en retour de mission à terre. Il fut définitivement remis à la 3^e Région Maritime en avril 1975 lorsque celle-ci fut en mesure de loger le personnel à terre de la mission dans la base-vie Est de l'arsenal de Toulon.

2.4. Personnel.

Le plan d'armement de la M.O.M. comporte :

- 2 ingénieurs de l'Armement dont le directeur ;
- 15 officiers-mariniers hydrographes (*) ;
- 1 officier-marinier radio.
- 18 quartiers-maîtres et matelots de différentes spécialités (manœuvriers, mécaniciens, chauffeurs, etc.).

Ce personnel est réparti dans les différentes unités constituant la M.O.M. sur l'ordre du directeur.

Le plan d'armement de la B.M.O.M. comporte :

- 1 officier technicien de 2^e classe, Commandant.
- 1 ingénieur des études et techniques d'Armement (I.E.T.A.) instrumentaliste.
- 2 enseignes de vaisseau de 2^e classe de réserve (branche « Recherche Scientifique »).
- 2 matelots dont 1 secrétaire.
- 2 techniciens à statut ouvrier (T.S.O.), un électronicien et un dessinateur.

2.4.1. Ingénieurs. Officiers.

Les plans d'armements ingénieurs et officiers de la M.O.M. et de la B.M.O.M. ne furent pas toujours honorés. Ainsi les postes d'I.E.T.A. et de Commandant de la B.M.O.M. sont vacants respectivement depuis février 1974 et juillet 1975.

(*) Initialement le nombre d'officiers-mariniers hydrographes était égal à 13 ; il fut augmenté à 15 en 1975.

Les différents ingénieurs qui furent affectés à la M.O.M. sont :

I.A. Desnoës en provenance du B.E.O., affecté à la M.O.M. jusqu'en avril 1973.

I.A. Kerjean de juin à octobre 1973.

I.P.A. Habert à partir d'octobre 1973.

I.A. Siess à partir de novembre 1974.

I.E.T.A. Lebreton jusqu'en février 1974.

I.E.T.A. Bouet-Lebœuf à partir de septembre 1975.

Le Lieutenant de Vaisseau de réserve Soenen, appartenant au B.E.O., fut affecté à la M.O.M. en supplément à l'armement pendant toute la période couverte par le présent rapport. De même, la Mission a pu profiter pendant un an environ, en 1973, des services de l'Enseigne de Vaisseau de 1^{re} classe Tailliez.

Les aspirants ou enseignes de vaisseau de réserve, prévus au plan d'armement de la B.M.O.M., ont été systématiquement embarqués sur les bâtiments.

L'expérience a montré que l'effectif réglementaire de 2 ingénieurs était insuffisant pour assurer de façon valable et complète la conduite de la Mission.

La situation en 1972 et 1973 fut précaire et difficile. Elle ne s'améliora que lorsqu'un deuxième ingénieur-adjoint fut affecté à la Mission. L'effectif qu'il apparaît souhaitable de maintenir à la M.O.M. doit au minimum, en plus du directeur, comprendre 2 ingénieurs de l'armement (hydrographes) et un officier s'occupant des affaires générales de la Mission (gestion, personnel, administration, etc...) et permettant ainsi aux ingénieurs de porter tous leurs efforts sur l'organisation et la conduite technique des travaux effectués.

2.4.2. Officiers-mariniers hydrographes.

Le plan d'armement des officiers-mariniers hydrographes fut toujours honoré et, fort heureusement, de façon largement excédentaire. Ils furent en général une vingtaine en permanence à la Mission. Ce nombre, plus réaliste que celui de l'effectif réglementaire, correspond aux besoins réels. En effet, pour faire fonctionner correctement les différents éléments de la Mission il est nécessaire de prévoir un minimum de 8 officiers-mariniers hydrographes sur *La Recherche*, 5 sur *l'Origny*, 1 sur chaque BH. 2 et 4 en mission à terre.

Ces chiffres peuvent paraître élevés ; ils se trouvent justifiés par le fait que la moyenne d'âge des officiers-mariniers hydrographes est de plus en plus jeune leur expérience et leur technicité s'en ressentent. Un certain nombre d'entre eux se sont trouvés de plus, avec l'avancement des techniques, spécialisés à certaines tâches et en particulier au dépannage et à l'entretien des matériels électroniques. Susceptibles d'intervenir à tout moment sur l'instrumentation, ils ne peuvent plus être enrôlés dans les tours de quart ou affectés à l'exécution des travaux de routine.

2.4.3. Quartiers-mâtres et matelots.

Grâce à une excellente entente entre le « Bureau Personnel » local, les bords et la Mission, il n'y eut jamais de problème de pénurie de personnel équipage pour l'exécution des travaux. Seuls des problèmes inévitables en raison des rotations rapides du personnel recruté se sont parfois posés à propos des compétences et des niveaux d'emploi.

2.4.4. Personnel civil spécialisé.

Il s'est avéré qu'un seul T.S.O. électronicien, bien que secondé par 2 ou 3 officiers-mariniers semi-spécialisés en électronique, était insuffisant pour assurer la maintenance des appareils de plus en plus nombreux et complexes. Ce T.S.O. ne peut également assurer en plus à lui tout seul la gestion du stock de composants de rechange nécessaire à l'ensemble de l'électronique spécialisée de la M.O.M. qui échappe par ailleurs aux compétences de la Direction des Constructions et Armes Navales locale.

La maintenance et l'entretien de l'instrumentation électronique dans les missions posent de nombreux problèmes qui ne peuvent être résolus que par l'affectation d'une petite équipe d'électroniciens polyvalents dirigée par un spécialiste du niveau I.E.T.A.

Le développement des calculateurs embarqués aggravera encore dans l'avenir ces problèmes.

La présence dans une Mission Hydrographique d'un T.S.O. dessinateur est utile mais n'est pas strictement indispensable. Celui de la M.O.M. fut formé et spécialisé dans la stéréorestitution des photos aériennes à l'aide du Stéréoflex, et l'établissement des minutes de topographie. Ce travail minutieux demande en effet de la continuité et ne peut être réalisé à bord d'un bâtiment. Il n'était par conséquent pas possible de le faire faire par un officier-marinier.

2.5. Organisation.

Après six mois d'expérience de fonctionnement de la M.O.M., un texte d'organisation interne de la Mission fut rédigé. Ce texte concrétise au cadre de la Mission l'arrêté ministériel sur l'organisation générale des Missions hydro-océanographiques. Il crée en particulier, avant la lettre, à bord de chaque bâtiment un « service » hydro-océanographique dont le fonctionnement est régi par le « Règlement des services à bord » en vigueur dans la Marine et fixe exactement la position du personnel-mission embarqué vis-à-vis des commandants et des bords. Il intéresse également les commandants à la conduite des travaux réalisés par leur bâtiment en liaison avec le directeur technique qui leur est affecté.

Ce texte a été admis sans réserve par la grande majorité des différents commandants et a été reconduit par notre successeur.

3. ACTIVITÉ GÉNÉRALE ET TRAVAUX EFFECTUÉS.

3.1. Travaux réalisés par la M.H.D. :

De février à juillet 1972 : exploration sonar et recherches d'épaves en Manche Occidentale.

3.2. Travaux hydrographiques réalisés par la M.O.M. en Méditerranée Occidentale (1^{er} août 1972 - 1^{er} novembre 1975).

3.2.1. Travaux hydrographiques côtiers.

Année 1972-1973 : levé dans les limites de la carte 5329 : de la presqu'île de Giens au cap Camarat.

Année 1974 : levé dans les limites de la carte 5116 : des Saintes-Maries-de-la-Mer au golfe de Fos.

Année 1975 : levé des abords de Saint-Raphaël : de la pointe des Issambres au cap Roux.

Hivernages 1972-1973-1974 : levé de détail du port et de la rade de Toulon.

3.2.2. Travaux de grande sonde.

Année 1973 : levé intermédiaire de la frontière italienne au cap Camarat.

Année 1974 : levé intermédiaire au Sud de Marseille.

Année 1975 : levé du talus continental au large des côtes espagnoles.

3.2.3. Travaux divers.

Début octobre 1973 : recherche de deux hauts-fonds au Sud de la Sardaigne.

Octobre 1973 : « Opération Zara » : levé expéditif au Sud-Est de Solenzara (Corse) pour la recherche d'une épave d'avion.

Août 1972 - 1^{er} novembre 1975 : révision des amers de la côte Sud métropolitaine.

3.3. Campagnes océanographiques (Origny).

Septembre 1972 : participation à la campagne MEDMILOC 72 organisée par le groupe d'océanographie militaire de l'O.T.A.N.

Septembre - octobre 1973 : participation à la campagne COBLAMED 73 organisée par le laboratoire d'océanographie physique du Muséum d'Histoire Naturelle.

Février 1974 : campagne d'hydrologie en hiver dans le canal Provence - Corse (campagne HYDRO-MED, zone A, hiver).

Septembre 1974 : campagne d'hydrologie en été dans le canal Provence - Corse (campagne HYDRO-MED, zone A, été).

3.4. Essai de Matériel.

Avril 1974 : essais d'un largueur acoustique.

Septembre 1974 : essais du matériel de radiolocalisation Trident 2.

Avril 1974 à novembre 1975 : évaluation du sondeur latéral pour embarcation Edgerton.

3.5. Concours divers apportés par la M.O.M.

Novembre 1972 : levé sismique au sparker léger du polygone acoustique du golfe du Lion.

Juin 1973 : participation de l'Origny à l'exercice naval « Manat ».

Septembre 1973 : participation de l'Origny au Congrès de l'AGARD.

Année 1974 : participation de la Mission à deux reprises à la poursuite de l'opération Zara.

Septembre 1975 : participation à l'exercice de dragage « Olives Noires ».

L'énoncé des travaux effectués, les concours ponctuels apportés exceptés, constitue le plan général de la suite de ce présent rapport, chaque rubrique citée faisant l'objet d'un développement particulier.

Deuxième partie

TRAVAUX HYDROGRAPHIQUES

CHAPITRE II.1.

EXPLORATION SONAR EN MANCHE OCCIDENTALE (1^{er} mars - 3 juillet 1972)

1. GÉNÉRALITÉS, NATURE DES TRAVAUX.

Au cours du premier semestre 1972, le BH. 1 *La Recherche* accompagné des BH. 2 *Octant* et *Alidade* a effectué en Manche Occidentale un levé sonar destiné à détecter et positionner les épaves ou obstructions.

Cette campagne a constitué la dernière mission effectuée par la Mission Hydrographique de Dragage.

La planche n° II.1, ci-après, indique le contour de la zone à explorer ainsi que le contour de la zone réellement levée du 15 mars au 2 juillet 1972. Cette dernière représente un peu plus du tiers de la zone totale. La Mission Océanographique de l'Atlantique a poursuivi et terminé en 1973 le levé sonar entrepris par *La Recherche*. Le levé bathymétrique a été effectué par la Mission Hydrographique de l'Atlantique (M.H.A.).

Les difficultés rencontrées au cours de cette campagne ont été nombreuses et ont réduit de façon sensible le volume des travaux par rapport aux prévisions :

— Les conditions météorologiques particulièrement mauvaises au cours des mois de mars, avril et mai ont fortement gêné l'exploration sonar, le sonar de *La Recherche* se trouvant inutilisable par vent supérieur à 25 nœuds.

— La forte densité des bâtiments de commerce sur le « rail » Ouessant-Cherbourg a également gêné l'exécution du levé en obligeant très souvent *La Recherche* à manœuvrer et interrompre le profil en cours.

— *La Recherche* fut soumise à de nombreuses avaries de barre.

— Les deux annexes *Octant* et *Alidade* n'ont pas

eu, au cours de cette campagne, un rendement valable en raison d'une part de leur mauvaise adaptation à l'exécution de tels levés au large, d'autre part de leur sous-équipement en moyens de mesure et de détection. Ces deux bâtiments furent en outre encore plus sensibles que *La Recherche* aux mauvaises conditions météorologiques. Enfin il faut noter que *l'Octant* n'a pu être disponible en sortie de réparations annuelles que le 24 mai.

2. EXÉCUTION DU LEVÉ SONAR ET DES RECHERCHES D'ÉPAVES.

2.1. Equipements de mesure.

2.1.1. — *La Recherche* possédait son équipement classique (*) à savoir :

— un sonar Duba 1B simplifié.

— un sondeur Elac Deneb grands fonds équipé d'une loupe, qui malheureusement s'est trouvée en avarie pendant toute la durée de la campagne.

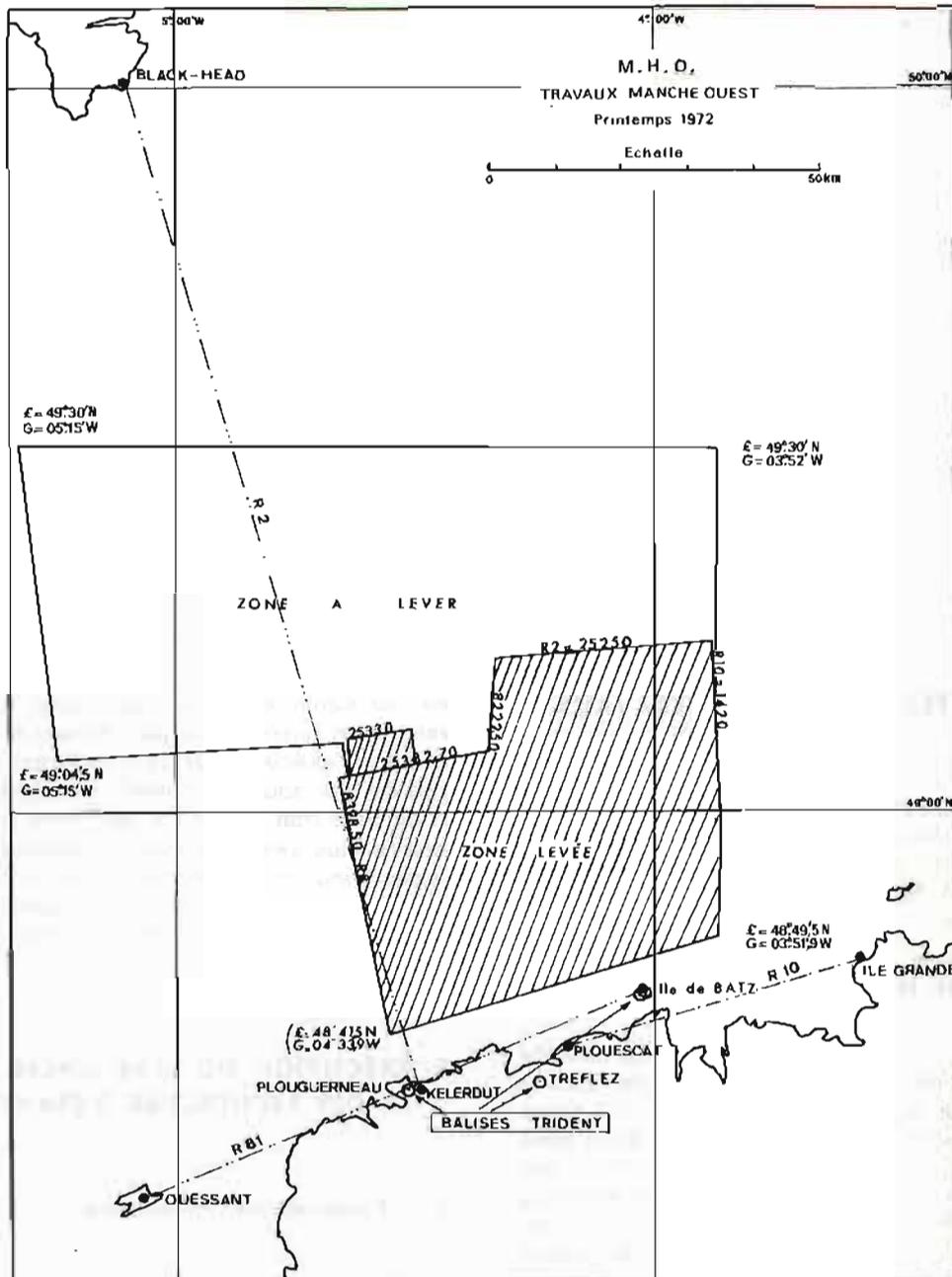
— un sondeur petits fonds Kelvin Hughes MS26F.

— un interrogateur Trident 1.

Un récepteur Toran type E, équipé du système de levé d'ambiguïté avait en outre été mis en place à bord de *La Recherche* par les soins de la M.H.A. qui entretenait la chaîne Toran Manche-Angleterre.

2.1.2. Les BH. 2 *Octant* et *Alidade* avaient un équipement beaucoup plus succinct et ne disposaient que d'un sondeur petits fonds Kelvin Hughes MS26F.

(*) *Annales Hydrographiques*, 5^e série, vol. 5, 2. 1977. (I.C.A. Piéretti).



PL. II.1.

Du point de vue de la radiolocalisation ces deux bâtiments devaient se partager le deuxième interrogateur Trident I dont disposait la M.H.D.

2.2. Radiolocalisation (planche n° II.1.).

La radiolocalisation fut assurée pendant toute la durée de la campagne par :

2.2.1. — Le système circulaire Trident 1 (*) qui équipait traditionnellement la M.H.D.

(*) Voir cours de radiolocalisation par l'I.C.A. Milard. Ecole Nationale Supérieure de Techniques Avancées, 1972.

Trois balises furent mises en place au début du mois de mars aux points suivants :

Désignation des points	Coordonnées Lambert Zone 1	
	X	Y
Château d'eau de Plouguerneau	96 380,76	123 599,25
Château d'eau de Treflez	115 075,31	123 734,72
Phare de l'île de Batz	132 579,13	135 838,82

Ces balises couvraient la moitié Sud de la zone levée.

La quatrième balise dont disposait la M.H.D. était gardée en réserve. Une équipe à terre composée d'un officier-marinier et d'un matelot chauffeur assurait la surveillance du fonctionnement de ces balises.

2.2.2. — Les trois réseaux Toran, faisant partie de la chaîne entretenue par la M.H.A., sont les suivants :

- Réseau 2 : Foyers : Black-Head-Kerledut.
- Réseau 81 : Foyers : Ouessant-Ile-de-Batz.
- Réseau 10 : Foyers : Plouescat-Ile Grande.

La position de ces réseaux est visualisée sur la planche n° II.1. Toutes les données et les cartes concernant cette chaîne furent fournies par la M.H.A. qui assura également la maintenance du récepteur qui avait été monté sur *La Recherche*.

Disposant du Trident 1, *La Recherche* n'a jamais éprouvé de difficultés pour caler son récepteur Toran. En début de campagne, une série d'une vingtaine de points simultanés Toran-Trident avaient été observés à la limite de portée du Trident 1 et tous les calages étaient effectués et contrôlés en fin de journée ou de séance, sur l'un de ces points.

Sauf une ou deux fois, le système de lever d'ambiguïté ne fut pas utilisé. Les cycles d'émission pour le lever d'ambiguïté, nécessaires aux bâtiments de la M.H.A. constituèrent plutôt une gêne qu'un appoint à l'activité de *La Recherche*. Ils obligeaient en effet ce bâtiment à stopper pour ne pas risquer de perdre le calage initial.

2.3. Exploration Sonar.

Elle fut exactement menée suivant les méthodes mises définitivement au point par l'I.P.A. Piéretti en 1971 et qui font l'objet d'une note détaillée dans son rapport de mission. Aucune modification ou innovation ne fut apportée à ces méthodes qui apparaissent parfaitement adaptées pour des fonds inférieurs à 120 mètres.

Elle fut ainsi menée en utilisant la procédure suivante :

- gamme de détection : 0-3 000 yards.

- balayage : 110° de chaque bord.
- site : — 1°.
- bonds automatiques de 5°.
- espacement des profils : 1 000 mètres.

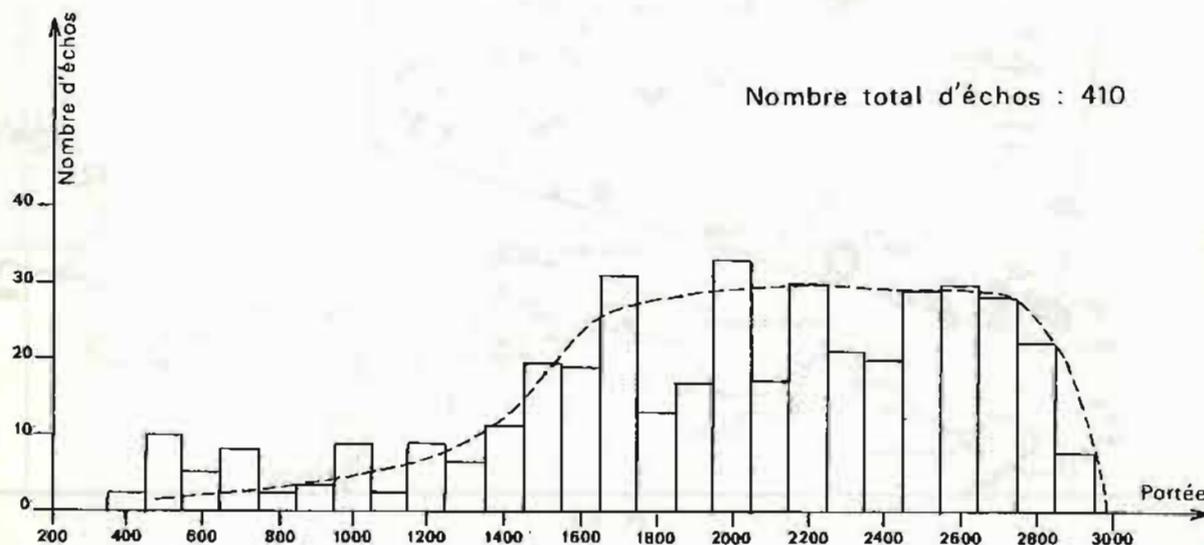
Deux familles de profils espacés de 1 000 mètres et se coupant pratiquement à angle droit furent suivies dans la zone levée, ce qui assurait entre 4 et 8 détections possibles sur une obstruction. Deux profils d'une même famille de rang de même parité, c'est-à-dire deux profils d'une même famille distants de 2 000 mètres ont été en général parcourus en sens inverse, comme le prescrivaient les Instructions Techniques. Par contre, il n'a pas été possible de parcourir deux profils voisins d'une même famille (distants de 1 000 mètres) à six heures de marée d'intervalle.

Les familles de profils étaient soit des cercles Trident soit des hyperboles Toran.

La méthode employée donna entière satisfaction. Le succès obtenu est dû en grande partie à la qualité, l'expérience et l'entraînement des opérateurs sonar que *La Recherche* avait la chance de posséder. L'exploration sonar fut également facilitée par des conditions « bathys » favorables. La « bathy » vérifiée fréquemment fut isotherme de la surface au fond jusqu'à la fin du mois de juin. Cette condition est en effet nécessaire pour avoir par petits fonds une détection correcte. A la fin du mois de juin, l'apparition d'une faible thermocline a stoppé l'exploration sonar, les opérateurs n'arrivant plus à faire la distinction entre les échos très nombreux provenant d'une réflexion sur le fond et ceux provenant d'obstructions. Par contre, l'exploration sonar fut gênée à la traversée du « rail » des bâtiments de commerce, le sonar fournissant des échos forts soit sur les coques des bâtiments proches soit sur les sillages des gros bâtiments qui pouvaient masquer des échos plus faibles provenant d'obstructions sur le fond.

Un des problèmes délicats fut de déterminer la portée efficace. En l'absence de but répondeur,

ÉVALUATION STATISTIQUE DE LA PORTÉE EFFICACE SONAR



celle-ci fut estimée statistiquement, et les conditions bathys n'ayant pas changé, contrôlée a posteriori à partir de la collection d'échos obtenus. On a ainsi pu constater que tous les échos obtenus au cours du levé correspondent à des distances de détection réparties à peu près uniformément entre 1 600 et 2 900 mètres avec des possibilités de détection non négligeables entre 500 et 1 600 mètres, ce qui confirme le choix de la procédure utilisée (voir graphique ci-dessus).

Pendant toute la campagne, le sondeur Elac fut maintenu en route, malheureusement sous loupe, celle-ci se trouvant en avarie. Le sondeur Kelvin Hughes gênant la réception du sonar ne fut pas entretenu; la précision sur la mesure de la profondeur obtenue sur l'enregistreur principal du sondeur Elac (échelle 0-420 m) est faible et non compétitive avec celle des sondeurs utilisés par la M.H.A. qui effectuait le levé bathymétrique. Les bandes de sonde obtenues ne furent donc pas exploitées sauf lorsqu'elles montraient un accident de relief remarquable ou une épave qui étaient traités ensuite au sondeur Kelvin Hughes. Ces cas furent très peu nombreux.

La construction des positions et le report des échos sur mappes Trident ou Toran étaient effectués en passerelle en temps réel.

2.4. Recherches d'épaves au sondeur vertical et bathymétrie.

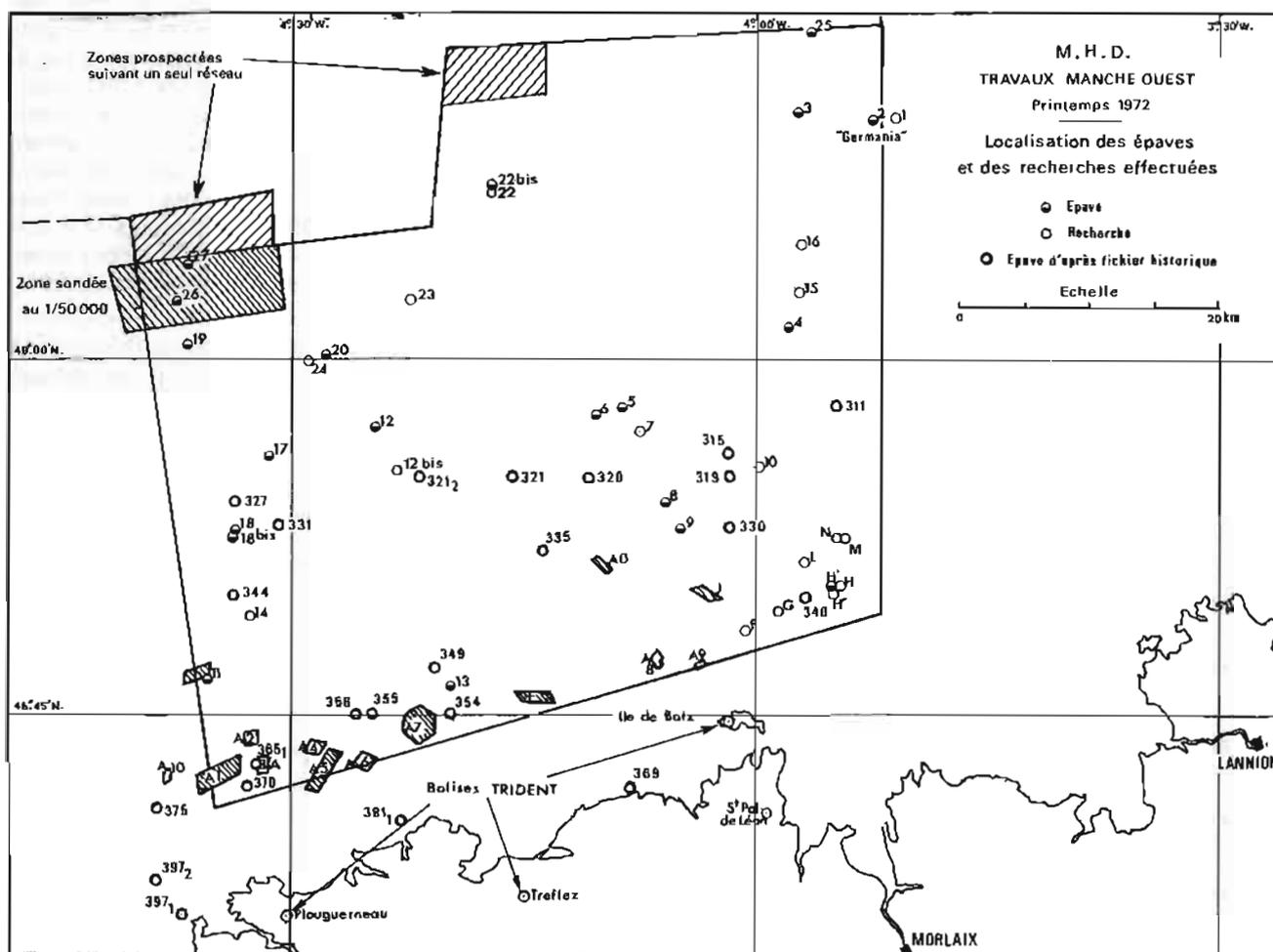
Toutes les concentrations d'échos obtenues comportant au moins deux échos furent systématiquement explorées au sondeur vertical (sondeur Elac et sondeur Kelvin Hughes fonctionnant simultanément).

Un certain nombre d'échos isolés furent également visités à l'aide du sondeur vertical, notamment lors des transits entre deux concentrations.

Sur 50 recherches effectuées, 20 épaves ont pu être classées avec certitude, localisées et cotées avec précision.

La liste de ces épaves et leurs caractéristiques accessibles (positions, brassiage, etc.) sont données dans le tableau des pages suivantes.

La planche n° 11.2 fournit la localisation des épaves classées ainsi que celle des différentes recherches effectuées. Sur cette planche, nous avons fourni les positions des épaves figurant au fichier historique fournies par l'E.P.S.H.O.M. On peut constater qu'il n'y a pratiquement pas de corrélation entre les épaves du fichier historique aux positions toutes douteuses et les épaves existant réellement.

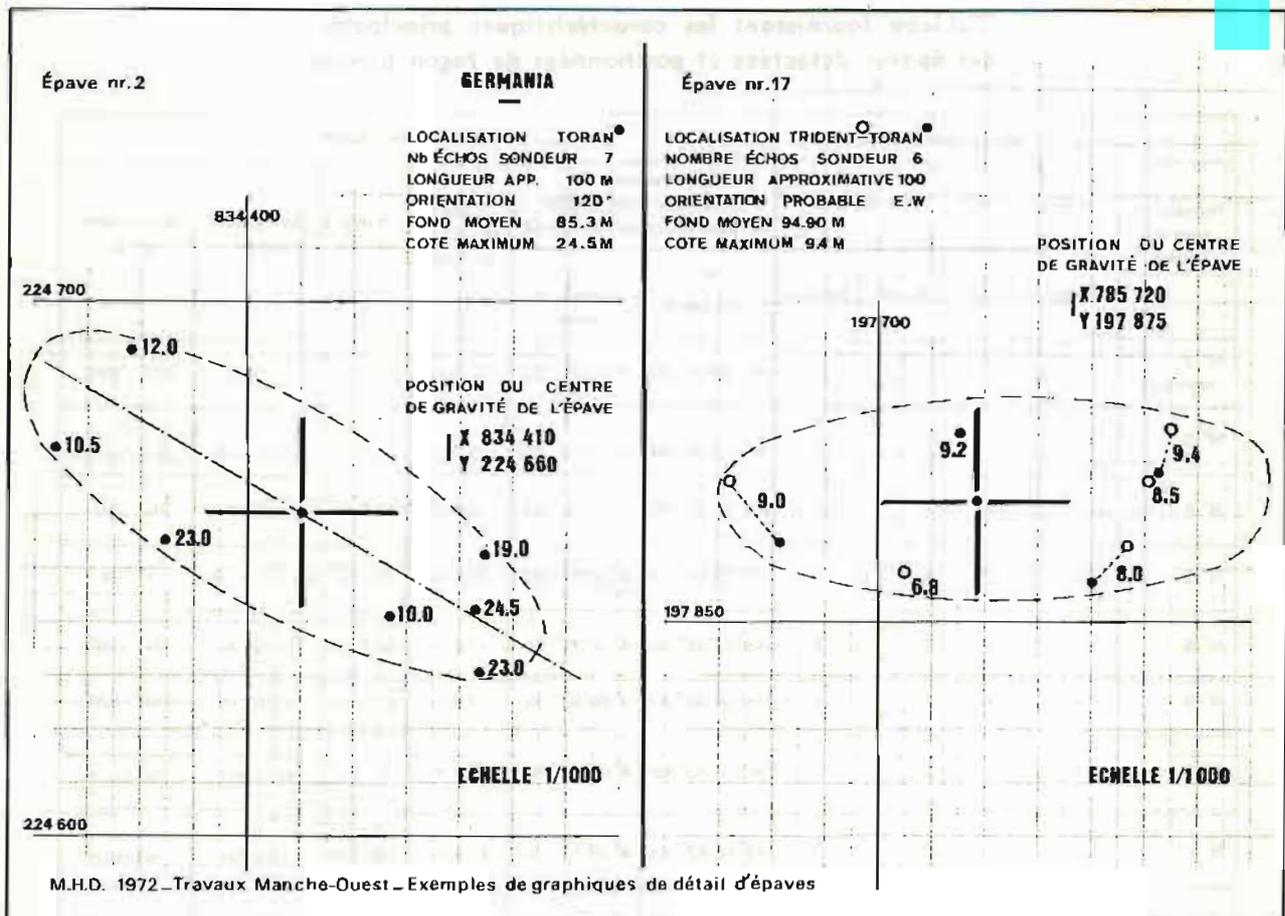


PL. 11.2.

**Tableau fournissant les caractéristiques principales
des épaves détectées et positionnées de façon précise.**

Numéro et nom de l'épave	Aspects qualitatifs				Description de l'épave						
	Localisation		Nb d'échos		Position (Ellipsoïde international Système Européen compensé)		Cote au-dessus du fond	Fond moyen	Longueur approx.	Orientation prob.	
	Trident	Toran	Sonar	Sondeur	φ Latitude N	G Longitude Ouest					
N° 2 Germania		x	8 6 f 2 m	7	49°09'55",51	3°52'28",32	24,5 m	85,3 m	≈ 100 m	120° - 300°	
N° 3		x	3 1 f 2 m	1	49°10'24",94	3°57'12",00	5,3 m	85,4 m	inconnue	inconnue	
N° 4	x	x	5 1 f 4 m	3	49°01'20",56	3°57'54",82	6,4 m	84,5 m	≈ 70 m	70° - 250°	
N° 5	x	x	4 2 f 2 m	3	48°57'54",24	4°08'37",92	8,4 m	83,7 m	40 < 1 < 80	E - W	
N° 6		x	2 1 f 1 m	6	48°57'34",36	4°10'21",65	9,6 m	84,6 m	≈ 100 m	50° - 230°	
N° 8	x	x	1 1 m	5	48°54'03",47	4°05'52",32	7,6 m	81,0 m	≈ 100 m	140° - 320°	
N° 9	x		2 1 f 1 m	1	48°53'03",49	4°04'57",60	2,4 m	80,8 m	inconnue	inconnue	
N° 11	x		2 2 m	3	48°46'42",45	4°35'13",20	13,9 m	99,3 m	inconnue	inconnue	
N° 12	x		6 5 f 1 m	4	48°57'07",39	4°24'38",40	19,4 m	88,6 m	≈ 150 m	115° - 295°	
N° 13	x		6 4 f 2 m	3	48°46'18",15	4°19'35",52	12,5 m	82,5 m	≈ 100 m	NW - SE	
N° 17	x	x	2 1 f 1 m	6	48°55'50",40	4°31'25",44	9,4 m	94,9 m	≈ 100 m	E - W	
N° 18	x	x	4 1 f 3 m	2	48°52'49",88	4°33'40",32	8,2 m	101,1 m	inconnue faibles dimensions	inconnue	
N° 18 bis	x	x	4 1 f 3 m	1	48°52'41",96	4°33'46",32	6,8 m	100,8 m	inconnue faibles dimensions	inconnue	
N° 19		x	3 3 f	5	49°00'36",23	4°36'44",16	8,6 m	97,3 m	≈ 100 m	N - S	
N° 20		x	4 3 f 1 m	4	49°00'14",92	4°27'43",44	9,1 m	95,9 m	≈ 100 m	N - S	
N° 22 bis		x	2 2 m	2	49°08'37",75	4°17'12",96	2,0 m	91,9 m	< 50 m	E - W	
N° 25		x	4 3 f 1 m	4	49°13'44",83	3°56'30",48	5,2 m	85,9 m	inconnue	inconnue	
N° 26		x	0	4	49°02'21",67	4°37'26",64	5,0 m	96,9 m	< 70 m	inconnue	
N° 27		x	0	1	49°04'02",46	4°36'41",28	2,6 m	92,0 m	faibles dimensions	inconnue	
H'	x		2 1 f 1 m	2	48°43'49",44	3°52'13",92	9,2 m	73,6 m	inconnue	E - W	

Nota. — a) Les numéros d'identification des épaves correspondent à ceux qui sont inscrits sur la planche n° II.2.
b) Les deux épaves 18 et 18 bis distantes de 270 m sont probablement les deux morceaux d'une même épave.
c) Les coordonnées géographiques sont fournies dans le Système Européen Compensé (ellipsoïde international).



PL. II.3.

Pour les épaves classées du tableau précédent le nombre d'échos obtenus au sondeur vertical varie de 1 à 7. Pour conserver à la position de ces échos toute la précision que l'on pouvait attendre de la radiolocalisation, tous les points obtenus soit par l'intersection de lieux Trident ou Toran soit par l'intersection de lieux Trident et Toran ont été calculés par l'ordinateur de l'E.P.S.H.O.M. Un graphique à grande échelle (1/1 000 ou 1/2 000) des échos correspondant à une même épave a été réalisé et reproduit sur la fiche d'épave. Deux exemples de ces graphiques sont reproduits à la planche n° II.3.

Ces graphiques permettent la plupart du temps, c'est-à-dire lorsque le nombre d'échos-sondeur est suffisant, de déterminer l'orientation probable et une longueur approximative de l'épave. Ils permettent également de déterminer de façon précise la position du centre de gravité de l'épave après avoir tenu compte de la parallaxe existant entre les différentes antennes de radiolocalisation et la base du sondeur.

C'est cette position qui a été reproduite dans le tableau précédent et sur les fiches d'épaves établies.

Enfin ces graphiques montrent l'excellente concordance entre les points Trident et les points

Toran qui, pour un même écho sondeur, ne sont jamais distants de plus de 15 mètres.

Une seule épave a pu être identifiée par plongeurs, les profondeurs à atteindre étant inaccessibles aux plongeurs classiques que pouvaient fournir la Première ou la Deuxième Région Maritime.

L'épave du *Germania* a été reconnue par les plongeurs de la Société Comex, munis d'une cloche de plongée après avoir été balisée par *La Recherche* sur demande de l'Etat-Major.

Trente recherches infructueuses furent effectuées sur différentes concentrations d'échos bien focalisées ou diffuses et sur certains échos isolés :

10 sur concentrations de 2 échos ou plus (H, H'', F, G, N, M, L, 22, 23, 24).

14 sur concentrations largement diffuses groupant plusieurs échos (A₀ à A₁₂ et J).

6 sur échos isolés (1, 7, 10, 12bis, 15, 16).

Etant donné l'expérience acquise sur la forme et la nature des concentrations caractéristiques d'une épave, trois concentrations doivent être classées « épaves probables » bien qu'aucune épave ou accident de relief expliquant les échos sonar n'ait été trouvée au sondeur vertical.

Il s'agit de :

Désignation	Nb d'échos sonar	Position approchée(*)		Observations
		φ	G	
H	5 4 forts 1 moyen	48° 50',46 N	003° 54',51 W	Concentration importante et bien focalisée. Epave probable
H''	2 2 forts	48° 49',95 N	003° 55',37 W	2 échos forts parfaitement convergents. Epave probable
F	4 3 forts 1 moyen	48° 48',62 W	004° 00',61 W	Concentration importante. Epave probable

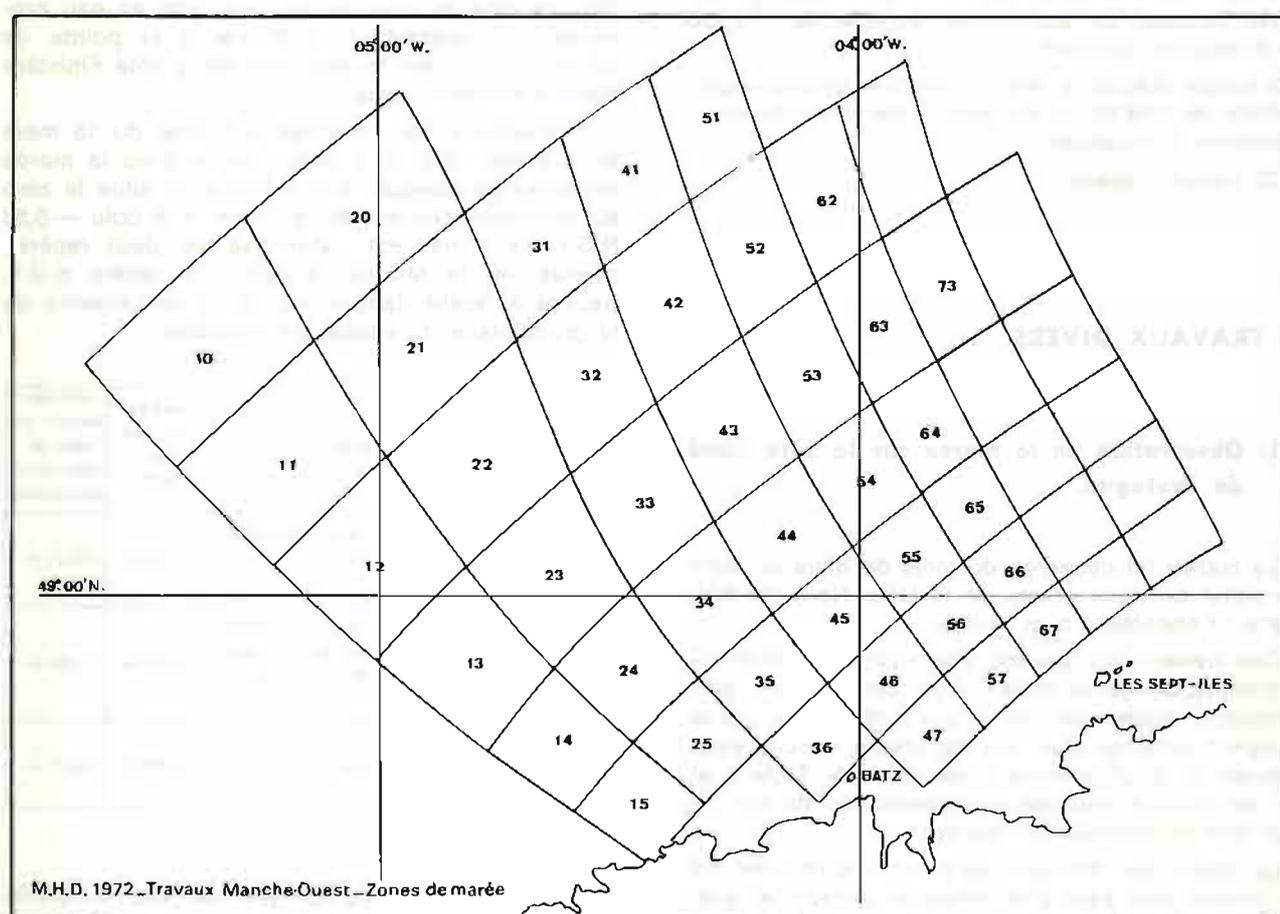
(*) Les coordonnées géographiques sont fournies dans le Système N.T.F. 1964 (Ellipsoïde de Clarke, 1880).

De nombreux échos ont été obtenus dans la partie Sud du levé. Pour tenter de les expliquer, des levés bathymétriques partiels à grande échelle ont été réalisés sur des zones englobant le maximum d'échos. Ces levés ont été rédigés à l'échelle de 1/10 000, l'espacement initial des profils suivis étant généralement de 100 mètres.

Aucune épave n'a été trouvée, mais ces levés ont montré que dans la partie Sud de la zone explorée au sonar, le fond est irrégulier, très rugueux, et

parsemé de petits hauts-fonds mais aussi de trous aux bords bien marqués qui seraient probablement des points bien réfléchissants et par suite la cause des nombreux échos.

C'est en tout cas ce qui a été obtenu dans la partie Nord-Ouest de la zone levée où se situe la fosse de l'île Vierge. Les échos sonar obtenus dans cette région dessinent en effet le contour de la fosse dont les parois sont pratiquement verticales.



Le levé bathymétrique de la fosse effectué suivant des profils Nord-Sud espacés de 500 mètres a permis de détecter au sondeur vertical deux épaves (N^{os} 26 et 27) situées dans la fosse et qui échappaient obligatoirement étant donné la densité d'échos sonar obtenus.

Les levés bathymétriques partiels, au nombre de 14, et celui de la fosse de l'île Vierge, ont été effectués avec des sondeurs réglés pour une vitesse du son standard de 1 500 m/s. Les sondes ont été corrigées de la marée, marée calculée conformément

aux instructions en vigueur à partir de la marée observée au Conquet au moyen de la formule suivante :

$$H_{i,j}(t) = K_j H(t - \theta_i)$$

où H est la marée au Conquet.

i, j sont respectivement les premiers et derniers chiffres des numéros des zones figurées sur la planche n° II.4.

Les valeurs de K_j et θ_i sont résumées dans le tableau suivant.

i, j	0	1	2	3	4	5	6	7
K	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20
θ		0 h 50 mn	1 h 00 mn	1 h 10 mn	1 h 20 mn	1 h 30 mn	1 h 40 mn	1 h 50 mn

2.5. Documents établis.

4 minutes de concentrations d'échos (format grand-aigle), dont 2 à l'échelle de 1/50 000 établies en projection Lambert I et 2 à l'échelle de 1/48 702 établies en projection Mercator (Système Européen Compensé).

3 minutes d'écriture des sondes (format grand-aigle) formées de cartouches, échelle de 1/10 000 — Projection Lambert I.

1 minute d'écriture des sondes (format demi-aigle) échelle de 1/48 702 — Projection Mercator (Système Européen Compensé).

23 fiches d'épave.

3. TRAVAUX DIVERS.

3.1. Observation de la marée sur la côte Nord de Bretagne.

La marée fut observée du mois de mars au mois de juillet en deux points de la Côte Nord de Bretagne : l'Aber-Wrac'h et Primel.

Ces travaux qui avaient pour but d'améliorer la connaissance de la marée dans cette région, permettaient également de mieux utiliser la petite équipe à terre qui avait été installée à Roscoff pour assurer le fonctionnement des balises Trident et qui se trouvait quelque peu désœuvrée du fait de leur bon fonctionnement général.

La principale difficulté qu'il fallut surmonter fut de trouver des sites d'observation corrects et praticables à l'aide de marégraphes classiques à tube et flotteurs. Ces sites sont en effet extrêmement

rare dans cette région du Finistère Nord et seuls deux points ont pu être acceptés. La mise en place de l'observatoire de l'Aber-Wrac'h fut toutefois pénible et complexe.

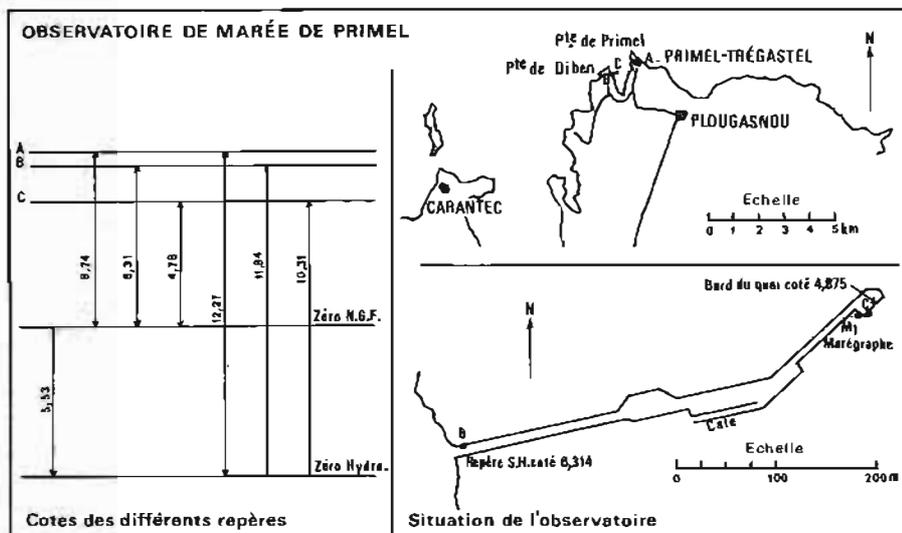
3.1.1. Observatoire de Primel.

Un marégraphe Ott R.16 a été installé le 15 mars 1972 le long du quai du nouveau port en eau profonde en construction à Primel à la pointe de Diben. Ce port est le seul port de la côte Finistère Nord n'asséchant pas.

La marée a été observée à Primel du 15 mars au 4 juillet 1972. Une concordance avec la marée observée au Conquet a été établie et situe le zéro de réduction des sondes à Primel à la cote — 5,53 N.G.F. ce niveau est matérialisé par deux repères nivelés par la Mission à partir du repère N.G.F. (repère A) scellé dans le mur de la vespasienne de la grand-place du village de Trégastel.

Désignation	Description	cote par rapport au 0 N.G.	cote par rapport au zéro de réduction des sondes
Repère A	Repère N.G.F. scellé dans le mur de la vespasienne de Trégastel	6,74 m	12,27 m
Repère B	Repère en fonte "S.H." scellé à l'enracinement du quai du port en eau profonde à la pointe de Diben.	6,31 m	11,84 m
Repère C	Rebord du bout du quai du nouveau port à la pointe de Diben	4,78 m	10,31 m

La disposition géographique de ces différents repères et du marégraphe est fournie par la planche n° II.5.



PL. II.5.

3.1.2. Observatoire de l'Aber-Wrac'h.

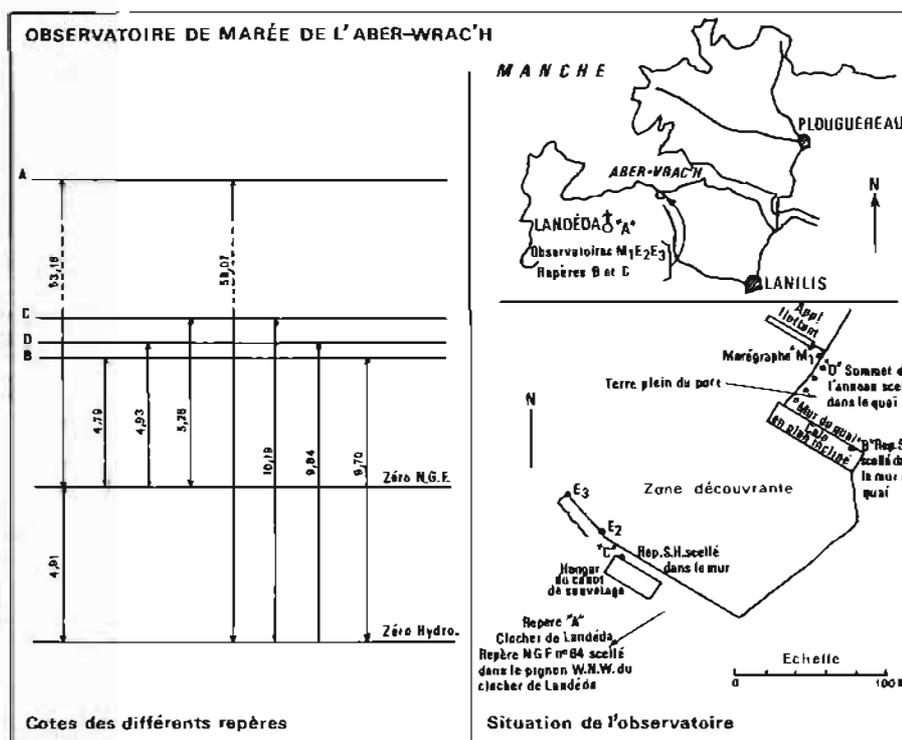
L'observatoire mis en place à l'Aber-Wrac'h fut plus complexe que celui de Primel en raison du fait que le port de l'Aber-Wrac'h assèche. Cet observatoire fut ainsi composé :

- d'un marégraphe Ott R.16 installé le long du quai du port et asséchant pour les marées de coefficient supérieur à 47.

- de deux échelles de basse-mer se recouvrant et décalées permettant l'observation des basses-mers par un observateur.

La mise en place d'une échelle intermédiaire fut décidée pour éviter de construire une échelle de grande basse-mer de trop grandes dimensions qui aurait risqué d'être couchée par le courant.

La marée fut observée à l'Aber-Wrac'h du 22 mars au 12 juin 1972. Une concordance avec la marée observée au Conquet a été établie. Celle-ci situe le zéro de réduction des sondes à l'Aber-Wrac'h à la cote $-4,91$ N.G.F. Ce niveau a été matérialisé par différents repères mis en place par la Mission et nivelés par rapport au repère N.G.F.



PL. II.6.

(repère A) scellé dans le pignon W.N.W. de l'église du village de Landéda.

Désignation des repères	Description	cote par rapport au 0 N.G.F.	côte par rapport au zéro de réduction des sondes
Repère A	Repère I.G.N. n° 64 scellé dans le pignon W.N.W. de l'église de Landéda	53,16 m	58,07 m
Repère B	Repère en fonte "S.H." scellé dans le mur du quai du port de l'Aber-Wrac'h à l'enracinement de la cale	4,79 m	9,70 m
Repère C	Repère en fonte "S.H." scellé dans le mur du hangar du canot de sauvetage de l'Aber-Wrac'h	5,28 m	10,19 m
Repère D	Sommet de l'anneau scellé dans le quai du port de l'Aber-Wrac'h (4 ^e anneau à partir du coin S.W. du quai)	4,93 m	9,84 m

La planche n° II.6 fournit le plan d'implantation de l'observatoire et des différents repères.

3.1.3. — Documents établis — Constitution du dossier d'observation de la marée.

Deux fiches d'observatoire de marée ont été établies.

Le dossier d'observation de la marée sur la côte du Finistère Nord adressé à l'É.P.S.H.O.M. comporte :

— la collection des marégrammes obtenus à Primel, l'Aber-Wrac'h et au Conquet ainsi que les carnets d'observation des basses-mers à l'Aber-Wrac'h.

— la reconstitution sur abaques SH. n° 14 de la marée à l'Aber-Wrac'h.

— le report sur imprimés mécanographiques H₁ ou H₂ des hauteurs d'eau d'heure en heure à Primel et à l'Aber-Wrac'h.

3.2. Localisation d'amers.

L'échelon placé à terre pour assurer la maintenance des balises Trident et l'entretien des marégraphes a été utilisé pour placer un certain nombre d'amers à la demande de la Mission Hydrographique de l'Atlantique (M.H.A.).

La liste des coordonnées de ces points (projection Lambert I, système N.T.F. 1964) s'établit comme suit :

Désignation des amers	X	Y	Classification
Tourelle du Menk (région Roscoff)	138 359,7	132 691,2	Bien visible
Tourelle du Cordonnier (région Roscoff)	138 276,7	132 137,2	Bien visible
Feu Men Guen Bras (région Roscoff)	136 776,6	133 709,6	Important
Phare de Roscoff (axe de la lanterne)	135 765,41	133 026,26	Important
Château d'eau de Plougasnou (axe)	148 556,11	129 006,33	Bien visible
Château d'eau de Tréfléz (axe)	115 075,3	123 734,7	Bien visible

Des fiches d'amers ont été établies pour chacun de ces points.

4. CONCLUSIONS

La question que l'on peut se poser en fin de rédaction d'un tel levé sonar pour la recherche des épaves est de savoir quel peut être le pourcentage de réussite obtenu. Il est évidemment impossible d'y répondre de façon sûre.

Un certain nombre d'épaves ont pu effectivement échapper à la prospection sonar. Pour être certain de ne pas en laisser échapper, il aurait fallu disposer de moyens plus puissants et de réaliser une prospection à mailles plus serrées. En particulier la disponibilité d'un magnétomètre ou d'un sondeur latéral aurait permis d'investiguer la totalité des échos isolés obtenus, en un seul passage, alors que cette opération est beaucoup trop longue à réaliser lorsqu'on ne dispose que d'un sondeur vertical, qui exige un grand nombre de passages pour investiguer un seul écho.

On peut toutefois estimer que le nombre d'épaves non détectées est faible et qu'en particulier les épaves les plus importantes ont toutes été trouvées :

— d'une part parce que le nombre d'épaves trouvées est supérieur à celui des épaves figurant au fichier historique.

— d'autre part parce que nous avons réussi à détecter des épaves de faibles dimensions et de faible hauteur au-dessus du fond.

De toutes façons, les épaves non détectées, qui ne sont pas dangereuses pour la navigation, ne sont de plus certainement pas des réflecteurs sonar importants et par suite ne devraient pas plus gêner les opérationnels de la lutte anti-sous-marine que les nombreux échos de reliefs obtenus par ailleurs.

CHAPITRE II.2.

TRAVAUX HYDROGRAPHIQUES CÔTIERS EN MÉDITERRANÉE OCCIDENTALE

(1^{er} août 1972 - 1^{er} novembre 1975)

1. GÉNÉRALITÉS.

La M.O.M. a effectué du mois d'août 1972 au mois de novembre 1975, 4 levés côtiers importants qui correspondent à :

- la zone couverte par la carte n° 5329 : De la presqu'île de Giens au Cap Camarat.
- la zone couverte par la carte 5116 : De l'embouchure du Petit Rhône au golfe de Fos.
- les abords de St-Raphaël (De la pointe des Issambres au cap Roux).
- le port et une partie de la rade de Toulon.

Ils ont été effectués par *La Recherche* et ses vedettes, et par l'*Octant* et l'*Alidade* en utilisant les méthodes traditionnelles. Ils présentent de nombreux traits communs qu'il est intéressant de développer d'abord dans ce chapitre avant d'exposer les particularités de chacun d'eux.

1.1. Localisation. Géodésie.

La localisation fut assurée de façon générale par :

- le Trident 1 pour *La Recherche*, l'*Octant* et l'*Alidade*.
- moyens optiques (radioguidage essentiellement) pour les vedettes.

L'emploi du Trident 1 sur les vedettes, source de nombreux déboires, fut abandonné dès la fin de 1972 parce que :

- d'une part ce matériel, assez vétuste, supportait de moins en moins les manipulations d'une vedette à l'autre ainsi que les vibrations des moteurs Diesel des vedettes.
- d'autre part la mesure des distances Trident à proximité immédiate de côtes ou falaises rocheuses est aléatoire et mauvaise (réflexions parasites, masques, etc.).

Les opérations géodésiques se sont limitées au positionnement des points nécessaires à l'exécution des levés, et des amers à partir des points de la nouvelle triangulation française de l'Institut Géographique National (I.G.N. 1954-1962).

La projection utilisée fut la projection Lambert III, zone Sud (Ellipsoïde de Clarke 1880).

1.2. Marée.

Pendant toute la durée des levés, la marée fut observée à la côte à proximité immédiate des zones de travail à l'aide de marégraphes Ott R.16. Deux marégraphes distants d'une dizaine de kilomètres fonctionnaient simultanément.

Les zéros de réduction des sondes furent, lorsqu'ils n'étaient pas déjà définis, déterminés par concordance avec la marée observée à l'observatoire permanent de Toulon entretenu par la direction locale des Travaux Maritimes.

Pour les levés effectués, les zéros de réduction des sondes se situent à 30 cm en dessous du zéro du nivellement général de la France (zéro N.G.F.).

1.3. Bathymétrie : réduction des sondes.

Normalement, les sondes brutes, lues au sondeur, doivent être corrigées de la marée jusqu'à la profondeur 200 mètres.

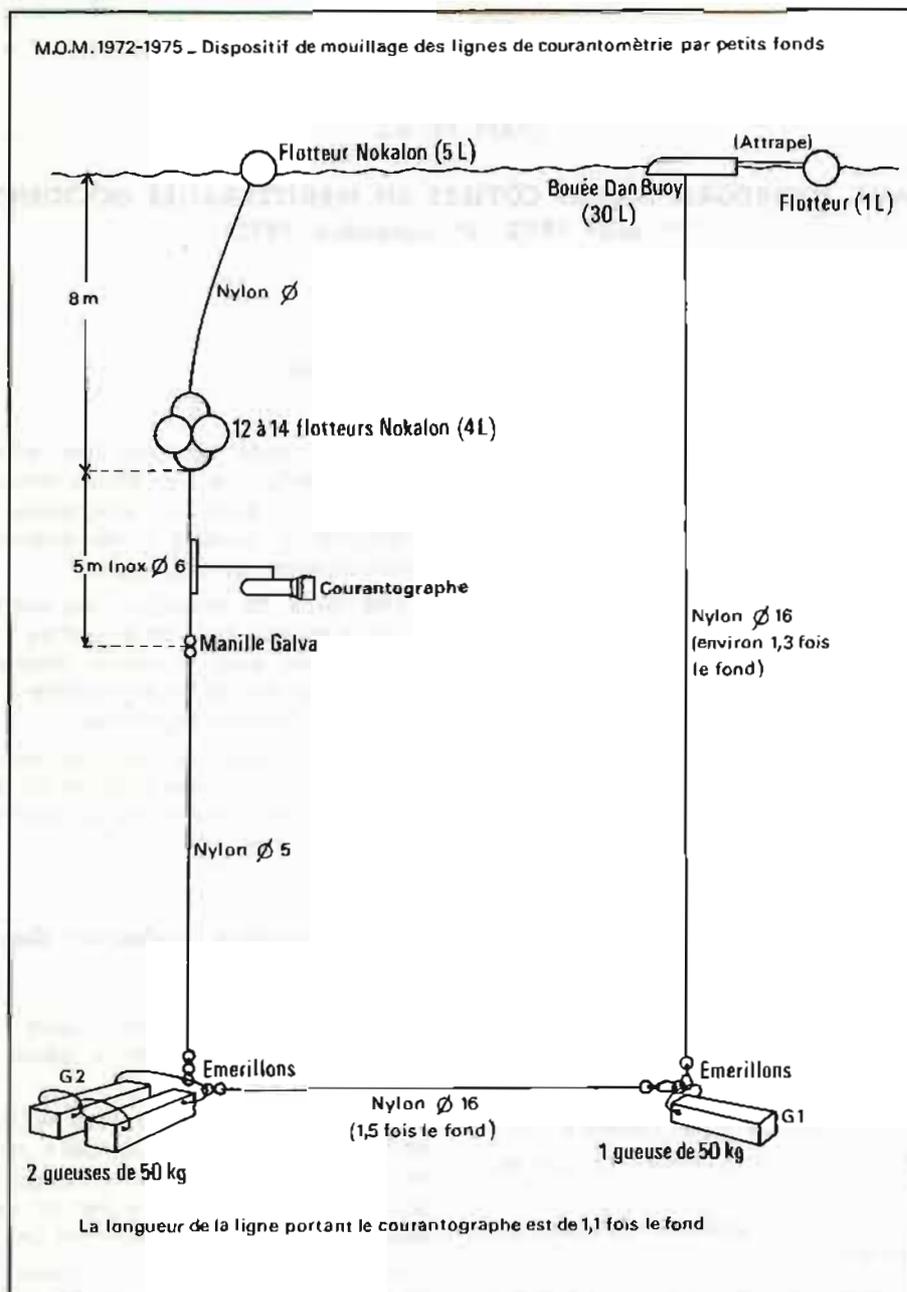
De 0 à 50 mètres, les sondes exprimées en mètres doivent être également corrigées, pour tenir compte des conditions locales de propagation, suivant une loi expérimentale obtenue par un « étalonnage à la barre » effectué en début et fin de séance.

Au-delà des 50 mètres, les sondes sont exprimées en mètres acoustiques et correspondent aux sondes obtenues avec un sondeur réglé pour une vitesse du son standard égale à 1500 mètres/seconde.

Le changement de norme au niveau de l'isobathe 50 mètres introduit une discontinuité sur la sonde qui est de l'ordre de grandeur de l'amplitude de la marée. Il fut ainsi admis, dès 1972, que les sondes supérieures à 50 mètres ne seraient pas corrigées de la marée.

1.4. Courantométrie.

Le courant subsurface (immersion 10 mètres environ) fut systématiquement observé en plusieurs points de la zone levée de façon simultanée à l'aide de courantographes Mécaboliér.



PL. II.7.

Le dispositif de mouillage utilisé est figuré sur la planche n° II.7. Dans les zones fréquentées par les navires (entrée de la rade de Toulon par exemple), la bouée de marquage de surface était supprimée, la mise en place et le relevage de la ligne étant effectués par plongeurs.

Ce dispositif a toujours donné entière satisfaction et en 3 ans il n'y a eu à déplorer que la perte d'un seul courantographe (ce dernier ayant été arraché par un chalut).

Pour assurer la sécurité de ces lignes de courantométrie les dispositions suivantes étaient prises pour chaque mouillage :

— il était toujours effectué par fonds plats. Une reconnaissance préalable au sondeur était toujours

pratiquée pour trouver une zone de mouillage acceptable.

— le point exact était ensuite défini de façon très précise par l'intersection de deux alignements ou, à la rigueur, de 2 cercles Trident.

— la ligne de courantométrie était fabriquée spécialement pour le site de mouillage ainsi défini.

Les observations recueillies ont été traitées suivant les normes en vigueur et introduites au fichier de l'E.P.S.H.O.M. Les résultats obtenus ont été relativement décevants en raison du fonctionnement hasardeux des courantographes Mécabolier et de la faiblesse des courants. Il a fallu ainsi éliminer un pourcentage important des observations que l'on peut estimer de façon globale à 40%. Aucune ex-

être repris que pour homogénéiser sur l'ensemble de la zone, la densité de sondages définie comme suit :

- espacement initial des profils fixé à :
 - 100 mètres pour les profondeurs inférieures à 50 mètres;
 - 200 mètres pour les profondeurs comprises entre 50 et 200 mètres;
 - 500 mètres pour les profondeurs comprises entre 200 et 1 000 mètres;
 - 1 000 mètres pour les profondeurs supérieures à 1 000 mètres.
- tout relief intéressant détecté par le sondage régulier devait faire l'objet d'une recherche particulière.

L'analyse des levés existants a permis de décider de ne pas reprendre :

- le levé 1952 - Grousson - échelle 1/25 000 - Grande passe de la rade des Salins.
- les levés 1968 - Pasquay - échelle 1/10 000, 1/20 000 - rade des Salins et Sud-Porquerolles.
- les levés 1969-1970 - Poulet - échelle 1/10 000 - Passe Bénat - île de Bagaud - échelle 1/50 000 et 1/100 000 Sud Levant.
- le levé 1971 - Vicariot - échelle 1/5 000 - Côte Sud de l'île du Levant.

Ces levés formaient en effet un ensemble cohérent de bonne qualité et étaient jointifs. Les levés repris furent des petits levés dispersés dans la région Bénat-Camarat (1953-1954 Mannevy - 1955 Le Fur).

Le contour des zones levées par la M.O.M. et les différentes échelles sont indiqués sur la planche n° II.8.

Ces travaux occupèrent *La Recherche* du 20 août au 15 novembre 1972, du 4 avril au 13 juillet 1973, du 11 août au 29 septembre 1973 et du 17 octobre au 12 novembre 1973. Elle fut secondée par les BH. 2 *Octant* et *Alidade* pendant à peu près les mêmes périodes.

2.2. Déroulement des travaux.

Les vedettes de *La Recherche* ont effectué le levé des franges côtières, les annexes le levé des zones intermédiaires entre le levé des vedettes et les grandes profondeurs comprenant en particulier la rade de Bormes, la baie du Bon Porté, le banc du Magaud et le Nord des îles de Port-Cros et du Levant. *La Recherche* a effectué le levé du canyon situé entre l'île du Levant et le cap Taillat ainsi que la zone située au Sud de Port-Cros.

La localisation de *La Recherche* et des annexes était assurée au moyen de radiolocalisateurs Trident 1. Les balises répondeuses à terre ont été placées en fonction des besoins aux points :

Sémaphore de Porquerolles, immeuble Simone Berriau (Port-Pothuau), sémaphore de Bénat, tour

du cap Nègre (*), villa Amiradou (Cavalaire), sémaphore de Camarat, sémaphore du Titan, Verette (île du Levant). Les coordonnées de ces balises sont fournies par l'annexe n° 2 de la deuxième partie.

La frange côtière des îles d'Hyères et celle qui va du cap Bénat au cap Camarat ont été sondées par les vedettes en localisation optique. Celle de la rade des Salins depuis la pointe de l'Esterel jusqu'au cap Bénat a été sondée au Trident. La localisation Trident fournissant dans cette région des « chapeaux » de 30 mètres environ fut doublée de temps en temps par une localisation optique au moyen de théodolites pour tenter de trouver une explication à ces « chapeaux ». Aucune théorie valable ne put être dégagée. Cette étude mit toutefois en évidence l'influence des trajets terrestres. Ainsi dans la région de Port-Pothuau, c'était la distance à la balise de Bénat qui était fautive, tandis que dans la zone de Brégançon la distance fautive était celle à la balise du sémaphore de Porquerolles (influence de la presqu'île des Mèdes).

Le levé effectué a recouvert largement les levés anciens qui n'ont pas été repris. Dans la zone commune, le tracé des courbes de niveau a tenu compte des sondes provenant des différents levés. Cette opération n'a pas posé de problèmes particuliers, la concordance entre les différents levés étant satisfaisante.

Recherche de hauts-fonds et d'épaves.

Les hauts-fonds inscrits sur la carte ou décelés par le levé régulier ont donné lieu à des sondages serrés ou à des recherches de roches. En particulier les sondages ont été extrêmement resserrés dans la frange côtière aux alentours des caps et points principaux ou îlots rocheux, les profils suivis étant convergents vers ces points remarquables.

Le banc du Magaud fut également l'objet de nombreuses recherches de roches.

Il n'y eut pas de recherches de roches dans les zones levées en 1968, 1969 et 1970 sauf une. Celle-ci fut effectuée sur le haut-fond 52 mètres situé à 1,1 mille dans le 220 du cap d'Armes (Porquerolles). Une nouvelle cote à 37,8 mètres, confirmée par plongeurs, a été obtenue au point de coordonnées :

Lambert III :

$$X = 914\ 015 \quad Y = 81\ 863$$

Géographiques :

$$\varphi \text{ Lat} = 42^{\circ}58'13'',8 \text{ N} \quad \text{Long} = 06^{\circ}11'14'',5 \text{ E}$$

Ce haut-fond est constitué par une aiguille rocheuse particulièrement fine. A chaque passage au sondeur vertical nous obtenions de façon systématique un faux écho situé à 25 mètres d'immersion.

(*) L'emplacement « tour du cap Nègre » a été peu utilisé et remplacé rapidement par celui de la « villa Amiradou ». En effet, au mois d'octobre 1972, la balise en place a reçu la foudre qui a détruit partiellement l'installation électrique du particulier chez qui la balise était branchée. Cet accident pouvant se reproduire nous a conduit à abandonner ce site.

Les plongeurs qui ont confirmé la cote 37,8 mètres ont signalé que cette aiguille rocheuse ne servait de support à aucune végétation ou faune marines. Par contre ils ont été surpris par la basse température de l'eau, ce qui tendrait à prouver qu'il existerait, comme il en existe à Porquerolles, au pied de la roche, une source d'eau douce qui expliquerait à la fois l'écho parasite obtenu de façon systématique et l'absence de vie marine.

Les épaves inscrites sur la carte, ainsi que celles sur lesquelles nous avons pu obtenir quelques renseignements d'origines diverses (écoles de plon-

gée, pratiques locaux, fichier Troisième Région) ont également fait l'objet de recherches. 12 recherches ont été effectuées, 4 d'entre elles n'ont pas donné de résultats, 3 en rade de Bormes et l'une en rade des Salins. Cette dernière avait pour but de retrouver l'épave d'un sous-marin qui avait déjà fait l'objet en 1968 de recherches infructueuses (épave portant le n° 157 au fichier). D'après les pratiques locaux cette épave existerait toujours, mais n'aurait plus qu'une cote très faible au-dessus du fond.

Les caractéristiques des épaves retrouvées sont résumées dans le tableau suivant :

Nom de l'épave	Coordonnées Lambert III X, Y	Coordonnées Géographiques Lat. — Long.	Brassage m	Cote au-dessus du fond	Observations
Michel Say (cargo)	X = 910 043 Y = 86 041		40 m	8 m	longueur 50 mètres (voir remarque)
Michel C. Buck (cargo)	X = 910 050 Y = 86 230		42,7 m	4 m	voisine du Ville de Grasse
Ville de Grasse	X = 910 030 Y = 86 140		44 m	4 m	Vapeur à roues à aubes (en ruines)
Iéna ancien cuirassé	X = 917 800 Y = 87 730		3,7 m	3,8 m	Epave qui ne découvre plus. Long. \approx 100 mètres Orientée au 212 Date du sinistre : 1907
Chaland Porte-grues	X = 927 741 Y = 88 088		42,6 m	5,4 m	Située au N.W. de Bagaud épave orientée au S.E. Flèche de grue couchée sur babord Date du sinistre : 08.02.69
Spahi (patrouilleur)	X = 930 937 Y = 97 751		15,0 m	5 m	Bâtiment couché sur tribord Long \approx 60 m. La partie avant est intacte; la partie arrière est détruite
Ramon vapeur espagnol	X = 942 000 Y = 105 840		34,3 m	3,8 m	Longueur \approx 100 m. Epave orientée E — W, couchée sur babord Détruite par pétardage
Puissante (Gabarre)		Lat = 43° 02' 50N Long = 06° 28' 10E	8,0 m	7,0 m	Ne découvre plus, épave disloquée orientée au 190. Couchée sur babord
Inconnu	X = 955 230 Y = 106 765		34,3 m	7,2 m	Baie du Bon Porté épave non reconnue par plongeurs.

Remarque importante. — Les trois épaves : *Michel Say*, *Michel C. Buck*, *Ville de Grasse*, sont très voisines les unes des autres. Les reconnaissances par plongeurs n'ayant pas eu lieu en même temps que la cotation des échos sondeurs obtenus, une certaine incertitude subsiste sur l'identification respective de ces épaves qui ne pourra être levée que par quelques passages au sondeur latéral Edgerton. Ces trois épaves groupées, non loin de Toulon, constitue d'ailleurs un excellent but répondeur pour les tests de fonctionnement du sondeur latéral de la M.O.M.

Natures de fond.

La nature du fond a été déterminée dans les fonds inférieurs à 100 mètres soit par des prélèvements à la drague Rallier du Bathy soit par prise

au plomb suiffé, suivant une maille carrée de 1 000 mètres de côté environ.

La drague Rallier du Bathy a été perdue au cours de ces opérations.

Éléments hydrographiques nouveaux résultant des sondages.

Les sondages effectués de façon relativement serrée, s'ils n'ont pas amélioré la bathymétrie des franges côtières, ont permis de préciser les courbes de niveau dans les zones où le fond est important et en particulier les contours du banc du Magaud et le relief du canyon situé entre l'île du Levant et le cap Taillat.

Quelques cotes de hauts-fonds ont été modifiées dans un sens ou dans l'autre. Les sondages effectués ont permis de rafraîchir le fichier des épaves. Le point le plus important de ces travaux est d'avoir réussi à améliorer la cote du haut-fond situé au Sud de Porquerolles, ce dernier se trouvant sur la route de retour à Toulon des sous-marins aurait pu être la cause d'un sinistre.

2.3. Marée.

La marée a été observée au Lavandou, à Cavalaire et à Port-Pothuau.

Une fiche d'observatoire de marée a été établie pour chacun de ces points.

Marée au Lavandou.

Un marégraphe Ott R.16 installé à l'enracinement de la jetée centrale du port de plaisance du Lavandou a enregistré la marée du 1^{er} septembre au 10 novembre 1972.

Une concordance en hauteurs avec la marée observée à Toulon a situé le zéro de réduction des sondes à 0,30 mètre en dessous du zéro N.G.F.

Ce niveau est matérialisé par deux repères dont l'un a été mis en place par la Mission à proximité du marégraphe.

Désignation des repères	Description	Cote par rapport au 0 N.G.F.	Cote par rapport au zéro de réduction des sondes
Repère A	Repère N.G.F. (M ₃ E ₃ F ₃ n° 8) : Médaille scellée dans le parapet du pont de la Vieille à la sortie Ouest du Lavandou. Voir carnet I.G.N. Hyères-Porquerolles XXIV 46 et 47	9,41 m	9,71 m
Repère B	Repère en laiton scellé dans le quai à l'angle Nord-Est de l'enracinement de la jetée médiane du port de plaisance	0,72 m	1,02 m

Le repère C est la cote de l'apponement soutenant le marégraphe.

La planche n° II.9. fournit le plan d'implantation de l'observatoire et des différents repères.

Marée à Cavalaire.

La marée a été observée à Cavalaire du

— 1^{er} septembre au 10 novembre 1972;

— 18 avril au 26 novembre 1973.

— 28 mars au 11 avril 1974.

à l'aide d'un marégraphe Ott R.16 implanté au bout du quai central du nouveau port de plaisance.

Le zéro de réduction des sondes a été déterminé par concordance avec la marée observée à Toulon. Ce zéro est situé à 0,30 mètre au-dessous du zéro N.G.F.

Ce niveau est matérialisé par les deux repères suivants.

Désignation des repères	Description	Cote par rapport au 0 N.G.F.	Cote par rapport au zéro de réduction des sondes
Repère A	Repère N.G.F. (MA E ₃ F ₃) : Médaille scellée au coin Ouest de la façade Sud de l'ancienne gare de Cavalaire	4,34 m	4,64 m
Repère B	Rebord du quai à l'angle du premier débordoir en partant du bout du quai central du nouveau port	0,86 m	1,16 m

La planche n° II.9. fournit le plan d'implantation de l'observatoire et des différents repères.

Marée à Port-Pothuau.

La marée a été observée à Port-Pothuau du 16 avril au 10 juillet 1973. Le marégraphe a été installé à l'emplacement qui avait été utilisé en 1968 par la Mission Hydrographique de Dragage (*).

Le zéro de réduction des sondes adopté est celui défini par la M.H.D. en 1968. Il se situe à 0,30 m en dessous du zéro N.G.F. Il est matérialisé par le repère C mis en place par la M.H.D. : Repère SH. scellé dans le mur qui termine au Nord la cale de halage.

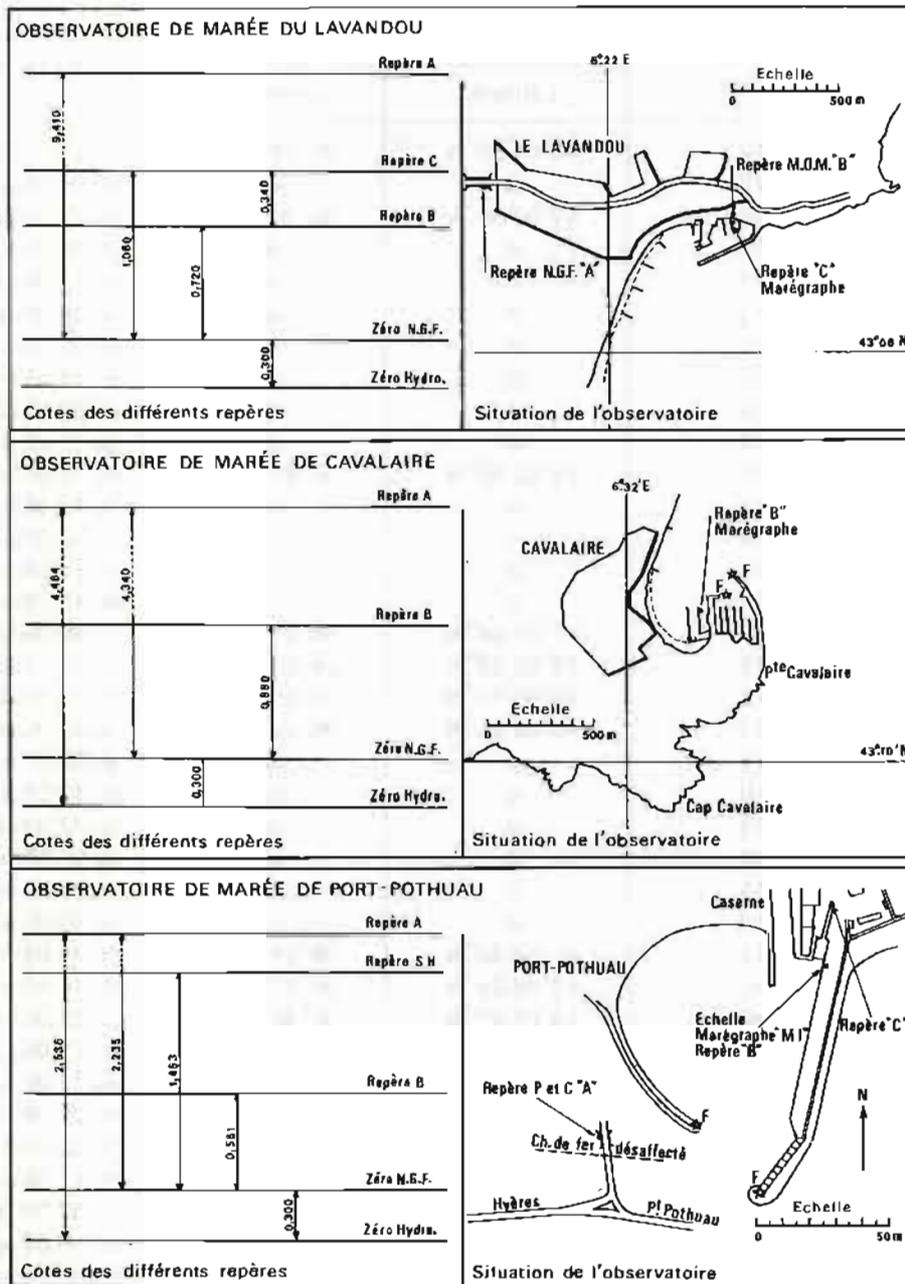
Sa cote par rapport au zéro N.G.F. est 1,453 m.

Sa cote par rapport au zéro de réduction des sondes est 1,753 m.

Ce repère est en parfait état de conservation.

La planche n° II.9. fournit le plan d'implantation du marégraphe et du repère C.

(*) *Annales Hydrographiques*, 4^e série, tome XVII. 1971, chap. VII, § 3.2. (I.C.A. Pasquay).



PL. II.9

2.4. Courantométrie.

Pendant toute la durée du levé, le courant a été observé de façon systématique en 4 points simultanément.

Les points d'observation sont indiqués sur la planche n° II.8.

Pendant cette période, le Ministère de l'Équipement de la région Provence-Côte-d'Azur a fait effectuer, dans des buts d'antipollution, des mesures de courants dans la région de la presqu'île de Giens qui ont été transmises à l'E.P.S.H.O.M. et qui complètent les observations effectuées par la Mission.

Les observations qui ont été introduites dans le fichier de l'E.P.S.H.O.M. après corrections et épuration sont résumées dans le tableau suivant :

N° d'identité du fichier EPSHOM	Immersion (mètres)	Position		Période d'observation
		Latitude	Longitude	
611	10	43°04'50"N	06°19'10"E	du 22.05 au 25.05.1973
613	10	id.	id.	du 29.05 au 29.05.1973
612	10	42°02'00"N	06°36'30"E	du 22.05 au 25.05.1973
614	10	id.	id.	du 29.05 au 01.06.1973
615	10	id.	id.	du 12.06 au 20.06.1973
636	10	id.	id.	du 26.06 au 02.07.1973
639	10	id.	id.	du 02.07 au 10.07.1973
641	10	id.	id.	du 13.08 au 24.08.1973
642	10	id.	id.	du 03.09 au 07.09.1973
644	10	id.	id.	du 11.09 au 14.09.1973
616	10	43°02'00"N	06°21'00"E	du 12.06 au 19.06.1973
635	10	id.	id.	du 19.06 au 20.06.1973
638	10	id.	id.	du 02.07 au 10.07.1973
640	10	id.	id.	du 13.08 au 24.08.1973
643	10	id.	id.	du 10.09 au 13.09.1973
637	10	43°01'54"N	06°21'48"E	du 26.06 au 02.07.1973
608	12	43°00'30"N	06°25'42"E	du 16.10 au 20.10.1973
609	12	43°00'12"N	06°25'47"E	du 23.10 au 26.10.1973
617	10	43°00'36"N	06°25'36"E	du 22.05 au 25.05.1973
625	10	id.	id.	du 02.07 au 09.07.1973
627	10	id.	id.	du 13.08 au 17.08.1973
628	10	id.	id.	du 17.08 au 24.08.1973
629	10	id.	id.	du 27.08 au 31.08.1973
631	10	id.	id.	du 03.09 au 07.09.1973
633	10	id.	id.	du 10.09 au 14.08.1973
606	12	43°04'30"N	06°24'12"E	du 05.09 au 11.09.1972
607	12	43°00'24"N	06°22'18"E	du 16.10 au 20.10.1972
618	10	43°09'42"N	06°39'24"E	du 22.05 au 25.05.1973
619	10	id.	id.	du 29.05 au 01.06.1973
620	10	id.	id.	du 12.06 au 21.06.1973
621	10	id.	id.	du 25.06 au 02.07.1973
626	10	id.	id.	du 02.07 au 10.07.1973
630	10	id.	id.	du 27.08 au 31.08.1973
632	10	id.	id.	du 03.09 au 05.09.1973
634	10	id.	id.	du 10.09 au 14.09.1973

2.5. Topographie. Toponymie.

La topographie côtière fut restituée à l'aide du Stéréoflex sur une bande de 1 à 2 km de large à partir de la couverture aérienne de l'I.G.N. à l'échelle de 1/33 000 environ datant de 1971. Cinq minutes de topographie ont été établies à l'échelle de 1/20 000.

Parallèlement, une analyse approfondie et minutieuse de la toponymie a été réalisée par l'E.V.1 Tailliez. Elle a porté sur 102 toponymes et a été transmise à l'E.P.S.H.O.M. sous la forme d'un recueil fournissant pour chaque toponyme différentes orthographes ou appellations provenant de sources diverses confrontées en réunions ainsi qu'une propo-

sition finale du toponyme nous paraissant le plus souhaitable, l'adoption finale du toponyme à inscrire sur la carte restant, à notre sens, du ressort de l'E.P.S.H.O.M. C'est d'ailleurs la raison pour laquelle la toponymie complète n'a pas été inscrite sur les minutes de topographie.

Il faut remarquer, à ce propos, que l'étude toponymique sérieuse qui a été réalisée n'a pu l'être que grâce à la présence de l'E.V.1 Tailliez, affecté à la Mission en supplément à l'armement, qui s'y est consacré pendant 6 mois environ, et qu'en temps normal une telle étude nécessitant de nombreux contacts à terre n'est pas à la portée des moyens en personnel réglementaires de la Mission si l'on désire qu'elle soit réalisée simultanément aux opérations de levé.

2.6. Amers.

Le lecteur se reportera au chapitre II.4.3. qui traite globalement de la révision des amers de la Côte Sud métropolitaine.

2.7. Documents établis.

- 5 minutes d'écriture des sondes à l'échelle de 1/5 000.
- 14 minutes d'écriture des sondes à l'échelle de 1/10 000.
- 2 minutes d'écriture des sondes à l'échelle de 1/20 000.
- 1 minute d'écriture des sondes à l'échelle de 1/40 000.
- 5 minutes de topographie à l'échelle de 1/20 000.
- 3 minutes de recherches de roches à l'échelle de 1/10 000.
- 35 dossiers de courantométrie.
- 9 fiches d'épaves.
- 3 fiches d'observatoires de marée.
- 96 fiches géodésiques ou fiches d'amers.

3. LEVÉ DANS LES LIMITES DE LA CARTE 5116: DE L'EMBOUCHURE DU PETIT RHÔNE AU GOLFE DE FOS.

3.1. Situation et nature du levé.

Ce levé, comme le précédent, s'inscrivait dans le programme général du levé de la côte métropolitaine en Méditerranée. Il concernait la région couverte par la carte 5116, étendue vers le Sud jusqu'au parallèle 42°30'N, région qui devait être reprise complètement sans tenir compte des levés préexistants, même relativement récents.

Les normes d'espacement des profils étaient identiques à celles des levés précédents.

La partie Sud du levé, sondée à larges mailles, se trouvant jointive avec la zone du levé intermédiaire au Sud de Marseille prescrit simultanément, il fut décidé que *La Recherche*, *l'Octant* et *l'Alidade* effectueraient le levé côtier à grande échelle (1/10 000 et 1/20 000) de la zone strictement couverte par la carte 5116 afin d'en permettre une refonte rapide, tandis que *l'Origny* entamerait le levé intermédiaire au Sud de Marseille, en se déplaçant de l'Est vers l'Ouest, de façon à recouvrir en fin de campagne les levés de petite et moyenne sonde (voir chapitre II.3.3.).

Ces deux levés occupèrent l'ensemble des moyens

de la M.O.M. durant la majeure partie de l'année 1974.

La planche n° II.10. indique la zone sondée de façon régulière en 1974 par *La Recherche*, *l'Octant* et *l'Alidade*. Sur cette planche est figurée la limite atteinte par *l'Origny* dans l'exécution du levé intermédiaire à l'échelle de 1/50 000.

Cette planche montre que :

— le levé régulier de la zone couverte par la carte 5116 n'a pas été achevé. Il subsiste en effet un trou à l'embouchure du Rhône, et le levé du golfe de Fos n'a pas été réalisé.

— le recouvrement entre le levé intermédiaire réalisé par *l'Origny* et le levé au 1/20 000 n'a pas été assuré.

Les levés prescrits n'ont pu être achevés en 1975 du fait que *La Recherche* et *l'Origny* se sont trouvés engagés début 1975 dans le levé prioritaire du talus continental espagnol. Ils seront normalement poursuivis en 1976 par notre successeur.

Il faut noter, de plus, que dans l'exécution du levé de la carte 5116, nous nous sommes contentés d'effectuer un levé régulier comportant les recherches de hauts-fonds ou épaves apparaissant nécessaires au vu des enregistrements des fonds obtenus, mais qu'aucune prospection systématique d'épaves n'a été effectuée.

3.2. Déroulement des travaux.

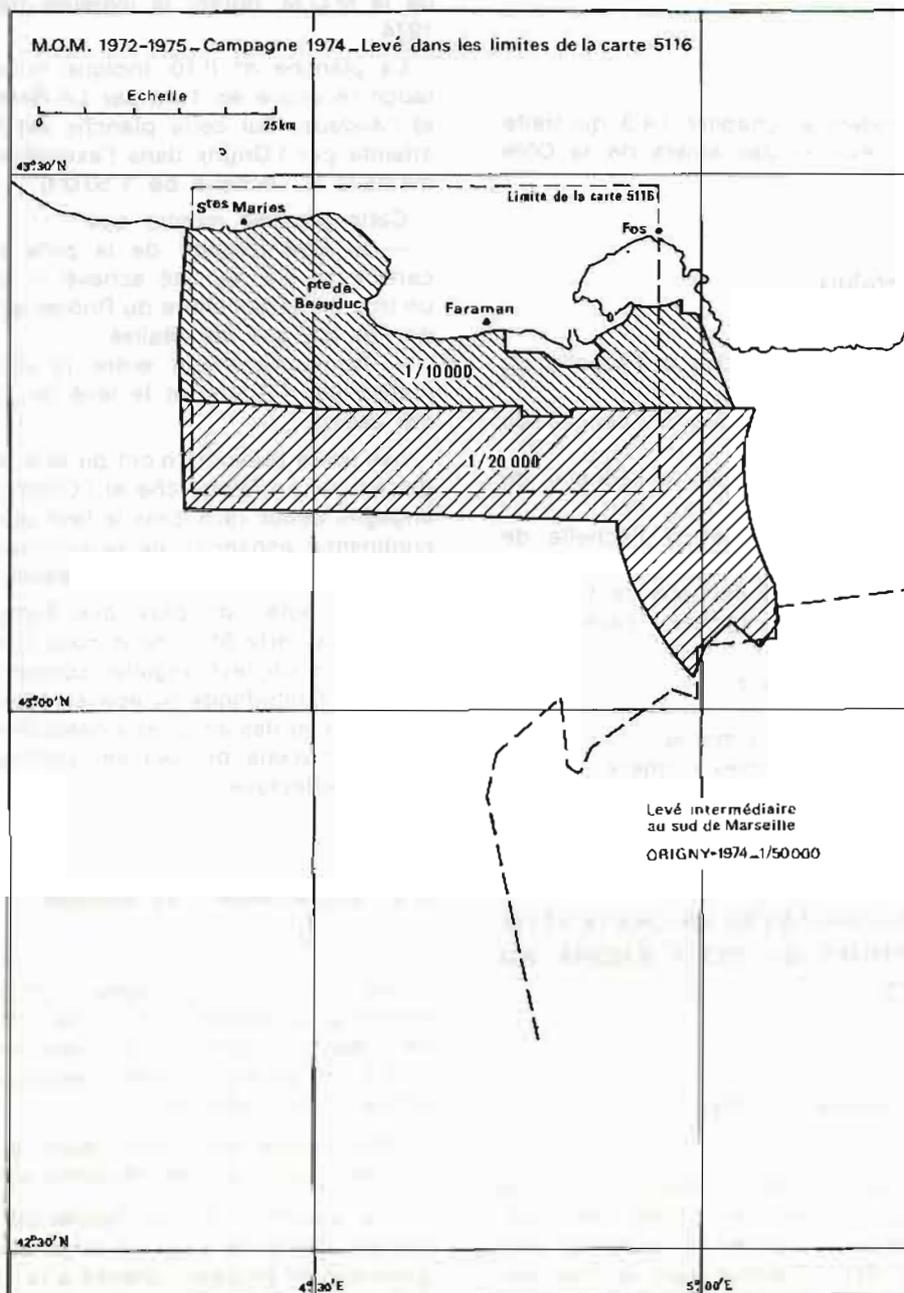
Les travaux de sondages n'ont réellement commencé qu'au début du mois de mai 1974 en raison de retards importants sur les dates de sorties d'I.P.E.R. (indisponibilité périodique d'entretien) annuelle des bâtiments.

Leur avancement a été ralenti par les coups de mistral violents et très fréquents dans cette région.

Les vedettes de *La Recherche* ont levé une frange côtière de 6 km de large environ sur profils parallèles et perpendiculaires à la côte, radioguidés à partir de piquets distants de 100 mètres, implantés sur la plage. Le piquetage de la plage était effectué simultanément au levé. Pour éviter des erreurs éventuelles de piquetage, la construction de la sonde était effectuée, en temps réel, à bord de *La Recherche* en écoute radio permanente de la séance de sonde.

La topographie du trait de côte était menée de front avec le sondage au droit de chaque piquet de façon à déterminer, tous les 100 mètres, la laisse de pleine-mer et l'isobathe zéro.

Le long de cette côte, il existe à une centaine de mètres de la plage une barre formée de bancs de sable sur laquelle la houle déferle et qui n'est franchissable par les vedettes que par très beau temps. Ainsi, d'une façon quasi-générale, il a subsisté entre le trait de côte et la zone fondée par les vedettes un trou qui correspond à la zone des brisants. La



PL. II.10.

bathymétrie de cette zone de petits fonds ne présente pas un grand intérêt. Elle doit de plus être variable en fonction de la saison.

Le levé au large de la bande côtière a été réalisé par *La Recherche*, l'*Octant* et l'*Alidade*, localisés à l'aide du Trident 1. Les balises répondeuses étaient implantées : au clocher des Saintes-Maries, aux phares de la Gacholle, de Beauduc et de Faraman. Les balises implantées sur la cheminée du Ponteau, et le phare du Planier pour les besoins du levé intermédiaire au Sud de Marseille furent également utilisées. Les coordonnées de ces balises sont fournies par l'annexe n° 2 à la deuxième partie.

3.2.1. Hauts-fonds. Epaves.

Les ressauts de fond décelés par le sondage régulier ont donné lieu à des sondages serrés ou à des recherches de roches. Il n'y eut pas de recherche systématique des épaves, la maîtrise du fonctionnement du sondeur latéral n'étant pas encore suffisante.

Cette recherche devra faire l'objet d'une campagne particulière.

Deux épaves décelées par le levé régulier ont été étudiées et fichées.

Région	Nom et nature de l'épave	Coordonnées Lambert III	Brassage	Profondeur	Observations
Sud Beauduc	Cargo Nom inconnu	X = 783 698 Y = 118 505	5,3 m	12 m	Longueur \approx 100 m. Largeur 10 m, orientée au N-NE, cassé en deux, couché sur babord.
Golfe de Fos	Nom inconnu	X = 808 620 Y = 119 123	5,6 m	9 m	Non reconnu par plongeur.

3.2.2. Natures de fonds.

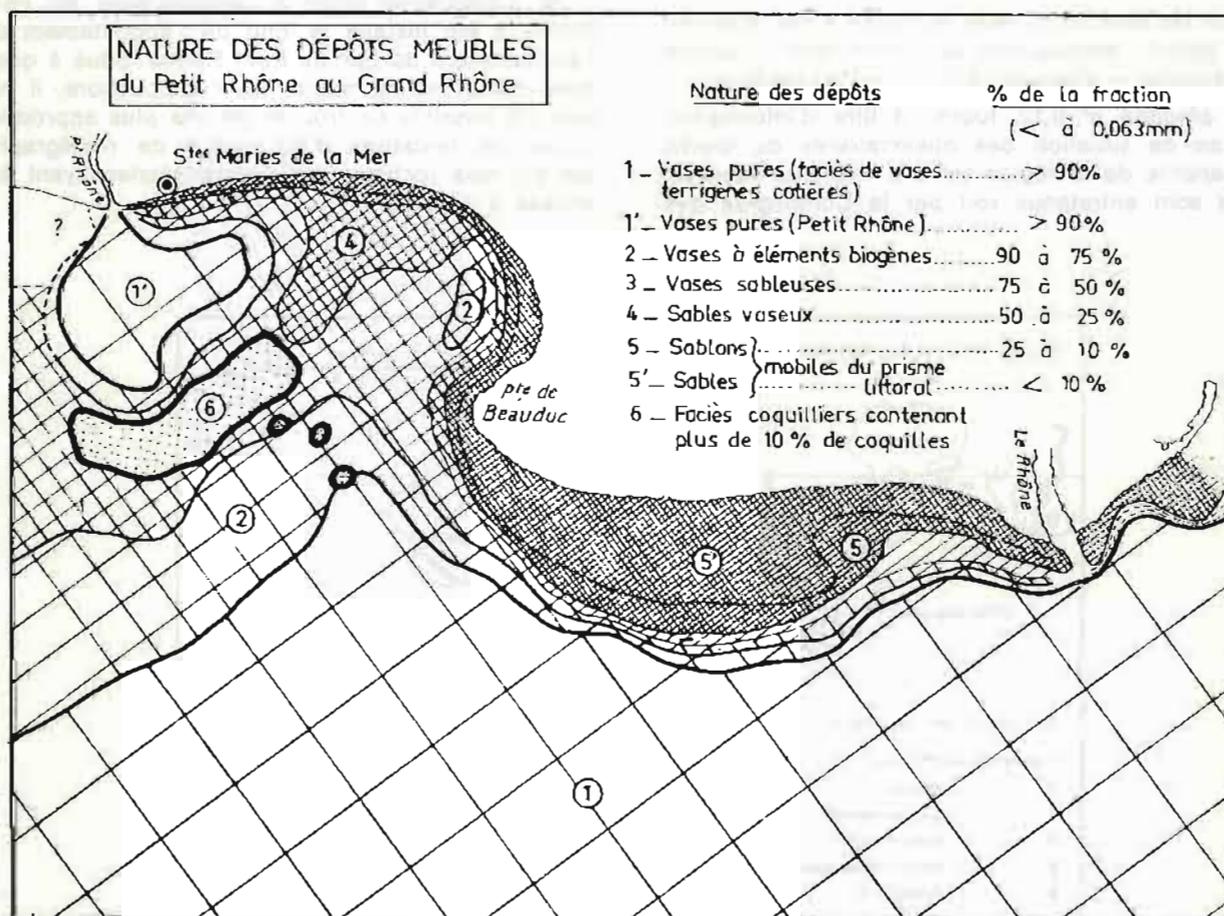
Des prises de natures de fonds ont été effectuées suivant une maille carrée de 4 km sur l'ensemble de la zone couverte par la carte 5116, golfe de Fos excepté, à l'aide d'une drague prêtée à la M.O.M. par la Station Marine d'Endoume. Cette drague s'est révélée extrêmement efficace et permettait de ramener en surface environ 1 kilo de sédiments par prélèvement.

Ces prélèvements ont été complétés par d'autres effectués cette fois par l'*Archéonaute* pour le compte de la Faculté des Sciences de Marseille. Nous avons reproduit, à la planche n° II.11, la carte sédimentologique qui a été établie à Marseille d'après l'en-

semble des prélèvements et qui nous a été gracieusement fournie.

3.2.3. Eléments hydrographiques résultant des sondages.

Les sondages effectués ont montré que les fonds étaient parfaitement réguliers et en pente douce vers le large. Les courbes de niveau sont régulièrement espacées et parallèles. Par rapport à la carte existante on note un engraissement de la pointe de Beauduc et une régression de la côte dans le secteur des Saintes-Maries-de-la-Mer, et de la plage située entre le phare de Beauduc et le phare de Faraman. Des enrochements artificiels et



PL. II.11.

des digues ont d'ailleurs été mis en place pour freiner cette régression.

3.3. Géodésie.

Les travaux géodésiques ont consisté à implanter et à placer, à partir des points I.G.N., sur toute la longueur de la plage allant de l'embouchure du Petit Rhône à l'extrémité Nord-Est du They de la Gracieuse, des mires « figaret » ou des croisillons bornés et distants de 2 km environ. Ces bornes furent utilisées pour effectuer le piquetage de la plage à l'aide d'un câble d'acier d'une longueur de 100 mètres.

La liste des coordonnées de ces points est fournie par l'Annexe n° 1 à la deuxième partie.

Les bornes implantées sur la plage fréquemment inondée ne peuvent être considérées durables. Elles n'ont donc pas fait l'objet de fiches géodésiques. Seuls les amers, peu nombreux dans cette région, ont été fichés.

3.4. Marée.

Pour les besoins du levé, la marée a été observée en 4 points : embouchure du Petit Rhône — pointe de Beauduc — Grau-de-la-Dent — Port-de-Bouc.

La planche n° II.12. fournit à titre d'information le plan de situation des observatoires de marée permanents de la région (n° 3 à 11). Ces observatoires sont entretenus soit par la Compagnie des

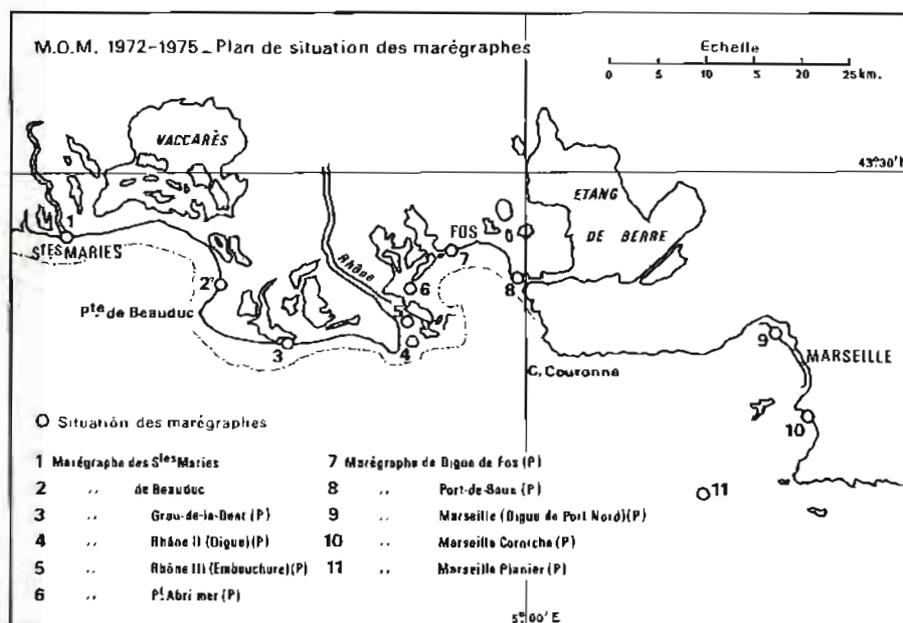
Salins du Midi, soit par le Port Autonome de Marseille. Parmi tous ces observatoires, seuls, celui du Grau-de-la-Dent et celui de Port-de-Bouc ont été contrôlés par la Mission.

Le zéro de réduction des sondes a été adopté arbitrairement à 30 cm en-dessous du zéro N.G.F. Il n'a pas été établi de concordances avec la marée observée à Toulon. Celles-ci n'auraient pas donné de résultats valables, la marée astronomique n'étant qu'une cause parmi d'autres (conditions météorologiques, débit du Rhône, etc.) des variations du niveau du plan d'eau de la région couverte par le levé.

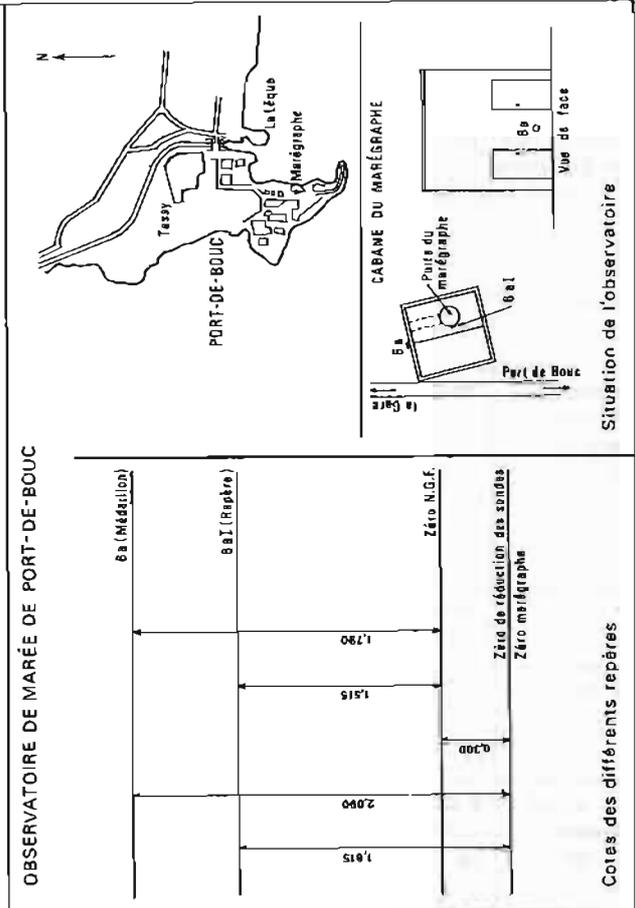
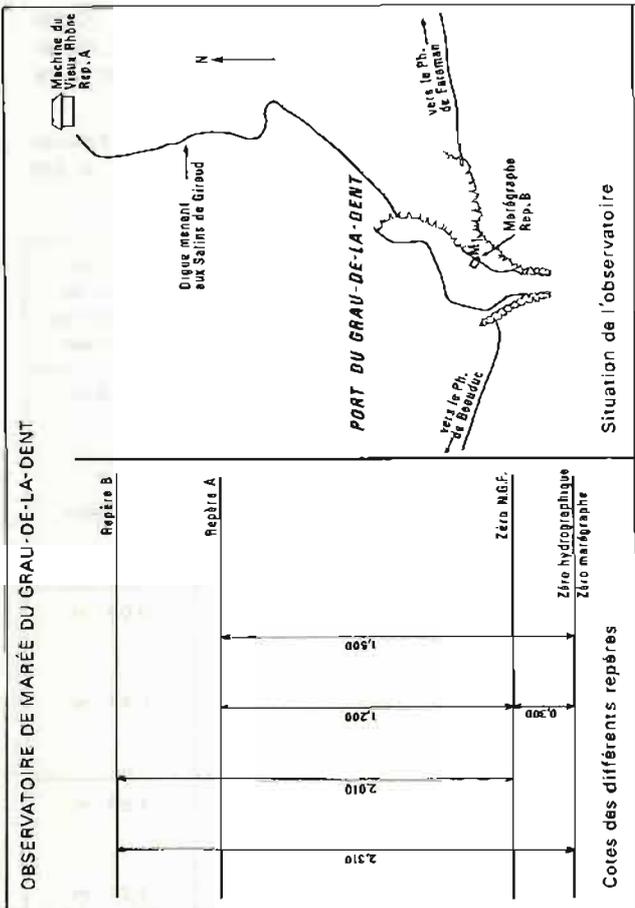
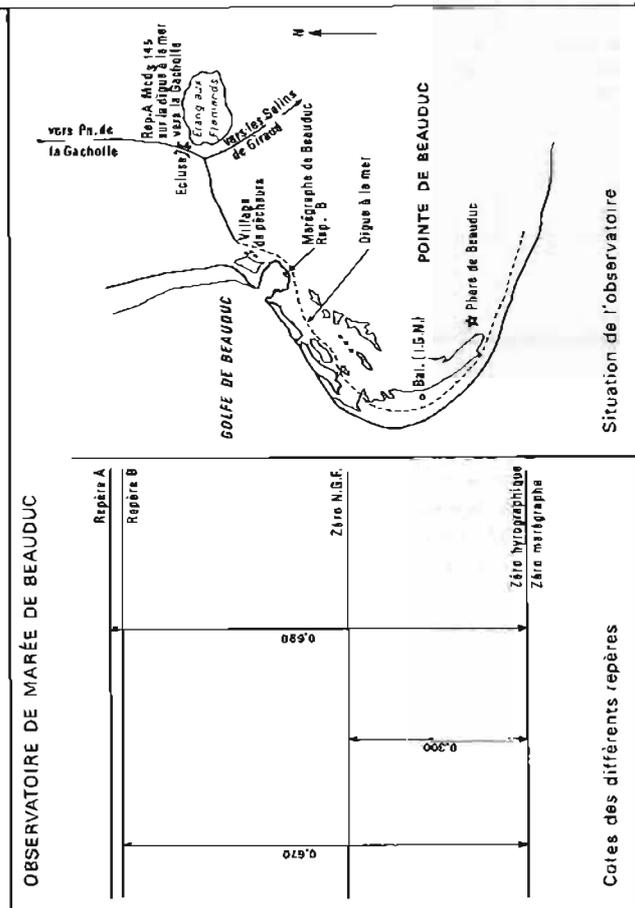
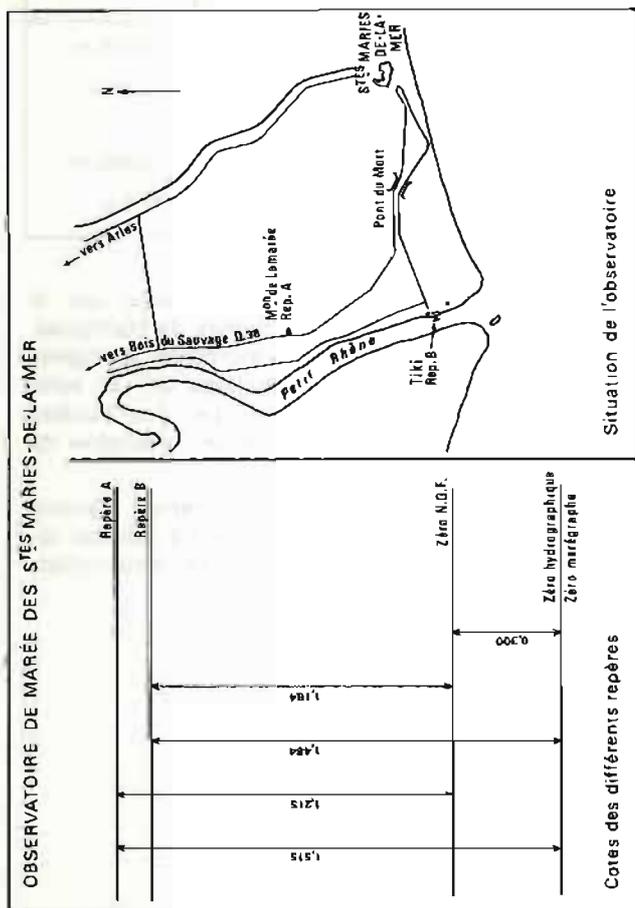
La marée a toujours été observée de façon simultanée en deux points encadrant la zone en cours de levé. Ces observations simultanées furent reportées sur un même graphique de façon à pouvoir adopter les corrections de marée. Ce travail permit de constater que durant les séances de sonde, effectuées par beau temps, les variations de niveau étaient pratiquement identiques d'un observatoire à l'autre, alors que par mauvais temps elles pouvaient être très différentes et de l'ordre de 40 cm. Il ne fut donc pas nécessaire de définir des zones de marée intermédiaires.

Le tableau page 110 et les planches n° II.13. et II.14. fournissent la description des 4 observatoires utilisés par la Mission.

Le marégraphe situé à l'embouchure du Petit Rhône a été installé le long de l'appointement de l'embarcadère du bac du Petit Rhône. Situé à quelques centaines de mètres de l'embouchure, il n'a pas été possible de trouver de site plus approprié, toutes les tentatives d'installation de marégraphe sur les épis rocheux des Saintes-Maries ayant été vouées à l'échec.



PL. II.12.



De même, le marégraphe de la pointe de Beauduc a été installé le long d'une diguette au fond d'une lagune, l'installation le long de la plage étant impossible.

L'observatoire du Grau-de-la-Dent est un observatoire permanent. Il est entretenu en principe par la Compagnie des Salins du Midi mais il fonctionne

mal et est en mauvais état. Nous avons été obligé d'installer à côté du marégraphe ancien un marégraphe Ott R.16 entretenu par les équipes à terre de la Mission.

L'observatoire du port de pêche de Port-de-Bouc est correctement entretenu. Son nivellement a été vérifié.

Observatoire	Période d'observation	Description des repères	Cote par rapport au 0 N.G.F.	Cote par rapport au 0 de réduction des sondes
Embouchure du Petit Rhône (Marégraphe Ott. R. 16)	29 avril - 21 août 1974	Repère A : Médaille N.G.F. (MC d3 F3 n° 29) scellé dans le mur du mas de Lamaréa à 0,8 m du sol.	1,215 m	1,515 m
		Repère B : Sommet du tube acier situé à l'extrémité N.W. de l'embarcadère du Tiki (bac du petit Rhône).	1,184 m	1,484 m
Pointe de Beauduc (Marégraphe Ott. R. 16)	29 avril - 16 octobre 1974	Repère A : Médaille N.G.F. (MC d3 145) scellé dans le mur Sud de la vanne située sur le canal d'écoulement de Fangassier.	0,39 m	0,69 m
		Repère B : Bord supérieur de la planche d'extrémité de l'apponement supportant le marégraphe (non durable).	0,37 m	0,67 m
Grau de la Dent (Marégraphe Ott. R. 16).	4 septembre - 23 décembre 1974 permanent	Repère A : Médaille N.G.F. (MCd 152) scellé au pied du mur N.W. au coin de la maison du Vieux Rhône	1,20 m	1,50 m
		Repère B : Rebord supérieur de la cloison médiane de la cabane abritant le marégraphe.	2,01 m	2,31 m
Port-de-Bouc Marégraphe Brillié 26	27 mai - 8 décembre 1974 permanent	Repère A : Repère N.G.F. (Mcb3c3 - 6a ₁) : clou repère scellé dans le sol de la cabane du marégraphe du port de pêche de Port-de-Bouc.	1,515 m	1,815 m
		Repère B : Médaille N.G.F. (MC b ₃ c ₃ 6a) scellé dans le mur de la cabane du marégraphe du port de pêche de Port-de-Bouc.	1,790 m	2,090 m

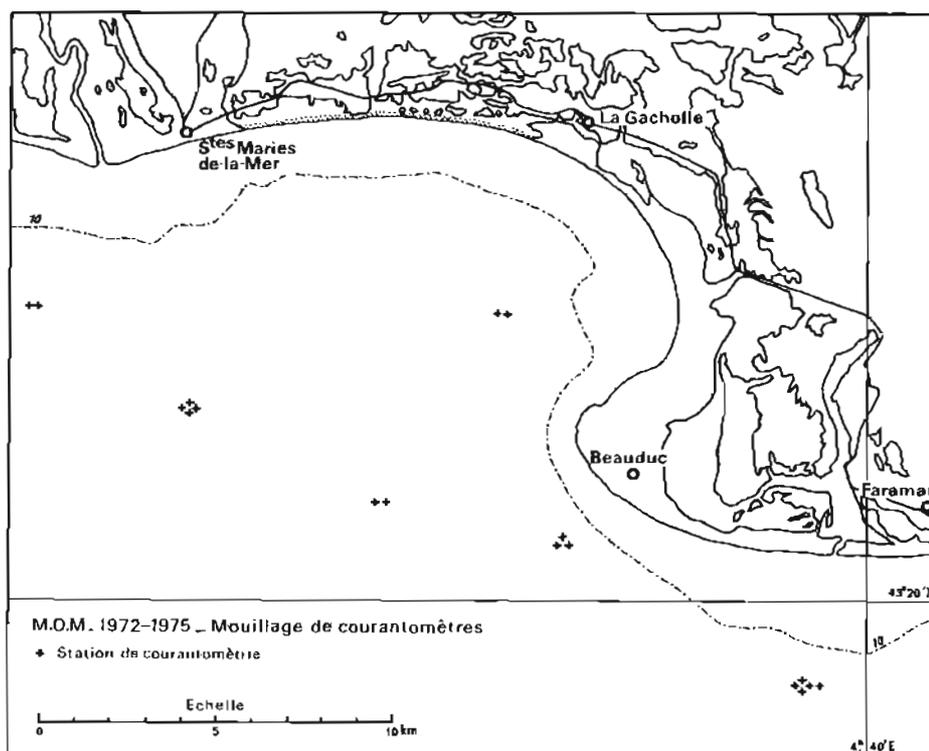
3.5. Courantométrie.

Comme pour le levé précédent, des mesures de courants au point fixe ont été réalisées de façon systématique dans la zone du levé, de mai à octobre 1974. Deux des lignes de mises en place au mois de juin ont été enlevées la même nuit par des chalutiers, ce qui a occasionné la perte d'un cou-

rantographe, le deuxième ayant été remis par le patron pêcheur aux Affaires Maritimes de Martigues. Pour se prémunir contre de tels incidents, les lignes de courantométrie ont été mouillées par la suite avec succès à proximité immédiate des bouées d'atterrissage jalonnant la côte à une douzaine de milles au large.

Les points de mouillage des différentes stations sont fournis par la planche n° II.15. Le tableau ci-après en résume les données spatio-temporelles.

N° Station M.O.M.	Immersion mètres	Coordonnées Géographiques		Période d'observation (année 1974)	N° fichier E.P.S.H.O.M.
		φ	G		
11-74	6 m	43°24'46'' N	04°32'48'' E	du 14 au 17 mai	785
12-74	10 m	43°21'36'' N	04°29'54'' E	du 14 au 17 mai	786
13-74	10 m	43°18'36'' N	04°38'48'' E	du 14 au 17 mai	784
14-74	10 m	43°24'24'' N	04°22'54'' E	du 14 au 17 mai	787
16-74	10 m	43°24'24'' N	04°22'54'' E	du 6 au 21 juin	783
17-74	6 m	43°24'46'' N	04°32'48'' E	du 6 au 18 juin	795
18-74	12 m	43°22'48'' N	04°25'42'' E	du 13 au 23 août	788
19-74	7 m	43°18'42'' N	04°38'48'' E	du 13 au 23 août	789
20-74	8 m	43°18'42'' N	04°38'48'' E	du 28 août au 6 septembre	790
22-74	8 m	43°22'48'' N	04°25'42'' E	du 29 août au 6 septembre	791
21-74	8 m	43°20'54'' N	04°33'54'' E	du 28 août au 6 septembre	
23-74	7 m	43°22'48'' N	04°25'42'' E	du 10 au 20 septembre	796
24-74	7 m	43°20'54'' N	04°33'54'' E	du 10 au 20 septembre	792
25-74	7 m	43°18'42'' N	04°38'48'' E	du 10 au 27 septembre	876
26-74	7 m	43°22'48'' N	04°25'42'' E	du 20 septembre au 2 octobre	798
27-74	7 m	43°20'54'' N	04°33'54'' E	du 20 septembre au 3 octobre	797
28-74	7 m	43°18'42'' N	04°38'48'' E	du 27 septembre au 10 octobre	803



PL. II.15.

3.6. Topographie. Toponymie.

La plus grande difficulté qui s'est présentée à la stéréorestitution a été l'interprétation des photos, et la différenciation des zones mouillées et des zones sèches. Pour réaliser ces opérations de façon absolument certaine, il aurait fallu disposer d'une couverture aérienne en couleurs.

La toponymie, extrêmement succincte dans cette région, a été empruntée à l'I.G.N.

3.7. Amers.

9 amers ont été fichés sur la côte couverte par le levé, depuis l'embouchure du Petit Rhône à celle du Grand Rhône.

3.8. Documents établis.

- 14 minutes d'écriture des sondes à l'échelle de 1/10 000;
- 5 minutes d'écriture des sondes à l'échelle de 1/20 000;
- 1 minute de recherche de roches à l'échelle de 1/10 000;
- 3 minutes de topographie à l'échelle de 1/20 000;
- 4 fiches d'observatoires de marée;
- 10 fiches géodésiques;
- 2 fiches d'épaves.

4. LEVÉ AUX ABORDS DE SAINT-RAPHAËL, DE LA POINTE DES ISSAMBRES AU CAP ROUX.

4.1. Situation et nature du levé.

Ce levé a été effectué à la demande des autorités de la Base Aéronavale de St-Raphaël qui désiraient disposer d'une bathymétrie précise aux abords des pistes d'atterrissage pour pouvoir mettre rapidement en œuvre les dispositifs d'intervention sous-marine de récupération d'épave en cas d'accident d'aéronefs au-dessus de la mer (*).

(*) On estime, en effet que 95 % des accidents d'aéronefs se produisent dans un cercle de rayon 5 milles autour de la piste.

L'espacement des profils prescrit était par suite beaucoup plus faible que les normes habituelles de levé.

La zone à lever était limitée :

- au Nord par le parallèle du cap Roux;
- à l'Est par le méridien 7°05'E;
- au Sud et à l'Ouest respectivement par le parallèle et le méridien de la tourelle de la Moutte;
- Au Nord-Ouest par la côte.

Cette zone recouvrait largement des levés récents et en particulier le levé intermédiaire effectué en 1973 par la M.O.M. entre Menton et le cap Camarat. Les échelles étant cohérentes, ce dernier levé n'a pas été repris (voir chapitre II.3.2.).

La planche n° II.16 indique les contours et les différentes échelles des zones sondées. Le levé a été effectué du mois d'avril au mois d'octobre 1975, sous la direction de l'I.P.A. Habert. Jusqu'en août 1975 il a été effectué avec des moyens réduits, le gros des forces de la M.O.M. (*Origny* et *La Recherche*) participant au levé du talus continental au large des côtes espagnoles. Ces moyens étaient constitués les BH.2 *Octant* et *Alidade*, d'une vedette de *La Recherche*, et de deux véhicules. Le personnel de la B.M.O.M. plus cinq officiers-mariniers hydrographes constituaient les moyens en personnel. Le levé fut achevé au cours des mois de septembre et d'octobre en utilisant la totalité des moyens de la Mission.

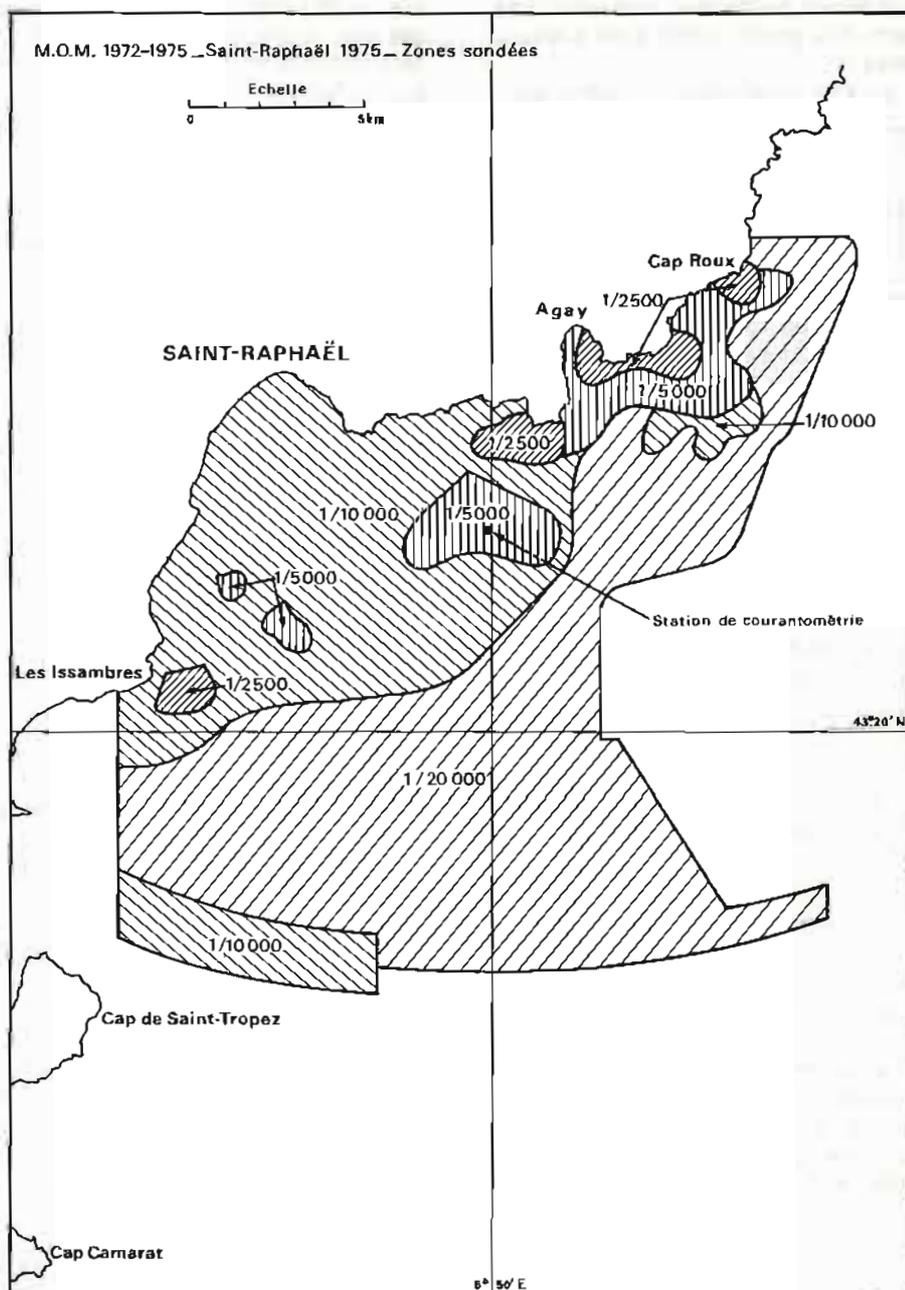
Ce levé constituait un chantier important et il ne fut pas possible de respecter à la lettre les échelles de levé imposées. Par contre un très grand nombre de recherches de roches furent effectuées de façon à rendre compte le plus exactement possible de la topographie réelle du fond.

4.2. Déroulement des travaux.

Au premier semestre 1975, l'avancement des travaux souffrit quelque peu de la faiblesse des moyens mis en œuvre. Il s'avéra en particulier qu'il était difficile d'employer à plein temps une vedette en sonde sans disposer de l'infrastructure d'entretien que l'on rencontre habituellement sur les BH.1 porteurs de vedettes.

Toute la petite sonde fut effectuée en radioguidage. Le manque de visibilité fréquent a ralenti les travaux.

Pour répondre aux besoins exprimés par la B.A.N. St-Raphaël, il avait été initialement prévu que le levé au sondeur vertical serait réalisé simultanément à un levé au sondeur latéral, afin de se faire une idée de la configuration générale de la topographie du fond et de séparer les zones pouvant être levées à mailles relativement lâches, des zones nécessitant un levé serré. Ce levé au sondeur latéral aurait de plus permis de répertorier les épaves existantes et de fournir à la B.A.N. St-Raphaël sur un canevas



PL. II.16.

de radioguidage bien défini, les paysages acoustiques sous-marins aux abords de la base qui auraient facilité les recherches d'épaves en cas d'accident.

L'échelle initiale de ce levé d'exploration avait été fixée au 1/10 000. Malheureusement l'utilisation du sondeur latéral ne fut pas payante et fut rapidement abandonnée en raison de la pente du fond. Le sondage au 1/10 000 réalisé fut complété par de nombreuses recherches de hauts-fonds.

La zone du large, inaccessible aux sondeurs des vedettes et des BH.2 fut sondée par *La Recherche* en septembre 1975 avec l'aide du Trident 1.

Les balises furent implantées aux points suivants :
Sémaphore de Camarat — hangar Cacquot —
sémaphore du Drammont — pointe de l'Observatoire.

Les coordonnées Lambert III de ces balises sont fournies par l'Annexe n° 2 de la deuxième partie de ce rapport.

4.2.1. Recherches de hauts-fonds ou d'épaves.

Tous les hauts-fonds ou ressauts de fond décelés par le levé régulier ont fait l'objet de recherches systématiques. Dans les zones où le relief était

très accidenté nous avons procédé à des levés très serrés, l'espacement des profils étant bien souvent inférieur à 25 mètres.

Six épaves ont pu être localisées et cotées avec

précision après reconnaissance par plongeurs; elles ont été obtenues le plus souvent d'après des renseignements locaux. Une fiche d'épave a été établie pour chacune d'entre elles

Nom et nature de l'épave	Coordonnées Lambert III	Brassage	cote au-dessus du fond	Observations
Fragment d'épave	X = 957 626 Y = 131 462	50 m	5 m	Bloc compact de métal constituant un morceau d'épave. Rien alentour.
Cargo (nom inconnu)	X = 958 155 Y = 131 430	58 m	7 m	Largeur du château : 12 m. La mauvaise visibilité n'a pas permis de déterminer la longueur de l'épave.
Vedette lance-torpilles	X = 957 415 Y = 131 608	50 m	2 m	Etrave orientée vers l'Ouest. Passerelle coupée en deux après l'explosion d'une torpille qui se trouvait dans le tube.
Débris d'avion (Baie d'Agay)	X = 966 690 Y = 134 627	29 m	1 m	Très nombreux fragments de petite taille éparpillés.
Voilier 3 mâts nom inconnu (Baie de St-Raphaël)	X = 958 820 Y = 132 980	34 m	4 m	Voilier retourné quille en l'air. Orienté Est-Ouest
Sous-marin Alose (Baie de St-Raphaël)	X = 958 465 Y = 132 610	36 m	14 m	Sous-marin en position verticale, le nez dans la vase maintenu par le lest

4.2.2. Natures de fond.

Les natures de fond ont été réalisées au plomb suifé jusqu'aux profondeurs de 100 mètres suivant une maille carrée d'un kilomètre environ. Elles ont été reportées sur une projection grand-aigle à l'échelle du 1/20 000 et sur les minutes d'écriture des sondes.

4.3. Marée.

La marée a été observée à St-Raphaël à l'aide d'un marégraphe Ott R.16 du 22 avril au 20 novembre 1975. Une échelle de marée a été également mise en place à proximité immédiate du marégraphe.

Ce marégraphe était installé dans le port de St-Raphaël le long du quai Kennedy à l'enracinement de l'appontement réservé à la Marine Nationale.

Le zéro de réduction des sondes a été adopté à 30 cm en-dessous du zéro N.G.F. Il correspond au zéro qui avait été adopté par la M.H.A. en 1959.

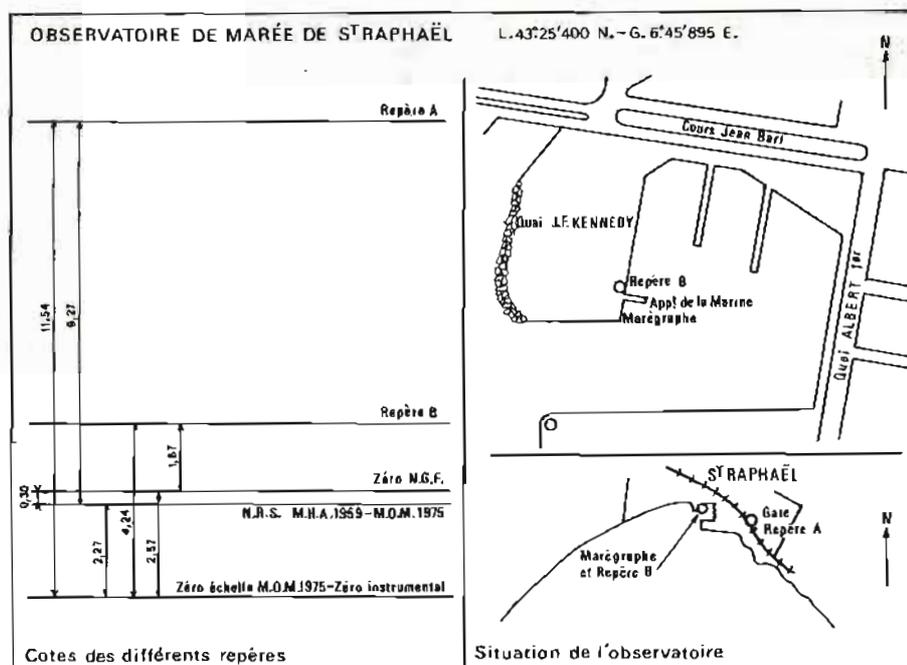
Ce niveau est matérialisé par les 2 repères suivants :

Désignation	Description des repères	Cote par rapport au 0 N.G.F.	Cote par rapport au zéro de réduction des sondes
Repère A	Médaille N.G.F. scellé dans le mur de la gare S.N.C.F. de St-Raphaël-Valescure.	8,965 m	9,27 m
Repère B	Croix gravée sur le sommet du bolard du quai Kennedy situé à l'enracinement de l'appontement Marine Nationale	1,67 m	1,97 m

La planche n° II.17 fournit la situation de l'observatoire et la position des différents repères.

4.4. Courantométrie.

Une ligne de courantométrie supportant deux courantomètres fut mouillée de façon systématique au point de coordonnées géographiques : (ellipsoïde de Clarke 1880 Système N.F.F. (52-64)).



PL. II.17.

Latitude = $43^{\circ}23',1N$ Longitude = $06^{\circ}49',7E$

Les immersions des courantomètres étaient 10 et 60 mètres.

Le mouillage était surveillé en permanence par les guetteurs du sémaphore de Drammont.

7 dossiers de courantométrie ont été constitués. Ils sont encore en cours de traitement et corrections avant introduction au fichier de l'E.P.S.H.O.M.

Il n'a pas été possible par contre d'installer une ligne de courantométrie sur le haut-fond de Méjean, d'une part parce que cela dépassait les possibilités des BH.2 effectuant le levé, d'autre part parce que sur ce haut-fond, les fonds ne sont pas plats.

Au mois d'octobre, l'*Origny* a effectué un mouillage de ligne de courantométrie par mille mètres de fond au Sud de St-Raphaël. Ce mouillage a été réussi et a constitué pour le bâtiment un excellent entraînement. Malheureusement le courantomètre Mécabolier mis en place n'ayant pas fonctionné, la station a été annulée.

4.5. Topographie. Toponymie.

Trois minutes de topographie à l'échelle de 1/10 000 ont été dessinées à partir de la stéréorestitution de la couverture aérienne de l'I.G.N. à l'échelle approximative de 1/15 000.

Cette restitution a été recollée avec les résultats de la topographie de roches et du trait de côte effectuée à pied suivant les méthodes classiques. Ce recollement a permis en particulier d'indiquer les cotes de roches découvrantes et d'atteindre une grande finesse dans le détail du trait de côte.

Les amers classés ainsi que leur silhouette et le

balisage ont été également reproduits sur ces minutes.

La toponymie a été empruntée à la carte I.G.N.

4.6. Amers. Documentation photographique.

Les amers ont été soigneusement répertoriés et classés. La liste en est fournie par l'Annexe n° 1 à la deuxième partie.

Une série de 13 prises de vues de la côte couverte par le levé a été réalisée par la Commission d'Etudes Pratiques de l'Aéronautique (C.E.P.A.) à partir d'un hélicoptère volant à des altitudes variant entre 200 et 500 pieds et à des distances de la côte variant entre 1 000 et 2 000 mètres.

L'appareil utilisé était un Altiphot de focale 200, le format des images étant 13×18 .

Sur ces photos, les amers répertoriés et classés ont été identifiés.

4.7. Documents établis.

8 minutes d'écriture des sondes à l'échelle de 1/10 000.

5 minutes d'écriture des sondes à l'échelle de 1/5 000.

2 minutes d'écriture des sondes à l'échelle de 1/2 500.

2 minutes de recherches de roches à l'échelle de 1/10 000.

2 minutes de recherches de roches à l'échelle de 1/5 000.

3 minutes de topographie à l'échelle de 1/10 000.
6 fiches d'épaves.

- 1 fiche d'observatoire de marée.
- 25 fiches de point géodésique ou d'amer.
- 1 collection de 83 photos de vues de côte obliques renseignées.

5. LEVÉ DU PORT ET DE LA RADE DE TOULON.

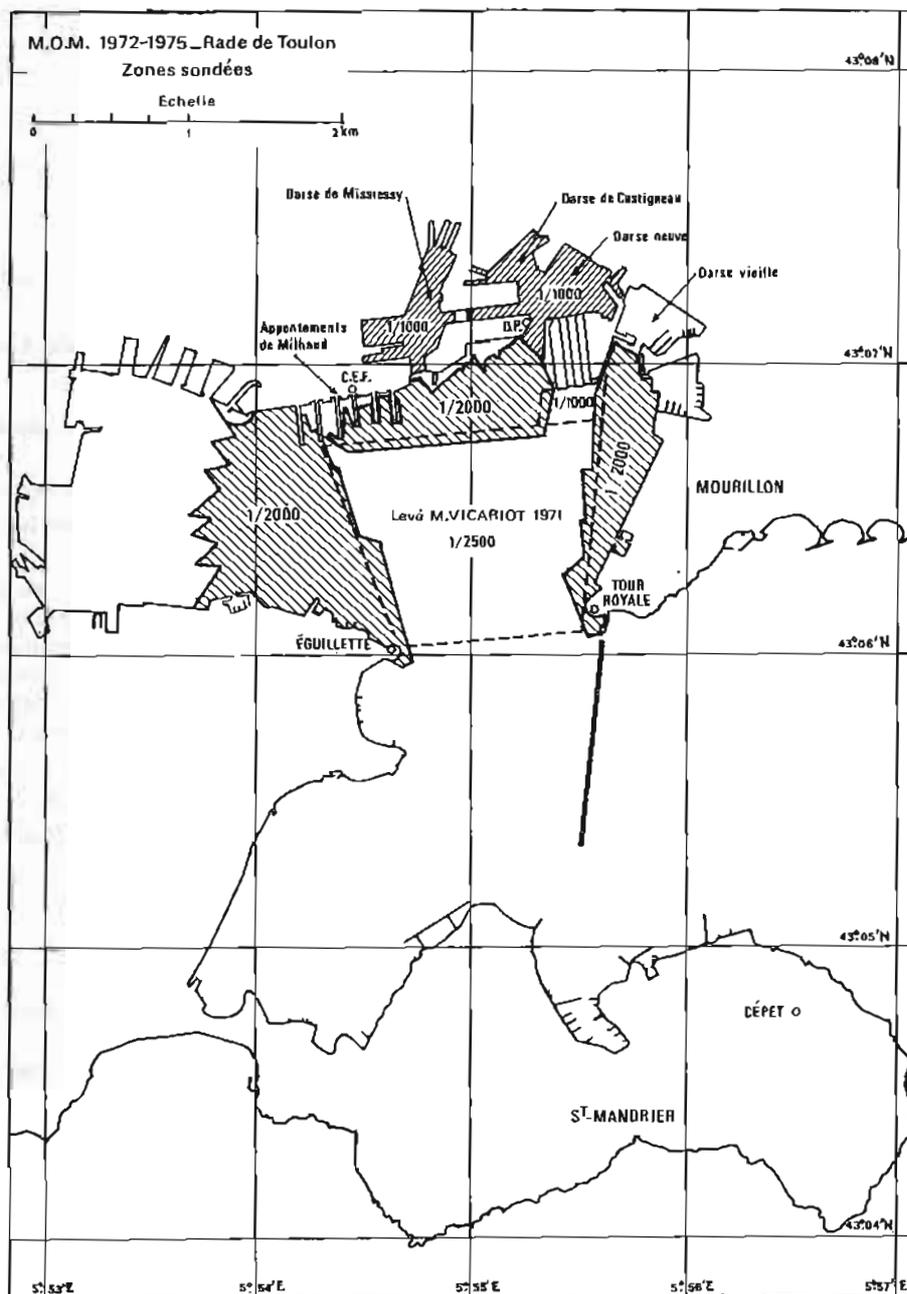
5.1. Situation et nature du levé.

Le levé effectué en rade de Toulon consistait à compléter et achever le levé entrepris en 1971 par l'I.C.A. Vicariot, Chef du Bureau d'Etudes Océanographiques.

La rade de Toulon étant réputée contenir de nom-

breuses obstructions, il s'agissait en fait, en dehors de tout autre moyen de détection, de localiser par un levé extrêmement serré au sondeur vertical, le maximum d'obstructions, de façon à déterminer les possibilités d'accès des bâtiments de gros tonnage aux quais ou appontements du Port Militaire. L'emploi d'une drague hydrographique pour déterminer les plafonds de sécurité n'est pas apparu praticable. Il aurait fallu en effet la remorquer très près du fond (quelques dizaines de centimètres), ce qui n'était pas réaliste.

Le levé serré suivant des profils espacés de 10 ou 20 mètres a été effectué au cours des hivernages 72-73 et 73-74 par des bâtiments de la Mission. Les zones sondées sont indiquées sur la planche n° II.18.



PL. II.18.

La dotation, en 1974, d'un sondeur latéral pour embarcation Edgerton a modifié les points de vue concernant l'exécution du levé en fonction des buts à atteindre. En octobre 1975, un levé des obstructions à l'aide de cet appareil fut entrepris en liaison avec les plongeurs et une gabarre de port de la Direction du Port de Toulon. Toute obstruction détectée par le sondeur latéral était immédiatement balisée, investiguée par les plongeurs et enlevée dans les jours qui suivaient par la gabarre. Ce levé, terminé en décembre 1975 sous la direction de notre successeur, fera l'objet d'un rapport ultérieur. Notons dès maintenant qu'il fut couronné de succès et qu'il permit de localiser en rade de Toulon plus de 300 obstructions. La principale difficulté qu'il reste à surmonter consiste à gommer des minutes d'écriture de sondes provenant des levés de 1971, 1972, 1973, les obstructions cotées qui ont été enlevées en 1975 par les soins de la Direction du Port.

5.2. Déroulement des travaux.

Les sondages furent effectués au cours des hivernages des bâtiments de la M.O.M. avec des moyens réduits en personnel et matériel. Ils ont bien souvent servi de prétexte à l'entraînement du personnel, au radioguidage et à la conduite des embarcations en sonde.

Pour les zones sondées au 1/20 000, un profil intermédiaire de vérification non rédigé fut effectué, les

bandes de sonde correspondantes n'étant exploitées que si elles décelaient un obstruction ou un haut-fond n'apparaissant pas sur les profils encadrants.

La liste des points géodésiques utilisés pour le sondage et placés par la Mission à partir des points I.G.N. est fournie par l'Annexe n° 1 de la deuxième partie de ce rapport.

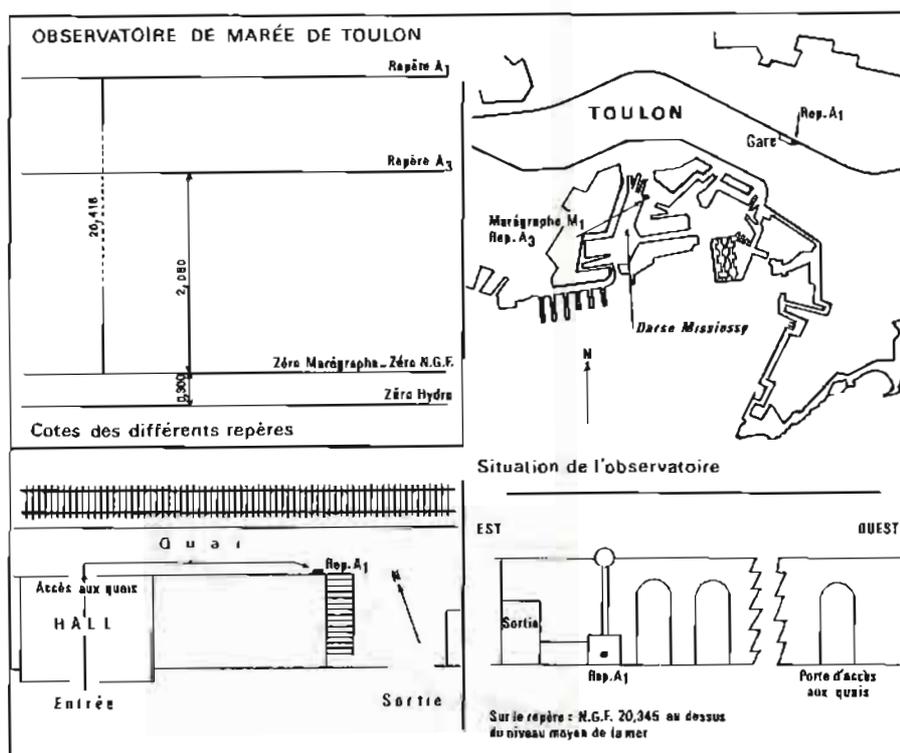
5.3. Marée.

Les sondes ont été réduites de la marée observée à l'observatoire permanent du port de Toulon, entre-tenu par la Direction locale des Travaux Maritimes. Les marégrammes sont expédiés une fois par an à l'E.P.S.H.O.M., la Mission exploitant seulement les reproductions des enregistrements qui lui étaient nécessaires.

La planche n° II.19 fournit les principales caractéristiques de cet observatoire qui sont issues de la fiche établie en 1970 par l'I.C.A. Vicariot.

Le repère est un médaillon du N.G.F. scellé dans le mur de la gare S.N.C.F. de Toulon à proximité de la sortie des voyageurs.

Le repère A3 est un repère des Travaux Maritimes, scellé dans le mur de la guérite abritant le marégraphe. Ce repère était coté 2,08 mètres au-dessus du zéro N.G.F., le zéro de réduction des sondes de Toulon se situant à 2,38 mètres au-dessous du repère A3. Un recalage dont nous n'avons pas retrouvé trace, effectué par l'I.G.N., aurait placé le



PL. II.19.

repère A3 à la cote 2,055 mètres au-dessus du zéro N.G.F., ce qui situerait le zéro hydrographique historiques à 0,325 mètre en-dessous du zéro N.G.F. au lieu de 0,30 mètre. Nous avons conservé comme niveau de réduction des sondes le niveau situé à 2,38 mètres en-dessous du repère A3.

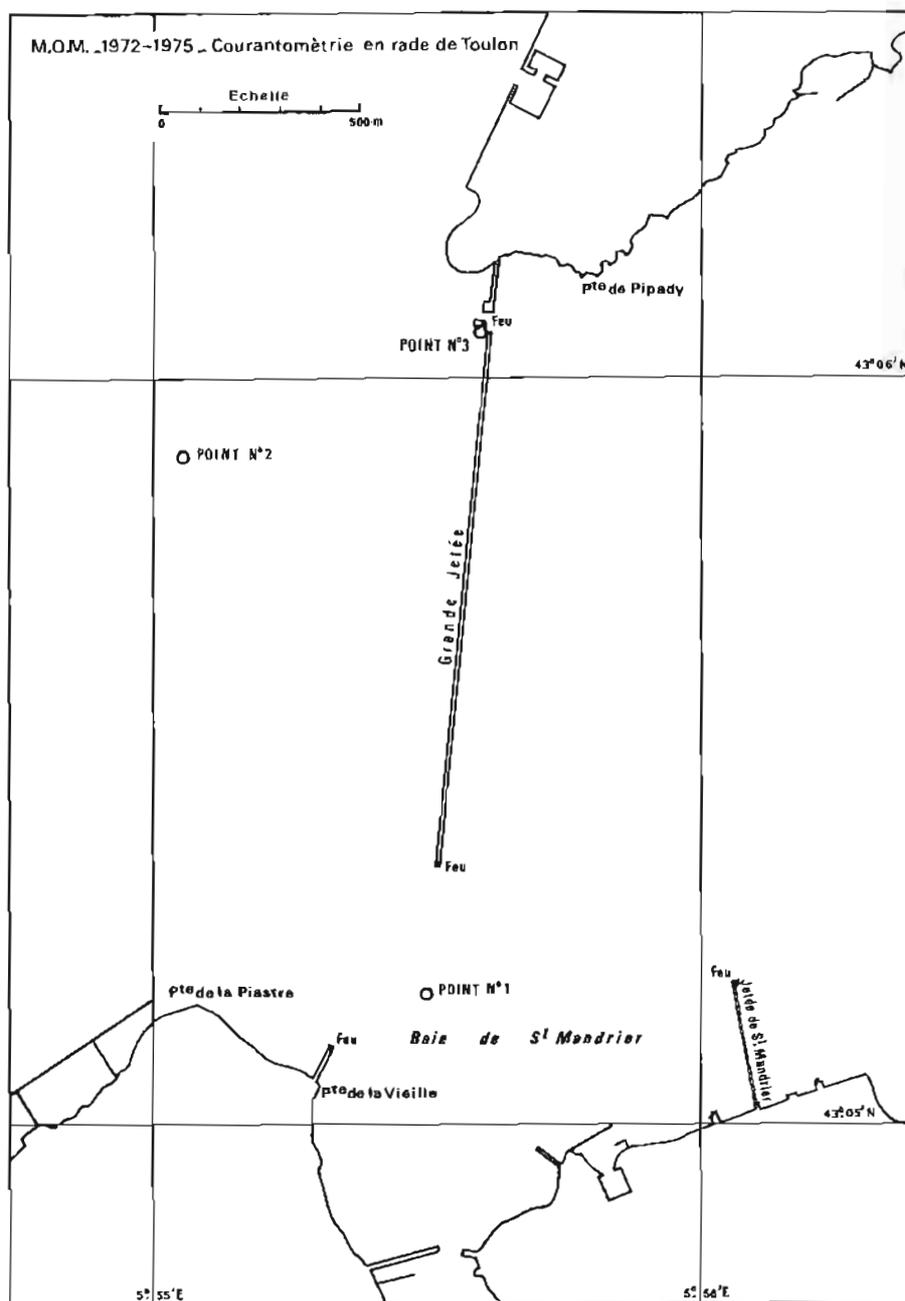
5.4. Courantométrie.

Pendant une durée de trois mois au début de l'année 1974 furent installées et maintenues en place :

— 2 lignes de courantométrie supportant un courantographe Mécaboler à 13 mètres d'immersion aux points numérotés 1 et 2 sur la planche n° II.20. Ces lignes ne comportaient pas de bouée de marquage en surface.

— 1 courantographe placé à 1 mètre du fond (6 mètres d'immersion) dans la passe des Torpilles (point n° 3). Ce courantographe était supporté par un bâti métallique posé et ancré sur le fond.

La visite des lignes et le changement des filins étaient régulièrement effectués par des plongeurs de la Direction du Port. Les observations furent de mauvaise qualité en raison du mauvais fonctionnement des courantographes. Seules les stations suivantes furent intégrées au fichier de l'E.P.S.H.O.M.



PL. II.20.

N° fichier E.P.S.H.O.M.	Immersion en mètres	Position		Période d'observation
		Latitude	Longitude	
645	13	45°05'11"N	5°55'30"E	du 7.02 au 21.02.1974
650	13	43°05'11"N	5°55'30"E	du 20.02 au 07.03.1974
658	13	43°05'11"N	5°55'30"E	du 13.12 au 26.12.1973
661	13	43°05'53"N	5°55'03"E	du 20.02 au 07.03.1974

Les courants en rade de Toulon sont toujours très faibles.

correct. Aucune minute de topographie n'a donc été établie.

5.5. Topographie.

La topographie du port de Toulon fait l'objet d'un plan coté au 1/2 000 établi par la Direction locale des Travaux Maritimes apparaissant parfaitement

5.6. Documents établis.

3 minutes d'écriture des sondes au 1/2 000.
2 minutes d'écriture des sondes au 1/1 000.

CHAPITRE II.3.

TRAVAUX DE GRANDE SONDE

1. GÉNÉRALITÉS : SITUATION ET NATURE DES TRAVAUX.

1. Une des activités majeures de la M.O.M. pendant la période couverte par ce rapport fut de réaliser sur de vastes zones le levé de talus continentaux en Méditerranée Occidentale. Ces levés sont dénommés couramment «levés intermédiaires».

Trois levés furent ainsi effectués :

— Entre la frontière italienne et le cap Camarat. Il a recouvert les levés récents de 1969-1970 (Vica-riot) au Sud de l'île du Levant et le levé M.O.M. 1972-1973 dans les limites de la carte 5329.

— Au Sud de Marseille. Il a recouvert à l'Est le levé de 1969 (Poulet) et a atteint le méridien de l'embouchure du Rhône.

— Au large des côtes espagnoles entre le méridien d'Almería et la pointe Nord-Est de Minorque.

Les deux premiers levés ont été pratiquement entièrement réalisés par l'*Origny*. Le troisième a été réalisé conjointement, après une préparation complète du terrain par la M.O.M., par le *D'Entrecasteaux*, l'*Origny*, et *La Recherche*. Les zones sondées sont indiquées par les planches n° II-22, II-23 et II-24.

Les normes d'exécution prescrites pour ces trois levés étaient pratiquement identiques.

La zone à couvrir, comprise entre l'isobathe 1 000 mètres et la courbe enveloppe au large des cercles de 5 milles de rayon, centrés sur les sondes 2 000 mètres, devait être levée suivant des profils perpendiculaires aux lignes de niveau. Leur espacement initial était fixé à 1 000 mètres. Ils devaient être resserrés chaque fois qu'un relief intéressant serait décelé par le sondage régulier. La rédaction était exceptionnellement exécutée à l'échelle de 1/50 000, afin de permettre l'écriture de sondes provenant de recherches de hauts-fonds sans être obligé de multiplier les minutes.

Des mesures annexes de courantométrie de surface (G.E.K., cartes flotteurs, courants de dérive issus des données de navigation) et de bathythermie devaient être réalisées à l'occasion de ces levés.

En fait, les deux levés réalisés le long des côtes métropolitaines furent plus importants que ce qui avait été prescrit et ont couvert de façon générale la zone située entre les isobathes 500 et 2 200 mètres. La moitié à terre de cette zone a été levée

suivant des profils espacés de 500 mètres afin de mieux rendre compte de la topographie du talus.

Le levé du talus continental espagnol, rapporté par ailleurs par le Directeur de la Mission Océanographique de l'Atlantique, n'est pas traité dans ce rapport.

2. LEVÉ INTERMÉDIAIRE ENTRE LA FRONTIÈRE ITALIENNE ET LE CAP CAMARAT.

Ce levé fut exécuté en majeure partie par l'*Origny* au cours de l'année 1973. Sa progression fut lente en raison des nombreuses avaries auxquelles fut soumis ce bâtiment, et *La Recherche* dut effectuer une partie du levé afin qu'il puisse être achevé dans des délais corrects.

2.1. Radiolocalisation.

La localisation fut assurée par le Trident 1 à l'exclusion de tout autre moyen. Les balises répondeuses étaient implantées aux points suivants :

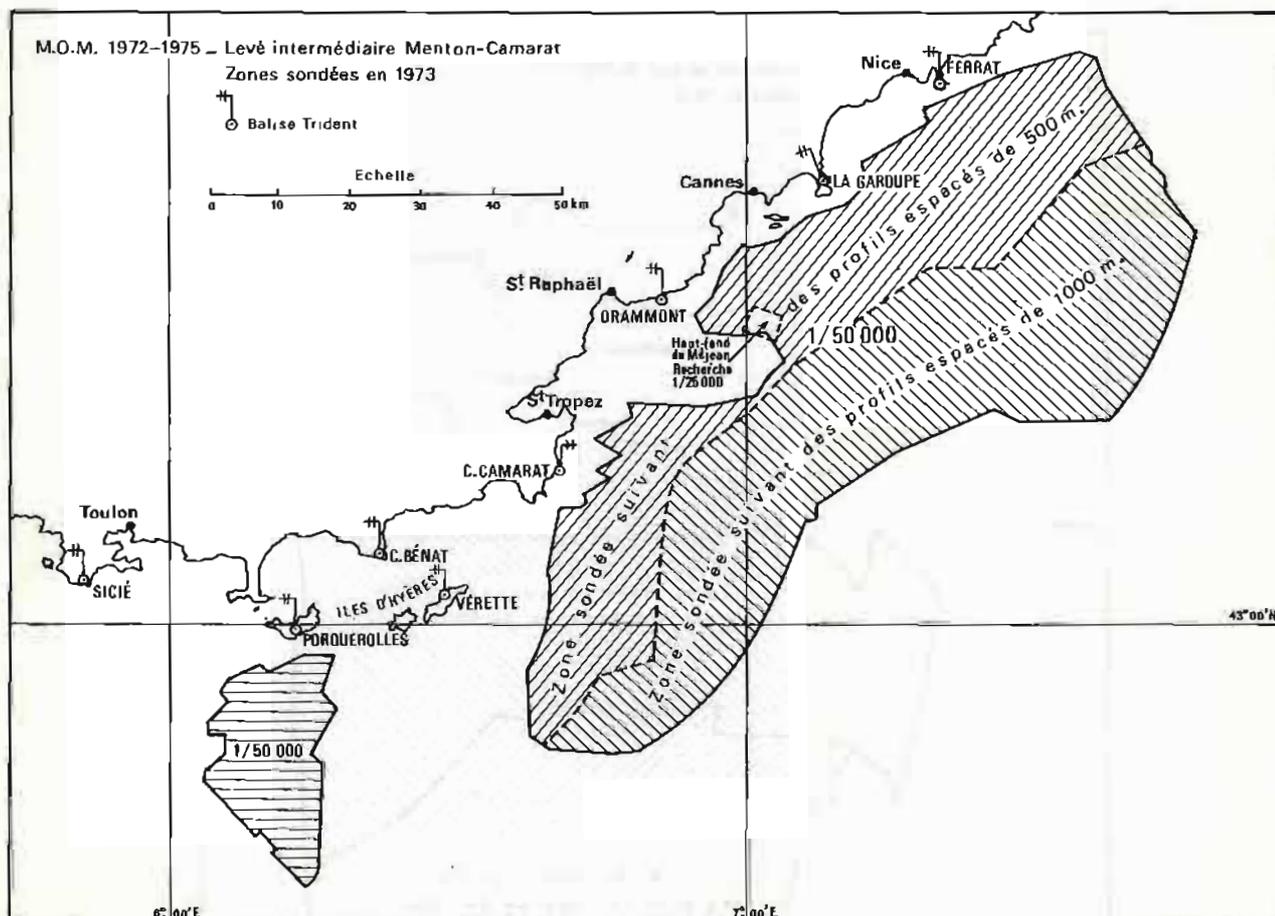
Sémaphore du cap Ferrat, phare de la Garoupe, sémaphore du Drammont, sémaphore du cap Camarat, Verette, sémaphore de Porquerolles, sémaphore de Bénat.

Ces sept balises étaient en fonction simultanément, ce qui permettait de poursuivre le levé malgré des avaries de balises en changeant simplement de secteur de sonde.

Les coordonnées des balises sont fournies en Annexe n° 2 de la 2^e partie. Les mappes Trident furent établies par la Mission en projection Lambert III.

2.2. Bothymétrie.

La planche n° II.21 indique le contour des zones levées. Les sondes inscrites sur les minutes sont les profondeurs lues sur un sondeur réglé pour une vitesse du son standard de 1 500 m/s.



PL. II.21.

L'Origny utilisait un sondeur Ocean Sonics à papier humide (la tête à papier sec dont était également muni ce sondeur étant constamment en avarie). La Recherche disposait de son sondeur grands fonds habituel Elac Deneb muni de sa loupe.

Il n'a pas été possible de réaliser, comme cela était prescrit, la rédaction des sondages en temps réel en utilisant la méthode qui avait été employée pour le levé expéditif devant Solenzara (voir chapitre II.4.2.). En effet, avec les moyens actuels, l'application d'une telle méthode représente une acrobatie qui doit être réservée à des levés ponctuels de courte durée. De plus le sondeur de l'Origny étant gradué en brasses, il n'était pas possible d'assurer correctement le dépouillement des bandes de sonde simultanément au sondage.

Tous les hauts-fonds décelés au cours du levé régulier ont fait l'objet de recherches particulières. Deux hauts-fonds intéressants ont ainsi été découverts :

— une cote de 1 627 mètres au point de coordonnées Lambert III :

$$X = 1.010.975 \quad Y = 135.150$$

— un levé à l'échelle du 1/25 000, effectué sur le haut-fond de Méjean, comportant la recherche de la cote minimale a permis de coter le sommet à la

valeur 343 mètres au point de coordonnées Lambert III.

$$X = 979.775, \quad Y = 131.575.$$

Ce sommet était coté 420 mètres sur la carte en service.

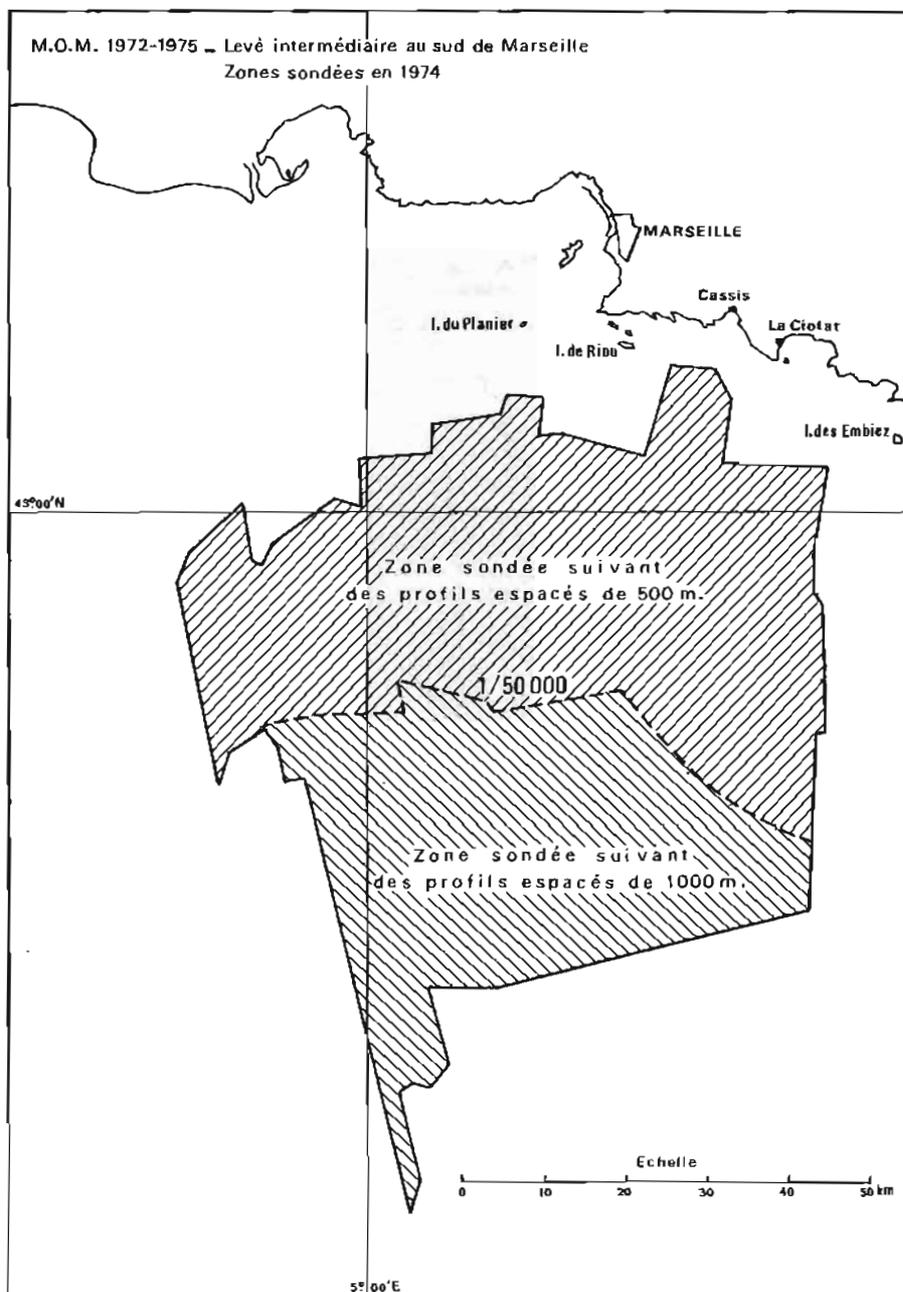
2.3. Courantométrie de surface.

Lorsque l'appareil était en état de fonctionner, l'Origny a effectué des mesures de courant de surface à l'aide d'un G.E.K. Les mesures ont été dépouillées et rédigées graphiquement. Elles sont toutefois quelque peu disparates et discontinues dans le temps en raison du fonctionnement capricieux de l'appareil extrêmement vétuste.

Des lancers de cartes flotteurs ont été effectués de façon systématique à l'extrémité de chaque profil.

2.4. Bathythermie.

Des observations bathythermiques ont été également effectuées de façon systématique, toutes les



PL. II.22.

trois heures. Le fonctionnement aléatoire du bathythermographe Sippican installé sur l'*Origny* a limité le nombre des enregistrements exploitables. Les observations jugées correctes ont été introduites au fichier « bathy » entreposé à l'E.P.S.H.O.M.

2.5. Information nautique : Vues de côte radar.

Le radar de navigation de l'*Origny*, très ancien, fournissant des images de mauvaise qualité et ayant

de plus des performances très faibles, nous n'avons pas effectué les vues de côte radar prescrites.

2.6. Documents établis.

5 minutes d'écriture des sondes à l'échelle de 1/50 000 ;

1 minute de recherches de roches à l'échelle de 1/25 000 ;

2 minutes de rédaction de mesures G.E.K.

3. LEVÉ INTERMÉDIAIRE AU SUD DE MARSEILLE.

Ce levé a été entièrement exécuté par l'*Origny* au cours de l'année 1974. Comme pour le levé précédent, et de façon encore plus marquée, l'avancement des travaux a été ralenti dans de grandes proportions par les avaries du bâtiment. Ceci n'a pas permis, comme cela a été dit au chapitre II.2.3., de recouvrir le levé côtier effectué simultanément par les autres bâtiments de la Mission, dans les limites de la carte 5116.

Ce levé fut conduit de façon identique au levé précédent. Il a recouvert les levés récents existants à l'Est de la zone sondée : Poulet 1969, Puycouyoul 1957 et Pasquay 1966. La courantométrie de surface au G.E.K. n'a pu être effectuée, l'appareil étant constamment en avarie.

3.1. Radiolocalisation.

La localisation fut assurée par les trois systèmes suivants associés :

- à portée optique de terre : le Trident 1 ;
- au large, hors de vue de côte : le Toran 3G.

Les balises Trident étaient implantées aux points suivants :

Notre-Dame du Mai, sémaphore du Bec de l'Aigle, phare du Planier, cheminée du Ponteau et accessoirement les balises utilisées pour le levé de la carte 5116.

Les coordonnées Lambert III de ces balises sont fournies par l'Annexe n° 2 de la 2^e partie du rapport.

La chaîne Toran 3G à trois réseaux utilisée était constituée :

- de la chaîne « Méditerranée Occidentale » à deux réseaux fonctionnant en mode X entretenue par le Service des Phares et Balises ;
- d'un réseau fonctionnant en mode Z implanté spécialement par la M.O.M. pour les besoins du levé.

Les caractéristiques de cette chaîne sont :

Réseau 1.

Foyer Nord :

Sète (phare du mont Saint-Claire) ;
Coordonnées Lambert III :
X = 709 567,22 Y = 122 657,36 ;
Fréquence : 1824 KHZ.

Foyer Sud :

Les Sanguinaires ;
Coordonnées Lambert IV :
X = 518 851,17 Y = 172 777,41 ;
Fréquence : 1824 KHZ + 80 HZ.

Référence : Porquerolles. Foyer du réseau 2.
Fréquence : 1640,5 KHZ.

Réseau 2.

Foyer Nord :

Porquerolles (phare du cap d'Armes,
antenne radiophare) ;
Coordonnées Lambert III :
X = 915 482,01 Y = 83432,32 ;
Fréquence : 1640,5 KHZ.

Foyer Sud :

Cap Béar (phare du cap Béar, antenne
radiophare) ;
Coordonnées Lambert III :
X = 665 913,23 Y = 24 306,68 ;
Fréquence : 1640,5 KHZ + 200 HZ.

Référence : Foyer Nord du réseau 1. Sète. Fréquence 1824 KHZ.

Réseau 3.

Foyer Nord :

L'Espiguette (station à proximité du phare
de l'Espiguette) ;
Coordonnées Lambert III :
X = 745 938,83 Y = 133 554,20 ;
Fréquence : 1760,5 KHZ.

Foyer Sud :

Cap Béar (station à proximité du foyer Sud
du réseau 2) ;
Coordonnées Lambert III :
X = 665 787,24 Y = 24 258,66 ;
Fréquence : 1760,5 KHZ + 80 HZ.

Référence :

Leucate (phare de Leucate) ;
Coordonnées Lambert III :
X = 658 670 Y = 68 230 ;
Fréquence : 1977,5 KHZ.

La méthode d'utilisation complémentaire du Trident 1 et du Toran 3G pour l'exécution du levé est détaillée dans la note technique n° 1 figurant en fin de rapport.

3.2. Bathymétrie.

Les sondages ont été rédigés en projection Lambert III (ellipsoïde de Clarke 1880) à l'échelle de 1/50 000.

Les sondes inscrites sur les minutes sont les profondeurs lues sur un sondeur réglé pour la vitesse du son standard de 1 500 m/s.

Le haut-fond présumé, signalé par un bâtiment au point de coordonnées géographiques :

$$\varphi = 43^{\circ}04', 2 \text{ N.} \quad \text{et} \quad G = 5^{\circ}15', 7 \text{ E.}$$

a été recherché mais n'a pas été retrouvé. Son signalement pourrait s'expliquer par une erreur de navigation de deux milles environ en latitude suivant l'axe Nord-Sud.

Les hauts-fonds décelés par le levé régulier ont été par ailleurs systématiquement recherchés. Il n'y a rien de particulier à signaler à ce sujet.

3.3. Bathythermie.

Comme pour le levé précédent, le nombre d'enregistrements bathythermiques exploitables a été limité par la mauvaise qualité de l'installation Sippican de l'*Origny*.

3.4. Documents établis.

7 minutes d'écriture des sondes à l'échelle de 1/50 000 ;

1 minute de recherches de roches à l'échelle de 1/25 000.

4. LEVÉ INTERMÉDIAIRE DU TALUS CONTINENTAL AU LARGE DES CÔTES ESPAGNOLES

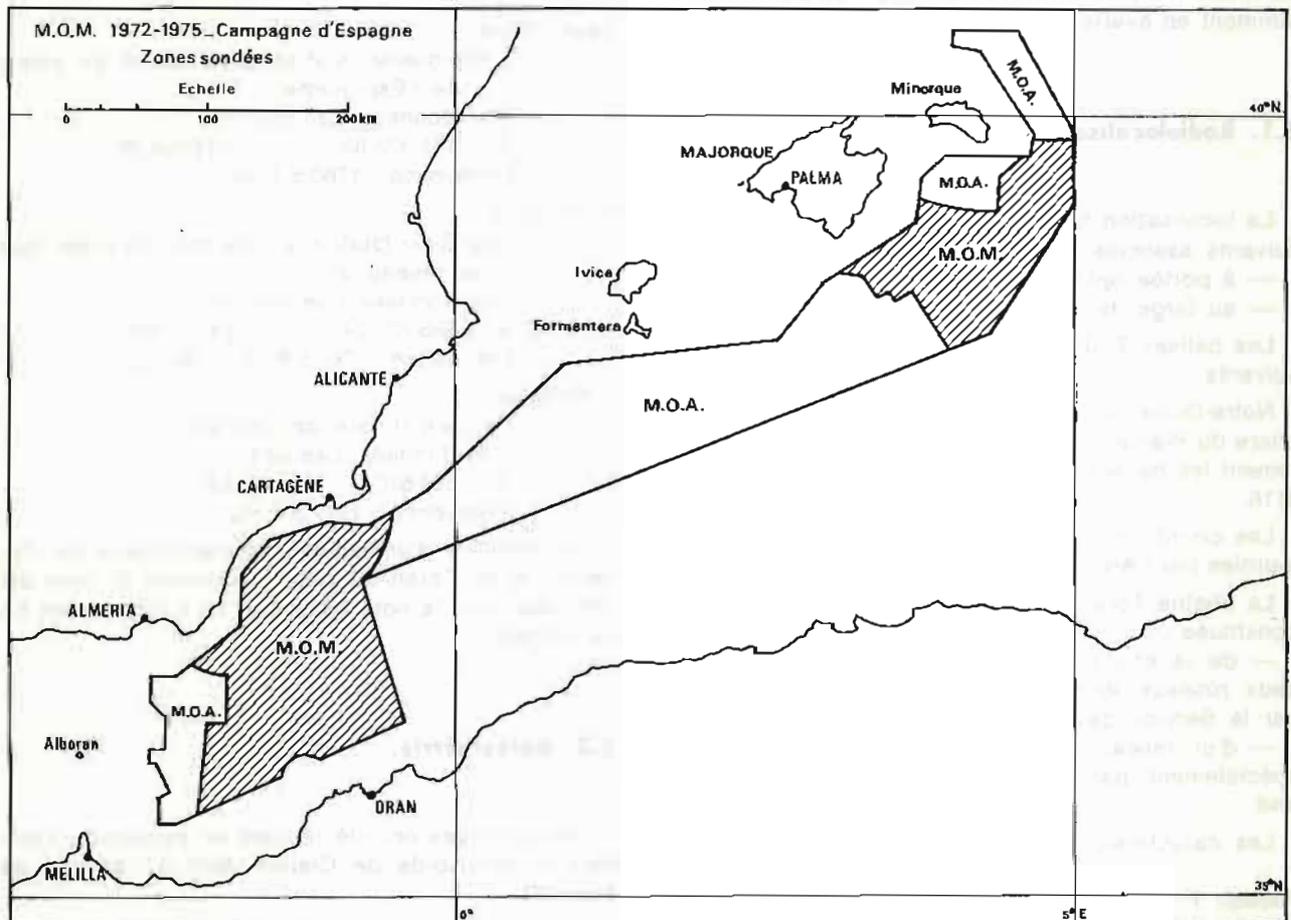
(Planche II.23).

(Pour mémoire, se référer au rapport de mission de l'I.C.A. Demerliac, Directeur de la M.O.A., année 1975).

Documents établis par la M.O.M.

11 minutes d'écriture des sondes à l'échelle de 1/100 000 ;

2 minutes de recherches de roches à l'échelle de 1/1 000 000.



PL. II.23.

CHAPITRE II.4.

TRAVAUX DIVERS

1. VÉRIFICATION DE L'EXISTENCE DE DEUX HAUTS-FONDS AU SUD DE LA SARDAIGNE

1.1. Généralités.

Du 29 septembre au 8 octobre 1973, *La Recherche*, l'*Octant* et l'*Alidade* se sont rendus en Sardaigne pour vérifier l'existence de deux hauts-fonds inscrits sur la carte marine qui avait été mise en doute par différents navigateurs et notamment par des commandants de sous-marins.

Ces deux hauts-fonds étaient un « 18 mètres » et

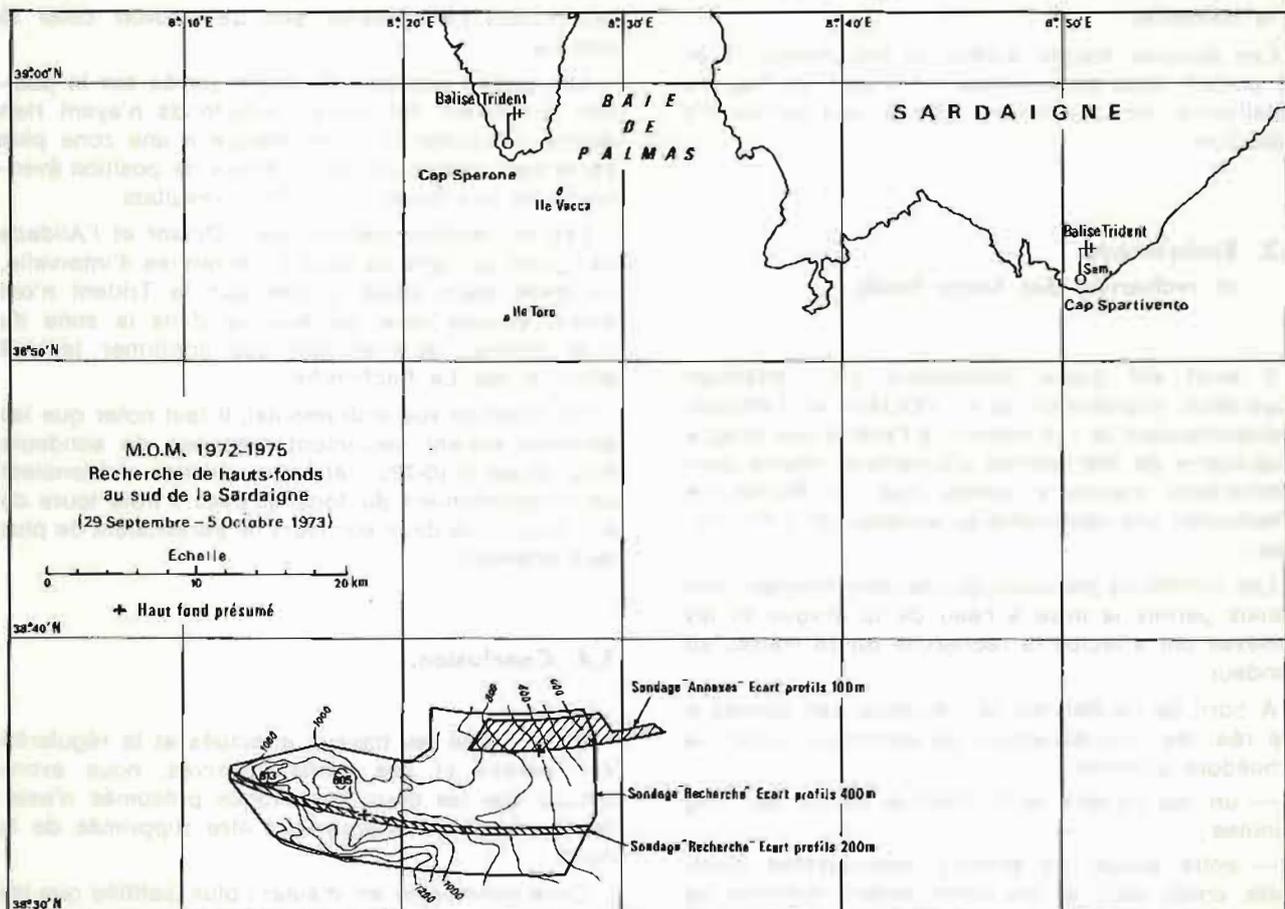
un « 104 mètres » situés à 16 milles environ au Sud de l'île Toro, les fonds avoisinants étant de l'ordre de 800 mètres. Leur position présumée est indiquée sur la planche n° II.24 ci-après.

Il est intéressant de noter que ces hauts-fonds n'étaient pas inscrits sur la carte marine italienne.

Cette recherche de hauts-fonds a été associée à une escale de détente de quatre jours à Cagliari.

1.2. Localisation.

La localisation a été assurée à l'aide du Trident 1. Deux balises Trident ont été implantées, au prix de



PL. II.24.

très grosses difficultés dues à la configuration escarpée du terrain et à l'état des chemins.

- sur le vieux sémaphore du cap Spartivento ;
- à proximité du sémaphore du cap Sperone, parce qu'il n'a pas été possible de monter la balise jusqu'au sémaphore.

Un rattachement à la mire invar a été tenté entre la balise et le sémaphore. Finalement, il a été remplacé par un tour d'horizon au théodolite avec visées sur les amers clairement inscrits sur la carte et qui a été graphiqué.

Les coordonnées des balises ont ensuite été déterminées graphiquement sur la carte au 1/60 000, n° 5354. Leur précision peut être estimée à une centaine de mètres.

Pour faciliter le calcul des cercles Trident et l'exploitation des observations, nous avons superposé à la projection de Mercator un système d'axes rectangulaires parallèles aux méridiens et parallèles ayant pour origine le feu de l'île Toro (X = 100 000, Y = 500 000).

Les coordonnées des balises Trident étaient alors :

Désignation	Coordonnées géographiques		Coordonnées rectangulaires	
	φ	G	X	Y
Balise de Spartivento	38°57'56"N	08°24'48"E	100 370	511 800
Balise de Sperone	38°52'59"N	08°59'38"E	137 921	502 452

Une projection de construction au 1/40 000 portant les cercles Trident a été établie d'après ces coordonnées et a servi de support de construction à la position des sondes.

En l'absence de courant électrique, les balises furent alimentées par des batteries de grande capacité (190 AH). Elles étaient gardiennées par une équipe de deux hommes (équipe de mise en place) qui avaient pour mission de recharger les batteries à la demande.

Ces équipes étaient dotées de théodolites T3 et de postes radio pour relayer le Trident en cas de défaillance de ce dernier. Cette précaution fut superflue.

1.3. Bothymétrie et recherche des hauts-fonds.

Il avait été prévu initialement pour effectuer l'opération rapidement que : l'*Octant* et l'*Alidade* recherchaient le « 18 mètres » à l'aide d'une drague américaine de 900 mètres d'ouverture, réglée pour l'immersion maximale tandis que *La Recherche* effectuerait une recherche au sondeur du « 104 mètres ».

Les conditions météorologiques défavorables n'ont jamais permis la mise à l'eau de la drague et les annexes ont effectué la recherche du 18 mètres au sondeur.

A bord de *La Recherche*, l'écriture des sondes a été réalisée, simultanément au sondage, suivant la procédure suivante :

- un top horaire était effectué toutes les cinq minutes ;
- entre temps, les sondes remarquables (sommets, creux, etc.), et les cotes rondes multiples de 50 mètres étaient « topées » en donnant lieu à une lecture et une construction Trident.

Le tracé immédiat des courbes de niveau permettait ainsi de mieux conduire la recherche.

L'exploration au sondeur a ainsi montré des fonds aux pentes régulières sans accidents de relief très marqués comme en témoigne la planche n° 11.24. On a pu toutefois noter la présence d'une dorsale au relief peu accusé orientée Est-Ouest et comportant à l'Ouest deux têtes arrondies l'une de 805 mètres, l'autre de 813 mètres, qui ont fait l'objet de recherches particulières afin de pouvoir coter le sommet.

Les profils exécutés de façon serrée sur la position présumée des deux hauts-fonds n'ayant rien donné, l'exploration a été élargie à une zone plus vaste pour se départir d'une erreur de position éventuelle de ces hauts-fonds. Sans résultats.

Les recherches menées par l'*Octant* et l'*Alidade* naviguant en ligne de front à 100 mètres d'intervalle, l'*Alidade* étant seule guidée par le Trident n'ont fourni aucune cote intéressante dans la zone du « 18 mètres » et n'ont fait que confirmer le levé effectué par *La Recherche*.

Du point de vue instrumental, il faut noter que les annexes étaient seulement équipées de sondeurs Atlas Deso 10 (0-280 mètres) et qu'elles n'obtenaient un enregistrement du fond qu'avec « trois tours de sondeur ». Les deux sondeurs se parasitaient de plus mutuellement.

1.4. Conclusion.

Etant donné les travaux effectués et la régularité des pentes et des fonds observés, nous avons conclu que les deux hauts-fonds présumés n'existaient pas et qu'ils pouvaient être supprimés de la carte.

Cette conclusion est d'autant plus justifiée que les recherches effectuées par la Marine italienne avaient été également négatives.

Il faut retenir de cette exploration les deux hauts-fonds suivants :

805 mètres	} $\varphi = 38^{\circ}34', 8 \text{ N}$ $G = 08^{\circ}17', 1 \text{ E}$
813 mètres	
	} $\varphi = 38^{\circ}35', 0 \text{ N}$ $G = 08^{\circ}13', 9 \text{ E}$

Il faut noter également le mode particulier d'utilisation expéditive du Trident, qui a permis de réaliser un levé de bonne qualité sans aucune préparation dans un temps très réduit.

2. OPÉRATION ZARA PHASE N° 1°: LEVÉ EXPÉDITIF DANS LA RÉGION DE SOLENZARA (CÔTE EST DE CORSE).

2.1. Généralités.

Le concours de la M.O.M. pour la première phase de « l'opération Zara » a été demandé à la Mission par message alors qu'elle recherchait les deux

hauts-fonds au Sud de la Sardaigne, opération qui a fait l'objet du chapitre précédent.

Il s'agissait de réaliser de façon expéditive et très rapidement le levé d'un cercle de 5 milles de diamètre environ, centré sur le point de « crash » d'un avion de chasse Mirage IV de la base aérienne de Solenzara. Les coordonnées géographiques de ce point étaient :

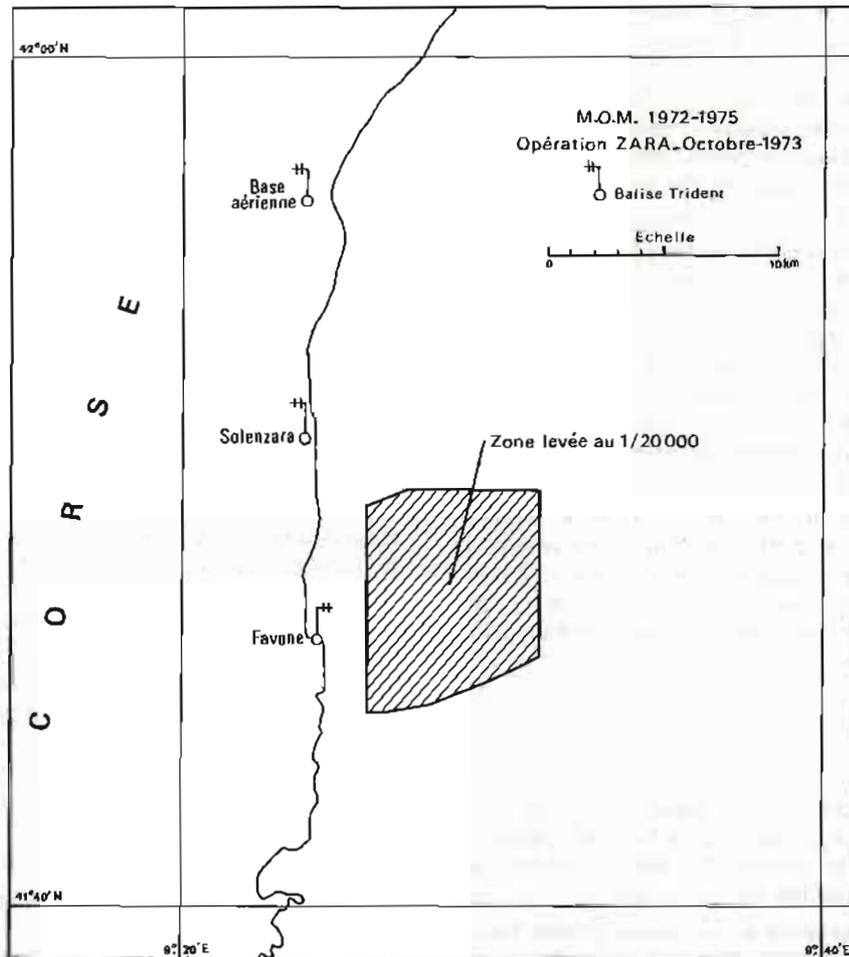
$$\varphi = 41^{\circ}47', 5 \text{ N} \quad G = 09^{\circ}28', 4 \text{ E}$$

La connaissance de la topographie du fond résultant du levé devait permettre de décider du moyen de recherche à mettre en œuvre pour localiser l'épave et la récupérer ensuite.

Ce levé, préparé directement par le Département qui avait fourni par message à *La Recherche* les coordonnées des points d'implantation des balises Trident, devait être réalisé au cours du transit retour de Sardaigne de ce bâtiment. Il fut différé de 48 heures parce que :

— d'une part le mauvais temps de Nord-Est interdisait le sondage ;

— d'autre part les repères des points sur lesquels devaient être implantées les balises Trident avaient disparu, ce qui nécessitait l'exécution de travaux géodésiques expéditifs pour positionner de nouveaux points.



PL. II.25.

Le levé proprement dit a été effectué en 36 heures par des conditions météorologiques relativement défavorables. La rédaction a été effectuée en temps réel, ce qui a permis de fournir à l'Etat-Major de la 3^e Région Maritime la minute d'écriture des sondes le lendemain de l'arrivée à Toulon de *La Recherche*.

Cette preuve d'efficacité fut vivement appréciée par l'Etat-Major local.

2.2. Géodésie.

Les trois balises Trident nécessaires au levé furent implantées aux points suivants :

Désignation	Coordonnées Lambert IV - Corse	
	X	Y
Tour de contrôle de la base aérienne de Solenzara	585 386,8	183 186,9
Terrasse immeuble H.L.M. de Marine Solenzara.	586 201,1	175 966,5
Chapelle de Favone (rénovée)	586 591,2	167 185,3

Une triangulation sommaire bénéficiant de l'appui des hélicoptères de la base de Solenzara fut effectuée pour calculer ces coordonnées :

— La Tour de contrôle fut placée à partir des bornes I.G.N. issues des carnets I.G.N. récents.

— Le point sur la terrasse de l'immeuble de Marine Solenzara fut placé à partir des points I.G.N. de 2^e ordre de Monte Santo et de Punta di Telica.

Les coordonnées I.G.N. des différents points utilisés, de provenances différentes ne correspondaient pas toutes à la même compensation. En corrélant les différents systèmes sur des points communs, nous avons pu définir les éléments d'une translation permettant de rendre homogène à 20 cm près les différents systèmes de coordonnées. Cette opération permit de calculer, à partir des recueils anciens, les coordonnées de la chapelle de Favone qui furent vérifiées à l'aide d'un lieu observé.

Quelques points à la mer de contrôle, effectués par *La Recherche*, à partir de trois relèvements directs au théodolite provenant de stations voisines des balises Trident et des trois cercles Trident, ont justifié l'adoption des coordonnées du tableau précédent.

2.3. Bathymétrie.

Le sondage fut effectué en suivant des cercles Trident centrés sur la balise la plus Nord et espacés de 200 mètres. La bathymétrie fut rédigée en temps réel sur la minute entoilée de construction.

Toute sonde intéressante et les cotes rondes hectométriques faisaient l'objet d'un top de position et étaient construites immédiatement. La sonde était

inscrite immédiatement sur la minute. Pour conserver une certaine orthodoxie au levé, un top horaire était également fait toutes les cinq minutes. Ce top donnait lieu à une lecture de la sonde. Les sondes n'étaient pas corrigées de la marée.

L'équipe de passerelle était composée de trois officiers-mariniers hydrographes et de deux matelots secrétaires.

2.4. Document établi.

1 minute d'écriture des sondes à l'échelle de 1/20 000 ;

3. RÉVISION DES AMERS DE LA CÔTE SUD MÉDITERRANÉENNE.

3.1. Généralités.

L'une des activités permanentes de la Mission au cours de la période couverte par ce rapport fut de procéder, pour les besoins de la section « Cartographie » de l'E.P.S.H.O.M., à la mise à jour des cartes de la côte Sud de Méditerranée et en particulier à la révision des amers.

Ceci fut fait de façon systématique dans les régions qui firent l'objet de levés côtiers (carte 5329, carte 5116. Abords de Saint-Raphaël).

Dans les zones intermédiaires, de Marseille à Toulon, du cap Camarat à la pointe des Issambres et du cap Roux à la frontière italienne, cette opération fut également réalisée mais de façon moins approfondie.

En effet, mettre à jour une carte de navigation et réviser les amers par l'observation visuelle de l'évolution des sites par rapport aux cartes en service peuvent paraître des opérations simples ne demandant pas l'emploi de techniques poussées. Cela représente en fait des opérations délicates, demandant une grande expérience, un sens marin développé et du jugement. Elles ne peuvent être correctement réalisées que par les cadres de la Mission ou des bâtiments.

Par ailleurs, étant donné les normes actuelles de classification des amers il ne paraît pas possible ni juste de classer un amer à l'aide d'un seul caractère chiffré compris entre 0 et 5, la classification de l'importance d'un amer étant essentiellement fonction de l'échelle de la carte sur laquelle il peut figurer. Ainsi une portion de côte étant en général couverte par trois types de carte marine : carte routière, carte d'atterrissage, carte de détail, tout amer répertorié devrait être doté d'une classification particulière à chaque type de carte.

3.2. Régions couvertes par un levé de détail côtier.

La révision des amers a été effectuée à partir des observations des bâtiments effectuant le levé. Les

amers répertoriés étaient ensuite placés avec la précision voulue par la Mission à terre. Ils ont tous été classés. La classification est fournie en même temps que les coordonnées dans les listes faisant l'objet de l'Annexe n° 1 à la 2^e partie du rapport. Un index des amers résumant cette classification a en outre été fourni. Les cartes en service ont été annotées de façon à proposer la suppression sur ces cartes d'un certain nombre de renseignements superflus.

3.3. Régions non couvertes par des levés de détail de la M.O.M.

Des reconnaissances maritimes très poussées et nombreuses ont été effectuées par l'*Octant* et l'*Alidade*, de Marseille à la frontière italienne.

Vingt-et-une cartes du portefeuille ont été annotées en détail, ces annotations proposant des suppressions et des mises à jour, fournissant pour chaque amer inscrit une classification et indiquant grossièrement les amers nouveaux à placer. Ceux-ci ont été placés dans la mesure des moyens disponibles. Une mission conduite par un aspirant de l'E.P.S.H.O.M. fut effectuée pour concrétiser les travaux issus des reconnaissances maritimes. Le manque d'expérience en la matière de ce jeune aspirant a en grande partie fait échouer cette mission :

— les amers répertoriés et classés à la suite des reconnaissances maritimes qui étaient des points I.G.N. ont donné lieu à l'établissement d'une fiche d'amer ;

— pour les autres amers, nous nous sommes contentés d'en déterminer les coordonnées de façon approximative et graphique sur la carte I.G.N. au 1/25 000. Ils devront être placés avec plus de précision par la M.O.M. à l'occasion de levés de détail ultérieurs.

4. OBSERVATION DE LA MARÉE A CALVI (CORSE).

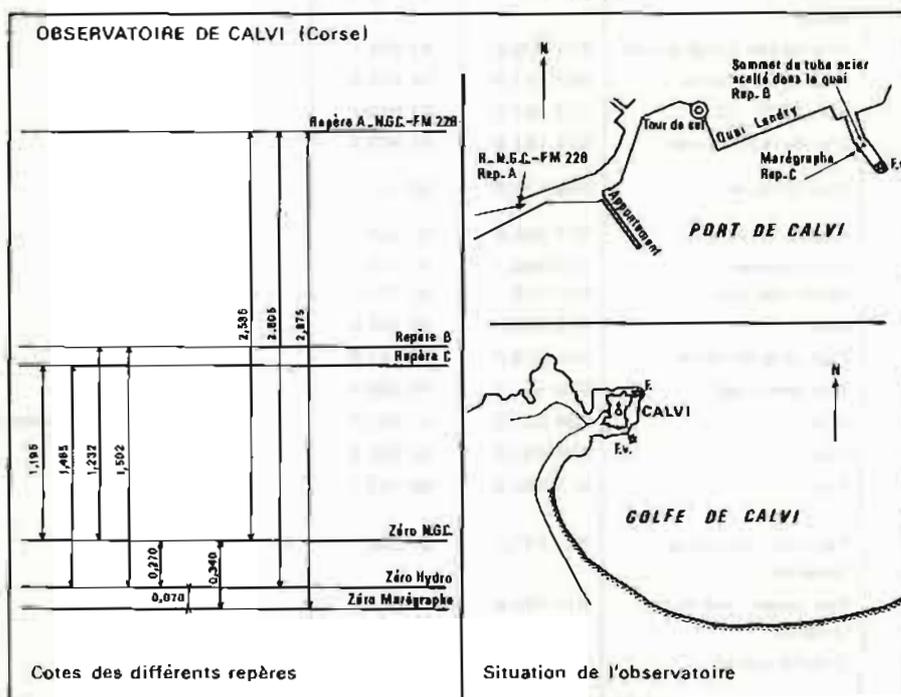
Dans le cadre de la campagne océanographique COBLAMED 73 (voir chapitre n° III.3.) et sur la demande du Professeur Lacombe, organisateur de la campagne, la M.O.M. a observé la marée à Calvi (Corse) du 5 septembre au 29 octobre 1973, à l'aide d'un marégraphe Ott R. 16 qui fut implanté le long de la jetée Nord du port de Calvi à proximité du feu vert d'entrée.

Une concordance a été établie avec la marée observée à Toulon. Elle situe le zéro de réduction des sondes à Calvi à 27 centimètres en-dessous du zéro du nivellement général de la Corse.

Ce niveau est matérialisé par les deux repères suivants :

Désignation	Description des repères	cote par rapport au 0 N.G.C.	cote par rapport au zéro de réduction des sondes
Repère A	Médaille N.G.C. (FM 228) scellé dans le parapet (côté mer) de la route venant du quai des pêcheurs et allant à la gare.	2,535	2,805
Repère B	Sommet du tube en acier (Ø 30 mm) scellé dans le quai au niveau du 3 ^{ème} bolard en partant du feu vert du musoir de la jetée Nord.	1,232	1,502
Repère C	Le repère C a été détruit		

Le plan d'implantation et la situation des repères sont fournis par la planche n° II.26.



PL. II.26.

Annexe n° 1 à la 2^e partie

Liste de coordonnées des points géodésiques ou amers

Désignation	Repères	Coordonnées Lambert III		Classification amer	Observations
		X	Y		
I. — Points situés dans la zone couverte par la carte 5329					
I.1. — De la pointe Escampobariou au cap Camarat					
Pointe Escampobariou	Borne M.O.M. 73	906 421,9	87 856,3	0	
Dôme de Cinéthéodolite	Axe	906 409	88 162	2	C.E.M.
Pointe du Rabat	Borne M.O.M. 73	906 895,5	87 914,8	0	
Tour carrée de Giens ou de la Madrague	Axe de la tour	906 925,8	88 657,0	2	Menacée de destruction
Pointe du Piguet	Borne M.O.M. 73	907 221,2	88 192,0	0	
Feu rouge du port du Niel	Axe de la lanterne	908 854,6	88 784,2	1	
Pointe des Morts	Borne M.O.M. 73	908 669,8	88 453,3	0	
Chapelle de l'hospice de Giens	Axe de la croix	909 651,60	89 056,02	2	
Table d'orientation de Giens	Centre de la table	909 040,5	89 144,8	0	
Clochet de Giens	Base de la croix	909 191,39	89 166,05	2	
Pointe des Vignettes	Borne M.O.M. 73	909 514,8	88 622,5	0	
Tour de l'île du Grand-Ribaud	Borne S.H.	910 189,4	87 125,2	0	
	Paratonnerre de la tour	910 132,2	87 062,0	1	
Île du Petit-Ribaud	Borne S.H.	910 469,5	85 576,9	0	
Pointe de la Terre-Rouge	Borne M.O.M. 73	910 625,0	87 911,6	0	
Chapelle N.D. de la Consolation	Tour carrée (axe)	908 515,1	95 847,0	2	
Yacht-Club d'Hyères	Mât de pavillon	910 992,6	94 231,6	0	
	Axe du feu vert	911 164,1	96 688,6	2	
	Axe du nouveau feu rouge	911 099,4	93 752,3	1	
Feux du port d'Hyères	Axe du feu rouge ancien	911 129,5	93 955,1	1	
	Axe du campanile	907 277,8	94 378,4	2	I.G.N.
Hôpital San-Salvador	Borne S.H. 73 A	911 187,4	87 922,7	0	
	Axe de la cheminée	911 187,6	87 933,7	1	
La Londe : feu rouge de l'E.C.A.N.	Axe lanterne	918 634,0	98 527,7	1	M.H.A. 59
Feu rouge de la tour Fondue Immeuble Simone Berriau	Axe de la lanterne	911 248,8	88 100,3	1	
	Croix gravée	913 809,1	97 710,6		
	Cheminée Sud-Est	913 816	97 707	3	
Monument des Croisés	Axe	912 485,6	96 734,8	1	I.G.N.
Feu vert du port de Miramar	Axe de la lanterne	918 219,9	98 141,9	2	
La Londe : hôtel de la plage	Axe cheminée	918 147,8	98 308,4	2	M.H.A. 59
Brégançon : balise Nord	Axe	924 427,9	96 865,0	1	Amer de la base de vitesse
Brégançon : balise Sud	Axe	924 493,6	96 036,6	1	Idem
Château d'eau Port- Pothuau	Axe	914 284,0	98 162,0	1	M.H.A. 59
	Feu vert : axe de la lanterne	914 477,1	97 930,1	1	
	Feu rouge : axe de la lanterne	914 445,6	97 966,2	1	
Feux de Port-Pothuau	Douille scellée	914 475,6	97 928,2	0	

Désignation	Repères	Coordonnées Lambert III		Classification amer	Observations
		X	Y		
Blockauss du Gapeau	Centre du pignon	913 706,2	97 419,3	1	M.H.A. 59
Relais de T.V. de Bénat (pylône des Fourches)	Axe du sommet	926 494,81	97 211,47	4	
	Borne I.G.N.	926 491,46	97 215,96	0	
Sémaphore de Bénat	Croix gravée sur la plate-forme	927 276,15	96 014,03	0	
	Mât du sémaphore	927 277,03	96 012,40	4	
Batterie des Maures	Axe de la lanterne	927 226,1	97 642,4	2	
Phare du cap Bénat	Axe de la lanterne	927 717,3	95 640,9	2	
	Borne F	927 752,4	95 580,8	0	
N.D. de Bormes	Axe du clocher	925 574,1	103 094,2	1	I.G.N.
Feu du port de Bormes	Axe de la lanterne	927 840,1	97 752,0	2	
Feu rouge du port du Pradet	Axe de la lanterne	927 989,9	96 109,0	1	
Feu du port du Lavandou	Axe de la lanterne	928 153,2	100 965,3	2	
Balise îlot de Christaou	Axe	928 458,4	95 966,0	2	
Balise Nord-Viou	Axe	929 137,6	101 348,0	2	Base de vitesse
Balise de la Fourmigue	Axe	930 983,4	97 748,7	2	
Balise Nord du Cap Nègre	Axe	933 019,3	103 074,2	1	Base de vitesse
Balise Sud du Cap Nègre	Voyant (axe)	933 621,6	101 960,2	1	Base de vitesse
	Mât	934 041,4	102 466,0	1	
Tour du Cap Nègre	Douille repère	934 041,3	102 466,7	0	
	Croix gravée sur la terrasse	935 960,2	103 449,8	1	
Pointe de la Malpague (Maison blanche)					
Château de Brégançon	Cheminée Ouest	923 323,7	98 308,3	2	Base de vitesse
Fort de Brégançon	Paratonnerre	924 403,0	95 920,5	2	I.G.N.
Maison du Dattier	Pignon S.W.	935 532	103 999	3	
Pylône Madec	Axe (isolant central)	936 728,1	105 460,7	0	
	Centre du réservoir (croix à la peinture)	937 979,3	104 155,3	0	
Réservoir le Parin (Haut Rayol)	Cheminée S.E. (axe)	937 984,7	104 152,5	0	
	Cheminée N.W. (axe)	937 974,1	104 158,5	0	
Balise Nord Dattier	Axe	938 421	105 622	2	Base de vitesse
Balise Sud Dattier	Axe	939 283	104 271	2	Base de vitesse
Pylône E.D.F. n° 36 (Cavalaire)	Isolant central	938 576,3	106 286,8	0	
Feu rouge de Cavalaire	Axe de la lanterne	941 413,1	105 652,6	1	
Relais T.V. Cavalaire	Axe du pylône	941 194,7	104 849,2	2	
Villa Amiradou	Croix gravée	941 247,4	104 839,6	0	Site Trident
Feu rouge de la nouvelle jetée de Cavalaire	Axe de la lanterne	941 526,6	105 766,2	1	
Balise du cap Taillat	Axe et sommet	950 254,6	105 720,6	3	Base de vitesse
Clocher de Gassin	Douille	945 039,0	112 179,0	2	
Moulin de Paillas	Axe	946 396,9	111 147,4	2	
Phare du cap Camarat	Axe et base du paratonnerre	952 403,1	109 401,1	4	
	Croix gravée sur la plate-forme	965 582,3	133 829,8	0	Site Trident
Sémaphore de Camarat	Mât	965 580,8	133 832,9	2	
1.2. — Ile de Porquerolles					
Îlot du Petit-Langoustier	Repère scellé dans le rocher	911 772,5	85 463,4	0	
Grand-Langoustier	Douille scellée sur la terrasse	912 038,4	84 922,6	0	
Balise Marine de Porquerolles	Sommet	913 261,6	85 445,5	3	

Désignation	Repères	Coordonnées Lambert III		Classification amer	Observations
		X	Y		
Tourrelle de la Jeune-Garde Feu rouge du port	Axe de la lanterne	911 630,3	85 805,9	3	Fiche d'amer
	Axe de la lanterne	914 805,1	85 621,1	1	
Château Ste Agathe	Repère scellé dans la plate-forme	915 447,7	85 186,3	0	
	Axe de la sirène	915 446,0	85 176,4	0	
Phare du cap d'Armes	Axe de la guérite	915 444,0	85 180,9	1	
	Centre de la boule	915 534,6	83 372,1	4	
Sémaphore de Porquerolles	Mât	917 145,02	85 308,31	0	Site Trident
	Centre de la plate-forme	917 142,45	85 309,45	3	
	Repère scellé sur la plate-forme	917 143,03	85 311,82	0	
Mont des Salins	Rivet sur terrasse "A"	917 231,9	84 727,3	0	
	Mât surmonté d'un feu rouge	917 229,2	84 721,7	2	
Pointe des Mèdes	Axe du dôme P3	917 224,3	84 709,4	0	Base de vitesse
	Axe de la guérite blanche	918 209,7	88 147,1	2	
Mont Sarranier	Repère scellé "c"	918 212,0	88 142,6	0	
	Piton métallique scellé dans rocher	918 573,3	85 308,3	0	
Ilot du Gros Sarranier	Douille scellée au sommet	919 212,1	85 301,7	0	
Ilot du Petit Sarranier	Douille scellée au sommet	919 783,5	85 032,2	0	
Montagne de Robert	Douille scellée	914 173,2	84 286,5	0	
Pointe des Marmottes	Douille	913 290,3	84 428,3	0	
Duc d'Albe N.W.	Axe	917 578	87 743	1	
<i>I.3. — Iles de Port-Cros et Bagaud</i>					
Maison Bastide	Axe de la cheminée	928 751,6	86 044,4	2	
Mât de pavillon à l'entrée du port	Mât	929 533,7	87 034,4	1	
Fort de Lestissac	Boulon scellé	929 941,6	87 174,7	0	
	Axe du dôme	929 947,6	87 180,7	2	
Fort de l'Eminence	Repère S.H.	930 185,3	86 878,8	0	
Rocher de la Gabinière	Sommet (croix)	930 966,3	84 673,3	3	
Tourrelle de la Dame	Axe	932 869,9	86 788,1	3	
	Repère scellé	931 257,81	85 849,90	2	
Vigie de Port-Cros	Borne I.G.N.	931 301,30	85 876,73	0	
	Borne C.E.M.	931 299,15	85 875,74	0	
	Feu station Cosmar	931 290,52	85 884,22	0	
Tour de Port-Man	Axe de la tour	932 791	87 551	2	
	Repère en bronze	932 797,3	87 552,5	0	
Pointe de la Galère	Clou scellé	932 787,6	87 556,6	0	
	Borne	931 850,8	88 216,4	0	
<i>I.4. — Ile du Levant</i>					
Maupertuis	Paratonnerre	934 342,58	87 118,31	2	
	Pylône	934 309,4	87 078,1	3	
	Croix gravée	934 341,61	87 110,91	0	
Maupertuis	Borne I.G.N.	934 367,63	87 129,09	0	C.E.M.
	Pylône Nord	934 641	87 659	2	
Cinéthéodolite du Titan	Douille S.G.A.	939 529,0	91 557,7	0	

Désignation	Repères	Coordonnées Lambert III		Classification amer	Observations
		X	Y		
Sémaphore du Titan	Repère scellé dans plate-forme	939 596,86	91 768,93	0	Site Trident (alimentation électrique défectueuse)
	Mât	939 597,31	91 767,72	3	
	Borne I.G.N.	939 559,30	91 787,17	0	
Phare du Titan	Axe de la lanterne	939 939,9	91 570,4	3	
Ilot de l'Esquilladon	Repère en bronze scellé dans le rocher	940 227,9	91 705,2	0	
Tourelle de l'Esquillade	Axe	941 728,6	92 127,6	2	
Incinérateur	Cheminée	935 811,0	87 892,0	0	
	Mât	935 810,0	87 904,0	2	
Station COSMAR	Axe	939 121	91 865	2	C.E.M.
II. - Points situés dans la zone couverte par la carte 5116 (De l'embouchure du Petit Rhône au golfe de Fos)					
II.1. - Points géodésiques (non fichés)					
Mire Alpha	Borne	763 843,8	130 251,4	0	
Signal Bravo	Axe du signal	765 466,7	130 146,5	0	
Blockauss Dromar	Axe plate-forme	766 587,88	132 152,78	0	I.G.N. N° 9
Mire Charlie	Borne	766 442,9	128 899,1	0	
Blockauss Tiki	Tube scellé	766 901,4	129 946,3	0	
	Croix gravée	766 900,2	129 944,7	0	
Mire Delta	Borne	767 142,3	129 611,5	0	
Signal Echo	Axe	767 983,2	129 835,7	0	
	Station	767 983,1	129 836,5	0	
Mire Foxtrot	Borne	768 764,0	129 845,1	0	
Mire Golf	Borne	770 380,2	130 604,1	0	
Borne I.G.N. n° 18	Centre	771 958,37	131 283,30	0	
Signal Hôtel	Axe	772 790,9	130 814,6	0	
	Station	772 790,9	130 815,0	0	
Mire India	Borne	774 696,1	130 812,4	0	
Signal Juliette	Axe	776 545,5	130 664,2	0	
	Station	776 545,3	130 663,0	0	
Mire Kilo	Borne	778 352,2	130 314,7	0	
Signal Lima	Axe	780 126,0	129 570,6	0	
	Station	780 125,1	129 569,5	0	
Mire Mike	Borne	781 658,5	128 518,0	0	
Signal November	Axe	782 369,7	127 422,6	0	
	Station	782 368,3	127 421,7	0	
Mire Oscar	Borne	783 073,3	125 503,9	0	
Signal Papa	Axe	781 126,1	123 786,9	0	
	Station	781 126,1	123 787,6	0	
Signal Québec	Axe	780 084,9	122 223,0	0	
	Station	780 089,4	122 223,4	0	
Signal Roméo	Axe	782 502,9	120 149,6	0	
	Station	782 500,5	120 148,6	0	
Mire Sierra	Borne	780 821,2	121 143,6	0	
Mire Tango	Borne	784 027,6	119 602,8	0	
Signal Uniform	Axe	784 960,2	119 510,0	0	
	Station	784 960,1	119 509,1	0	
Signal Victor	Axe	787 075,3	119 291,1	0	
	Station	787 075,6	119 290,1	0	

Désignation	Repères	Coordonnées Lambert III		Classification amer	Observations
		X	Y		
Transformateur	Axe	787 817,00	125 205,1	0	I.G.N. n° 230
Mire Whisky	Borne	788 256,1	118 978,5	0	
Blockauss	Douille	788 510,8	119 032,6	0	I.G.N. n° 43
Mire X-Ray	Borne	789 804,5	118 958,9	0	
Mire Yankee	Borne	791 064,1	119 259,4	0	
Signal Zoulou	Axe	791 822,9	119 306,6	0	
Signal Aigrette	Axe	792 049,5	119 221,9	0	
	Station	792 049,4	119 220,2	0	
Mire Bouvrauil	Borne	792 795,1	119 433,4	0	
Signal Cigogne	Axe	793 838,1	119 568,2	0	
	Station	793 837,7	119 570,8	0	
Mire Dindon	Borne	795 777,5	119 612,5	0	
Signal Etourneau	Axe	797 693,4	119 593,8	0	
	Station	797 691,8	119 593,9	0	
Mire Fauvette	Borne	799 597,2	119 050,7	0	
Signal Geai	Axe	801 369,8	118 254,8	0	
	Station	801 374,5	118 254,0	0	
Mire Héron	Borne	802 314,8	117 731,4	0	
Signal Ibis	Axe	802 652,7	117 455,2	0	
	Station	802 652,9	117 453,8	0	
Borne I.G.N. n° 19 (déplacée)	Centre	803 500,2	118 450,5	0	
Mire Jarre	Borne	803 889,5	117 852,7	0	
Signal Kiwi	Axe	804 483,0	118 310,2	0	
	Station	804 482,6	118 310,7	0	
Mire Lorient	Borne	805 233,7	119 134,5	0	
Signal Merle	Axe	806 715,9	120 481,2	0	
Mire Naudou	Borne	808 396,4	122 233,0	0	
Mire Outarde	Borne	809 054,1	123 359,4	0	
Château d'eau de Port-St-Louis	Axe	801 194,39	123 831,3	2	I.G.N. n° 13
Phare du Port-St-Louis	Axe de la lanterne	805 352,89	124 302,51	3	I.G.N. n° 24
<i>II.2. – Points géodésiques et amers fichés</i>					
Feu Nord, embouchure du Petit Rhône	Axe et sommet du feu	766 222,0	131 131,8	2	
Feu Sud, embouchure du Petit Rhône	Axe et sommet du feu	766 474,3	130 565,6	2	
Château d'eau des Stes-Maries-de-la-Mer	Axe	769 182,21	130 251,25	1	
Eglise des Stes-Maries-de-la-Mer	Axe du paratonnerre	769 249,01	130 111,56	3	I.G.N. Ordre 1
	Repère scellé sur la terrasse	769 255,81	130 109,84	0	
Phare de la Gacholle Balise Marine de Beauduc	Axe de la lanterne	780 760,37	130 776,60	3	I.G.N. Ordre 2.
	Axe de la balise	780 812,9	121 752,3	2	Balise penchée
	Axe de la lanterne	782 183,69	120 790,86	4	I.G.N. ordre 2
Phare de Beauduc	Croix gravée sur plate-forme	782 182,20	120 790,63	0	
	Axe de la tour	792 382,5	119 644,0	1	En ruines
Ancien sémaphore de Faraman					
Phare de Faraman	Axe de la lanterne	790 525,55	119 916,83	4	I.G.N. ordre 2

Désignation	Repères	Coordonnées Lambert III		Classification amer	Observations
		X	Y		
III. - Points de la région de Saint-Raphaël. (De la pointe des Issambres au cap Roux)					
III.1. - Points géodésiques I.G.N. ayant servi à la triangulation					
Château d'eau de la B.A.N. St-Raphaël	Croix gravée	956 639,14	133 916,60	0	I.G.N.
Réservoir St-Raphaël	Repère bronze	962 135,43	135 703,60	3	"
Château d'eau de St-Raphaël	Croix gravée	960 090,53	134 753,84	3	I.G.N.
Clocher de Fréjus	Centre de la boule	956 076,1	135 427,9	3	"
Clocher de St-Raphaël	Dôme Est	958 556,7	134 401,3	2	"
Tourelle des Sardinaux	Axe	952 748,31	122 043,76	3	Fiche d'amer fournie
Tourelle de la sèche à l'huile	Axe	952 575,70	121 565,04	3	Fiche d'amer fournie
Château Borelly	Axe girouette	952 146,9	117 258,4	3	Fiche d'amer fournie
Mire du cap Roux	Sommet	969 626,32	138 591,58	1	I.G.N.
Mont Vinaigre	Axe paratonnerre	962 342,4	143 424,1	0	"
Pic de l'Ours	Axe de l'antenne	969 450,2	140 955,4	4	"
Balise basse Rabiou	Axe	952 566,1	118 716,5	4	Fiche d'amer fournie
III.2. Points géodésiques placés par la M.O.M. en 1975 (fichés)					
Boulouris	Douille	962 067,1	133 514,5	0	M.O.M. 75
Réservoir Agay	Croix gravée	968 121,8	136 091,0	3	"
Points de l'Observatoire	Croix gravée	970 709,21	138 002,87	0	"
Tourelle de la Chrétienne	Axe	968 936,45	134 904,91	2	M.O.M. 75
Feu du port de St-Raphaël	Axe de la lanterne	958 316,65	134 373,16	1	"
Pointe des Issambres	Douille	954 955,66	125 836,74	0	"
Pointe de St-Aygulf	Douille	955 970,25	130 631,90	0	"
Feu rouge du port de Santa-Lucia	Axe de la lanterne	959 832,65	132 960,60	1	"
Feu vert de Santa-Lucia	Axe de la lanterne	959 150,99	133 679,95	1	"
Phare de la Baumette	Axe de la lanterne	966 957,76	135 225,74	1	"
Hangar Cacquot (B.A.N.)	Croix gravée	956 637,36	133 692,82	0	"
Réservoir St-Aygulf	Axe	953 680,9	129 365,3	3	"
Relais hertzien du mont Vinaigre	Axe de la tour	962 076,45	143 568,32	3	"
Viaduc d'Anthéor	Arche centrale	968 606,9	136 591,7	0	"
Feu du Lion-de-mer	Axe de la lanterne	959 233,98	132 644,11	1	I.G.N.
Obélisque St-Raphaël	Axe	959 122,80	133 931,54	2	M.O.M. 75
Immeuble Est St-Raphaël	Axe cheminée Est	958 814,75	134 390,44	2	"
Immeuble Ouest St-Raphaël	Dôme	957 420,57	134 328,36	2	M.O.M. 75
Villa remarquable	Mât antenne T.V.	956 286,47	133 058,76	2	"
Hôtel plage St-Aygulf	Centre	955 667,2	131 553,3	2	"
Kiosque de Boulouris	Axe	962 331,2	133 668,8	2	"
Maison du cap Roux	Axe de la cheminée Est	970 949,1	138 321,2	1	"
Tourelle de la Moutte	Axe	954 888,0	117 620,5	2	M.H.A. 59 (pour mémoire)
III.3. - Amers (d'origine diverses) fichés					
Château d'eau de la B.A.N.	Axe de la manche à air	956 639,1	133 913,7	3	I.G.N.
IV.1. - Port et rade de Toulon					
Notre-Dame-du-Mai	Centre de la plate-forme	885 951,8	89 805,7	2	Excellent site Trident
Centre d'entraînement de la flotte	mât	890 512,4	96 900,3	1	
	Repère en laiton	890 505,3	96 929,0	0	

Désignation	Repères	Coordonnées Lambert III		Classification amer	Observations
		X	Y		
Fort de l'Eguillette	Borne S.H.	890 838,8	95 264,7	0	
	Croix gravée n° III	890 834,9	95 264,7	0	
Tour de Balaguier	Axe du mât	890 941,5	94 587,1	1	
	Douille en laiton sur la pointe	890 954,8	94 588,0	0	
	Rivet scellé sur la terrasse	890 952,1	94 594,0	0	
Vigie de la D.P. Toulon	Douille en bronze	891 592,6	97 362,5	0	
	Mât de pavillon	891 592,4	97 363,9	2	
Feu vert de la grande jetée	Axe de la lanterne	892 103,1	94 060,8	2	
	Croix gravée	892 096,7	94 068,5	0	
Tour Royale	Repère en laiton	892 118,3	95 567,3	0	
	Mât de pavillon	892 116,5	95 582,5	1	
Tour de l'Horloge	Axe de la tour	892 171,7	97 767,8	1	
Sémaphore du cap Cepet	Mât de pavillon	893 491,4	93 056,1	3	
IV.2 — Amers d'origines diverses (Fichés par M.O.M.)					
St-Mandrier : phare de Cepet.	Axe de la lanterne	893 799,5	91 784,5	3	M.H.D. 54
St-Mandrier : feu rouge sur la digue	Axe de la lanterne	892 855,4	93 797,8	2	B.E.O. 70
V. — Amers de la côte méditerranéenne d'origines diverses fichés par la M.O.M. en 1975					
<i>De Marseille à St-Raphaël</i>					
<i>(Amers positionnés avec précision)</i>					
Ile de Tiboulon : feu	Axe	842 919,5	105 960,21	2	Point I.G.N. 69
Sémaphore de Callelongue	Axe	845 285,6	105 705,5	3	I.G.N. 54
Cassis : pointe de Port-Miou	Axe du mât	858 600,0	105 582,0	1	M.O.M. 75
Cassis : clocher de la paroisse	Base de la croix	860 044,7	106 830,8	1	I.G.N. 57
La Ciotat : tourelle de la Cassidaigne	Axe	861 039,1	99 048,9	4	I.G.N. 58
La Ciotat : Notre-Dame-de-la Garde	Axe du clocheton	864 687,9	101 540,1	1	I.G.N. 58
La Ciotat : villa Kéroz	Axe de la tour	866 260,8	103 193,6	1	M.H.A. 58
La Ciotat : feu blanc	Axe de la lanterne	966 287,55	102 150,75	2	M.H.A. 58
La Ciotat : tourelle Canonier Sud	Axe du voyant	866 339,6	100 914,1	2	M.H.A. 58
La Ciotat : feu du bassin des Capucins	Axe de la lanterne	866 343,5	103 182,5	1	M.O.M. 75
La Ciotat : villa des Tours	Clocheton pignon Ouest	866 569,5	103 421,0	1	M.H.A. 58
La Ciotat : balise de l'île Verte	Axe du signal	866 670,6	100 835,8	3	M.H.A. 59
La Ciotat : moulin St-Jean	Axe de la tour	867 572,3	103 908,0	1	M.H.A. 58
La Ciotat : vieux moulin St-Jean	Axe et sommet	867 596,1	103 967,3	1	M.H.A. 58
La Ciotat : château Bénet	Axe de la bâtisse	868 706	104 386	1	M.H.A. 58
La Ciotat : camping Sarita Gurta	Mât de pavillon	868 889,0	104 096,5	1	M.H.A. 59
Les Lecques : villa Igitur	Antenne T.V.	871 374,1	103 127,0	1	M.H.A. 58
Les Lecques : feu	Axe de la lanterne	872 087,42	103 216,87	2	M.H.A. 58
Les Lecques : tour de Tarente	Axe de la tour	872 799,05	101 658,40	1	M.H.A. 58
Les Lecques : villa les Sablons	Antenne sur la terrasse	872 841,5	102 860,3	1	M.H.A. 58
St-Cyr-sur-Mer : clocher	Base de la croix	874 281,6	103 458,5	1	I.G.N. 53

Désignation	Repères	Coordonnées Lambert III		Classification amer	Observations
		X	Y		
St-Cyr-sur-Mer : oratoire St-Jean	Base de la croix	875 708,0	102 068,4	2	M.H.A. 58
Bandol : clocher	Base de la croix	878 001,7	92 745,0	1	I.G.N. 58
Sanary : pointe de la Cride (toureille)	Axe du voyant	878 824,0	96 306,2	2	I.G.N. 58
Ile du grand Rouveau (phare)	Axe de la lanterne	879 332,8	92 525,3	4	I.G.N. 58
Les Embiez : Tour du château	Axe de la tour	880 558,6	92 202,2	2	I.G.N. 53
Sanary : pointe du Ban Rouge (tour)	Axe de la tour	881 089,0	96 282,3	1	I.G.N. 58
Sanary : église	Base de la croix	881 900,4	96 844,5	2	I.G.N. 58
Sanary : réservoir des Playes	Axe poteau électrique	883 785,0	96 628,5	2	M.O.M. 75
Fort de Six-Fours	Mât S.E.	885 088,1	95 235,5	3	I.G.N. 74
	Antenne N.W.	885 057,0	95 253,0	3	I.G.N. 74
Sémaphore du cap Sicié	Mât de l'ancien sémaphore	886 647,78	89 717,88	3	I.G.N. 52
Immeuble le Cypris (Les Sablettes)	Axe	889 178	93 426	2	M.O.M. 75
St-Mandrier : manche à air	Axe du pylône	892 889,0	93 614,5	1	M.O.M. 75
St-Mandrier : phare de Cépet	Axe de la lanterne	893 799,5	91 784,5	3	M.H.A. 54
La Garde : antennes du fort Sta-Marguerite	Antenne Ouest	897 278,5	96 048,5	2	M.O.M. 75
	Antenne Est	897 307,0	96 037,5	2	M.O.M. 75
Carqueiranne : mât du mont Paradis	Axe et sommet	904 074,0	96 394,1	2	I.G.N. 65
Carqueiranne : Clocher	Base de la croix	904 400,70	95 285,90	1	I.G.N. 53
Carqueiranne : château d'eau	Axe	906 634,2	95 690,0	2	I.G.N. 75
Grimaud : château les Mures	Axe tourelle Est	944 307,7	118 382,6	1	M.H.A. 59
	Axe tourelle Ouest	944 292,2	118 383,7	1	M.H.A. 59
St-Tropez : château d'eau	Axe tour cylindrique	948 647,0	116 191,8	2	M.H.A. 59
	Axe tour carrée	948 652,2	116 191,1	2	M.H.A. 59
Ste-Maxime : clocher	Axe	949 078,6	121 035,5	1	M.H.A. 59
Ste-Maxime : villa "Les Tourelles"	Flèche Ouest	949 187,5	121 246,2	1	M.H.A. 59
	Flèche Est	949 208,7	121 252,2	1	M.H.A. 59
St-Tropez : citadelle	Axe du paratonnerre	949 537,9	117 213,2	4	M.H.A. 59
St-Tropez : château "La Messardière"	Sommet du toit	950 789,2	115 175,5	3	I.G.N. 53
<i>De Marseille à St-Raphaël</i>					
Amers non positionnés avec précision (coordonnées déterminées graphiquement sur la carte I.G.N. 1/25 000)					
Cassis : feu rouge du port	Axe	859 630	106 510	2	
Cassis : maison avec clocheton	Axe du clocheton	859 740	106 700	1	
La Ciotat : réservoir	Axe	864 340	102 880	2	
La Ciotat : ancienne église	Axe du clocher	866 050	102 770	1	
La Ciotat : balise verte du port de plaisance	Axe du voyant	866 307	102 842	1	
La Ciotat : feu rouge du port de plaisance	Axe de la lanterne	866 350	102 825	2	
Bandol : tourelle La Fourmigue	Axe du voyant	878 180	97 830	3	
Bandol : feu rouge de la jetée	Axe de la lanterne	878 225	98 320	3	
Sanary : N.-Dame-de-la-Pitié	Axe	881 620	96 525	1	

Désignation	Repères	Coordonnées Lambert III		Classification amer	Observations
		X	Y		
Le Brusç : balise sur rocher Gueyrourard	Axe	882 060	91 180	1	
Le Brusç : clocher	Axe	882 223	92 000	1	
Six Fours : ancienne batterie du cap Nègre	Axe	882 357	94 885	1	
Cap Sicié : pylône T.V.	Axe	885 806,1	89 795,5	2	
Cap Sicié : feu	Axe	886 855,9	89 123,7	3	
Cap Sicié : batterie de Peyras	Axe du jalon	887 157	90 903,0	1	
La Seyne : pylône rouge et blanc de la gare	Axe	888 095	97 012	1	
La Seyne : cheminée de la Pyrotechnie	Axe	888 665	97 030	1	
Les Sablettes : feu vert du port St-Elme	Axe de la lanterne	890 032	92 485	1	
Mont Caume : relais T.V.	Radôme Ouest	890 098,1	104 560,7	1	
St-Mandrier : pilier de la grue	Axe	893 120	93 515	2	
Cap Brun : mât de la batterie basse	Axe	895 517	95 875	2	
Fort du cap Brun	Axe du mât	895 580	96 215	3	
Cap Brun : église N.D. du cap Facon	Axe	895 830	95 960	2	
Cap Brun : balise	Axe	895 870	95 980	1	
Anse de Magaud : balise	Axe	896 545	96 185	1	
Carqueiranne : cheminée de la mine de cuivre	Axe	901 108	93 563	2	
Carqueiranne : feu rouge du port	Axe de la lanterne	904 500	94 345	2	
Pointe de la Galère : balise	Axe	925 190	95 680	1	
Cavalière : chapelle de- Layet	Axe du clocher	932 162	102 865	1	
La Croix-Valmer : clocher	Axe	943 772	109 335	1	
La Croix-Valmer : hospice	Coin Sud-Ouest	944 660	107 798	1	
La Croix-Valmer : sanatorium Sylvabelle	Centre	944 960	107 802	2	
Beauvallon : Golf-Hôtel	Paratonnerre	946 230,4	119 050,5	3	
St-Tropez : moulin de Paillas (supérieur)	Axe	946 590	110 788	2	
Ramatuelle : clocher	Axe	947 270	110 715	1	
St-Tropez : tour du Portalet	Axe	949 085	117 355	2	
St-Tropez : tour Vieille	Axe	949 207	117 355	1	
Cap Camarat : château Voltera	Angle Sud-Est	951 132	109 087	3	
St-Peire-sur-Mer : hôtel Résidence	Angle Sud-Est	952 275	125 130	2	
St-Aygulf : château de la pointe des Cigales	Axe	955 585	130 080	2	

Annexe n° 2 à la 2^e partie

Positions des balises Trident I

1. Levés intermédiaires le long de la côte méditerranéenne métropolitaine.

Désignation	Coordonnées Lambert III		Alt. Z	Observations
	X	Y		
Sémaphore du cap Ferrat	1002 130,2	165 806,9		Aérien fixé sur le mât du sémaphore. Alimentation secteur à proximité. Excellent site.
Phare de la Garoupe	987 237,6	151 767,8		Aérien fixé sur la coupole du phare à 0,84 m dans le 150 du paratonnerre. La balise peut être abritée dans la coupole du phare. Le branchement électrique doit être effectué sur l'arrivée du disjoncteur alimentant la lanterne et non pas sur le circuit d'éclairage interne du phare. Autorisation préalable nécessaire.
Sémaphore du Drammont	952 425,5	109 382,0		Aérien fixé dans l'angle S.S.E. de la plate-forme. Alimentation électrique et balise dans la salle de veille. Site excellent.
Sémaphore de Camarat 2 positions : – jusqu'au 22 mai 1973 – à partir du 23 mai 1973	952 427,2 952 425,5	109 378,5 109 382,0	136 m	Excellent Site. Alimentation sur secteur. Facile d'accès en véhicule. Aérien fixé sur le mât. Aérien placé au centre de la plate-forme de la guérite (amélioration sensible des performances).
Sémaphore du Titan	939 596,7	91 768,4		Aérien fixé sur le mât. Alimentation électrique défectueuse et soumise à des sautes de tension importantes. Site à déconseiller. Prévoir une alimentation batteries
Sémaphore de Bénat 2 positions : – jusqu'au 8.8.73 – à partir du 8.8.73	927 277,0 927 278,3	96 012,4 96 013,6	193 m	Site excellent. Facile d'accès en véhicule. Alimentation secteur. Aérien fixé sur le mât de pavillon. Aérien porté par son propre mât et fixé dans l'angle intérieur de la rambarde dans le 45 à 1,76 m du mât.
Sémaphore de Porquerolle	917 145,0	85 308,3	150 m	Site excellent. Prévoir une journée pour installer une balise. Aérien fixé sur le mât de pavillon.
Sommet du Faron	894 796,8	100 374,7	566 m	Aérien au sommet de son mât posé sur le sol. Site utilisé pour les essais du Trident II. Se trouve situé un peu à l'intérieur des terres.
Sicié : Notre-Dame-du-Mai	885 941,3	89 792,9	350 m	Sites excellents. Alimentation secteur existante. Facile d'accès. Aérien à l'angle Sud-Est de la chapelle, le mât étant fixé sur les barreaux de la petite fenêtre. L'emplacement sur le sommet du toit est supérieur.
Sémaphore du Bec-de-l'Aigle	863 185,6	102 382,3	327 m	Site excellent - Alimentation secteur existante. Facile d'accès en véhicule.
Ponteau : cheminée de la centrale thermique E.D.F.	817 618,6	121 039,0	150 m	Site moyen. Alimentation secteur par l'intermédiaire d'un transformateur 380-220. Difficile d'accès. Il ne faut pas essayer de placer l'aérien au-dessus de la cheminée, les haubans et l'aérien lui-même sont détériorés par les fumées.

Désignation	Coordonnées Lambert III		Alt. Z	Observations
	X	Y		
Phare du Planier	835 172,5	104 015,8	71 m	Site excellent. Portée nettement supérieure à la portée optique. Difficile d'accès. Alimentation électrique existante.
2. — Levés côtiers :				
2.1. — Carte 5329.				
Mât du Yacht-Club du port d'Hyères	910 992,6	94 231,6		Site peu pratique Alimentation électrique existante.
Immeuble Simone Berriau	913 816,1	97 707,2		Site excellent. Alimentation électrique existante.
Tour du cap Nègre				Site peu utilisé. Balise détruite par la foudre.
Villa Amiradou	941 250,4	104 839,0		Site excellent. Le propriétaire de la villa est grincheux. Branchement électrique sur poteau E.D.F.
Verette (île du Levant) 2 implantations :				
Verette 1 (72)	936 856,3	80 526,1		
Verette 2 (73-74)	936 860,7	90 539,9		Site correct. Alimentation sur secteur par batteries et chargeurs. Difficile d'accès. Une journée ouvrable est nécessaire pour une intervention ou une visite.
2.2. Carte 5116				
Clocher des Stes-Maries 2 implantations :				
— jusqu'en juin 74	769 249,1	130 108,9	25 m	
— à partir de juin 74	769 254,9	130 109,8		Site correct. Difficultés pour obtenir l'autorisation du Service des Monuments Historiques. Alimentation électrique mauvaise et sujette à de grandes variations de tension. Transformateur 380V-220V nécessaire.
Phare de la Gacholle	780 762,30	130 774,75	20 m	Site correct mais pas d'alimentation secteur. Alimentation par batteries installées au pied du phare et échangées fréquemment. Prévoir un câble d'alimentation de 30 mètres. Aérien fixé sur la coupole du phare.
Phare de Beauduc	782 182,8	120 790,6	28 m	mêmes remarques que pour le phare de la Gacholle.
Phare de Faraman	790 525,90	119 914,50	45 m	mêmes remarques que pour le phare de la Gacholle.
2.3. — Abords de St-Raphaël				
Sémaphore de Camarat Sémaphore de Drammont	pour mémoire			
Hangar Cacquot (B.A.N. St-Raphaël)	956 633,4	133 694,0		Site correct. Alimentation électrique existante. Facile d'accès Aérien situé au sommet de son mât posé sur le toit du hangar.
Pointe de l'observatoire	970 709,2	138,002,9		Aérien fixé au bout de son mât posé à même le sol. Balise non abritée. Alimentation par batteries.

Nota. — a) Cet ensemble de sites Trident constitue une couverture Trident complète pour la zone du large depuis Menton jusqu'à l'embouchure du Petit Rhône. Les renseignements fournis permettent d'installer en une journée trois balises Trident le long de la côte pour une intervention urgente qui pourrait être demandée.

b) Les sémaphores constituent des sites Trident parfaits. La balise installée dans un sémaphore est gardiennée. Les bâtiments peuvent rentrer en liaison radio avec les sémaphoristes qui sont très serviables.

Troisième partie

CAMPAGNES OCÉANOGRAPHIQUES

CHAPITRE III.1.

CAMPAGNES OCÉANOGRAPHIQUES : GÉNÉRALITÉS

Entre le 1^{er} août 1972 et le 1^{er} novembre 1975, l'*Origny* a effectué trois campagnes majeures d'océanographie physique d'une durée approximative d'un mois.

— Campagne MEDMILOC 72 : 4 septembre - 23 septembre 1972.

— Campagne COBLAMED 73 : 17 septembre - 12 octobre 1973.

— Campagne HYDROMED A. Eté : 9 septembre - 18 octobre 1974.

et en outre la campagne HYDROMED A. Hiver : 4-9 février 1974 (annulée).

D'une façon générale, l'exécution des programmes fut pénible et les résultats obtenus décevants.

Trois causes principales à cet état de fait peuvent être dégagées :

— les campagnes furent trop espacées dans le temps et de trop courte durée pour pouvoir disposer à bord de l'*Origny* d'un personnel entraîné et d'un matériel parfaitement au point ;

— le mauvais état général de l'*Origny* n'a pas permis le plus souvent d'effectuer les programmes prévus sans interruptions dues à une avarie quelconque ;

— certaines mesures effectuées à l'aide d'une instrumentation vétuste, non au point (bathysonde Howaldt) ou fonctionnant mal (Sippican) furent rejetées de façon systématique réduisant d'autant le volume des résultats valables.

Ainsi la plupart des mesures effectuées au cours des deux premières campagnes ont été réalisées avec des bathysondes Howaldt. La rédaction de la campagne COBLAMED 73 a montré qu'il n'était pas possible de rédiger avec une précision suffisante les

mesures Howaldt. Les résultats de ces deux campagnes ont donc été très maigres.

La campagne HYDROMED A. Hiver a été annulée à la suite d'une avarie de turbosoufflante de l'*Origny*.

Seuls les résultats obtenus au cours de la campagne HYDROMED A. Eté, bien qu'interrompue par diverses avaries mineures, sont relativement consistants.

La description du déroulement des campagnes effectuées qui fait l'objet des chapitres suivants fait ressortir à l'évidence les trois causes d'échec citées. Il apparaît difficile dans l'état actuel des choses de remédier à cette situation, la fréquence des campagnes océanographiques semblant aller en diminuant et aucune amélioration sérieuse de l'état général de l'*Origny* ne paraissant envisagée.

Sur un plan plus pratique, nous pouvons retenir de l'expérience de ces campagnes les points suivants :

— il apparaît nécessaire de prévoir de façon systématique, l'embarquement d'un pharmacien chimiste pour encadrer les gradés ayant subi le stage « d'analyses chimiques de l'eau de mer » (Stage ACB). En effet, si ces gradés sont capables de manipuler les appareils et d'effectuer les analyses courantes, ils doivent être surveillés et encadrés pour la mise en route et l'étalonnage des appareils ;

— pour les mesures d'hydrologie classique à l'aide de bouteilles à renversement, l'utilisation de câbles de 6,3 mm de diamètre au lieu de câbles de 4 mm universellement utilisés ne nous paraît pas constituer un progrès et présente au contraire plus d'inconvénients que d'avantages (poids supérieur, traînée plus importante, etc.).

CHAPITRE III.2.

CAMPAGNE MEDMILOC 1972
(4-23 septembre 1972)

1. GÉNÉRALITÉS.

En septembre 1972, la M.O.M. a participé à la campagne MEDMILOC 72 dans le détroit de Sicile. Cette campagne était organisée par le Centre d'Océanographie Militaire de l'O.T.A.N. Elle était mixte et groupait à la fois des bâtiments scientifiques chargés des mesures d'environnement et des bâtiments de combat (escorteurs, sous-marins) effectuant des mesures d'acoustique sous-marine et des essais de détection.

Le Centre de Saclant (Saclantcen) se chargeait de l'exploitation de la totalité des mesures collectées.

Le rôle imparti à l'*Origny* consistait :

— à préciser la distribution de l'eau levantine intermédiaire dans le détroit de Sicile et au Nord de celui-ci.

— à mesurer le courant sur les seuils les moins profonds pour observer les flux à travers ces seuils.

— à étudier la variabilité dans le temps au point fixe sur les seuils et dans la zone d'opération.

L'I.A. Desnoës était directeur technique à bord de l'*Origny*.

2. DÉROULEMENT DES TRAVAUX.

Ils se sont déroulés en 2 phases distinctes séparées par une escale à Tunis.

Première phase : du 4 au 11 septembre.

— Exécution de « Time series » à la bathysonde Howaldt au voisinage du point TS₁ de coordonnées :

$$\varphi = 37^{\circ}28'N \quad G = 11^{\circ}09'E$$

(ce point était matérialisé par une bouée supportant une ligne de courantométrie mise en place par le *Maria Paolina*, bâtiment océanographique italien).

— Exécution de 15 stations hydrologiques à la bathysonde le long de 3 radiales parallèles situées sur le seuil occidental du détroit de Sicile (n° 73 à 87).

Deuxième phase : du 15 au 21 septembre :

— Mouillage le 18 septembre d'une ligne de courantométrie au point TS₂ ($\varphi = 35^{\circ}05'N$, $G = 14^{\circ}56',2$

N). Cette ligne supportait 3 courantographes : 2 courantographes Mécaboller de la Mission aux immersions 300 et 500 mètres, 1 courantographe Aanderaa de Saclantcen à l'immersion 50 mètres.

— Exécution d'une « time series » de 23 stations à la bathysonde à proximité du point TS₂ à raison d'une station toutes les 2 heures.

— Exécution d'une série de 10 stations hydrologiques à la bathysonde espacées de 5 milles le long d'une radiale en travers du seuil oriental du détroit.

3. LOCALISATION.

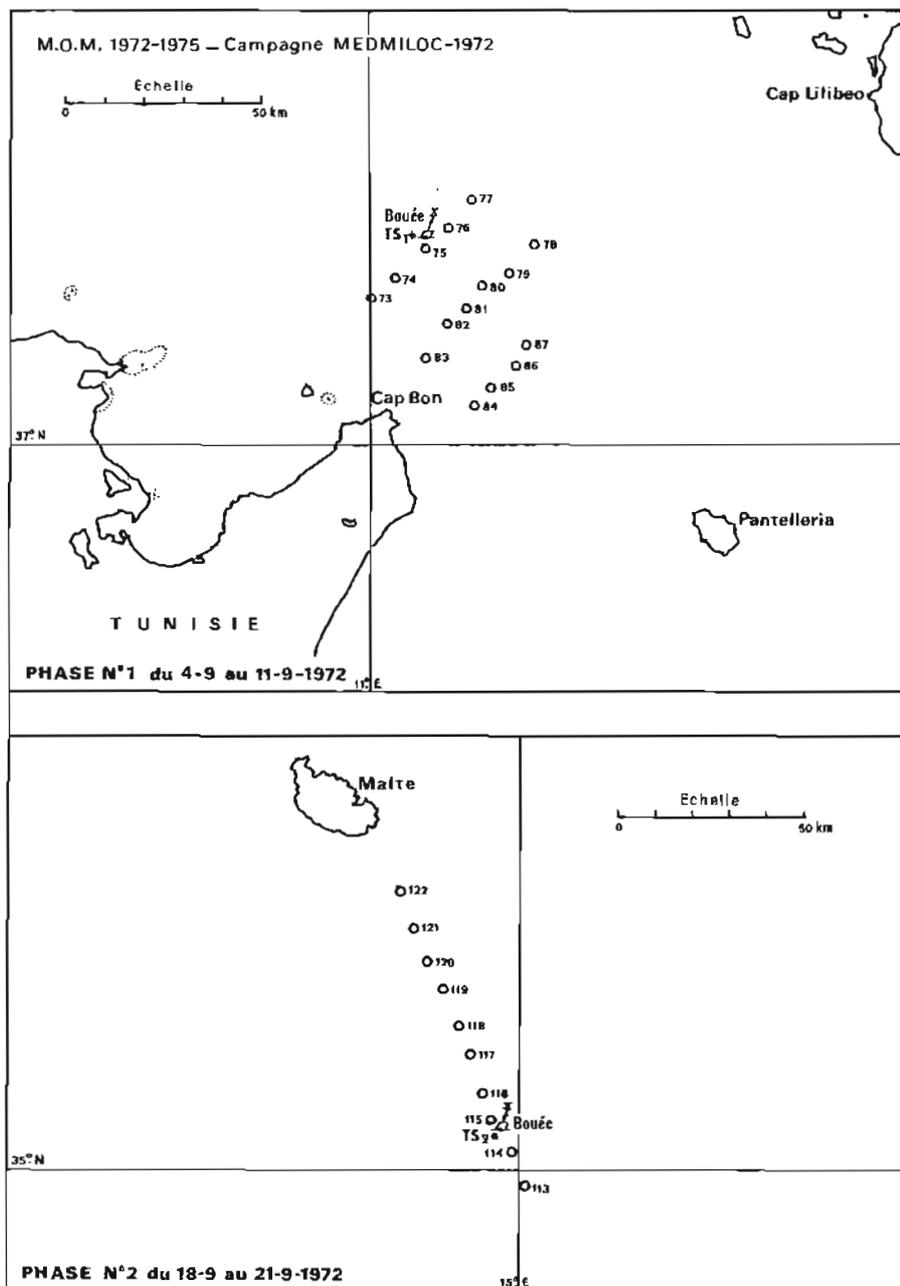
La chaîne Loran C couvrant la zone n'a pu être utilisée en raison du mauvais fonctionnement du récepteur de l'*Origny*. Les positions proviennent donc de l'estime et de la navigation astronomique. Le point TS₂ est un point observé optique.

**4. STATIONS HYDROLOGIQUES
EFFECTUÉS A L'AIDE
D'UNE BATHYSONDE HOWALDT.**

119 stations hydrologiques ont été effectuées à l'aide d'une bathysonde Howaldt. Celle-ci était équipée au départ d'un multi-échantillonneur permettant un échantillonnage *in situ* discret à chaque station. L'enregistrement numérique des fréquences paramètre était réalisé sur 2 téléimprimeurs montés en parallèle permettant d'obtenir la mesure simultanée de la température et de la conductivité. A la fin de la première journée de mesures, le multi-échantillonneur et un téléimprimeur sont tombés en avarie.

Une bouteille à renversement fut placée sur le câble au-dessus de la bathysonde pour remplacer le multiéchantillonneur, mais il ne fut pas possible d'obtenir la mesure simultanée des trois paramètres : pression, température, conductivité.

Le dépouillement des mesures, leur correction et transcription furent effectués avec beaucoup de



PL. III.1.

difficultés par l'I.A. Desnoës qui fit une évaluation statistique de la précision globale des mesures. Elle fut estimée à 0,05 °C pour la température, 8 décibars pour la pression et 0,07 ‰ pour la salinité.

Les résultats furent stockés sur bande magnétique et présentés sous forme d'un listing qui furent adressés à Saclantcen. Nous n'avons pas reçu à ce jour le rapport d'exploitation final effectué par ce centre.

5. COURANTOMÉTRIE.

Les deux dossiers de courantométrie constitués par les 2 courantographes Mécaboliier installés au point TS2, à 300 et 500 mètres d'immersion, portent les numéros de fichier respectifs 580 et 581.

Les observations ne furent pas de très bonne qualité.

CHAPITRE III.3.

CAMPAGNE COBLAMED 1973
(17 septembre - 12 octobre 1973)

1. GÉNÉRALITÉS.

Cette campagne, se situant en Méditerranée Occidentale dans le canal Provence-Corse, reprenait les thèmes de recherche de la campagne COBLAMED 69. Elle avait pour but essentiel d'étudier les réactions de la mer aux effets atmosphériques.

Patronnée par le Sous-Comité de recherche océanographique de l'O.T.A.N., elle fut organisée par le Professeur Lacombe, Directeur du Laboratoire d'Océanographie Physique du Muséum d'Histoire Naturelle de Paris. Elle fut exécutée avec le concours de moyens offerts par différentes nations de l'O.T.A.N. (Italie, Norvège, U.S.A., Grande-Bretagne, France).

La participation de la France comportait :

- le concours de la M.O.M.
- la mise en œuvre de l'instrumentation du Muséum d'Histoire Naturelle.

La campagne a débuté le 17 septembre et s'est terminée le 12 octobre. La participation de la M.O.M. a comporté 4 phases, une phase préliminaire préparatoire et trois phases d'exécution.

— Phase préliminaire (4 juin - 16 septembre) : Préparation du matériel.

— Phase d'exécution n° 1 (17-21 septembre) : Mise à disposition de l'*Origny* à l'équipe embarquée du Laboratoire du Professeur Lacombe pour le mouillage de 5 bouées océanographiques légères au centre du canal Provence-Corse.

— Phase d'exécution n° 2 (23 septembre - 2 octobre) : Couverture hydrologique du canal Provence-Corse.

— Phase d'exécution n° 3 (8-12 octobre) : Hydrologie au point fixe à proximité des bouées et récupération des 5 bouées.

L'exécution du programme qui était très chargé fut fortement perturbé par les circonstances défavorables suivantes :

- les conditions météorologiques mauvaises, en particulier au cours de la phase d'exécution n° 2;
- des difficultés de disponibilité opérationnelle des secteurs d'exercices de la Marine au large de Toulon pour l'exécution des stations hydrologiques.
- des pannes et avaries de l'instrumentation qui furent nombreuses.
- enfin un manque d'entraînement du personnel.

2. DÉROULEMENT DE LA CAMPAGNE ET TRAVAUX EFFECTUÉS.**2.1. Phase préliminaire.**

Elle eut pour objet essentiel :

- la mise au point du programme détaillé en liaison avec les autres participants.
- la préparation et la mise en place du matériel de mesure à bord de l'*Origny*.

De cette préparation, il faut retenir les actions suivantes :

— la préparation et la mise au point de deux poissons et deux ensembles de bord Howaldt. Une sortie d'essais et d'entraînement fut effectuée le 11 septembre. Cette sortie ne fut pas très concluante en raison du fonctionnement capricieux du multi-échantillonneur, et ne permit pas d'effectuer un étalonnage *in situ* correct de la bathysonde. Elle permit toutefois d'établir en fonction des conditions hydrologiques existantes une doctrine d'utilisation de la bathysonde.

— la mise en place d'une couverture Trident pour assurer la localisation de l'*Origny* près de côte. Les balises furent mises en place à Notre-Dame-du-Mai, à Verette, à la Garoupe et au sémaphore du cap Ferrat. Le projet d'installer des balises Trident en Corse fut abandonné en raison des difficultés qu'il présentait;

— l'installation d'un récepteur Toran 3G sur l'*Origny* pour l'utilisation éventuelle de la chaîne à 2 réseaux entretenue par le Service des Phares et Balises.

— la mise en place d'un marégraphe à Calvi, de façon à observer les variations de niveau du plan d'eau simultanément en 3 points : Nice, Toulon et Calvi.

— la réservation des secteurs d'exercices de sous-marins. Il aurait fallu obtenir pour effectuer la campagne d'hydrologie, la disponibilité totale des 2/3 des secteurs d'exercices, ce qui ne fut pas possible. Un accord fondé sur un routage précis de l'*Origny* fut passé avec l'Etat-Major local. Cet accord ne fut plus applicable dès que l'*Origny* prit du retard dans l'exécution des travaux, et constitua une gêne importante.

2.2. Phase d'exécution n° 1 (17-21 septembre).

Bien que gênée au début par le mauvais temps, cette phase fut pleinement réussie et permit de mouiller au centre du canal Provence-Corse 5 bouées océanographiques.

Bouée E :	$\varphi = 43^{\circ} 16' N$	$G = 08^{\circ} 02' E$	(position estimée)
Bouée C :	$\varphi = 43^{\circ} 00' N$	$G = 07^{\circ} 56' E$	
Bouée A :	$\varphi = 43^{\circ} 08' N$	$G = 08^{\circ} 10',5 E$	(position estimée)
Bouée D :	$\varphi = 43^{\circ} 20' N$	$G = 08^{\circ} 32' E$	"
Bouée F :	$\varphi = 43^{\circ} 52',5 N$	$G = 08^{\circ} 20' E$	"

Ces bouées supportaient 2 courantomètres Aanderaa à — 10 mètres et — 60 mètres. La bouée A portait en outre une chaîne de thermistances.

En fin de sortie 3 descentes bathysonde avec multiéchantillonneurs furent effectuées pour améliorer l'étalonnage *in situ*.

9 observations bathythermiques (Sippican) furent collectées aux heures synoptiques.

2.3. Phase d'exécution n° 2 (23 septembre - 1^{er} octobre).

Il s'agissait de réaliser au cours de cette phase une couverture hydrologique complète du canal Provence-Corse en réalisant 29 stations hydrologiques réparties sur 6 radiales Nord-Sud. Le courant de surface devait être observé au G.E.K. entre deux stations. Ce programme fut adapté légèrement, et l'exécution des stations hydrologiques fut dissociée de l'exécution des mesures en transit et en particulier des mesures G.E.K.

Ainsi l'*Origny* devait réaliser dans le minimum de temps les stations hydrologiques. Ce travail terminé, effectuer un parcours G.E.K. repassant par chaque point de station où un vecteur courant complet serait déterminé.

Chaque station hydrologique comportait ainsi :

- le lâcher d'une sonde Sippican.
- une station d'hydrologie classique à l'aide de bouteilles à renversement.
- une descente de la bathysonde munie du multiéchantillonneur jusqu'à 1 000 mètres.
- le lâcher de 100 cartes flotteurs.

En transit entre deux stations.

- une observation météo toutes les deux heures.
- le lâcher d'une sonde Sippican à mi-chemin entre deux stations.
- l'entretien systématique du sondeur.

En fin de campagne : Un parcours G.E.K. complet devait être effectué. L'exécution du programme fut perturbée par une avarie du groupe Ward Leonard des treuils d'hydrologie qui obligea l'*Origny* à rentrer réparer à Toulon, le mauvais fonctionnement du multiéchantillonneur et enfin les mauvaises conditions météorologiques à partir du 29 septembre qui contraignirent l'*Origny* à stopper les travaux le 1^{er} octobre.

Travaux effectués :

23 stations hydrologiques classiques (au lieu de 29), 7 d'entre elles sont toutefois incomplètes.

18 stations bathysonde.

29 lâchers de sonde Sippican.

22 lâchers de 100 cartes flotteurs.

Mesure en continu de la température de surface à l'aide d'une thermistance remorquée.

Entretien de la bathymétrie sur tous les trajets.

La planche n° III.2. fournit le plan des travaux effectués au cours de cette phase. 65 % environ du programme a pu être réalisé.

2.4. Phase d'exécution n° 3 (8-12 octobre).

Le programme de cette 3^e phase consistait pour l'*Origny* à prendre le relais du bâtiment italien le *Marsili* affecté à la surveillance des bouées et à les récupérer en fin de campagne. Cela nous a permis d'établir un petit programme de mesures à proximité des bouées qui fut défini comme suit :

— les 9 et 10 octobre : dans la journée, exécution de stations d'étalonnage *in situ* de la bathysonde.

Durant la nuit : exécution de parcours G.E.K. d'une longueur de 30 milles et espacés de 15 milles, perpendiculaires à l'axe du canal Provence-Corse et centrés sur la bouée centrale du dispositif de mouillage ;

— le 11 octobre : exécution d'une « time series » d'une durée de 24 heures au profit de l'équipe embarquée du Professeur Lacombe.

Travaux effectués :

Ils ont consisté en :

- une observation météo toutes les deux heures ;
- la mesure du courant G.E.K. suivant quatre radiales indiquées par la planche III.3. ;
- 13 stations bathysonde avec multiéchantillonneur ;
- enregistrement continu de la température de surface comme précédemment.

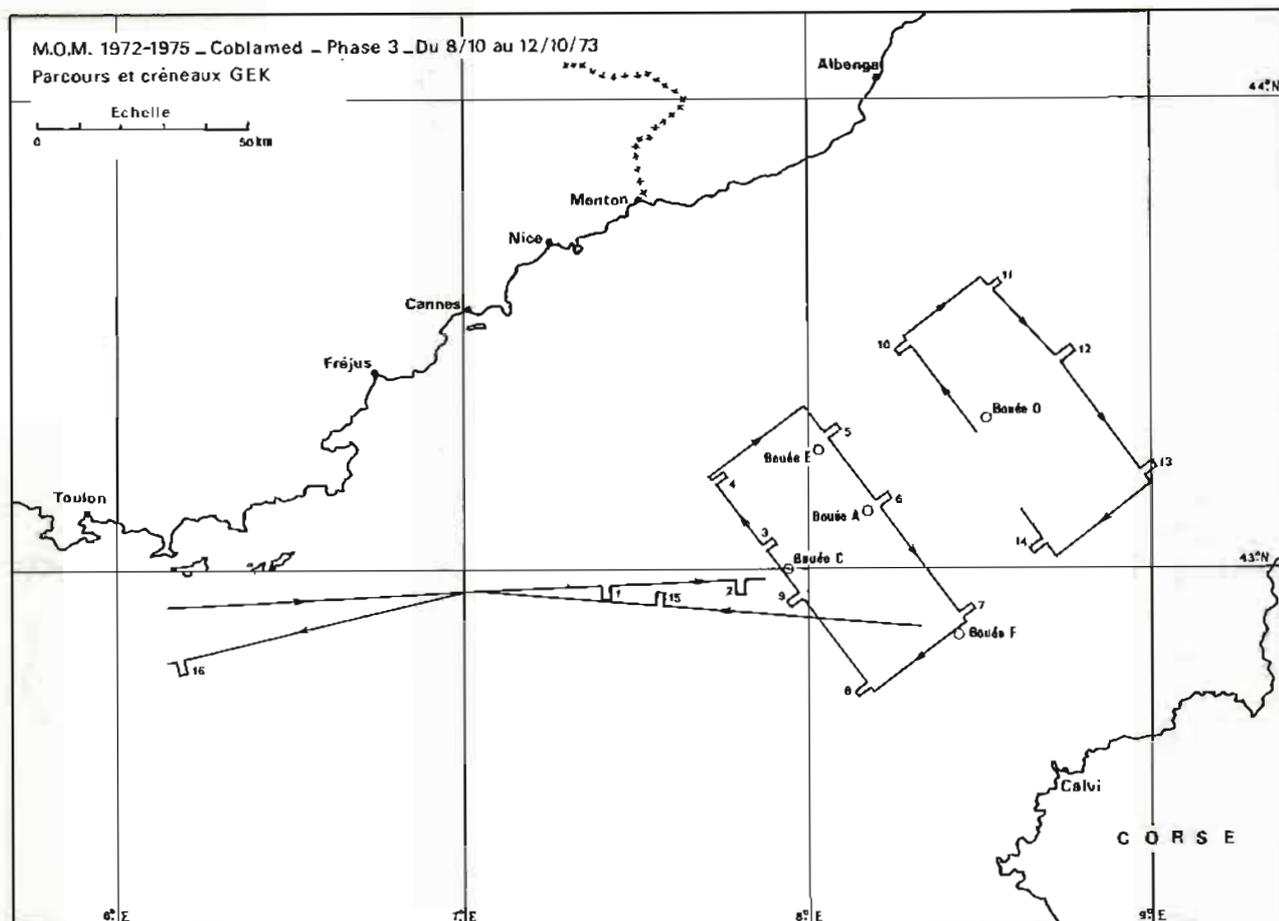
Le relevage des bouées s'est effectué par ailleurs sans problèmes.

3. OBSERVATIONS CONCERNANT LES MESURES EFFECTUÉES ET L'INSTRUMENTATION UTILISÉE.

3.1. Stations hydrologiques à l'aide de bouteille à renversement du Type N10.

Exécution et dépouillement :

Pour gagner du temps et de la qualité dans les mesures, les stations ont été effectuées de la surface



PL. III.3.

raison n'a pas été celui qu'on espérait et l'étalonnage *in situ* ne s'est appuyé que sur une vingtaine de points. Le traitement sur ordinateur d'un certain nombre de stations a été effectué par la Section « Océanographie » de l'E.P.S.H.O.M.

Les responsables de cette section ont conclu de façon formelle que les observations bathysonde, malgré tout le soin pris dans la collecte et le bon fonctionnement général de l'instrument, n'étaient pas bonnes et devaient être rejetées.

Cette constatation a entraîné la condamnation définitive des bathysondes Howaldt.

3.3. Navigation. Radiolocalisation.

La localisation devait être assurée par le Trident 1 pour les zones côtières et la chaîne Toran 3 G du Service des Phares et Balises. La planche III.4., indique les possibilités d'utilisation des deux systèmes.

L'interrogateur Trident 1 de l'*Origny* est tombé en panne le 29 septembre. La chaîne Toran 3 G fonc-

tionnant très mal n'a pu être utilisée. La localisation de l'*Origny* fut donc déterminée à partir de l'estime et des observations astronomiques.

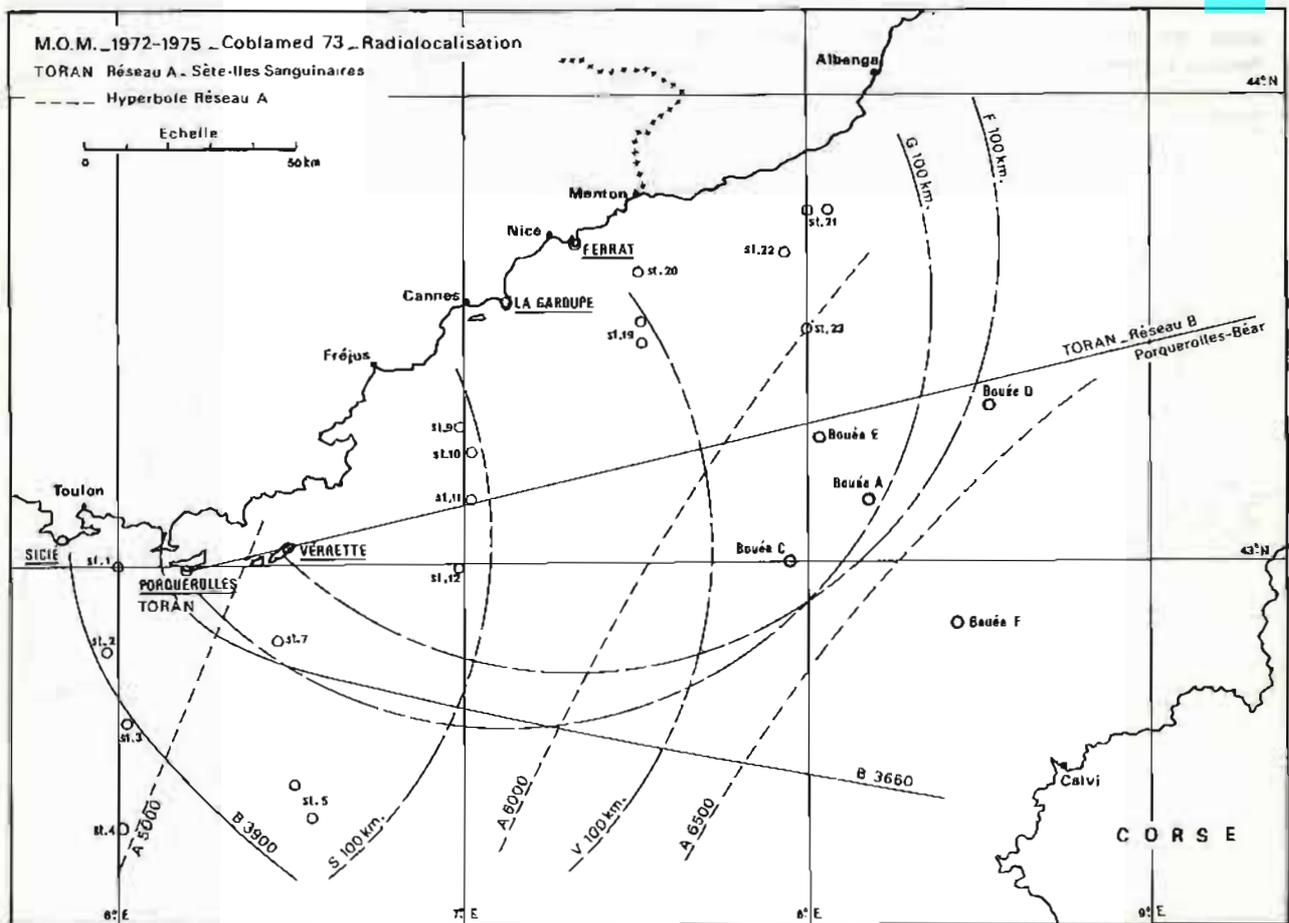
3.4. Divers.

Il n'y a rien de spécial à signaler au sujet des autres instruments utilisés (Sippican, G.E.K., etc.).

4. CONSTITUTION DU DOSSIER DE RÉDACTION DÉFINITIVE.

Les mesures sous bouées ont été rédigées par le Laboratoire d'Océanographie Physique du Muséum d'Histoire Naturelle, qui a produit un recueil des données.

Le dossier définitif des données collectées par la M.O.M. comprend les documents suivants :



PL. III.4.

4.1. Trois planches de navigation correspondant à chaque phase.

4.2. Courants G.E.K. :

4.2.1. Les imprimés de calcul et de dépouillement des observations.

4.2.2. Deux planches de courants visualisés.

4.3. Sondes remarquables : 1 minute.

4.4. Courants de surface déterminés à partir des données de navigation, trois planches correspondant aux trois phases.

4.5. Bathythermie :

1 listing et 1 tracé analogique de 31 relevés Sipican introduits au fichier « bathy » de l'E.P.S.H.O.M.

4.6. Hydrologie (phase d'exécution n° 2).

4.6.1. Listing des valeurs observées de 23 stations hydrologiques classiques.

4.6.2. Listing des calculs dynamiques associés.

4.6.3. Trace des isothermes aux immersions standard (17 planches).

4.6.4. Tracé des isohalines aux immersions standard (19 planches).

4.6.5. Tracé des iso-oxygènes aux immersions standard (18 planches).

4.6.6. Coupes de températures (6 planches).

4.6.7. Coupes de salinité (6 planches).

4.6.8. Coupes de teneur en oxygène (6 planches).

4.6.9. Isothermes de surface obtenues au thermomètre-seau.

4.6.10. Diagrammes T.S. classés par familles (4 familles = 4 planches).

4.6.11. Répartition planimétrique des familles (1 planche).

CHAPITRE III.4

CAMPAGNE HYDROMED ZONE A - HIVER (4-9 février 1974)

1. — GÉNÉRALITÉS.

La campagne HYDROMED Zone A. Hiver était la première d'une série de campagnes qui devaient avoir lieu dans la même zone à différentes saisons, de façon à compléter progressivement et de façon systématique notre connaissance du milieu en Méditerranée occidentale.

Elle débuta le 4 février 1974. Elle fut interrompue le 9 février à la suite d'une avarie grave de l'*Origny* (rupture de la turbo-soufflante du moteur babord). Elle n'a pu être reprise par la suite et a été définitivement annulée le 12 mars.

Le programme de la campagne était très analogue à celui de la phase d'exécution n° 2 de COBLAMED 73, mis à part le fait que l'utilisation de la bathysonde n'était pas prescrite.

Le plan des stations hydrologiques avait été également modifié et tenait compte des contours des secteurs d'exercices de sous-marin. Les radiales étaient orientées perpendiculairement à l'axe du canal Provence-Corse. 36 stations hydrologiques distantes de 20 milles constituaient le fond du programme à réaliser.

Le programme avait été divisé en deux phases distinctes dissociant les mesures faites en transit des mesures faites en station.

1^{re} phase : mesures en transit.

Le programme de cette phase comportait :

- un parcours G.E.K. le long des différentes radiales avec détermination d'un vecteur courant complet en chaque point de station ;
- un lâcher de sonde Sippican en chaque point de station ;
- un lâcher de 100 cartes flotteurs en chaque point de station ;
- une observation météo toutes les 2 heures ;
- le maintien en route permanent du sondeur pour détecter des hauts-fonds éventuels.

2^e phase : mesures en station.

Exécution de 36 stations hydrologiques classiques à l'aide de bouteilles à renversement.

La localisation était assurée à l'aide du système Oméga, fonctionnant en différentiel par rapport à un récepteur fixe, placé à bord de *La Recherche*. Les deux récepteurs nous avaient été aimablement prêtés par la Commission d'Etudes Pratiques des Matériels de Transmissions (C.E.P.TRANS).

2. — TRAVAUX EFFECTUÉS.

Du 4 au 9 février, l'*Origny* effectua 75 % du programme de la 1^{re} phase. Ces travaux furent interrompus par le mauvais temps du 6 au 8 février inclus qui obligea l'*Origny* à se mettre à l'abri sur coffre dans le golfe de Saint-Tropez.

Ce point fixe de 48 heures fut mis à profit pour tester la précision du système Oméga différentiel (voir note technique n° 2 en fin de rapport).

— 6 radiales sur 8 du parcours G.E.K. furent parcourues. 25 vecteurs courants complets furent déterminés.

— 28 sondes Sippican furent lancées ainsi que 2 800 cartes flotteurs.

3. — RÉDACTION DES TRAVAUX EFFECTUÉS

Le dossier de documents définitifs de rédaction était constitué des cinq planches suivantes :

Isothermes de surface obtenues au thermomètre-seau.

Isohalines de surface (échantillons provenant du thermomètre-seau).

Navigation : routes suivies.

Courants de surface (G.E.K.) associés aux vecteurs vent.

Sondes remarquables.

Une petite étude sur la précision du système Oméga reproduite en note technique n° 2 constitue probablement le résultat le plus intéressant de ce début de campagne.

CHAPITRE III.5.

CAMPAGNE HYDROMED ZONE A — ÉTÉ (9 septembre - 18 octobre 1974)

1. — GÉNÉRALITÉS.

Le programme de cette campagne était la répétition exacte de celui de la campagne précédente. Le parcours G.E.K. avait toutefois été légèrement modifié de façon à parcourir les trajets entre deux stations le long des radiales deux fois en sens inverse, et pouvoir ainsi moyenner les vecteurs courants obtenus et réduire ainsi leur dispersion. Ce procédé devait, en principe, rendre compte de façon plus exacte de la circulation de surface générale.

Cette campagne s'est déroulée en trois phases :

- une phase préliminaire de préparation et de mise en place et d'essai du matériel de mesure (9-16 septembre) ;
- une phase d'exécution n° 1 (19-27 septembre) comportant l'exécution des mesures en transit ;
- une phase d'exécution n° 2 (1^{er}-18 octobre) comportant l'exécution des stations hydrologiques.

2. — DÉROULEMENT DE LA CAMPAGNE ET TRAVAUX EFFECTUÉS.

2.1. Phase préliminaire de préparation.

L'immobilisation à quai de l'*Origny* du 9 au 16 septembre pour une visite d'attelage fut mise à profit pour mettre en place l'instrumentation nécessaire aux travaux. Deux journées à la mer avaient été réservées les 17 et 18 septembre pour tester le matériel et entraîner le personnel.

2.1.1. G.E.K.

Un équipement en état de fonctionnement fut constitué à partir de l'équipement utilisé au cours des campagnes précédentes et d'un équipement commandé à l'E.P.S.H.O.M., tous deux se trouvant en avarie.

2.1.2. Câbles et treuils d'hydrologie.

Les bathysondes Howaldt ayant été condamnées, le treuil Mécaboler qui était utilisé pour leur mise en œuvre fut équipé d'un câble d'hydrologie classique de \varnothing 6,3 mm. Cette précaution fut utile car,

au cours de la campagne, un incident dû à une fausse manœuvre du treuilliste mit momentanément hors d'usage l'un des treuils utilisés.

2.1.3. Localisation : récepteurs Oméga.

Comme pour la campagne précédente un récepteur Oméga fut prêté à l'*Origny* par la C.E.P.TRANS. Ce récepteur fonctionnait en différentiel à celui du bâtiment de soutien logistique *Rhin*, à quai à Toulon. Trois matelots de la mission assuraient les observations à bord du *Rhin*.

En début de campagne les corrections observées au point fixe étaient transmises à l'*Origny* deux fois par jour. Très rapidement cela parut insuffisant, et les corrections Oméga furent transmises toutes les heures de 08 h à 18 h, et toutes les 4 heures pendant la nuit.

2.1.4. Réservation des secteurs d'exercices.

L'adoption du nouveau plan des stations hydrologiques situées dans les zones frontalières des secteurs d'exercices interdites à la navigation sous-marine, a aplani dans de grandes proportions les difficultés rencontrées au cours des campagnes précédentes.

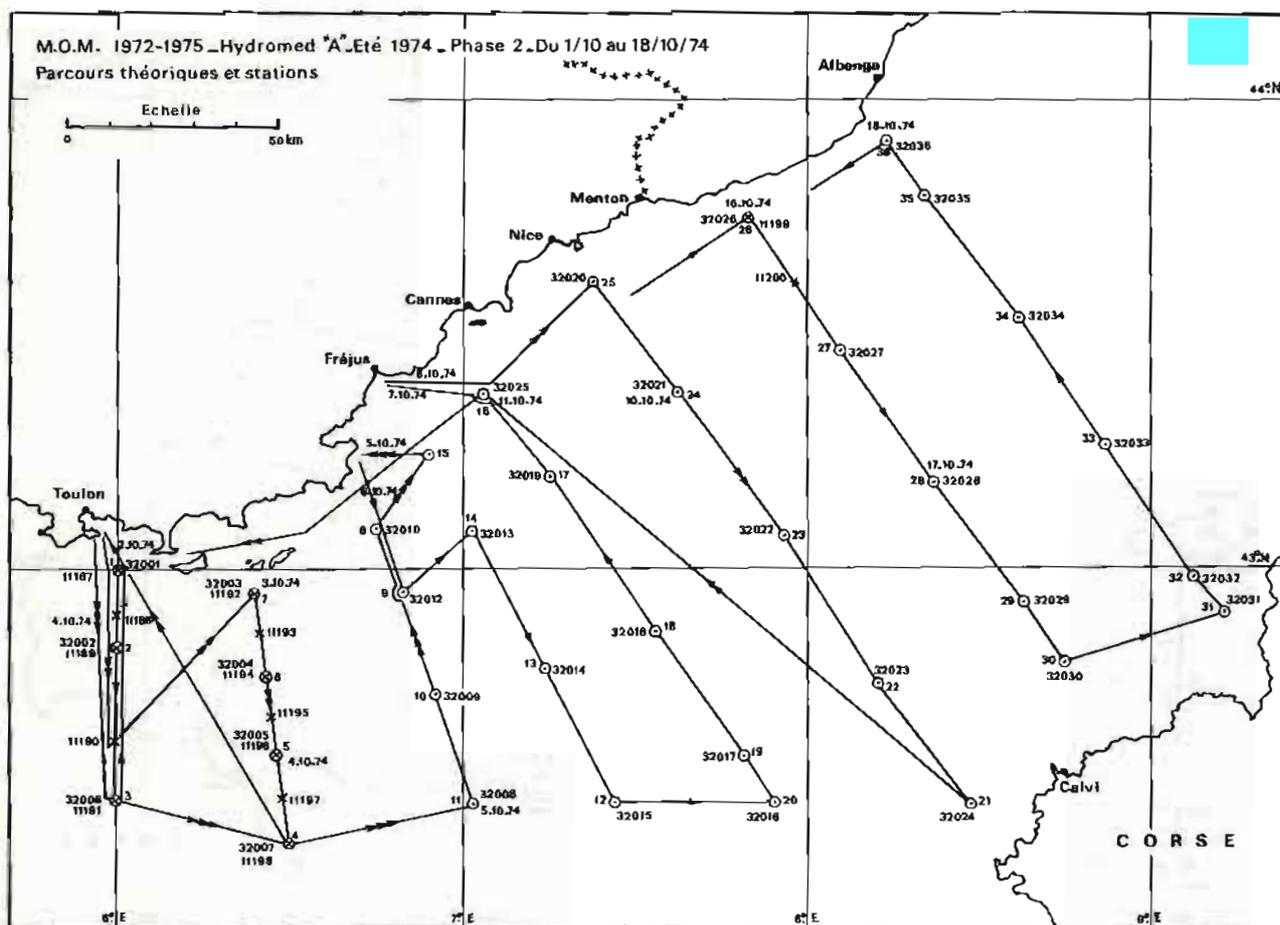
L'application d'une procédure conversationnelle au jour le jour entre l'*Origny* et le P.C. « Opérations » de la 3^e Région s'est avérée efficace. Malgré cela, l'*Origny* fut gêné à trois reprises par les opérations militaires, ce qui a occasionné un retard de 36 heures environ au déroulement de la campagne.

2.2. Phase d'exécution n° 1.

Les travaux effectués ne furent pas complets au cours de cette phase, celle-ci ayant été stoppée prématurément par suite du mauvais temps et d'avaries en cascade sur les injecteurs des moteurs de l'*Origny*. Elle a comporté un mouillage abrité à Calvi de 36 heures.

Trente-quatre parcours G.E.K. entre stations sur quarante-trois parcours effectués, ces parcours et les créneaux correspondants sont figurés sur la planche n° III.5. La météorologie fut observée toutes les 2 heures et 37 sondes Sippican ainsi que 41 × 10 cartes flotteurs furent lancées.

Cette phase s'est déroulée la plupart du temps par mauvais temps, voire très mauvais temps. Il



PL. III.6.

en station pour adopter les coordonnées de la station.

— 1 planche : cible Oméga à Calvi (36 heures d'observations) (cette cible est reproduite dans la note technique n° 2).

— 2 planches de navigation (phases 1 et 2) : routes suivies et positions des stations.

3.2. Courants de surface (G.E.K. - Phase 1).

— 1 planche : composantes latérales du courant le long des routes suivies (planche intermédiaire).

— 1 planche : vecteurs complets et composantes latérales moyennés.

— Imprimés de calculs et de dépouillement des observations G.E.K.

3.3. Bathythermie (pour mémoire).

— 51 relevés bathythermiques ont été traités et introduits au fichier « bathy » de l'E.P.S.H.O.M.

3.4. Hydrologie classique (37 stations).

— 2 cahiers « hydrologie-chimie » corrigés : ces cahiers renferment la totalité des observations en station reportées sur les imprimés mécanographiques 05-35.

— 2 exemplaires du listing résultant du traitement sur ordinateur des observations hydrologiques (TRADOC).

— 1 listing de calculs dynamiques (idem).

— 1 chemise contenant :

— le tracé des courbes

Pression-température (P.T.),

Pression-salinité (P.S.) ;

— les graphiques T.S. classés par familles (8 familles) ;

— les graphiques T.S. par station ;

— 1 fascicule contenant :

— les planches horizontales aux immersions standard des isolignes : T.S. et teneur en oxygène ;

— les coupes verticales des mêmes paramètres.

CHAPITRE IV.1.

ESSAIS PAR GRANDS FONDS D'UN LARGUEUR ACOUSTIQUE

**LARGUEUR A COMMANDE ULTRA-SONORE
FABRIQUÉ PAR LE GROUPE D'ÉTUDES SOUS-MARINES
DE L'ATLANTIQUE (G.E.S.M.A.)**

1. GÉNÉRALITÉS.

Du 16 au 19 avril 1974, l'*Origny* a procédé au large du cap Camarat aux essais par grands fonds d'un largueur à commande ultra-sonore (LUS 20) fabriqué par le G.E.S.M.A.

Ces essais ont été effectués en présence et avec l'aide des techniciens du G.E.S.M.A. Ils avaient pour but de tester, à différentes profondeurs et différentes distances, le bon fonctionnement du largueur lorsqu'il est excité par l'ordre acoustique émis, depuis la surface, par le bâtiment.

2. PLAN DE MOUILLAGE UTILISÉ.

Il est figuré sur le croquis de la page suivante (planche IV.1.). L'ancrage était assuré par deux gueuses de 50 kg. Immédiatement au-dessus de l'ancrage était maillé le largueur LUS 20, lui-même sustenté par des boules en pyrex (fabrication Sovirel), en nombre variable suivant l'essai, d'une poussée de 3,8 kg. Le poids dans l'eau du largueur était de 28 kg.

L'ensemble du bas de ligne était relié aux différentes bouées de surface par une tresse de nylon de 14 mm.

3. DÉROULEMENT DES ESSAIS.**3.1. Essais préliminaires.**

Des essais préliminaires de bon fonctionnement ont été effectués par petits fonds entre 40 et 100

mètres. Ces essais, au nombre de 3, ont été couronnés de succès pour des ordres acoustiques donnés à une distance de 500 à 600 mètres du point de mouillage. La vitesse de remontée a été ainsi estimée à 0,9 m/s pour un bas de ligne comprenant dix boules de pyrex.

3.2. Essais grands fonds.**3.2.1. Premier essai (2 400 m) et deuxième essai (1 000 m).**

Quinze boules de pyrex équipaient le bas de ligne. Les longueurs de ligne de nylon étaient respectivement de 2 600 m et 1 200 m.

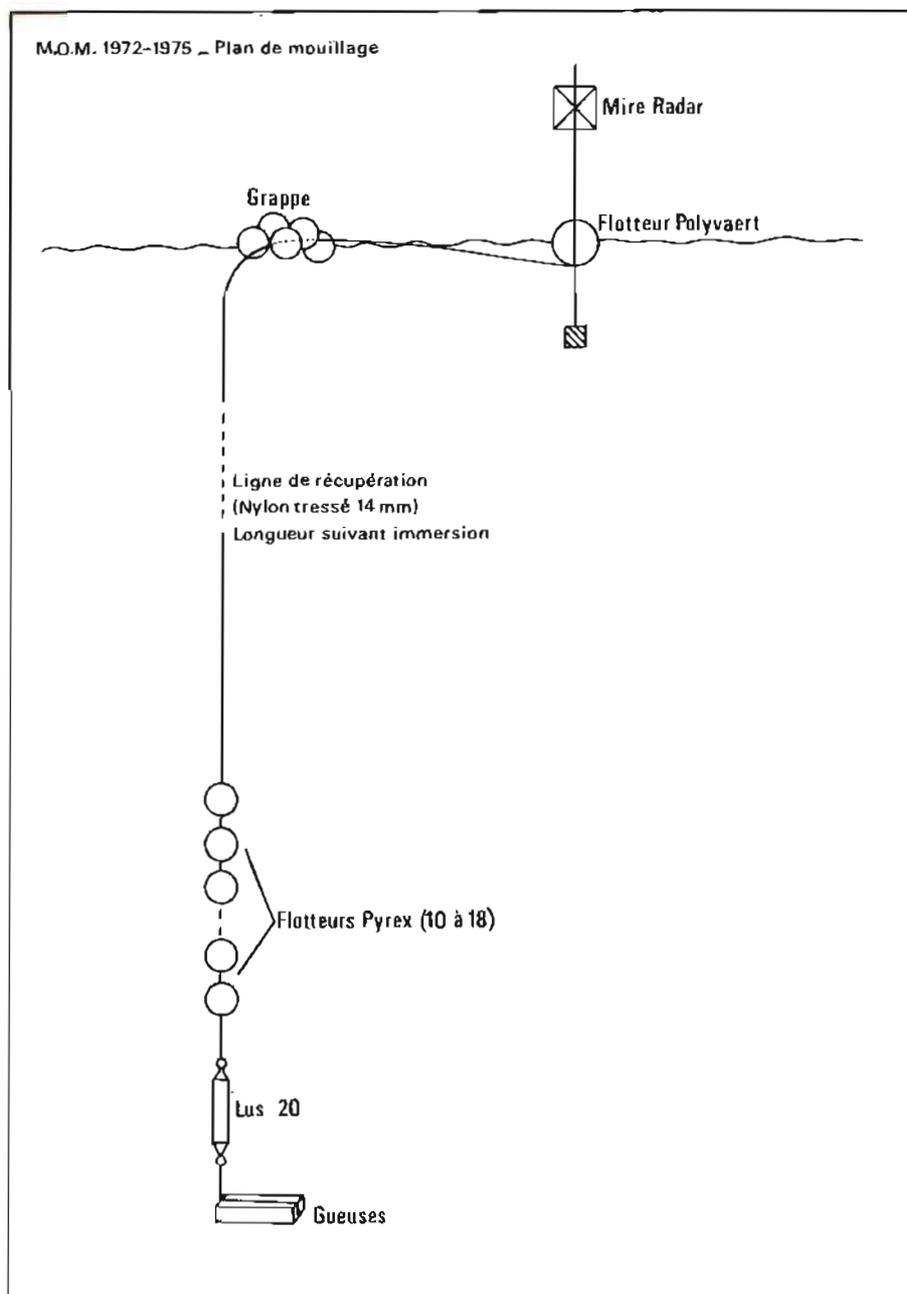
La mise à l'eau du mouillage faite suivant la technique dite « crapaud en dernier » ne souleva pour ces essais aucune difficulté. Les ordres acoustiques furent donnés à une distance de 1 500 m du point de mouillage.

Au cours de ces deux essais, le largueur n'est pas remonté de lui-même. A chaque fois, après une vaine attente de plusieurs heures, l'*Origny* décidait de remonter la ligne à partir de la bouée de surface. A chaque fois, vers la fin de la récupération, lorsqu'il restait encore 300 mètres environ de ligne à l'eau, les boules de pyrex faisaient surface, gueuses larguées.

Au cours de la remontée de la ligne, la tension était normale, ce qui signifie à mon avis que la commande acoustique avait été correctement transmise mais que les gueuses n'étaient réellement larguées qu'au cours de la remontée.

3.2.2. Troisième essai (1 200 m).

Pour cet essai trois boules de pyrex supplémentaires avaient été rajoutées sur le bas de ligne pour augmenter la poussée. Le mouillage fut mis en place cette fois « crapaud en premier ».



PL. IV.1.

Après un certain nombre de commandes acoustiques et une attente de 2 heures, il fut décidé de remonter comme précédemment le mouillage. Peu après le début du treuillage la tension augmenta progressivement et la ligne de nylon cassa.

Des recherches d'une durée d'une douzaine d'heures autour du point de mouillage ne permirent pas de retrouver le bas de ligne resté très probablement accroché au fond à la suite du non fonctionnement du largueur.

La perte du largueur interrompit les essais.

4. CONCLUSION.

Le largueur acoustique LUS 20 du G.E.S.M.A. fonctionne correctement par petits fonds.

Par grands fonds la commande acoustique paraît être transmise au largueur correctement mais, pour une raison inconnue, la ventouse qui largue le crapaud ne fonctionne pas.

La mise au point de ce matériel n'a pas été, semble-t-il, poursuivie par le G.E.S.M.A.

CHAPITRE IV.2.

ESSAIS DU MATÉRIEL TRIDENT II

1. GÉNÉRALITÉS.

1.1. La Mission Océanographique de Méditerranée a procédé, du 20 août au 6 septembre 1974, aux essais de recette du prototype de système de radiolocalisation circulaire Trident 2 construit par la Thomson-C.S.F.

Ces essais se sont déroulés en trois phases bien distinctes :

— une première phase sur base fixe comprenant entre autres la calibration et l'harmonisation des balises répondeuses et de l'interrogateur.

— une phase à la mer, à bord de *La Recherche*, comportant notamment les essais de portée, de saturation éventuelle et une évaluation de la précision absolue du système.

— une opération aéroportée (véhicule se déplaçant à grande vitesse) qui avaient pour but de déceler des effets de traînée éventuels sur la mesure des distances.

1.2. Au cours de ces essais qui ont permis au personnel de la M.O.M. de s'acclimater à la mise en œuvre de ce nouveau matériel, un certain nombre de comparaisons avec le système Trident 1 ont pu être faites. De même, il a été possible de formuler un certain nombre d'observations concernant la présentation du matériel et sa fiabilité.

Les essais ont eu lieu en présence de représentants de la Thomson-C.S.F. Le protocole d'essais avait été établi par l'I.C.A. Bonnot, Directeur de la M.O.M., en accord avec l'I.C.A. Piéretti, Chef de la Section « Instruments » de l'E.P.S.H.O.M. au cours d'une réunion préliminaire. Ce protocole n'était bien évidemment que la traduction en termes d'opérations des spécifications techniques.

1.3. Ces essais, et notamment ceux à la mer, les plus importants, ont été fortement perturbés.

— d'une part par le mauvais temps qui a bouleversé le déroulement logique du programme prévu.

— d'autre part par un certain nombre d'avaries sur les balises, imputables à des défauts d'alimentation des balises installées à terre. Ceci correspondait toutefois aux conditions d'utilisation habituelles en campagne hydrographique.

2. PRÉSENTATION DU MATÉRIEL.

Le Trident 2 est une modernisation technologique du Trident 1. Le principe de fonctionnement est

identique et ce nouveau matériel est parfaitement compatible avec le Trident 1.

Il consiste à mesurer le temps qui sépare l'émission d'un signal d'interrogation d'une balise répondeuse de la réception du signal de réponse de cette balise.

Quatre balises interrogées sur des codes différents peuvent être utilisées, permettant de déterminer la position de l'interrogateur par intersection de 2, 3 ou 4 lieux de distance.

Les améliorations apportées au Système Trident 2 par rapport au Système Trident 1 résident :

— d'une part, dans le principe de la restitution des mesures de distances effectuée par un système entièrement numérique remplaçant la poursuite mécanique du Trident 1 et la digitalisation des informations distances permettant l'exploitation des données sur calculateur.

— d'autre part, dans l'allègement du matériel et la réduction de la consommation obtenus par l'emploi systématique de circuits intégrés.

Pour disposer d'une information plus large et plus précise le lecteur pourra se rapporter à la notice détaillée publiée par la Thomson-C.S.F. (*). Quant à nous, nous retiendrons pour la compréhension de l'exposé des essais effectués les points suivants :

— l'interrogateur Trident 2 permet de mesurer 4 distances à 4 balises répondeuses commutables à volonté.

Seules 3 distances affichées en mètres sont visualisées sur le coffret de commande et de visualisation.

— Au cours des essais, l'interrogateur était relié à une imprimante Ferisol permettant au top de mesure d'imprimer les 4 distances mesurées (y compris celle qui n'est pas visualisée).

— Le quantum de mesure annoncé par la Thomson C.S.F. est de deux mètres.

— La distance imprimée ou lue sur le coffret de commande est le résultat de la moyenne d'un certain nombre d'interrogations choisi par l'opérateur, entre les 3 possibilités suivantes : 16, 120 et 512. Une boucle de poursuite du second ordre permet en principe de supprimer les erreurs de trainage dues à la vitesse du véhicule porteur.

— Les boîtiers secteurs d'alimentation, des balises Trident 2, n'ayant pas été confectionnés pour la date du début des essais, celles-ci ont été alimentées à l'aide des boîtiers secteurs des balises Trident 1.

(*) Thomson C.S.F. : Division Equipements Avioniques et Spatiaux, 178, boulevard Gabriel-Péri, 92240 Malakoff.

3. PREMIÈRE PHASE DES ESSAIS : FONCTIONNEMENT SUR BASE FIXE.

La première phase (19-26 août 1974) a été laissée à la disposition des représentants de la Thomson C.S.F. pour effectuer :

- les ultimes essais de fonctionnement après déballage du matériel à Toulon;
- la calibration fine de l'interrogateur Trident 2 sur une base fixe à trajet maritime.

Cette base, d'une longueur de 16 515 mètres, est celle traditionnellement utilisée par la M.O.M. pour calibrer en début de campagne sa chaîne Trident 1.

Les deux extrémités de cette base sont : le sémaphore de Bénat et la casemate de la pointe de l'Esterel (Giens-La Badine).

La calibration d'une chaîne Trident sur une base de longueur connue consiste à retourner de façon concomitante les réglages de l'ensemble des balises et des interrogateurs afin de minimiser les erreurs de mesure de distance pour l'ensemble des combinaisons possibles. Cette calibration terminée, on obtient, par interrogateur, un tableau d'étalonnage constitué des erreurs résiduelles qu'il n'a pas été possible de réduire :

En général, ces erreurs résiduelles sont inférieures à 10 mètres et considérées négligeables pour les besoins courants de l'hydrographie.

3.1. Pour le matériel Trident 2, le tableau d'étalonnage résiduel, obtenu le 26 août à 18 h 30, se traduisait comme suit :

N° de balise	Code A	Code B	Code C	Code D
Trident 1 n° 09	- 3 m	+ 2 m	+ 2 m	Pas de Code D sur le Trident 1
Trident 1 n° 11	- 4 m	+ 1 m	- 1 m	"
Trident 2 n° 01	- 1 m	+ 2 m	+ 1 m	0
Trident 2 n° 02	- 2 m	0	+ 2 m	+ 3 m
Trident 2 n° 03	- 1 m	+ 1 m	+ 2 m	+ 1 m

Convention de signe :

Les chiffres indiqués dans ce tableau sont les différences entre la distance Trident mesurée et la longueur réelle de la base.

3.2. Les essais de fonctionnement sur base fixe ont été mis à profit pour effectuer un essai d'endurance de 17 heures de fonctionnement continu.

Comme on recevait à la fois :

- la balise du sémaphore de Bénat;

- la balise Trident 1 de la chapelle du Cap Sicié;
- la balise Trident 1 du sémaphore du Bec-de-l'Aigle.

Il a été effectué, toutes les 5 minutes, un top de lecture des distances de l'interrogateur à ces trois balises pour observer une dérive éventuelle des mesures.

Les résultats obtenus sont figurés sur la planche n° IV.2. ci-après. On note ainsi des fluctuations de quelques mètres, plus importantes pour la distance au sémaphore du Bec-de-l'Aigle, ce qui paraît tout à fait normal étant donné que le trajet entre l'interrogateur et cette balise est pratiquement entièrement terrestre.

Il faut noter également, à ce stade des essais, la réelle compatibilité, sans intervention préalable quelconque sur le matériel, des balises Trident 1 et de l'interrogateur Trident 2.

3.3. Le 24 août, la balise Trident 2 n° 01 est tombée en panne. Cette panne était due à la rupture d'un fil dans l'alimentation incorporée de la balise. Ce fil s'est rompu à la suite des manipulations d'ouverture et de fermeture de la face avant du coffret. Une solution définitive qui modifierait légèrement le plan de câblage de la balise a été immédiatement apportée par les techniciens de la Thomson C.S.F.

4. ESSAIS A LA MER.

Ils ont comporté :

- les essais de portée (de jour et de nuit);
- les essais de saturation;
- l'observation et l'évaluation de la directivité des nouveaux aériens de balise Trident 2.
- l'évaluation de la précision absolue du système, ce dernier point étant de loin le plus important.

Les essais en vedette (résistance de l'interrogateur aux vibrations d'un moteur Diesel tournant à bas régime) n'ont pas été effectués parce que les « Silent blocks » Vibrachoc prévus pour supporter et protéger l'interrogateur n'avaient pas été livrés.

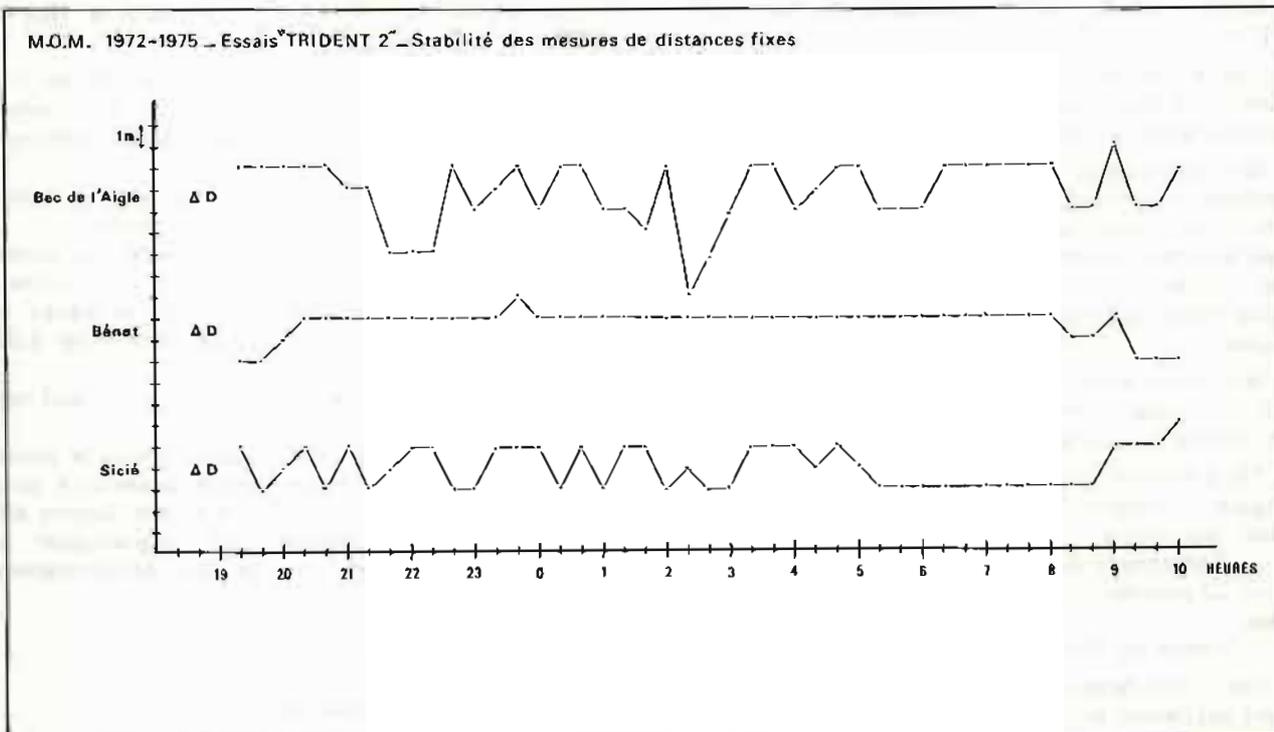
4.1. Implantation des balises.

Pour effectuer les essais à la mer, 7 balises Trident 1 et 2 avaient été mises en place entre Toulon et les Saintes-Maries-de-la-Mer (voir planche n° IV.3) :

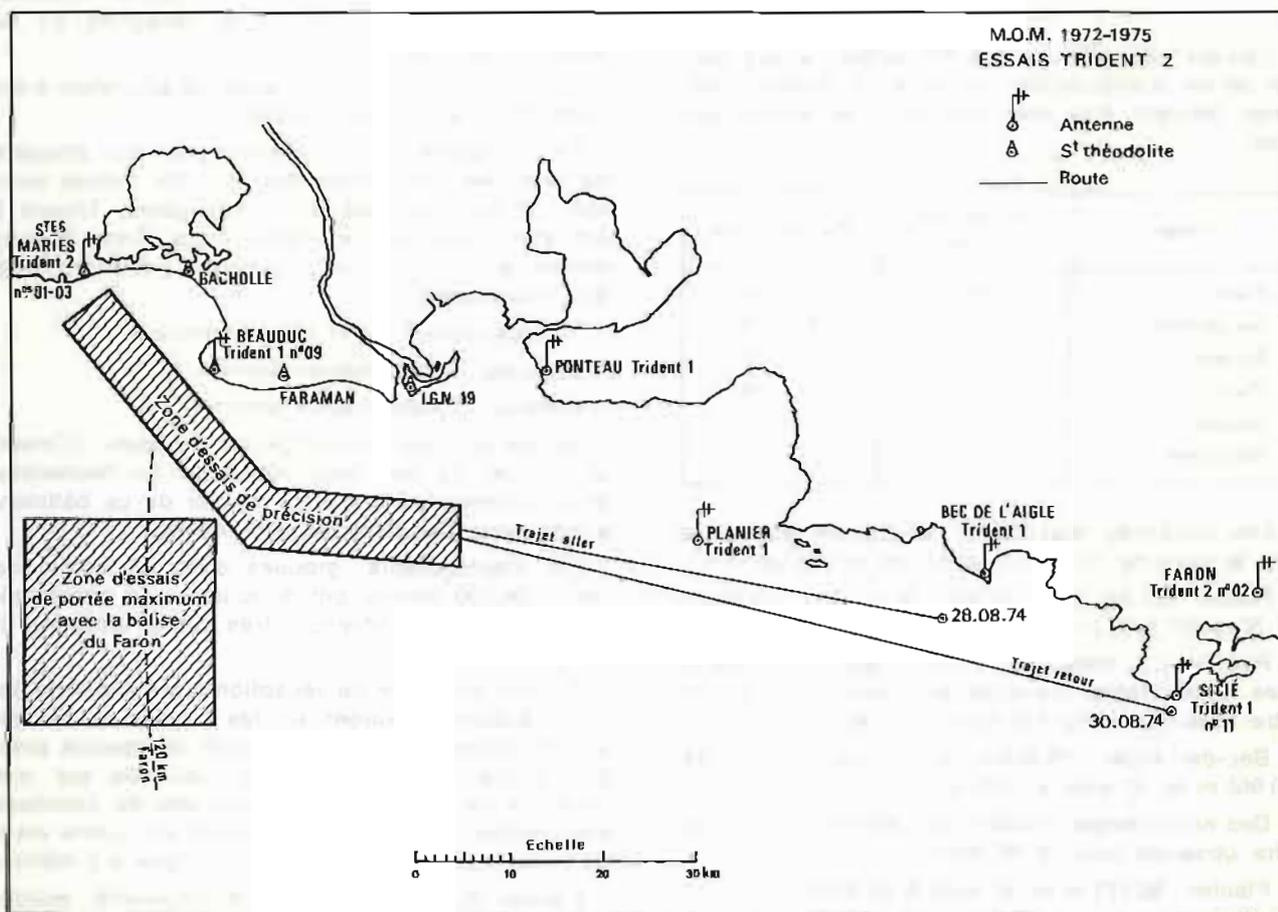
Balises Trident 2 n° 01 et 03 : clocher des Saintes-Maries (alt. : 24,5 m).

Balise Trident 2 n° 2 : sommet du Faron (alt. : 566 m).

Balise Trident 1 n° 9 : phare de Beauduc (alt. : 28 m).



PL. IV.2



PL. IV.3.

Balise Trident 1 n° 11 : chapelle de Sicié (alt. : 350 m).

Ces 5 balises sont celles qui ont été calibrées avec l'interrogateur Trident 2 au cours des essais préliminaires sur base fixe.

On remarquera que l'implantation des balises réalisée permettait d'obtenir la mesure de distances Trident très importantes au voisinage de la côte des Bouches-du-Rhône, zone où l'on pouvait disposer facilement de points optiques précis et par suite tester le Trident 2 sur ses performances maximales.

Malheureusement, la balise Trident 1 n° 11 placée sur la chapelle de Sicié n'a jamais fonctionné et est restée en avarie jusqu'à la fin des essais.

Trois balises Trident 1, non calibrées avec l'interrogateur Trident 2 étaient également disponibles pour les essais et installées aux points suivants :

- Sémaphore du Bec-de-l'Aigle.
- Cheminée de la centrale thermique du Ponteau.
- Phare du Planier.

Les coordonnées Lambert III, de toutes ces balises sont rappelées en annexe IV.2.1. à ce chapitre.

4.2. Essais de portée.

Les portées optiques des différentes balises, pour un aérien d'interrogateur situé à 20 mètres d'altitude, peuvent être résumées dans le tableau suivant :

Balise	Altitude de l'aérien	Portée optique
Faron	566 m	94,4 km
Bec-de-l'aigle	327 m	80,5 km
Ponteau	150 m	61,5 km
Planier	71 m	37,2 km
Beauduc	28,3 m	27,1 km
Stes-Maries	24,5 m	26 km

Les distances maxima à ces balises, mesurées par le système Trident 2, sont les suivantes :

Faron : 107 840 m le 28 août à 11 h 24; 114 087 m le 30 août à 02 h 02.

Pour ces 2 distances, l'accrochage était stable. Des accrochages instables et intermittents purent être observés entre 115 850 m et 135 000 m.

Bec-de-l'Aigle : 78 914 m le 28 août à 11 h 44; 93 965 m le 30 août à 03 h 36.

Des accrochages instables et intermittents ont pu être observés jusqu'à 99 000 m.

Planier : 92 271 m le 30 août à 05 h 05.

Accrochages instables et intermittents jusqu'à 94 160 m.

Saintes-Maries : 42 654 m le 28 août à 10 h 48; 61 220 m le 31 août à 04 h 30.

Il n'apparaît pas possible, à l'examen de ces portées observées, de dégager des conclusions quantitatives très sûres. Les seules conclusions que l'on puisse tirer sont :

- la portée de 100 km imposée par les spécifications techniques est largement atteinte;
- il n'a pas été possible de tester la portée limite de 262 km annoncée par le constructeur parce qu'il serait nécessaire d'élever la balise ou l'interrogateur à une altitude de l'ordre de 4 500 mètres;
- la portée semble être meilleure de nuit que de jour;
- la portée est de 20 % supérieure à la portée optique. Cette proportion semble supérieure pour les balises à faible altitude. De toutes façons elle doit dépendre énormément de l'implantation de l'aérien de la balise et de son environnement immédiat.

4.3. Essais de saturation.

Pendant deux jours, l'*Origny*, l'*Octant* et *La Recherche* ont interrogé simultanément les balises Trident en fonction sans que l'on puisse constater des anomalies quelconques de réception ou de mesures de distance.

Ceci ayant été constaté, l'essai de saturation a été conduit de la manière suivante :

La Recherche a mouillé aussi près que possible de la balise des Saintes-Maries (1 500 mètres environ). Toutes les voies de l'interrogateur Trident 2 ont été calées sur le même code. Trois balises situées à des distances différentes pouvaient ainsi être interrogées :

Saintes-Maries : 1 500 mètres environ;

Beauduc : 15 000 mètres environ;

Ponteau : 49 000 mètres environ.

Venant du large, interrogateur en route, l'*Octant* et l'*Origny* se sont rapprochés de *La Recherche* et ont commencé à tourner autour de ce bâtiment à une distance d'environ 200 mètres.

Six interrogateurs, groupés dans un cercle de rayon de 500 mètres, ont donc interrogé simultanément des balises situées à très faible, moyenne et grande distance.

Aucune anomalie de réception n'a été constatée. Les distances mesurées sur les 4 voies du Trident 2 sont restées égales au quantum de mesure près, c'est-à-dire que la différence maximale sur une trentaine de points entre les mesures de distances simultanées à une même balise sur les quatre voies de l'interrogateur est inférieure ou égale à 2 mètres.

L'essai de saturation a été considéré acquis. Le système Trident 2 permet l'utilisation simultanée, sans perturbation, d'au moins 6 interrogateurs.

4.4. Essais de directivité d'antenne.

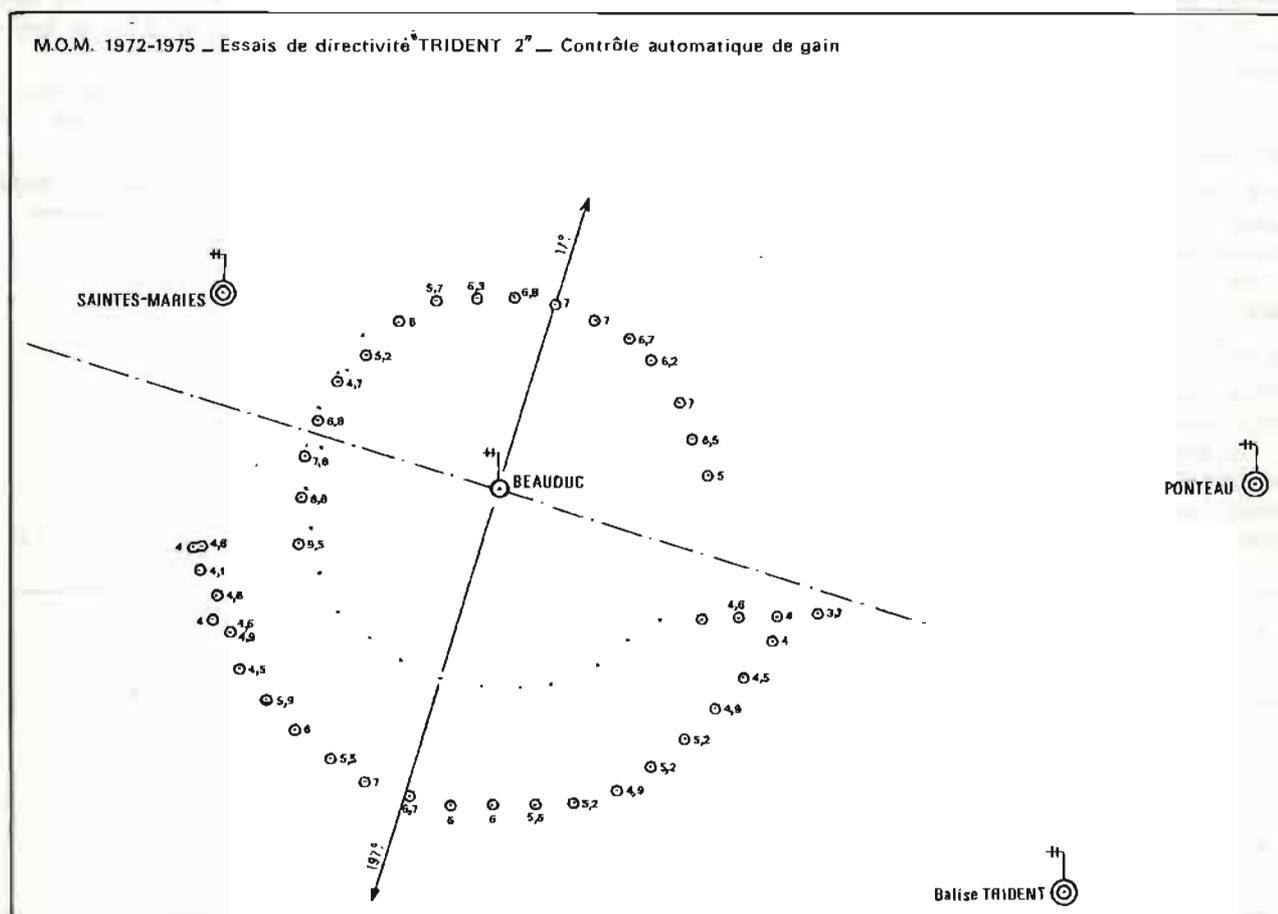
Le but de cet essai était d'observer la variation du niveau de réception de l'interrogateur lorsque ce dernier décrit un cercle complet autour de l'aérien d'une balise. Pour le réaliser, un aérien Trident 2 fut placé au sol à la pointe de Beauduc.

Dans un premier temps, cet aérien fut orienté

au 197 et *La Recherche* effectua un premier demi-cercle autour de la balise. Puis l'aérien fut retourné de 180 degrés et *La Recherche* effectua un nouveau demi-cercle.

Pendant ces trajets, de point en point, la valeur du C.A.G. (Contrôle Automatique de Gain) caractéristique du niveau de réception, était systématiquement relevée.

La planche n° IV.4. fournit les résultats obtenus.



PL. IV.4.

4.5. Evaluation de la précision absolue du Système Trident 2.

Cette évaluation constituait la partie la plus importante des essais de recette du matériel Trident 2.

Il est important de rappeler ici les spécifications techniques à ce sujet :

— L'écart quadratique moyen des erreurs de mesure de distances ne doit pas dépasser 6 mètres.

— L'erreur maximum, par rapport à la position réelle déterminée par des méthodes plus précises, ne doit pas être supérieure à 10 mètres.

Cette évaluation a été faite en comparant la distance observée Trident 2 à la distance théorique calculée entre la balise définie par ses coordonnées X, Y, Z et la position de l'antenne du bâtiment déterminée par 2 ou 3 visées au théodolite.

La projection employée était la projection Lambert III.

L'étude a évidemment porté sur les balises neuves Trident 2 dont deux sur les trois livrées furent successivement connectées à l'aérien en place sur le clocher des Saintes-Maries-de-la-Mer (La troisième balise Trident 2 se trouvait installée au sommet du Faron).

La procédure consistait à réaliser, de place en place, en s'éloignant du clocher des Saintes-Maries (ou en s'en rapprochant) des stations de mesure bâtiment stoppé. A chaque station, 4 tops de position étaient effectués, chacun des tops correspondant à une mesure de distance Trident 2, bâtiment-clocher des Saintes-Maries sur l'une des quatre voies A, B, C, D. Les distances aux autres balises disponibles étaient également enregistrées.

142 points optiques furent ainsi effectués, 109

seulement furent conservés pour tester la précision du Système Trident 2 à la suite d'un tri effectué sur la qualité des points optiques. Les distances Trident 2 observées varient entre 2 km et 40 km, la portée optique de l'antenne des Saintes-Maries étant de 26 km.

	Nombre de points pris en compte			
	voie A	voie B	voie C	voie D
Balise Trident 2 n° 01	3	3	6	6
balise Trident 2 n° 03	31	20	21	19

4.5.1. Etude des balises Trident 2 n° 01 et 03.

De ces deux balises, installées sur le clocher des Saintes-Maries, seule la balise n° 03 a pu être étudiée de façon relativement complète sur les 4 voies, la balise n° 01 n'ayant fonctionné que quelques heures.

Balise Trident 2 n° 03.

Pour l'ensemble des points optiques retenus nous avons calculé la différence ΔD entre :

— la distance bâtiment-clocher des Saintes-Maries calculée d'après les coordonnées X, Y, Z des deux termes, les coordonnées X, Y du bâtiment étant issues du point optique.

— la distance observée Trident 2 corrigée en fonction de la voie utilisée de la correction résiduelle d'étalonnage fournie au paragraphe 3.1.

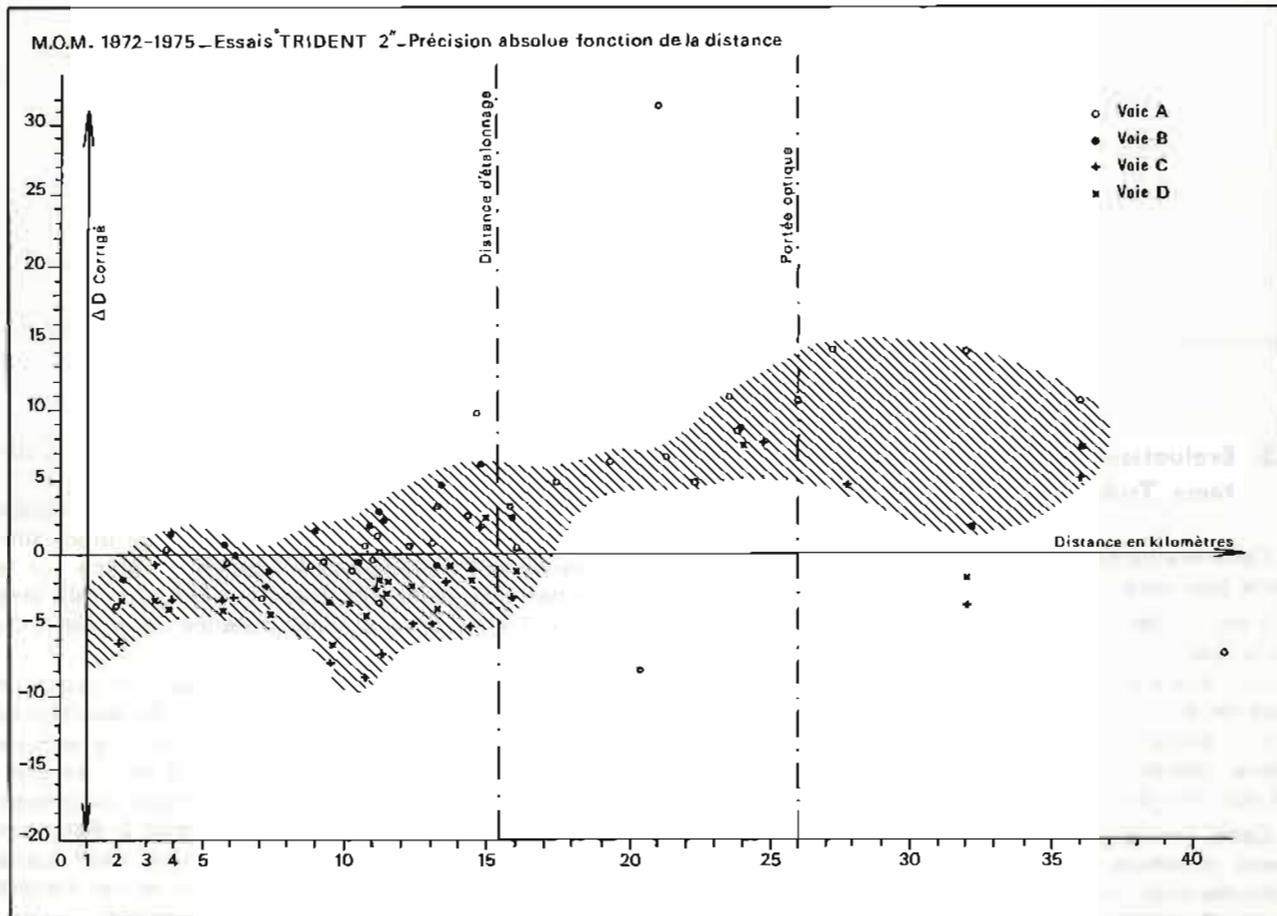
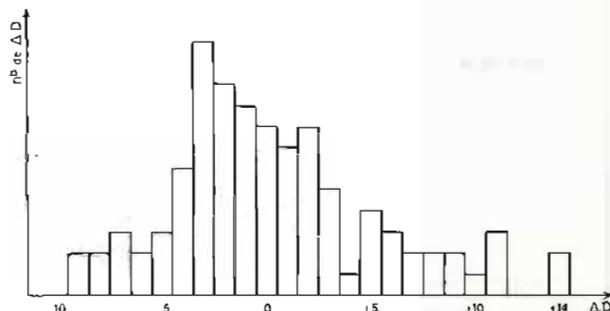
Il ressort de l'examen de la collection des ΔD obtenus que :

— l'histogramme figuré ci-dessous montre que la distribution des erreurs de mesure Trident n'est pas normale.

— le report sur un graphique (voir planche n° IV.5) des ΔD en fonction de la distance montre que l'erreur de mesure Trident est progressive et fonction de la distance mesurée.

— l'erreur moyenne pour la distance de 15 km (distance d'étalonnage) est nulle et varie entre -5 et +5 mètres.

— l'intervalle de variation de l'erreur, en deçà de la portée optique est de l'ordre de 11 mètres.



PL. IV.5.

Balise Trident 2 n° 01.

Les résultats obtenus pour la balise n° 03 se retrouvent sur les mesures effectuées avec la balise n° 01 malgré le petit nombre de mesures.

Balise Trident 1 n° 09 (phare de Beauduc).

Les résultats obtenus avec les balises Trident 2 et la notion d'erreur progressive en fonction de la distance se retrouvent également, bien que la gamme des distances observées soit plus étroite avec la balise Trident 1 qui avait été installée sur le phare de Beauduc (balise n° 09).

Les distances observées à l'aide de cette balise varient entre 2 et 15 kilomètres. Cette variation étant relativement faible, nous avons calculé pour 84 mesures l'écart type des erreurs par rapport à la moyenne des erreurs.

Correction moyenne :	6,73 m
Ecart type sur 84 mesures :	3,082 m

On note ainsi, assez curieusement, l'existence d'une correction moyenne importante et voisine de 7 mètres alors que la balise utilisée a été étalonnée et harmonisée avec l'interrogateur Trident 2 au cours de la calibration sur base fixe.

Balise Trident 2 n° 02 implantée au sommet du Faron.

En fin d'essai de précision, au Sud de l'embouchure du Rhône, quelques points optiques ont pu être effectués alors que la balise Trident 2 installée au sommet du Faron se trouvait accrochée par l'interrogateur. Les distances observées étaient alors de l'ordre de 100 km.

Neuf différences de distances observées et calculées ont pu être ainsi calculées. Elles sont fournies par le tableau suivant :

Distance Trident m	Distance théorique m	ΔD m
100 309	100 226	+ 83
100 224	100 151	+ 73
100 207	100 129	+ 78
100 218	100 140	+ 78
100 236	100 160	+ 76
96 036	95 959	+ 77
95 963	95 884	+ 79
95 971	95 894	+ 77
92 948	92 878	+ 70

Ces erreurs très importantes à grande distance et, de plus, imprévues, posent un problème important.

En effet, elles ne peuvent être expliquées par l'erreur progressive fonction de la distance de mise en évidence sur les courtes distances. L'extrapo-

lation linéaire de la courbe de la planche n° IV.5 fournit à 100 km une erreur de l'ordre de 30 mètres.

Le trajet terrestre Faron - Bec-de-l'Aigle est important mais n'est pas suffisant non plus pour expliquer un tel décalage entre la distance observée et la distance théorique.

Des études plus approfondies sur bases fixes de longueurs parfaitement connues doivent être effectuées pour expliquer ce phénomène.

4.5.2. Points Trident par trois ou quatre distances.

Les transits aller et retour de Toulon à la zone d'essais ont été mis à profit pour effectuer des points Trident par mesure de trois ou quatre distances.

L'étude graphique à grande échelle des « chapeaux » obtenus n'est guère possible en raison de la variation, en fonction de la distance, de la correction à apporter à chaque distance et de la méconnaissance des corrections constantes à apporter aux distances mesurées à l'aide de balises Trident 1 non calibrées.

Les résultats que l'on obtiendrait d'une telle étude, seraient plus grossiers que ceux qui ont été obtenus précédemment.

4.6. Essais aéroportés.

4.6.1. Généralités.

Les essais sur hélicoptère ont été effectués au Sud de l'île du Levant, avec le concours du Centre d'Essais de Méditerranée. L'interrogateur Trident 2, muni de son imprimante, était installé sur une Alouette III de la Base Aéronavale de Saint-Raphaël, l'aérien utilisé étant l'antenne sabre située à l'avant de l'hélicoptère.

Ces essais avaient pour but de déceler des effets de traînage éventuels sur la mesure des distances, c'est-à-dire de vérifier l'efficacité de la boucle de poursuite du second ordre mise en place pour éliminer la vitesse du véhicule dans la mesure de distance obtenue par moyenne d'un certain nombre d'interrogations réparties sur un temps non négligeable.

Pour réaliser cet essai, l'hélicoptère effectuant différentes passes à différentes vitesses était poursuivi en permanence par quatre cinéthéodolites de la base du Levant qui topaient la position de l'hélicoptère à la cadence de la dizaine de secondes. Ce top déclenchait la mesure des distances Trident et leur report sur l'imprimante par l'intermédiaire d'une télécommande radio.

Après dépouillement des films de cinéthéodolites, le C.E.M. calcula les coordonnées X, Y, Z de la position de l'hélicoptère à chaque top, ainsi que

les distances de ce dernier aux différentes balises en fonction.

Notas :

1. Les coordonnées X, Y, Z du mobile ont été calculées dans un système particulier au C.E.M. et sont les coordonnées du mobile dans un trièdre trirectangle tangent à l'ellipsoïde au centre de l'île du Levant, l'un des axes horizontaux étant parallèle à l'axe de l'île.

Les distances du mobile aux différentes balises, calculées par le C.E.M. sont les distances géométriques. Les coordonnées Lambert III des différentes balises avaient été au préalable transformées dans le système d'axes utilisé.

2. La longueur du câble coaxial reliant l'interrogateur à l'antenne sabre, et l'antenne elle-même étant différentes de l'installation utilisée pour la calibration sur base fixe, les distances Trident II mesurées étaient entachées d'une erreur constante à déterminer.

Pour effectuer ces essais, les balises Trident avaient été placées aux points suivants :

Faron : balise Trident 2 n° 02.

Sémaphore de Bénat : balise Trident 2 n° 03.

Sémaphore de Porquerolles et sémaphore de Camarat : une balise Trident 1 quelconque appartenant à la M.O.M. (non calibrée).

La balise du sémaphore de Camarat n'a jamais fonctionné par suite d'une avarie sur le boîtier secteur.

4.6.2. Déroulement des essais.

Ces essais ont été effectués en cinq passes successives. Ils ont été légèrement gênés par le mistral soufflant du 280 à 28-30 nœuds.

— 1^{re} passe : passe rectiligne face au vent à la vitesse de 60 nœuds pour tester le fonctionnement de l'installation ;

— 2^e passe : passe rectiligne identique à la précédente mais comprenant des variations brutales d'altitude (vitesse ascensionnelle 800 pieds/minute) ;

— 3^e passe : passe rectiligne identique aux deux premières, avec variations de vitesse. Cette passe s'est terminée par un point stationnaire à 1 000 pieds de 40 secondes ;

— les deux dernières passes ont été effectuées sur « pattern » triangulaire aux vitesses constantes de 30 nœuds et de 90 nœuds.

4.6.3. Résultats obtenus.

Aucun effet de trainage n'a pu être observé et ce, quel que soit le type de la passe.

Comme la longueur des différentes passes était relativement faible, le nombre de points importants

et la précision des points cinéthéodolites comparable à celle des points théodolites des essais à la mer, nous avons jugé intéressant d'étudier la précision du Trident 2 sur l'ensemble des données collectées au cours de ces essais.

Les distributions des écarts autour des valeurs moyennes sont normales, ce qui justifie l'affirmation qu'il n'y a pas de trainage.

Nous obtenons si :

D_1 est la distance au sémaphore de Porquerolles,

D_2 est la distance au sémaphore de Bénat,

D_3 est la distance au sommet du Faron,

et i = nombre de mesures prises en compte.

$\overline{\Delta D}$ = distance Trident observée — distance théorique calculée,

σ l'écart-type des ΔD par rapport à la moyenne $\overline{\Delta D}$ le tableau suivant :

1ère passe : altitude moyenne constante : 350 mètres vitesse constante : 60 nœuds		
Porquerolles	Bénat	Faron
$\overline{\Delta D}_1 = 4,82 \text{ m}$	$\overline{\Delta D}_2 = -20,35 \text{ m}$	$\overline{\Delta D}_3 = 4,86 \text{ m}$
$\sigma_1 = 3,74 \text{ m}$	$\sigma_2 = 5,61 \text{ m}$	$\sigma_3 = 6,74 \text{ m}$
$i = 39$	$i = 39$	$i = 39$
2e passe : altitude comprise entre 25 et 750 mètres variations d'altitude		
$\overline{\Delta D}_1 = 2,31 \text{ m}$	$\overline{\Delta D}_2 = -22,78 \text{ m}$	$\overline{\Delta D}_3 = 1,12 \text{ m}$
$\sigma_1 = 4,04 \text{ m}$	$\sigma_2 = 8,42$	$\sigma_3 = 7,24 \text{ m}$
$i = 45$	$i = 45$	$i = 45$
3e passe : altitude comprise entre 290 et 420 mètres essais d'accélération		
$\overline{\Delta D}_1 = 5,13 \text{ m}$	$\overline{\Delta D}_2 = -21,01 \text{ m}$	$\overline{\Delta D}_3 = 7,93 \text{ m}$
$\sigma_1 = 2,91 \text{ m}$	$\sigma_2 = 4,78 \text{ m}$	$\sigma_3 = 4,08 \text{ m}$
$i = 45$	$i = 44$	$i = 46$
4e passe : altitude comprise entre 260 et 370 m vitesse constante 30 nœuds		
$\overline{\Delta D}_1 = 6,52 \text{ m}$	$\overline{\Delta D}_2 = -24,13 \text{ m}$	$\overline{\Delta D}_3 = 7,64 \text{ m}$
$\sigma_1 = 3,50 \text{ m}$	$\sigma_2 = 4,41 \text{ m}$	$\sigma_3 = 2,37 \text{ m}$
$i = 124$	$i = 120$	$i = 124$
5e passe : altitude comprise entre 285 et 362 m vitesse constante 90 nœuds		
$\overline{\Delta D}_1 = 5,88 \text{ m}$	$\overline{\Delta D}_2 = -23,60 \text{ m}$	$\overline{\Delta D}_3 = 9,06 \text{ m}$
$\sigma_1 = 3,76 \text{ m}$	$\sigma_2 = 4,89 \text{ m}$	$\sigma_3 = 3,23 \text{ m}$
$i = 53$	$i = 52$	$i = 53$

Ce tableau est significatif de la précision globale du Système Trident 2.

5. REMARQUES CONCERNANT LA PRÉSENTATION, LA MISE EN ŒUVRE ET LA FIABILITÉ DU MATÉRIEL TRIDENT 2.

5.1. L'interrogateur.

A priori, il n'y a pas grand'chose à dire concernant la présentation de l'interrogateur.

Les deux coffrets d'émission et de commande sont d'un volume correct et peuvent être installés sur n'importe quel bâtiment ou embarcation. La proposition de la Thomson C.S.F. de présenter l'interrogateur en un seul coffret pourra présenter pour certains utilisateurs des avantages, mais cette modification n'apparaît pas essentielle.

La suppression de l'oscilloscope de visualisation et de contrôle existant sur le matériel Trident 1, si elle gêne un peu au départ les habitués du Trident 1, correspond à un choix raisonnable entre le coût et l'utilité.

L'interrogateur s'est révélé au cours des essais d'une fiabilité parfaite et les températures d'équilibre obtenues au bout de quelques heures n'apparaissent pas trop élevées.

5.2. Les balises.

Par contre, un certain nombre de critiques ont pu être formulées à l'encontre des balises. La plupart de celles-ci concernaient le volume, les difficultés de manipulation et de transport des balises. A la suite de ces critiques, la Thomson C.S.F. a proposé une version plus compacte, facilement portable à dos d'homme et pouvant être mise en place n'importe où sans précautions particulières. Cette nouvelle version devrait normalement satisfaire les utilisateurs.

Un certain nombre d'avaries sur les balises ont perturbé le déroulement des essais. Elles étaient dues pour la plupart aux défauts de conception connus des boîtiers-secteur d'alimentation des balises Trident 1 qui ne protègent pas suffisamment l'électronique de la balise des sautes ou variations brusques du courant. Une balise Trident alimentée sur batterie ne tombe que très rarement en panne.

Il apparaît ainsi nécessaire d'être très sévère, lors de la recette des boîtiers-secteur des balises Trident 2.

6. CONCLUSION.

En conclusion de ce rapport d'essais, il apparaît que le matériel Trident 2 constitue indiscutablement un progrès sérieux par rapport au matériel Trident 1 qui a rendu et continue d'ailleurs à rendre d'excellents services aux Missions Hydrographiques.

Sa compacité, sa souplesse et sa facilité d'emploi, la disponibilité de quatre lieux circulaires et de sorties sur périphériques (imprimante, calculateur, etc.) en font un appareil de radiolocalisation de choix.

Malheureusement, les essais effectués sont insuffisants pour porter un jugement définitif sur la précision absolue du Système et n'ont servi finalement qu'à mettre en évidence un certain nombre de problèmes qu'il est nécessaire d'étudier en détail et avec des moyens plus élaborés que ceux disponibles à bord d'un bâtiment classique ; c'est-à-dire avec des moyens de laboratoire, pour juger des performances exactes du Trident 2.

Il aurait sans doute mieux valu réaliser une expérimentation poussée de ce nouveau matériel en laboratoire avant de le livrer à une Mission hydrographique qui aurait eu à juger seulement de sa fiabilité et de son adaptation aux conditions de travail d'une Mission hydrographique, ceci correspond d'ailleurs sans doute à une loi générale, à savoir qu'une Mission hydrographique est peu ou mal adaptée à l'expérimentation de prototypes électroniques sophistiqués, car elle ne possède pas les moyens techniques et technologiques suffisants.

ANNEXE n° IV.2.1.

Coordonnées Lambert III - des balises Trident

Désignation	X	Y	Z m
Clocher des Stes-Maries	769 254,9	130 109,8	24,5
Phare de Beauduc	782 182,8	120 790,6	28,3
Cheminée du Ponteau	817 618,6	121 039,0	150
Phare du Planier	835 172,5	104 015,8	71
Sommet du Faron	894 796,8	100 374,7	566
Sémaphore du Bec-de-l'Aigle	863 185,6	102 382,3	327
Sémaphore de Camarat	952 425,6	109 382,0	136
Sémaphore de Porquerolles	917 144,6	85 309,8	150
Sémaphore de Bénat	927 277,3	96 017,3	193

ÉVALUATION DU SONDEUR LATÉRAL EDGERTON MARK 1 B POUR EMBARCATION

1. GÉNÉRALITÉS.

Au début du mois d'avril 1974, la Mission Océanographique de Méditerranée a été équipée d'un sondeur latéral pour embarcation (portatif) Edgerton Mark 1 B.

Le matériel comprenait :

- un poisson remorqué de petite taille et de manipulation facile ;
- un enregistreur-valise ;
- deux câbles de 50 mètres non armés pour la jonction du poisson à l'enregistreur.

Il avait été demandé à la Mission, sous forme d'instructions techniques :

- d'effectuer l'évaluation de ce matériel nouveau, en veillant à ce que toutes les aptitudes mentionnées par la notice de l'appareil soient éprouvées ;
- de rechercher une doctrine d'emploi de cet instrument dans les deux fonctions suivantes :
 - vérification des chenaux, passes, routes de navigation fréquentées, couverts par un levé régulier au sondeur vertical avec une grande densité de profils ;
 - levé régulier simultané à un levé régulier au sondeur vertical à faible densité de profils.

Du 10 avril 1974 au 2 novembre 1975 nous nous sommes efforcés de mettre en œuvre de façon régulière et systématique ce sondeur, mais ces essais, souvent difficiles à harmoniser à l'activité principale de la Mission, se sont rapidement heurtés à des difficultés et des contretemps de tous ordres et il n'a pas été possible au cours de la période considérée d'obtenir des résultats tangibles et définitifs en utilisation de routine dans les deux fonctions citées plus haut.

Fin octobre 1975, l'activité hors Toulon des bâtiments de la M.O.M. étant terminée pour l'année, un levé régulier au sondeur latéral a été entrepris dans la rade de Toulon pour compléter le levé bathymétrique à grande échelle. Cette expérience qui correspondait à la première fonction imposée a été couronnée de succès. Achevée fin 75, elle donnera lieu à une analyse des résultats obtenus par mon successeur (I.C.A. Piéretti) lorsque la rédaction du levé effectué sera terminée.

Autrement dit, cette période doit être considérée comme une période d'étude et de recherche qui a permis d'aboutir à une mise en œuvre relativement courante du sondeur latéral pour la recherche des

obstructions et de commencer à former de façon systématique des opérateurs et des dépanneurs parmi le personnel de la Mission.

2. CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DE L'INSTRUMENT (*).

Les caractéristiques de l'instrument sont les suivantes :

Fréquence d'émission : 105 kHz \pm 10 kHz.

Puissance d'émission 128 décibels.

Sensibilité à la réception 3 décibels.

Tension d'alimentation 24-30 V continu.

Intensité : 4-8 ampères (6 ampères en moyenne).

2.1. L'enregistreur.

L'enregistreur se présente sous la forme d'une grosse valise (dimensions 85 \times 45 \times 28 cm, poids 31 kg) qui se pose à plat sur une table sur laquelle il peut être fixé. L'enlèvement du couvercle découvre la table d'enregistrement.

Le support d'enregistrement est un papier électrolytique humide, l'enregistrement étant réalisé par une hélice sur chaque moitié de la feuille, correspondant chacune à une base du poisson. Sur chaque voie latérale, le réglage du gain et de la sensibilité donc la mise au point de l'image acoustique s'effectue à l'aide de trois potentiomètres non indépendants.

De prime abord l'appareil apparaît robuste. L'expérience montre que l'enregistrement sur papier humide présente un certain nombre d'inconvénients qui rendent la mise en œuvre du sondeur délicate :

- le réglage du contact des hélices et du papier humide est très difficile à réaliser et nécessite une grande habitude. S'il n'est pas correctement effectué, les hélices déchirent le papier ou l'enregistrement est mauvais ;

(* Nota. — Une description de l'instrument et une notice d'utilisation peuvent être obtenues auprès de la Société Edgerton par l'intermédiaire de son représentant français Codevintec.

— même lorsque ce réglage est correctement effectué, les hélices s'encrassent rapidement et il est nécessaire de les nettoyer fréquemment ;

— il n'y a pas enroulement automatique de la bande de sonde enregistrée. Cette opération doit être faite à la main ;

— le papier humide est fragile, se déforme en séchant et il est nécessaire de surveiller sa qualité et son taux d'humidité ;

— le réglage des six potentiomètres permettant la mise au point de l'image acoustique est « pointu » et nécessite une surveillance permanente et un opérateur entraîné. Il est à reprendre très fréquemment notamment lors des changements d'altitude du poisson par rapport au fond.

2. Le poisson.

Le poisson de dimensions réduites (longueur 121 cm, diamètre 11 cm, poids 17 kg) est aisément manipulable à la main. Sa mise à l'eau et sa récupération ne posent aucun problème particulier. Lorsqu'il se trouve à l'immersion désirée, le câble est « bossé » sans précautions particulières à l'aide d'un bout de nylon. Le constructeur recommande l'emploi d'un sandow amortisseur, mais nous n'en avons pas reconnu la nécessité.

Sa tenue et sa stabilité de navigation dans l'eau sont apparues très correctes. Par contre il est un peu léger et a du mal à plonger même pour des vitesses faibles. Ceci est un inconvénient majeur, car pour le faire plonger, il est obligatoire de « filer » une grande longueur de câble, souvent supérieure à la profondeur, ce qui lui fait courir de grands risques lors des manœuvres de l'embarcation (retourne-ments, ralentissements, etc.) tout en augmentant l'imprécision de sa position par rapport à l'embarcation.

L'efficacité du système de goupille cassante permettant, en cas de collision du poisson avec un obstacle imprévu, son retournement et sa récupération par la queue, n'a pas été éprouvée.

Enfin, la poisson peut être en principe immergé jusqu'à 600 mètres. Cette propriété n'a pas été testée en l'absence de câbles adaptés.

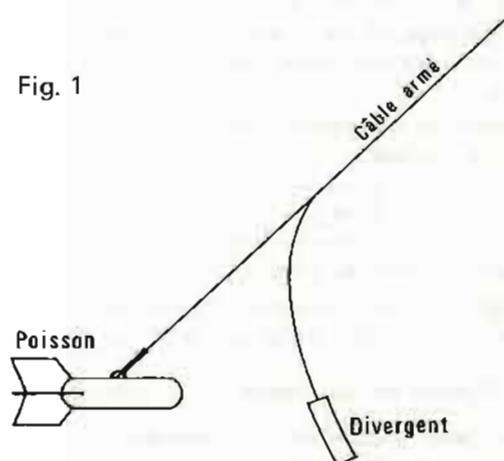
2.3. Les câbles de jonction.

Au début du mois d'avril 1974, le sondeur avait été livré avec deux câbles de 50 mètres. Sa mise en œuvre avec de tels câbles n'autorisait pas des vitesses de traîne supérieures à 3-4 nœuds.

A la suite de cette remarque un divergent plongeur et un câble armé de 150 mètres furent commandés et livrés à la Mission en septembre 1974.

Ce dernier est livré avec un câble intermédiaire de 15 mètres de long environ destiné à faire la jonction avec l'enregistreur. Ces câbles sont relativement encombrants et d'un emploi malaisé à bord d'une vedette hydrographique. De même, la manipulation du poisson équipé du divergent plongeur monté conformément à la figure n° 1 est délicate.

Fig. 1



2. Caractéristiques des faisceaux acoustiques.

Le poisson remorqué est porteur de deux bases d'émission directives dont les lobes d'émission ont les caractéristiques suivantes :

2.4.1. Dans le plan vertical, il y a le choix entre plusieurs possibilités.

— la largeur angulaire du lobe principal peut être de 20° ou 50°;

— l'inclinaison sur l'horizontale de l'axe du lobe principal peut être de 10° ou 20°.

D'où quatre combinaisons possibles :

— Faisceau d'une largeur de 20° incliné de 20° sur l'horizontale. Cette configuration est valable pour les petits fonds et les faibles immersions du poisson afin que l'enregistrement ne soit pas perturbé par des réflexions parasites sur la surface.

— Faisceau d'une largeur de 20° incliné de 10° sur l'horizontale, configuration à utiliser lorsque le poisson navigue très près du fond et que l'on recherche la détection d'obstructions de faibles dimensions.

— Faisceau d'une largeur de 50° incliné de 10° ou 20° sur l'horizontale : Configuration à réserver pour les levés par grands fonds ou pour les immersions du poisson importantes.

2.4.2. Dans le plan horizontal.

Le faisceau émis est extrêmement étroit et a une largeur angulaire de 1,2°.

2.5. Cadences d'émission et choix des différentes échelles. Influence de la vitesse sur la détection des obstructions.

Différentes échelles de détection (ou largeur de bande) R_i peuvent être sélectionnées sur l'enregistreur : 0-50 mètres, 0-100 mètres, 0-125 mètres, 0-200 mètres, 0-250 mètres, 0-500 mètres.

Des marques de calibration espacées de 25 mètres s'inscrivent sur l'enregistrement quelle que soit l'échelle.

La cadence d'émission est fonction de l'échelle suivant la formule :

$$R_i f_i = 750$$

f_i étant le nombre d'émissions par seconde.

Exemple : Pour l'échelle 0-125 m ($R_i = 125$) le sondeur émet 6 impulsions par seconde.

2.5.1. Influence de la vitesse sur la détection.

Entre deux impulsions successives, le bâtiment remorqueur se déplaçant à la vitesse V parcourt une distance exprimée en fonction de l'échelle choisie égale à :

$$d = \frac{R_i V_{m/s}}{750}$$

La figure 2 montre qu'étant donné l'étroitesse du faisceau d'émission dans le plan horizontal, il subsiste à proximité du sondeur un « trou » de détection : zone du fond non « éclairée » par le faisceau émis par le sondeur. Ce « trou » correspond aux zones grisées. Plus la vitesse du poisson est grande, plus le « trou » est important.

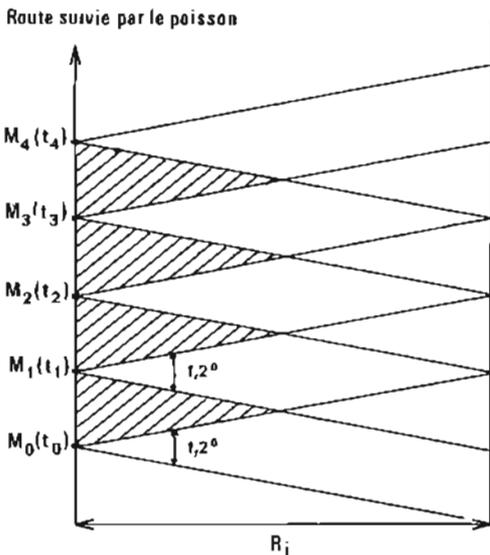


Fig. 2

Exemple : La dimension maximum d'une obstruction mesurée parallèlement à la route du poisson qui peut échapper au sondeur est égale au chemin

parcouru par le poisson entre deux émissions successives.

— Pour une vitesse de traine de 12 nœuds et une échelle $R_i = 500$ mètres, le sondeur peut laisser échapper une obstruction d'une longueur de 4 mètres.

Examinons le problème sur le plan théorique et considérons la figure n° 3.

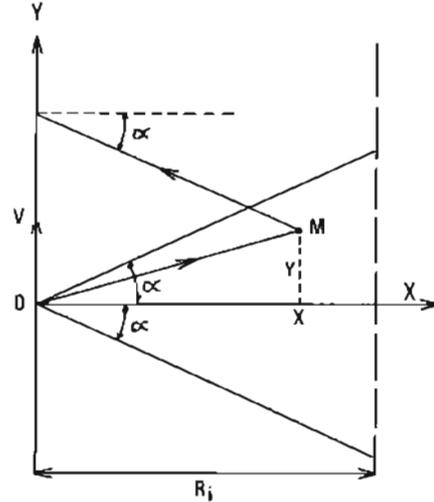


Fig. 3

O, origine des axes, correspond à une émission à l'instant t_0 , Oy orienté suivant la route du poisson. Il y aura détection et enregistrement d'un écho sur une obstruction M (x, y). Si :

- M se trouve dans le faisceau de l'émission ;
- le rayon réfléchi par M a une inclinaison sur OX inférieure ou égale à α ($\alpha = 0,6^\circ$).

a) Ces deux conditions permettent dans un premier temps de mettre en évidence qu'une partie du lobe n'est pas efficace et constitue un angle mort où il n'y a pas de détection : l'obstruction a été éclairée par le faisceau acoustique, mais l'écho réfléchi ne peut être reçu par la base réceptrice.

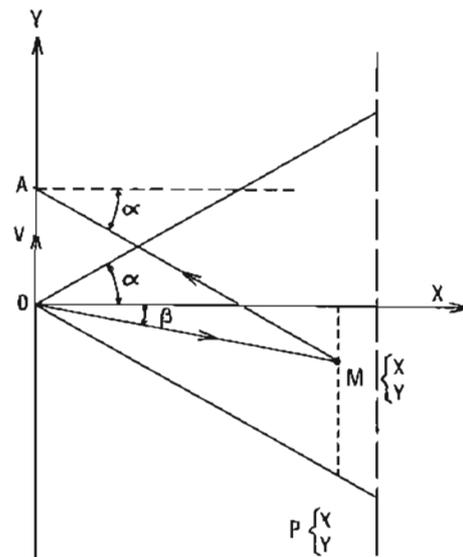


Fig. 4

Le cas limite correspond à la figure 4.

— Pendant que le poisson parcourt à la vitesse V le trajet OA , l'onde acoustique effectuée à la vitesse de 1500 m/s (vitesse du son standard) le trajet OMA .

Nous sommes dans le cas limite si l'angle

$$\begin{aligned} \angle(\vec{MA}, \vec{OA}) &= \frac{\pi}{2} - \alpha \\ \alpha &= 0,6^\circ \end{aligned}$$

Un calcul simple permet d'obtenir (puisque l'on est en présence de petits angles) la formule :

$$\beta \approx \alpha - \frac{2V}{1500}$$

β et α exprimés en radians,
 V exprimé en mètres/seconde.

Exemples numériques.

V nœuds	V m/s	β	β/α
3	1,5	0°,48	0,81
6	3	0°,37	0,62
9	4,5	0°,26	0,43
12	6	0°,14	0,24
15	7,5	0°,03	0,04

Ces résultats montrent qu'à la vitesse de 7 nœuds par exemple le quart arrière du lobe est inutile, et qu'à 15 nœuds, pratiquement, seule la moitié avant du lobe total est utile.

b) Ce premier résultat étant acquis, nous pouvons maintenant définir le triangle « mort » à l'intérieur duquel il n'y aura pas de détection possible. Soient t_0 et t_1 les deux instants séparant deux émissions successives.

Le triangle « mort » se définit par son sommet S et en particulier par l'abscisse X_S de S qui détermine la limite entre la zone où la couverture est assurée à 100% et la zone où elle est inférieure à 100%.

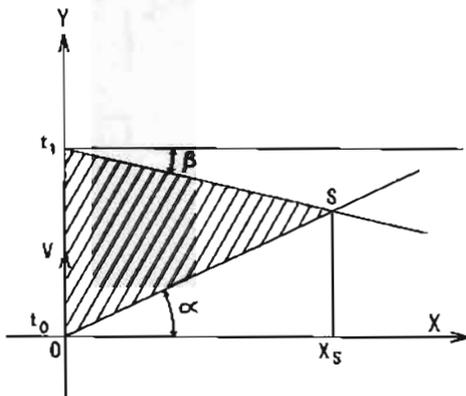


Fig. 5

D'après la figure 5 on obtient en utilisant les notations précédentes

$$X_s = \frac{R_j V}{1500 \alpha - V} \quad \text{ou} \quad \frac{X_s}{R_j} = \frac{V}{1500 \alpha - V}$$

où V est exprimé en mètres/seconde et α en radians.

Soit :

$$\frac{X_s}{R_j} = \frac{V}{15,7 - V}$$

La courbe (fig. n° 6) représente la variation du taux de détection en fonction de la vitesse.

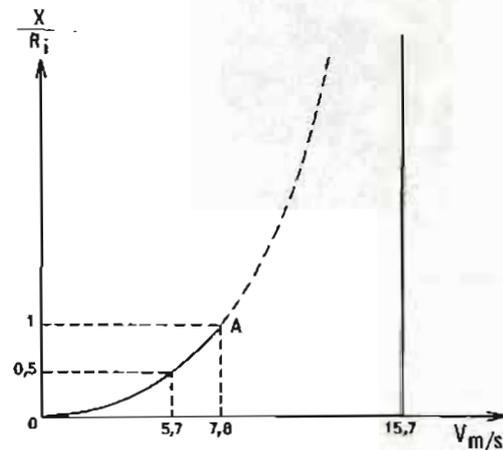


Fig. 6

La partie utile est la portion OA , A étant le point pour lequel $X/R_j = 1$. Ceci correspond à une vitesse de 15,7 nœuds.

Au delà de 11 nœuds la couverture n'est plus assurée à 50%.

2.5.2. Réglage de l'altitude du poisson par rapport au fond.

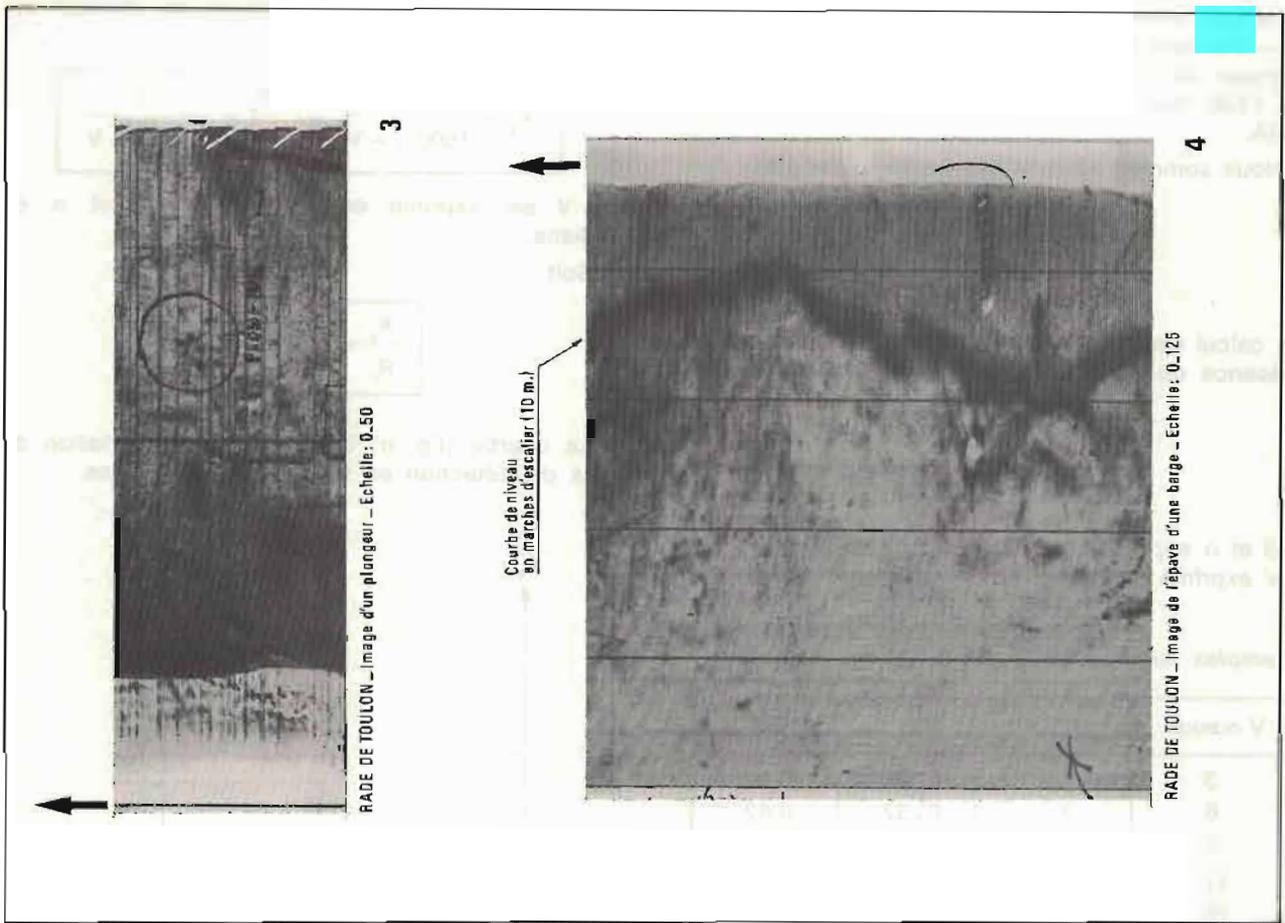
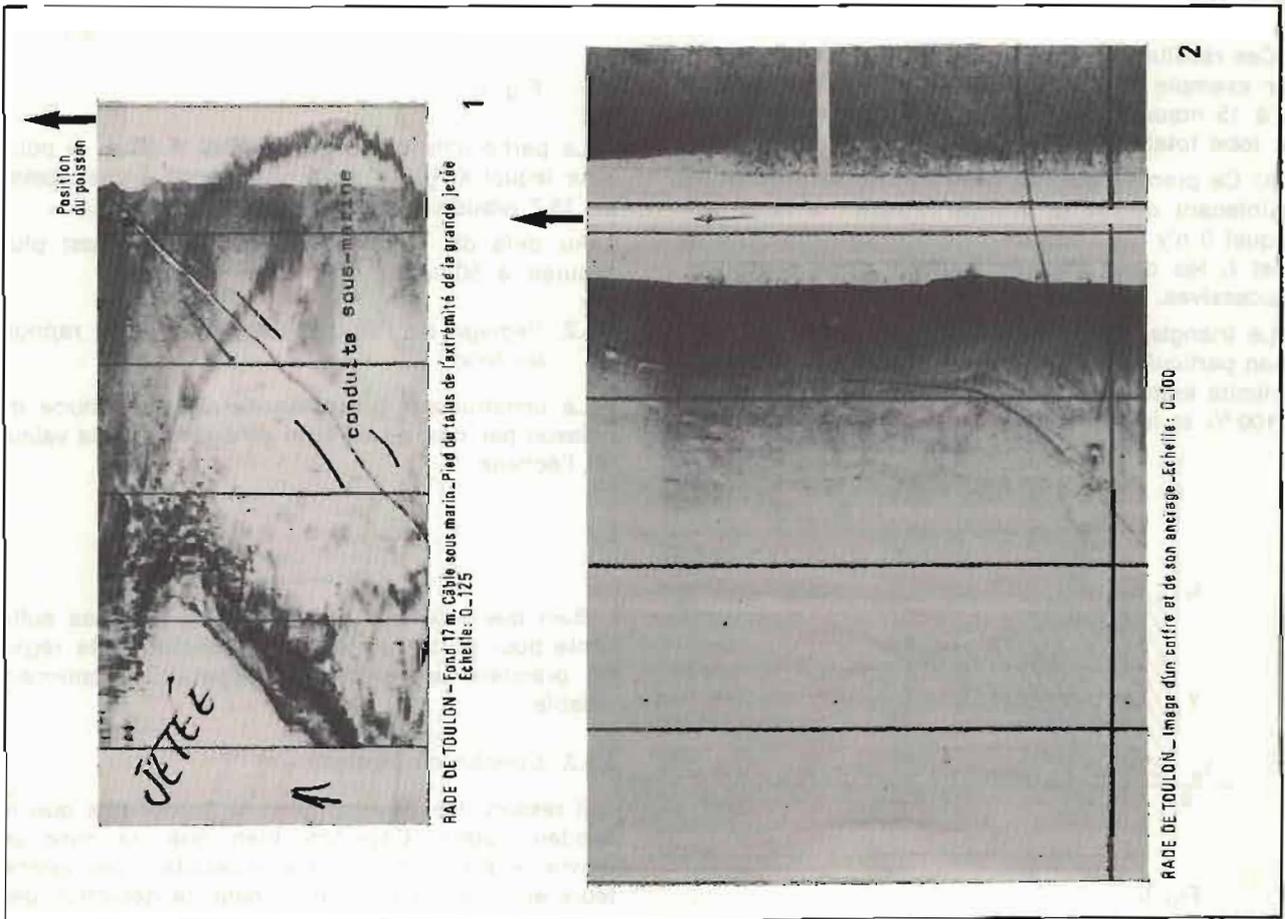
Le constructeur préconise de régler l'altitude du poisson par rapport au fond au dixième de la valeur de l'échelle :

$$h = \frac{R_j}{10}$$

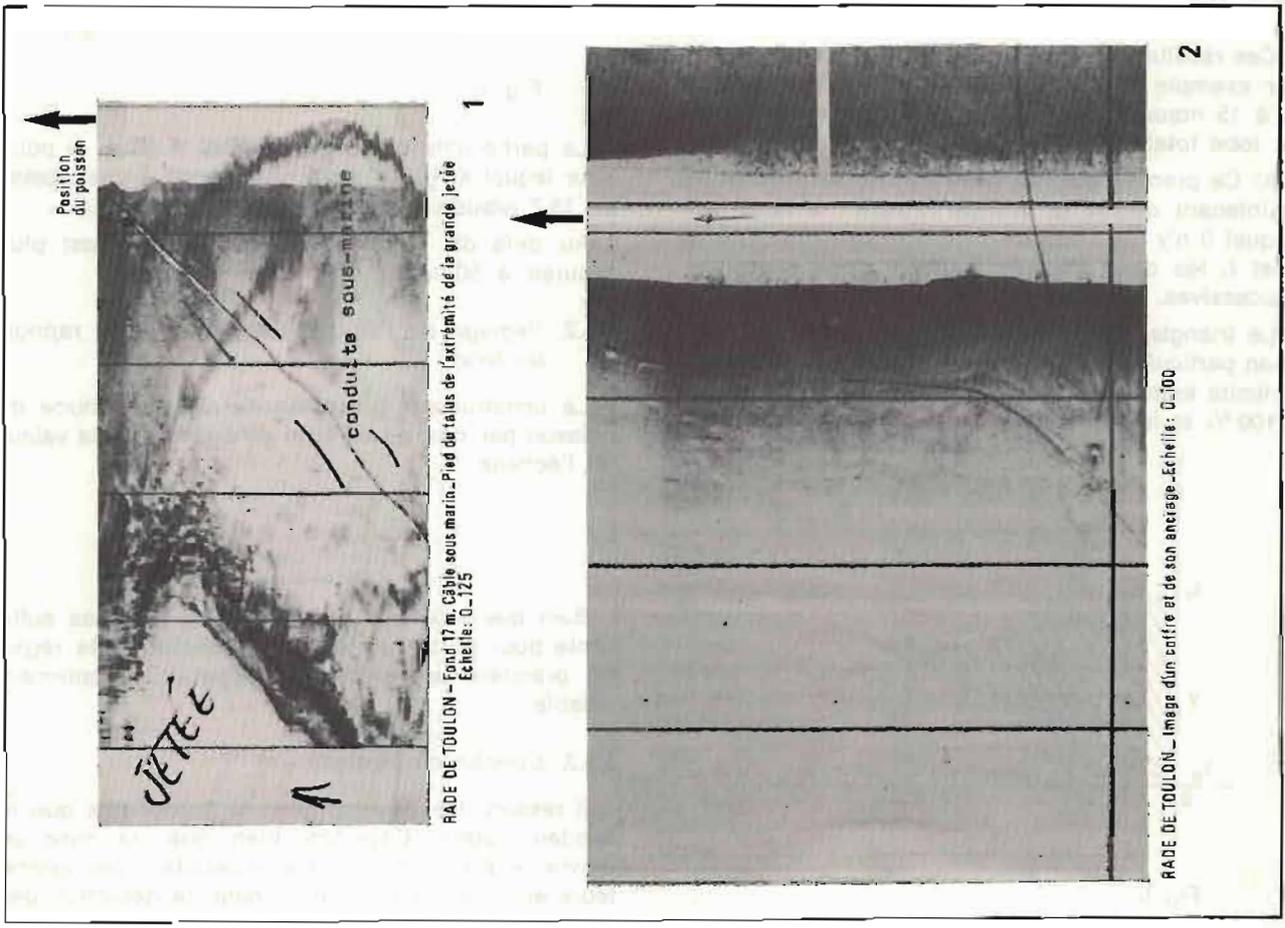
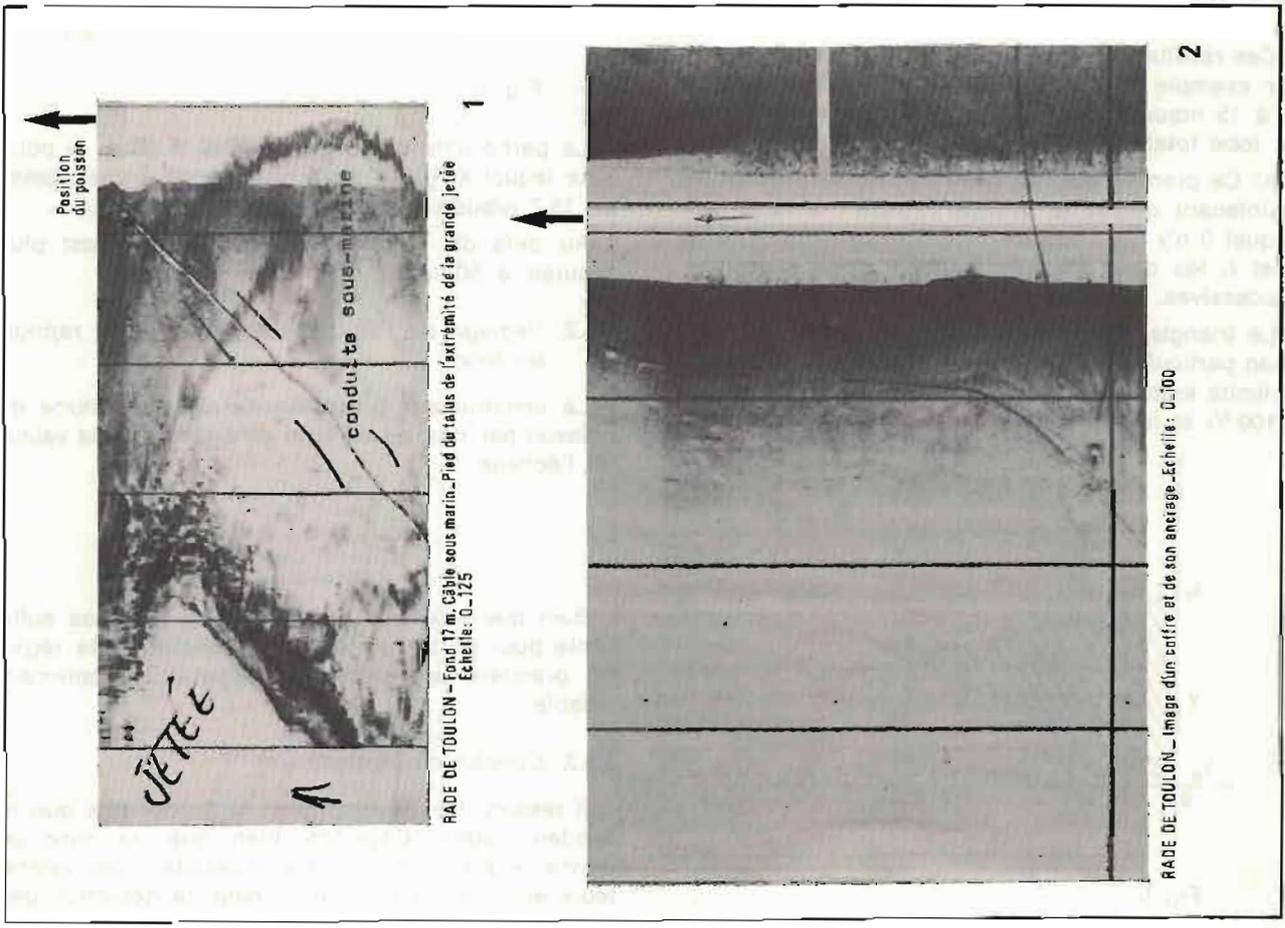
Bien que l'expérience acquise ne soit pas suffisante pour porter un jugement définitif, cette règle, en première approximation, apparaît parfaitement valable.

2.5.3. Conclusion partielle.

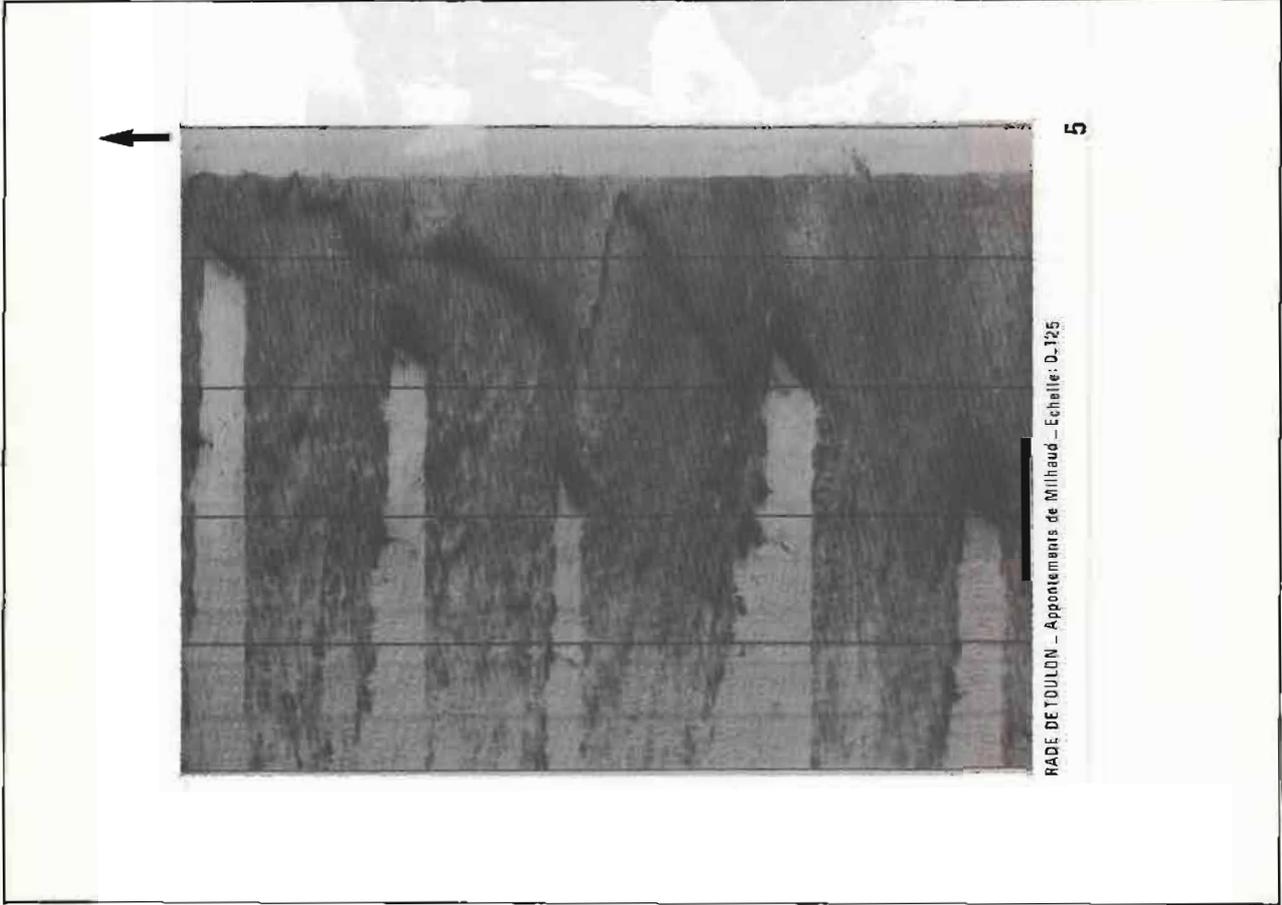
Il ressort des développements précédents que le sondeur latéral Edgerton, bien que de mise en œuvre relativement délicate nécessitant des opérateurs entraînés, est un instrument de détection des



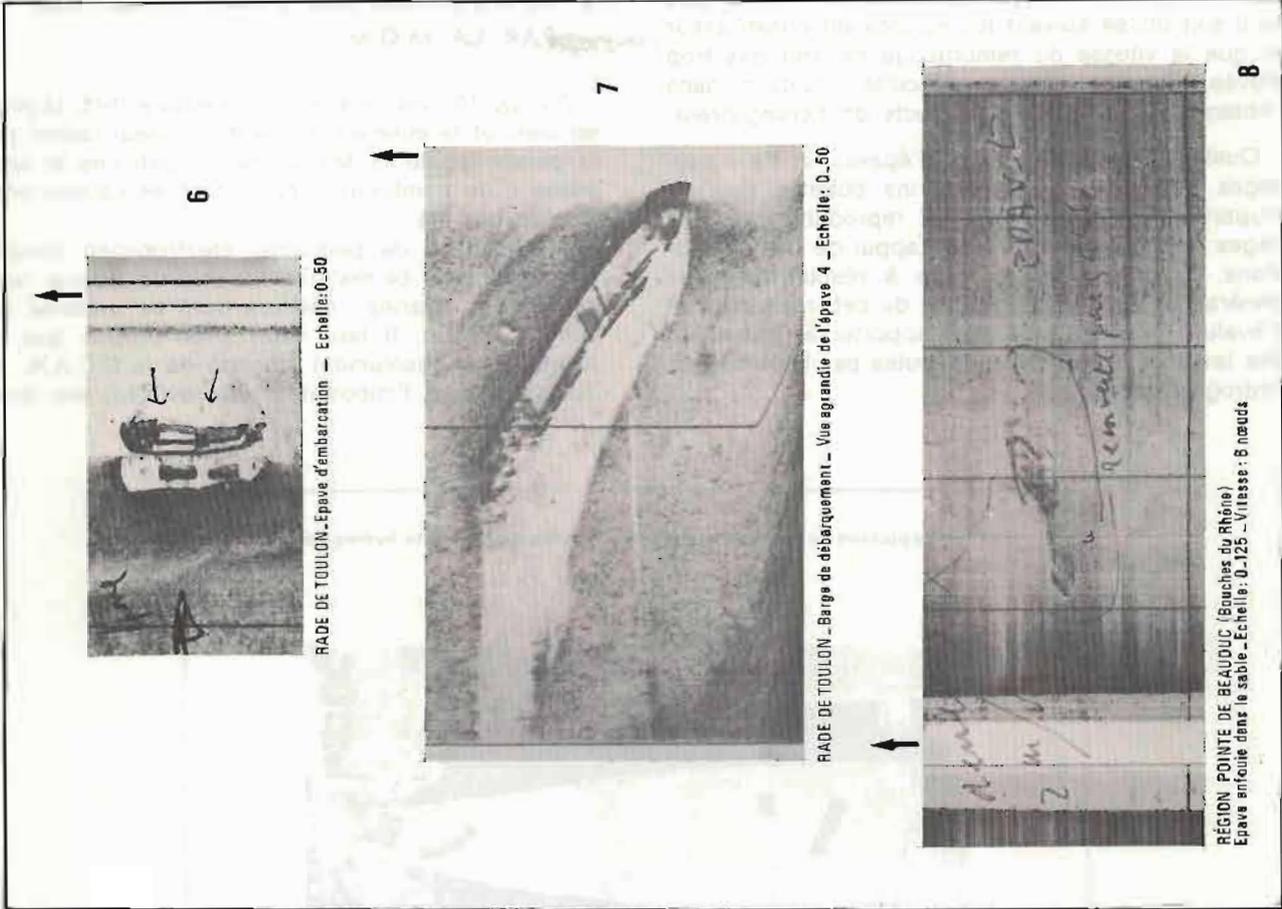
PL. IV.6.



PL. IV.7.



RADE DE TOULON - Appontements de Milhaud - Echelle: 0-125



RADE DE TOULON - Barge de débarquement - Vue agrandie de l'épave 4 - Echelle: 0-50



RADE DE TOULON - Epave d'embarcation - Echelle: 0-50



RÉGION POINTE DE BEAUDUC (Bouches du Rhône) Epave enfouie dans le sable - Echelle: 0-125 - Vitesse: 8 nœuds

obstructions artificielles extrêmement fin pour peu qu'il soit utilisé suivant les normes du constructeur et que la vitesse de remorquage ne soit pas trop élevée, la plus grande difficulté résidant dans l'obtention des réglages corrects de l'enregistreur.

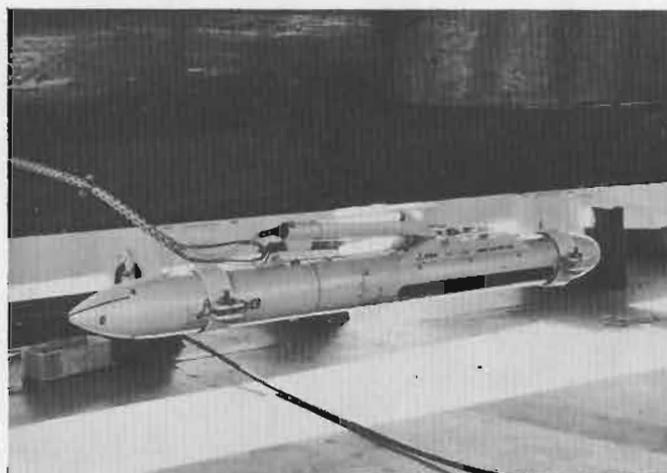
Quelques enregistrements d'épaves et de « paysages acoustiques » sous-marins obtenus pour la plupart en rade de Toulon et reproduits dans les pages qui suivent viennent à l'appui de ces conclusions. Le problème qui reste à résoudre est de généraliser l'emploi en routine de cet instrument et d'évaluer l'appoint qu'il peut apporter à l'exécution des levés bathymétriques exécutés par les missions hydrographiques.

3. DESCRIPTION DES ESSAIS EFFECTUÉS PAR LA M.O.M.

3.1. Du 10 avril 1974 au 1^{er} novembre 1975, la prise en main et la mise en œuvre du sondeur latéral par le personnel de la M.O.M. furent difficiles et soumises à de nombreux échecs dont les causes principales ont été :

— l'absence de personnel électronicien compétent et formé à ce matériel capable de réparer rapidement les avaries mineures dont ce matériel est souvent l'objet. Il faut noter à ce propos que ce sondeur est absolument inconnu de la D.C.A.N. de Toulon et que l'importateur (Codevintec) est inca-

Fixation du poisson du sondeur latéral sous la quille d'une vedette hydrographique



PL. IV.9.

pable de fournir une aide technique quelconque pour la réparation des avaries ;

— la difficulté d'harmoniser l'emploi systématique du sondeur latéral à l'activité principale et classique de la mission employant la totalité du personnel.

3.2. Les résultats concrétisés par cet exposé ont été acquis par les expériences suivantes :

3.2.1. Démonstration du fonctionnement du sondeur par un représentant de la Société Edgerton.

Débutée le 10 avril 1974 sur l'*Origny* en rade des Salins, interrompue très rapidement par suite d'une avarie de pitch de l'*Origny* et du mauvais temps, cette démonstration fut poursuivie pendant deux jours sur l'*Octant* en rade de Toulon. Elle fut concluante et permit entre autres d'obtenir un certain nombre d'enregistrements caractéristiques qui furent par la suite utilisés comme références chaque fois qu'il y avait doute sur le fonctionnement ou la qualité des réglages. Elle mit, parallèlement, en évidence les deux points importants suivants :

— impossibilité de faire plonger correctement le poisson équipé du câble non armé de 50 mètres livré pour des vitesses supérieures à trois nœuds ;

— impossibilité, étant donné le volume du matériel et le supplément de personnel à embarquer sur une vedette hydrographique d'utiliser simultanément sur un levé régulier le sondeur vertical et le sondeur latéral.

3.2.2. Tentatives de mise en œuvre systématique du sondeur latéral pendant la campagne 74 de levé de la carte 5116 (voir chapitre II.2.3.).

— En attendant la livraison du câble armé de 150 mètres, le poisson du sondeur latéral fut fixé rigidement par des colliers sous la quille d'une vedette de *La Recherche* (voir photos p. 170).

Ce montage permettait en effet d'atteindre la vitesse classique de six nœuds des vedettes en sondage vertical et évitait également de faire courir de gros risques au poisson remorqué par petits fonds au bout d'un câble de grande longueur. Pour améliorer encore la sécurité du poisson la vedette équipée du sondeur latéral suivait dans les eaux la vedette en sondage vertical. Ainsi, si la vedette de tête venait à talonner sur un banc de sable, la vedette équipée du sondeur latéral avait largement le temps de stopper avant de talonner à son tour.

Malgré ce luxe de précautions, la vedette avec sondeur latéral talonna au cours d'un changement de profil près de côte, et le poisson fut arraché de la quille. Il fut retrouvé 24 heures après fortement endommagé, l'enveloppe tordue. Bien qu'elle soit en fonte d'aluminium, l'Atelier militaire de la Flotte (A.M.F.) de Toulon réussit à la redresser, et au bout de deux mois le sondeur était à nouveau en état de fonctionner.

Au cours des essais après réparation, en rade de Toulon il fut constaté que les enregistrements obtenus, poisson remorqué ou poisson fixé sous la quille, étaient pratiquement identiques entre eux et à ceux qui avaient été obtenus quelques mois auparavant par le spécialiste de la Société Edgerton. Malgré cela, l'utilisation du sondeur, poisson fixé sous la quille, fut abandonnée.

3.2.3. Tentative de mise au point d'une doctrine d'emploi et d'une procédure d'étalonnage.

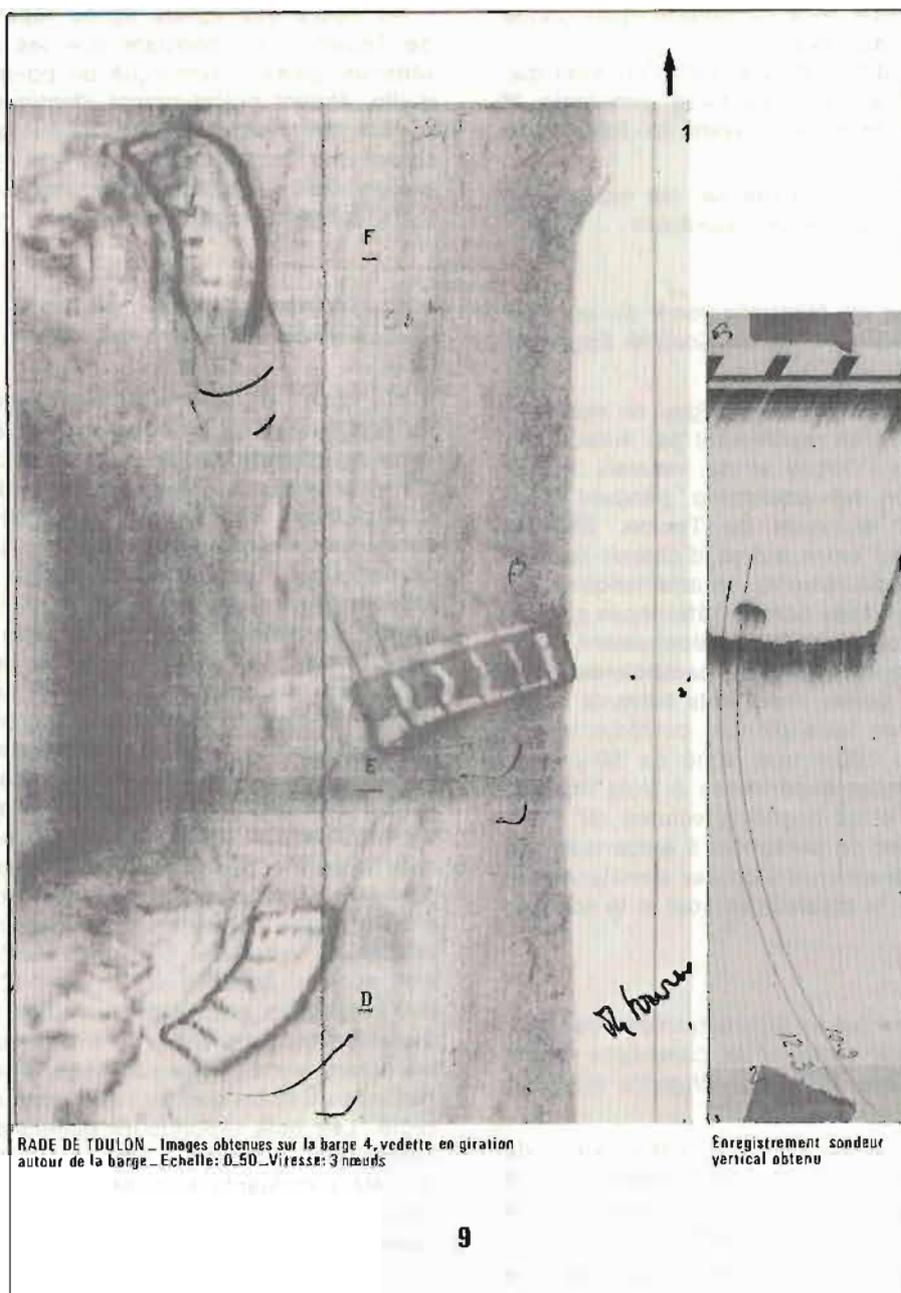
Au cours de l'hiver 1974-1975 l'expérimentation du sondeur latéral fut poursuivie en rade de Toulon, dans les deux directions suivantes :

— utilisation du sondeur pour guider la vedette de sonde sur une épave détectée latéralement. Il fut ainsi montré que, sans aide extérieure de localisation, le Chef d'équipe de la vedette pouvait amener facilement, à la suite de deux ou 3 passages en routes perpendiculaires, la vedette à la verticale d'une épave. Les enregistrements, reproduits pages suivantes, montrent les différentes images obtenues lorsque la vedette tourne autour d'une épave.

— recherche d'une procédure de mesure de la portée réelle de détection. Le problème consistait à trouver une méthode simple permettant de s'assurer, au début et à la fin d'une séance de sonde donnée, que la portée réelle de détection correspond bien à la largeur d'échelle choisie. Ce problème doit en effet prendre une importance fondamentale lorsque le sondeur est utilisé par fonds supérieurs à 50 mètres sur les échelles 0-250 ou 0-500 mètres dans des conditions bathys défavorables (bathy non isotherme). Son approche a consisté pour nous à mettre en place, sur une ligne donnée, une série de buts répondeurs et de couper cette ligne avec le sondeur réglé. Les buts répondeurs étaient des grappes de boules de « Nokalon ». Les résultats obtenus n'ont pas été concluants à cause très probablement de la nature et des dimensions insuffisantes des buts répondeurs.

3.2.4. Tentative d'utilisation systématique du sondeur au cours d'un levé régulier. Levé de Saint-Raphaël (voir chapitre II.2.5.).

L'expérience acquise sur le sondeur latéral ayant été jugée suffisante, il avait été prévu de l'utiliser de façon systématique au cours du levé de Saint-Raphaël (avril-octobre 1975). Son emploi correspondait en effet exactement aux besoins du levé, demandé par la Base aéronavale de Saint-Raphaël, pour disposer d'un levé très précis destiné à faciliter la recherche de la carcasse d'un aéronef qui viendrait à tomber dans la zone levée. Ainsi les enregistrements « sondeurs latéral » obtenus dans cette zone sur des profils parfaitement définis constituaient des documents au moins aussi importants que les minutes de bathymétrie, si fines soient-elles. Malheureusement, cette idée n'a pu se concrétiser,



PL. IV.10.

car très rapidement le sondeur latéral est tombé en avarie et n'a pu être réparé en l'absence de personnel électronique compétent.

3.2.5. Le sondeur latéral fut remis en état de fonctionner au début du mois d'octobre 1975 par deux aspirants de réserve (Branche recherche scientifique) sortant de grandes écoles d'ingénieurs (Ecole Centrale, Ecole Supérieure d'Electricité) qui ont ensuite démarré avec succès le levé régulier des obstructions de la rade de Toulon, ce qui démontre une fois de plus la nécessité de disposer, pour la mise en œuvre d'instruments électroniques modernes, de personnel électronique de qualité.

4. DOCTRINE D'EMPLOI ET MÉTHODE DE RÉDACTION DES LEVÉS AU SONDEUR LATÉRAL.

Malgré les échecs subis, l'expérience acquise permet de proposer une doctrine d'emploi de l'instrument et une méthode de rédaction des levés.

4.1. Doctrine d'emploi.

4.1.1. L'échelle de détection, la vitesse de remorquage et l'immersion du poisson seront choisies,

en fonction de la nature du levé, conformément aux normes du paragraphe 2 de ce chapitre.

— L'espacement des profils sera égal à l'échelle d'enregistrement de façon à obtenir une couverture strictement sans lacunes. La vitesse de remorquage devient alors uniquement fonction de la tenue d'immersion du poisson. Toutefois elle ne devra jamais excéder 11 nœuds.

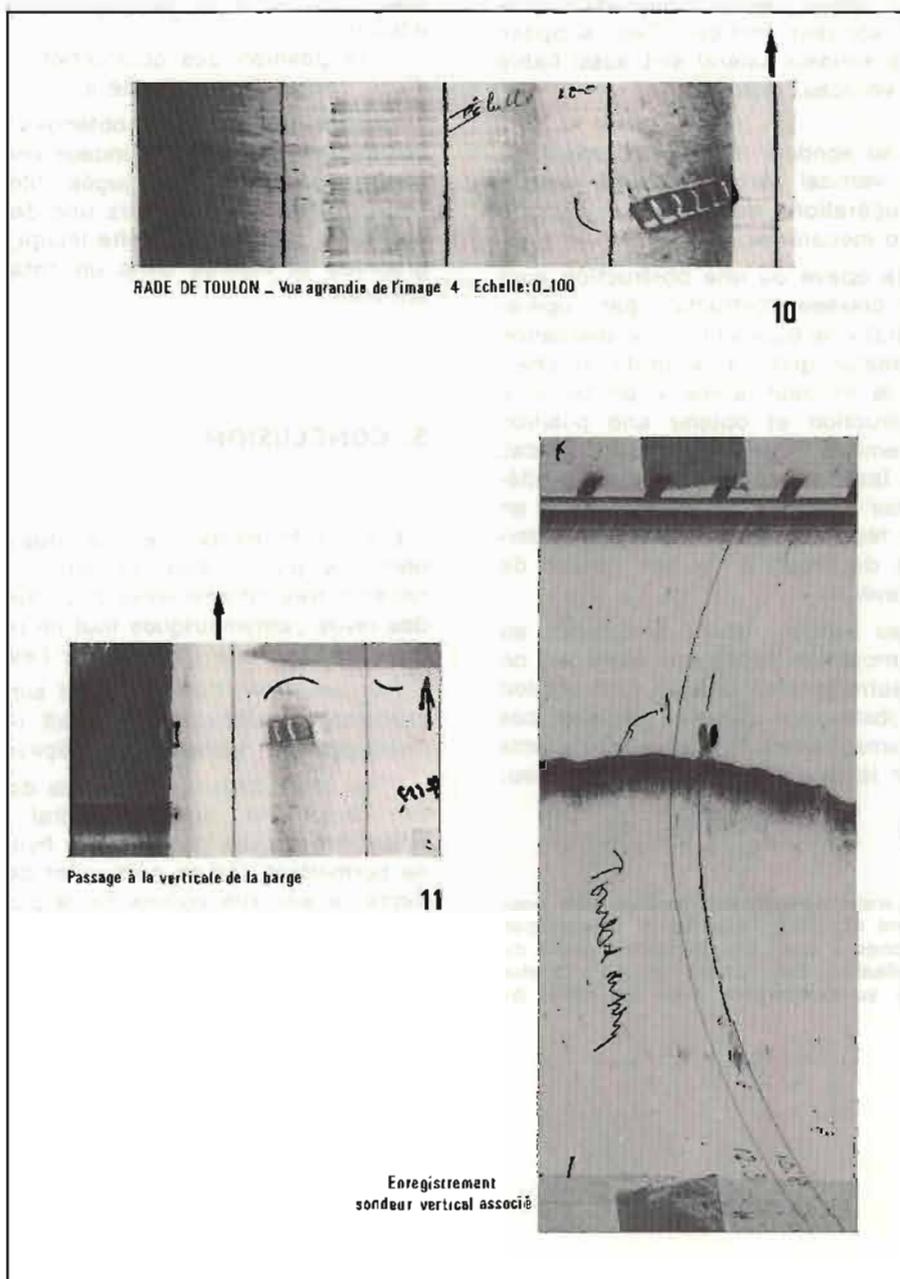
— L'altitude du poisson par rapport au fond sera sensiblement égale au dixième de l'échelle d'enregistrement choisie et devra être aussi constante que possible, ce qui implique de suivre des profils parallèles aux courbes de niveau.

Ces trois impératifs, toute notion d'encombrement

de l'embarcation de sonde utilisée mise à part, amènent à dissocier les opérations de levé au sondeur vertical des opérations de levé au sondeur latéral.

La simultanéité de ces deux opérations pourra être réalisée sous certaines conditions :

- lorsque le fond est régulier et à peu près plat ;
- pour les levés de moyenne sonde effectués par des bâtiments hydrographiques de 1^{re} classe. L'immersion du poisson devra alors être retouchée en fonction du relief. Pour cela il est *nécessaire* de doter le treuil ou le touret sur lequel le câble est enroulé d'un contacteur tournant adapté. Sinon à chaque changement d'immersion du poisson, l'enregistrement doit être interrompu.



4.1.2. Les enregistrements :

— permettent d'identifier sans ambiguïté les obstructions artificielles (épaves en particulier) (*). Chaque fois que cela sera possible l'obstruction détectée devra être visitée par des plongeurs afin d'entretenir un catalogue d'échos caractéristiques qui facilitera et rendra plus précise l'interprétation des échos inaccessibles aux plongeurs ;

— ne permettent pas, à mon sens, actuellement, d'améliorer le tracé des courbes de niveau. Ils devraient permettre par contre d'améliorer le rendement au cours des levés au sondeur vertical, en différenciant les zones de fonds réguliers et plats qui s'accrochent d'un levé bathymétrique à larges mailles des zones aux fonds irréguliers qui nécessitent un levé bathymétrique à mailles serrées. Ainsi le levé au sondeur latéral devrait logiquement précéder le levé au sondeur vertical. Ceci suppose évidemment que le sondeur latéral soit aussi fiable que les sondeurs verticaux actuels.

4.1.3. Les levés au sondeur latéral, dissociés des levés au sondeur vertical seront conduits exactement comme les opérations de dragage hydrographique à la drague mécanique.

Ainsi, dès qu'une épave ou une obstruction aura été enregistrée et classée obstruction par l'opérateur « sondeur latéral », le bâtiment ou l'embarcation remorquant le sondeur quittera le profil et cherchera en utilisant le sondeur latéral à passer à la verticale de l'obstruction et obtenir une position précise et une première cote au sondeur vertical. Un balisage léger facilitant la reconnaissance ultérieure par plongeur pourra également être mis en place. L'opération terminée, le profil régulier interrompu sera repris de façon à ne pas laisser de « trous » dans le levé.

Pour les levés au sondeur latéral simultanés au sondage vertical (moyenne sonde par exemple) on pourra procéder autrement et différer l'acquisition des données de l'obstruction détectée. En effet ces levés sont généralement effectués par des bâtiments de 1^{re} classe, pour lesquels l'utilisation du sondeur

(*) *Nota.* — Ceci n'est parfaitement valable que pour des fonds relativement réguliers, l'expérience n'ayant pas été faite dans des zones à relief très tourmenté. Dans de telles zones la localisation des épaves est de moindre importance, celles-ci se confondent avec les têtes de roches avoisinantes.

latéral comme guide est moins facilement réalisable qu'avec un petit bâtiment ou une embarcation.

4.2. Rédaction.

Outre l'archivage des données obtenues sur les obstructions suivant les méthodes classiques, un levé au sondeur latéral donnera lieu à la rédaction d'un document analogue au « schéma de dragage » classique sur lequel on indiquera :

— pour chaque top de position, la vitesse du bâtiment et l'immersion du poisson ;

— le contour des zones balayées à 100 %, ainsi que le contour de la zone balayée à moins de 100 % avec une indication de pourcentage fonction de la vitesse ;

— la position des obstructions ayant fait l'objet d'une recherche particulière.

Les bandes de sonde obtenues seront archivées comme les bandes de sondeur vertical. Lorsqu'une image acoustique sera jugée intéressante et que l'on possèdera par ailleurs une description précise de l'objet ayant fourni cette image, elle sera photographiée et insérée dans un catalogue d'échos à entretenir.

5. CONCLUSION.

Les performances et la qualité des images obtenues par le sondeur latéral Edgerton apparaissent très intéressantes pour améliorer la sûreté des levés bathymétriques tout en pouvant permettre dans certains cas d'en alléger l'exécution.

En particulier, l'identification sans ambiguïté des obstructions artificielles en fait un instrument de choix pour la recherche des épaves.

Il est bien certain, enfin, que dans beaucoup de cas l'emploi du sondeur latéral paraît nettement préférable à celui des dragues hydrographiques qui ne permettent pas en particulier de définir des plafonds de sécurité voisins de la profondeur. L'expérience acquise actuellement sur le sondeur n'est malheureusement pas encore suffisante pour pouvoir condamner définitivement les dragues hydrographiques au profit de ce nouvel instrument.

Cinquième partie

NOTES TECHNIQUES

NOTE TECHNIQUE N° 1

UTILISATION COMPLÉMENTAIRE DU TRIDENT 1 ET DU TORAN 3G POUR L'EXÉCUTION DE LEVÉS A PETITE ÉCHELLE

1. GÉNÉRALITÉS.

Chaque fois que pour les besoins d'un levé au large, la Mission Océanographique de Méditerranée a eu à utiliser une chaîne Toran 3G, le Système circulaire Trident 1 fut systématiquement utilisé de façon complémentaire. Ce fut le cas en particulier pour :

- le levé sonar en Manche Occidentale (§ chapitre II.1.) ;
- le levé intermédiaire, au Sud de Marseille, effectué par l'*Origny* en 1974 (§ chapitre II.3.3.) ;
- le levé du talus continental le long des côtes espagnoles (voir rapport de mission de la M.O.A. 1974-1975 par l'I.C.A. Demerliac).

Pour chacun de ces cas de figure, la méthode employée, bien que relevant du même principe, fut différente.

En Manche Occidentale, les caractéristiques de la chaîne Toran 3G, utilisée depuis plusieurs années, étaient parfaitement connues et le Trident 1 ne fut utilisé que pour le calage du récepteur Toran. La méthode d'utilisation complémentaire des deux systèmes ne fut réellement développée qu'au cours du levé intermédiaire au Sud de Marseille. Elle fut ensuite quelque peu simplifiée pour le levé du talus continental espagnol réalisé à échelle plus petite et mené de façon plus expéditive.

Les résultats obtenus en 1974 méritent que l'on s'arrête sur cette méthode.

2. PRINCIPE FONDAMENTAL.

Il consiste, très simplement, à utiliser le Trident 1 d'une précision absolue d'une dizaine de mètres comme système de référence pour :

- effectuer le calage du récepteur Toran 3G ;
- déterminer de la comparaison des phases Toran calculées pour le point Trident et des phases observées au même point une valeur approchée des corrections d'étalonnage avec une précision suffisante pour un levé à petite échelle.

Ceci comporte par rapport aux méthodes classiques d'étalonnage et d'utilisation des chaînes Toran des avantages et des inconvénients.

2.1. Inconvénients.

L'imprécision du point Trident entraîne une dispersion sur la valeur de la correction Toran importante et pouvant atteindre quelques dizaines de centièmes de chenal.

2.2. Avantages.

Le procédé permet par contre d'effectuer des comparaisons phases calculées — phases observées à une grande distance de la côte et par suite permet :

- le calage du récepteur, sans avoir à revenir en bordure de côte pour obtenir un point optique de calage ou à mouiller des bouées, d'où un gain de temps appréciable dans l'exécution d'un levé au large. Il faut noter, d'ailleurs, qu'en Méditerranée le procédé de calage sur bouées est rarement possible en raison de la profondeur ;
- de se libérer, dans de grandes proportions, dans l'observation des corrections d'étalonnage, des corrections de trajets terrestres que l'on est obligé de prendre en compte lorsque l'étalonnage est effectué au voisinage de la côte à partir de

points optiques. De plus, au large, les trajets terrestres lorsqu'ils existent varient peu d'un point à l'autre du réseau et finalement les corrections correspondantes peuvent être considérées constantes et englobées dans la correction constante de réseau.

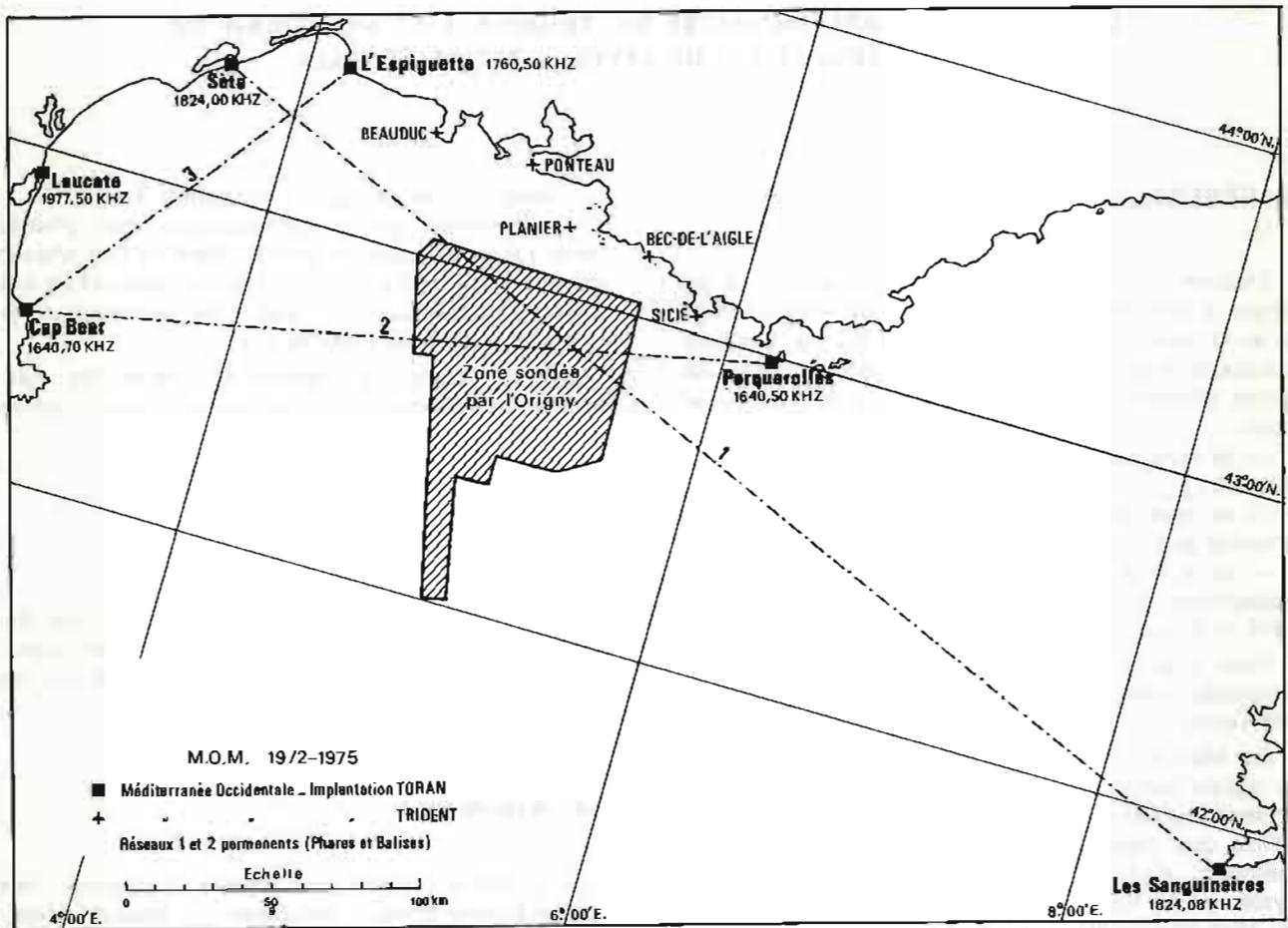
— d'entretenir, tout au long du levé, le calcul des corrections et ainsi vérifier qu'elles n'ont pas varié à la suite d'interventions sur les émetteurs ou contrôler une évolution saisonnière éventuelle.

Le procédé est surtout avantageux et rapide. Il permet, en effet, de se libérer complètement des charges apportées par l'exécution de points optiques à partir de stations à terre nécessitant une couverture géodésique à mailles serrées, du personnel, des véhicules, des liaisons radio et d'une bonne visibilité.

Enfin, les balises Trident étant en place, le levé peut être poursuivi près de côte, de nuit ou lorsque le Toran ne fonctionne pas, ce qui permet également un gain de temps appréciable.

3. RÉSULTATS OBTENUS AU COURS DU LEVÉ BATHYMÉTRIQUE AU SUD DE MARSEILLE.

La planche n° VI.1 indique l'implantation de la chaîne Toran 3G utilisée, la position des balises Trident ainsi que la zone de travail de l'Origny.



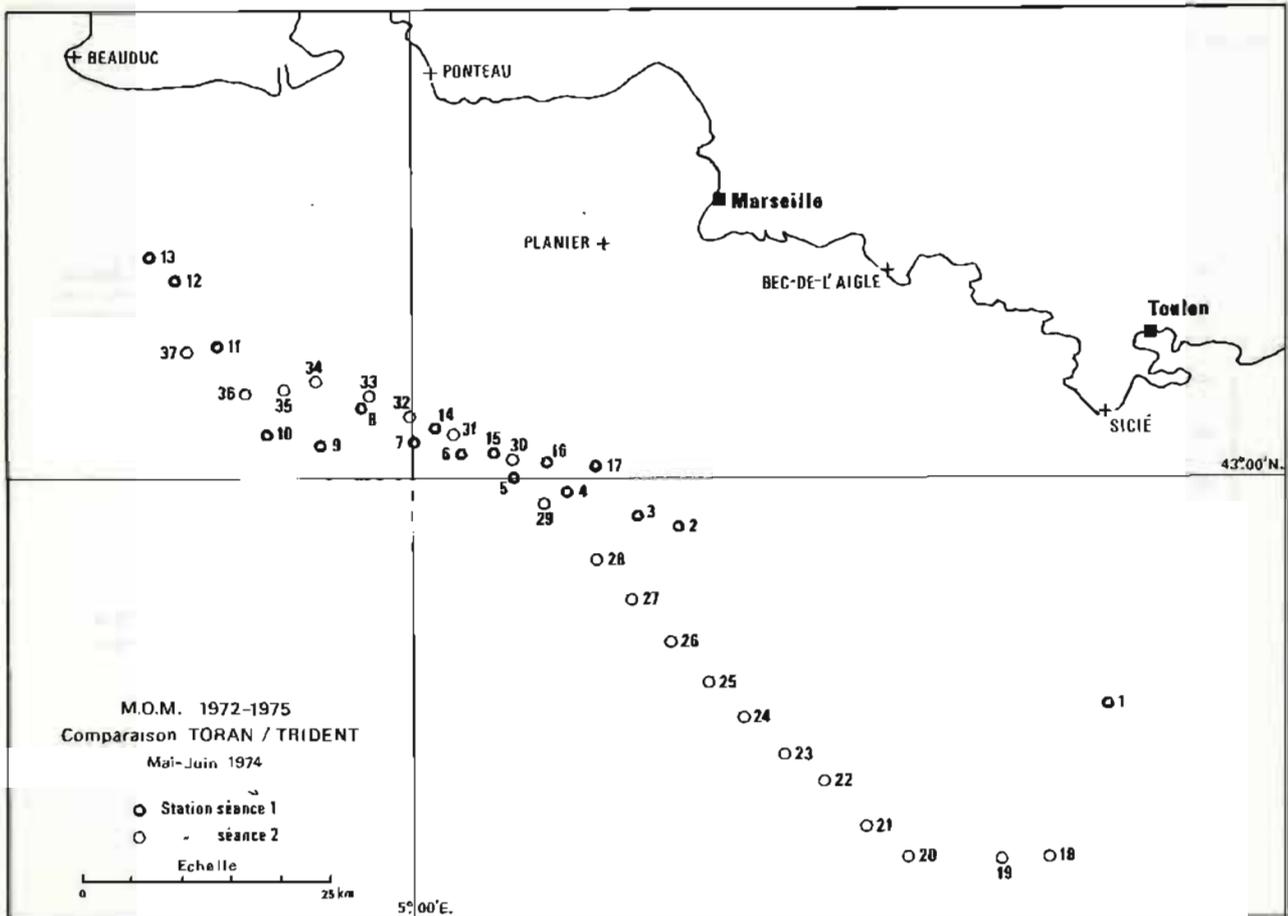
PL. VI.1.

3.1. Etalonnage préalable.

Avant d'entamer le levé proprement dit et pour tester la valeur de la méthode, l'Origny a effectué deux sorties strictement réservées à l'étalonnage de la chaîne Toran à l'aide du Trident. Pour tenter de réduire l'importance de l'erreur sur la correction d'étalonnage due à l'imprécision du Trident,

l'Origny a effectué des séries de stations, bâtiment stoppé, comportant dix observations simultanées du Toran et du Trident espacées de 30 secondes. La correction adoptée pour chaque station était prise égale à la moyenne des dix corrections trouvées.

Vingt-sept stations furent ainsi effectuées au cours des deux sorties d'une durée de 36 heures environ. Les positions de ces stations sont fournies par la planche n° VI.2.



PL. VI.2.

Le traitement et l'exploitation de ces observations ont comporté les étapes suivantes :

- Calcul par le Centre de Calcul de l'E.P.S.H.O.M. :
 - des coordonnées Lambert III des points obtenus par deux ou trois distances ;
 - des phases théoriques des trois réseaux pour les points Trident.
- Calcul par la M.O.M. :
 - pour chaque point de la différence : $\Delta\varphi = \text{phase théorique} - \text{phase observée}$.
 - pour les dix points appartenant à une même station de la moyenne : $\overline{\Delta\varphi}$ des $\Delta\varphi$ obtenus précédemment.
- Report sur graphique des $\overline{\Delta\varphi}$ en fonction du numéro de l'hyperbole pour chaque réseau.

3.1.2. Résultats.

— Réseau 1 (planche n° VI.3.).

Le graphique obtenu apparaît fortement dispersé surtout pour les points provenant de la 2^e séance. L'histogramme des $\Delta\varphi$ réalisé avec les valeurs de la 1^{re} séance montre que la correction d'étalonnage est voisine de — 35 centièmes, valeur qui fut adoptée provisoirement bien que l'histogramme n'ait pas de pic très marqué.

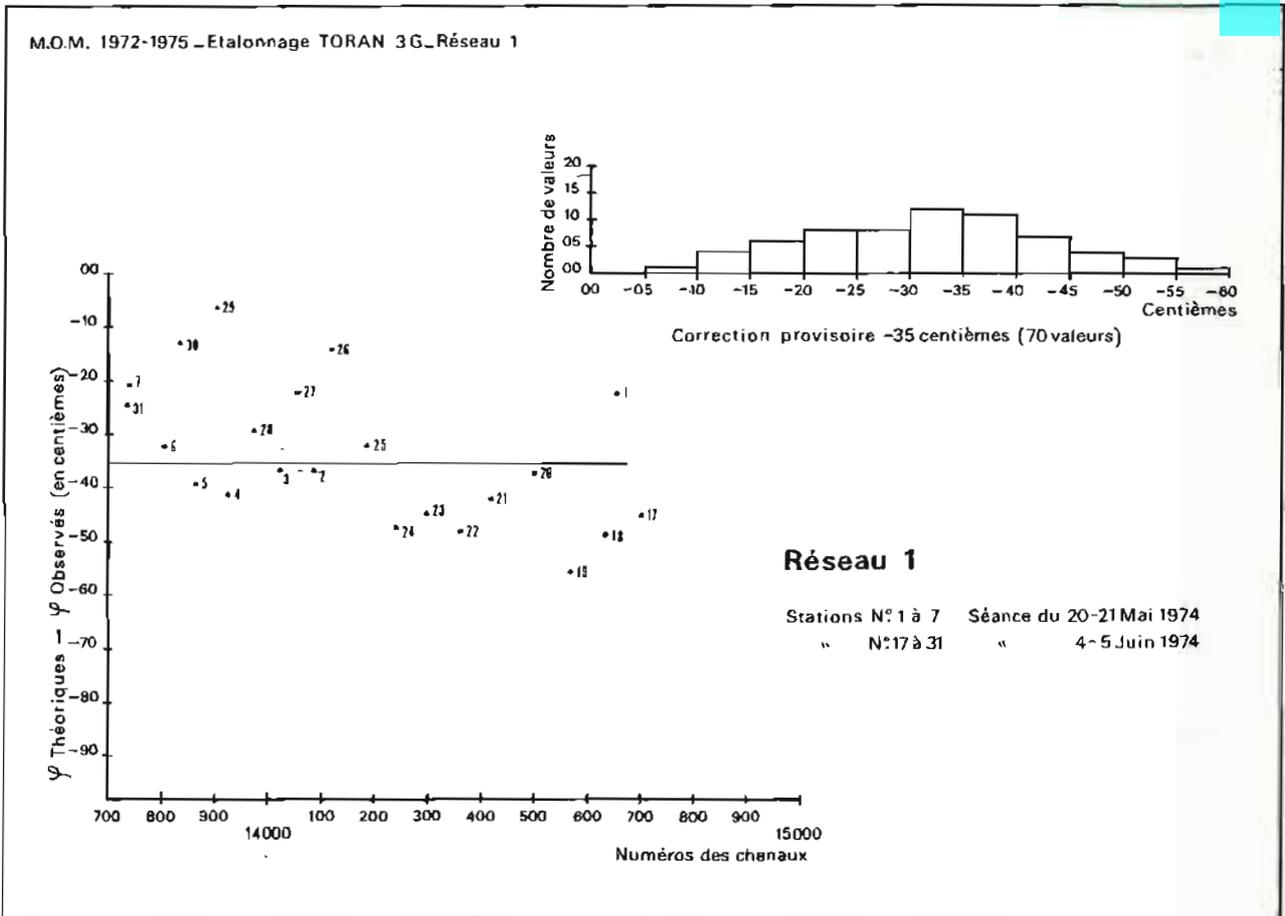
— Réseau 2 (planche n° VI.4.).

Le nuage de points est moins dispersé que pour le réseau 1. La droite moyenne n'est toutefois pas parallèle à l'axe des X. On notera également une dispersion anormale des $\overline{\Delta\varphi}$ des stations 26 à 30. L'inclinaison sur l'axe de la droite obtenue peut s'expliquer par un parcours terrestre de 700 mètres maximum tangent aux falaises de Porquerolles. La droite 2 tracée sur le graphique qui tient compte de ces trajets terrestres est horizontale, ce qui justifie la valeur de la célérité adoptée (*). La courbe 2 situe la correction provisoire du réseau 2 à + 30 centièmes.

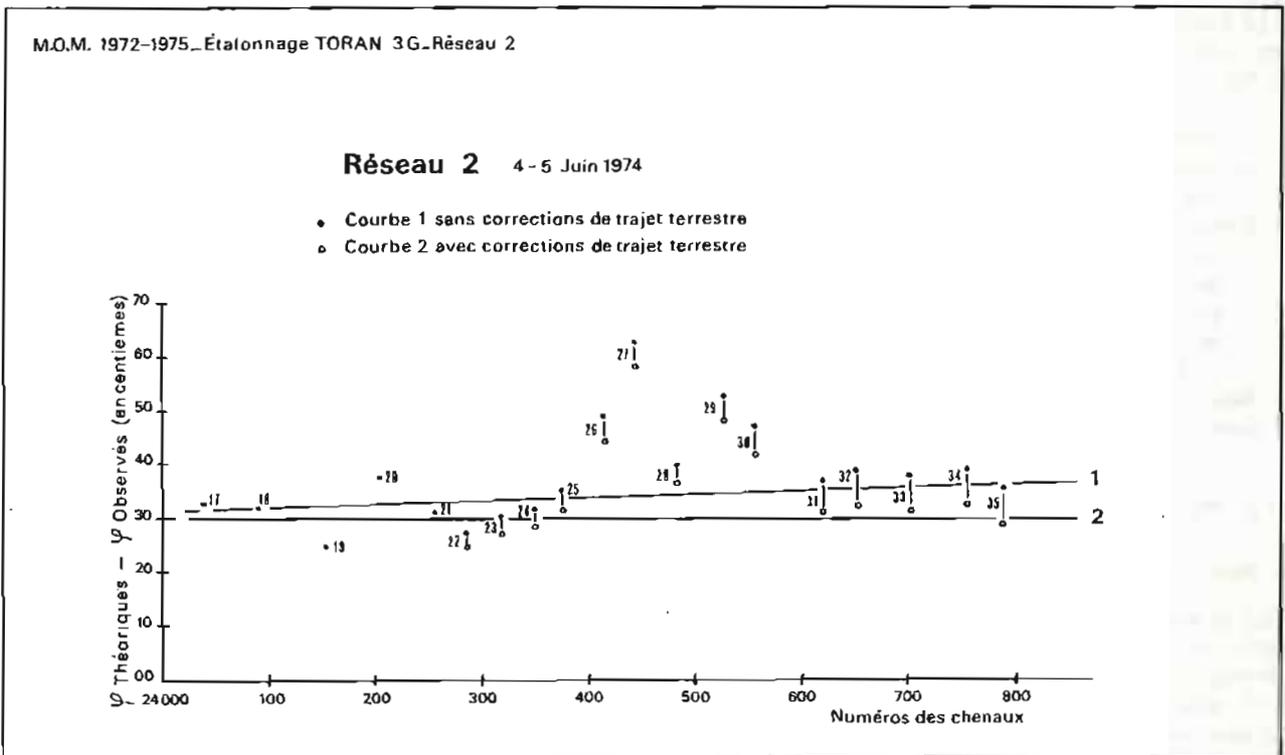
— Réseau 3 (planche n° VI.5.).

Le nuage de points apparaît plus étroit que ceux des réseaux 1 et 2. Ceci s'explique par la largeur des chenaux du réseau 3 aux points de mesure qui est plus importante. Les $\overline{\Delta\varphi}$ des stations 30 à 34 s'écartent fortement de la droite moyenne. Ces stations ont été effectuées un peu avant l'aube à une heure où les réseaux Toran étaient fluctuants. Les

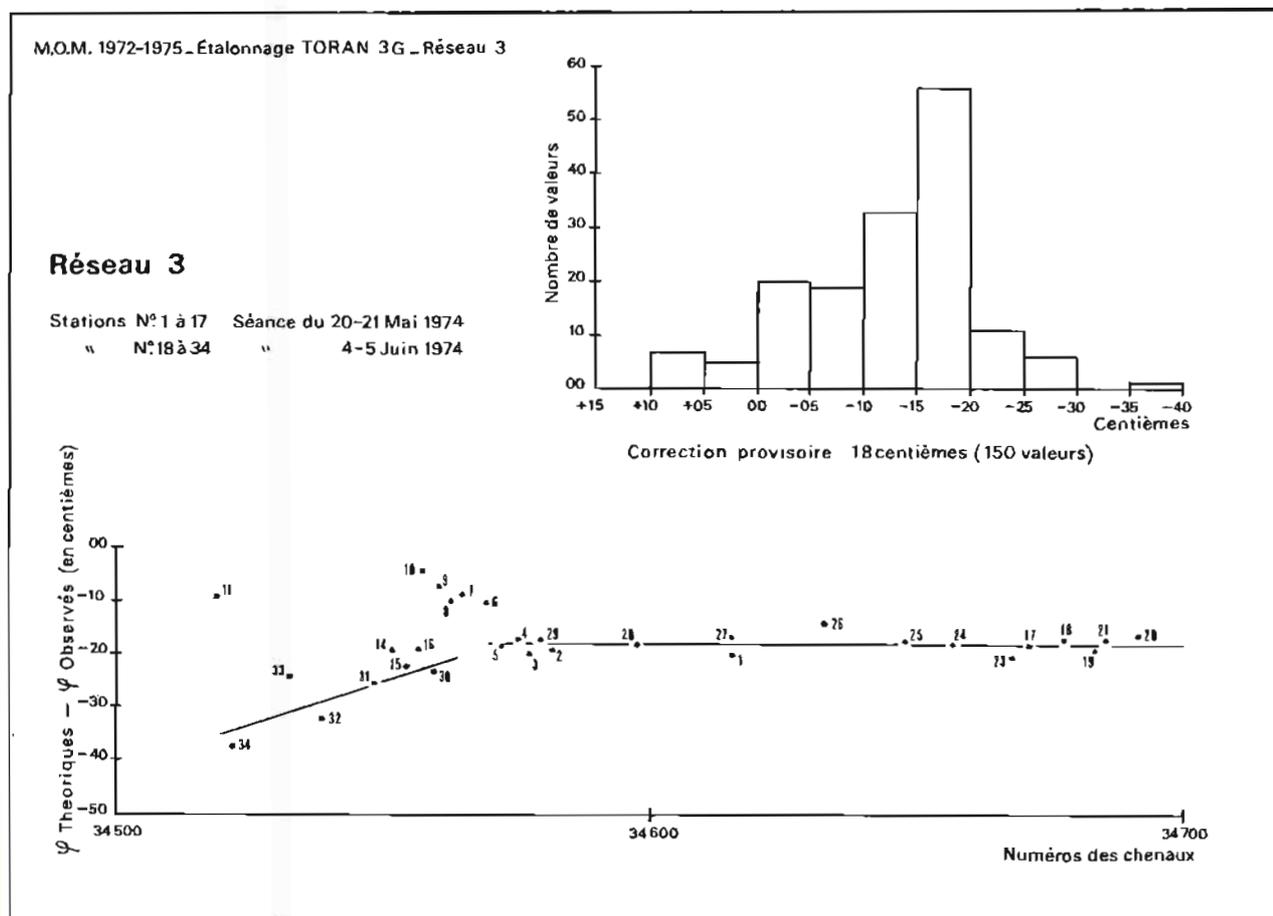
(*) *Annales Hydrographiques*, 5^e série, vol. 1, 1, 1973. (I.C.A. Roubertou).



PL. VI.3.



PL. VI.4.



PL. VI.5.

écarts des $\Delta\varphi$ au $\overline{\Delta\varphi}$ pour ces stations sont beaucoup plus importants que pour les autres.

L'histogramme des $\Delta\varphi$ réalisé avec 150 valeurs est suffisamment pointu pour adopter de façon provisoire mais sans grands risques, la correction d'étalonnage à -20 centièmes.

3.2. Conduite du levé proprement dit et procédure de rédaction adoptée.

Les résultats obtenus au paragraphe précédent ont été jugés au premier abord décevants en raison de la forte dispersion des $\overline{\Delta\varphi}$, insuffisants et incomplets pour pouvoir rédiger le levé prescrit sans données complémentaires.

C'est pour cette raison et aussi pour des raisons de sécurité, l'*Origny* ne possédant pas d'enregistreur Linax, que le levé fut conduit de façon prudente et comme suit :

— Tout d'abord il fut aménagé une zone intermédiaire entre la zone en bordure de côte sondée au Trident et la zone du large où le seul moyen de

localisation était le Toran. Dans cette zone intermédiaire la position de l'*Origny* se trouvait déterminée par cinq ou six lieux (trois hyperboles Toran et deux ou trois cercles Trident).

— Guidé sur une hyperbole du réseau 2, l'*Origny* en sondage calait son récepteur Toran *graphiquement*, à l'échelle du 1/50 000, en concordance avec les points Trident. Etant donné l'étroitesse du chenal, ce calage ne pouvait être certain à mieux d'une hyperbole près.

— La durée d'un profil Toran couvrant la zone du large étant seulement de l'ordre de quelques heures, l'*Origny* revenait en zone intermédiaire relativement fréquemment et pouvait ainsi à chaque fois vérifier son calage Toran.

— Sur chaque profil Toran en zone intermédiaire (aller et retour) trois tops de sonde comportant des observations simultanées Trident-Toran furent effectués et traités par le calcul de la même façon que les données d'étalonnage initial. Ceci afin de :

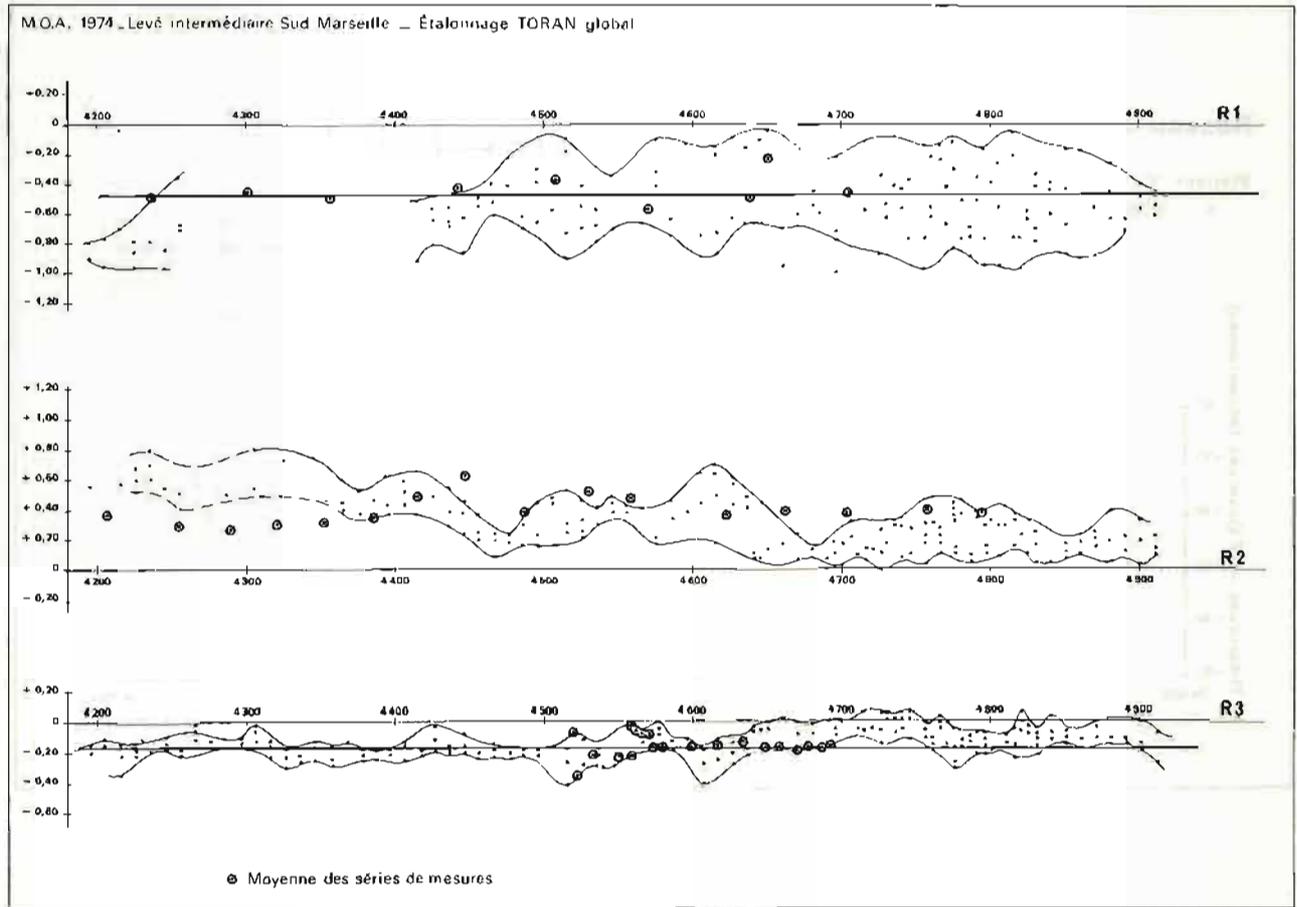
— Contrôler au début de chaque profil vers le large et à la fin de chaque profil vers la terre le calage du récepteur et de détecter ainsi les sautes d'hyperboles éventuelles.

— Améliorer en augmentant le nombre de valeurs,

les corrections Toran adoptées provisoirement à l'issue de l'étalonnage.

— Les valeurs de $\Delta\varphi$ obtenues ont été reportées

individuellement sur les graphiques d'étalonnage et ont grossièrement confirmé ce dernier (voir planche VI.6.).



PL. VI.6.

— Les corrections fines utilisées pour la construction des tops d'un profil aller vers le large et d'un profil retour vers la terre furent adoptées égales à la moyenne des $\Delta\varphi$ obtenus pour les six points de contrôle calculés sur ces deux profils. Cette méthode a toutefois impliqué de différer la rédaction du levé jusqu'à l'achèvement des calculs.

4. CONCLUSIONS.

Les valeurs $\Delta\varphi$ obtenues à partir des observations simultanées Toran-Trident entretenues tout au long de l'exécution du levé plus complètes que celles qui résultent de l'étalonnage, remettent en définitive en cause la notion et l'utilité d'un étalonnage préalable à l'utilisation d'une chaîne Toran pour les levés à l'échelle moyenne pour peu que l'on dispose d'un moyen précis et absolu de localisation complémentaire et de moyens de calcul.

La mise en place de moyens de calcul à bord des bâtiments permettant le calcul des $\Delta\varphi$ en temps réel améliorerait considérablement l'emploi de la méthode.

De plus on observe de temps en temps des écarts importants entre la droite adoptée à partir des valeurs $\bar{\Delta\varphi}$ obtenues au cours de l'étalonnage préalable et les valeurs $\Delta\varphi$ obtenues au cours du levé. Ces écarts proviennent sans doute des décalages dans le temps des différentes observations.

Ainsi l'adoption des corrections à partir des observations simultanées Toran-Trident en cours de levé qui tiennent compte des conditions de propagation à l'instant du levé me paraît finalement plus justifiée que l'emploi de corrections adoptées à l'issue d'un étalonnage préalable effectué dans d'autres conditions.

L'étalonnage préalable apparaît donc encore plus inutile et peut être réduit à une courte sortie pour vérifier le fonctionnement de la chaîne avant de débiter le levé.

NOTE TECHNIQUE N° 2

**PRÉCISION DU SYSTÈME OMÉGA DIFFÉRENTIEL EN MÉDITERRANÉE OCCIDENTALE
(CAMPAGNES HYDROMED ZONE A)**

1. GÉNÉRALITÉS.

Au cours des deux campagnes océanographiques HYDROMED, Zone A. Hiver et Eté (voir chapitre III.4 et III.5) la localisation de l'*Origny* a été assurée par le Système Oméga fonctionnant en différentiel avec un émetteur fixe installé à Toulon.

Les deux récepteurs utilisés chaque fois (Sercel, type M3) furent prêtés à la M.O.M. par la C.E.P. TRANS, qui était très intéressée par les résultats obtenus et les rapports d'étude que nous pourrions produire. La C.E.P. TRANS a en outre prêté son concours pour effectuer sur l'ordinateur du G.R.O.T. (Groupe de Recherche Opérationnelle Technique) les calculs de points à partir des phases observées.

Les phases observées furent les phases différences A-D et B-D.

- A : émetteur d'Aldra (Norvège) ;
- B : émetteur de Trinidad (Antilles) ;
- D : émetteur North Dakota (U.S.A.).

La réception fut bonne en général, et le récepteur installé sur l'*Origny* fonctionna de façon normale au cours des deux campagnes citées. Sur l'*Origny*, un point était observé tous les quarts d'heure et à chaque événement important de la navigation (changement de cap, giration pour créneau G.E.K., point observé en vue de terre, etc.). A Toulon, au point fixe, la variation des phases fut observée toutes les 10 ou 20 minutes.

Cette présente note traite essentiellement des mesures qui ont été effectuées au cours de la campagne HYDROMED-A. Hiver 74 (§ chapitre III.4.) lorsque l'*Origny* se trouvait sur coffre à Saint-Tropez, en position fixe. Une cible permettant d'évaluer la précision absolue du système Oméga différentiel a également été établie lors d'un mouillage abrité de l'*Origny* au cours de la campagne HYDROMED-A. Eté 74. L'évaluation de la précision absolue d'un système de radionavigation ne peut en effet être testée que lorsqu'on connaît de façon précise la position exacte du récepteur.

2. RÉSULTATS OBTENUS.**2.1. Exploitation des observations en mode direct.**

Le calcul des points observés au point fixe, en

utilisant le mode de calcul et les tables de corrections de l'U.S.N.O.O. fournit des dispersions de l'ordre de 5 milles qui nous conduit à abandonner ce type d'exploitation et surtout à interdire l'utilisation de l'Oméga sur ce mode pour l'exécution des campagnes océanographiques, la navigation astronomique étant plus précise.

2.2. Exploitation en mode différentiel.

Elle consiste à observer, en un point fixe connu, les écarts des phases observées aux phases théoriques, et par suite de définir en fonction du temps les corrections à apporter aux observations d'un récepteur mobile se déplaçant au voisinage du récepteur fixe pour que sa position calculée soit la plus exacte possible.

Le test a été réalisé à deux reprises à six mois d'intervalle à l'aide d'un récepteur installé sur l'*Origny*, au mouillage à Saint-Tropez puis à Calvi et d'un récepteur fixe installé à Toulon.

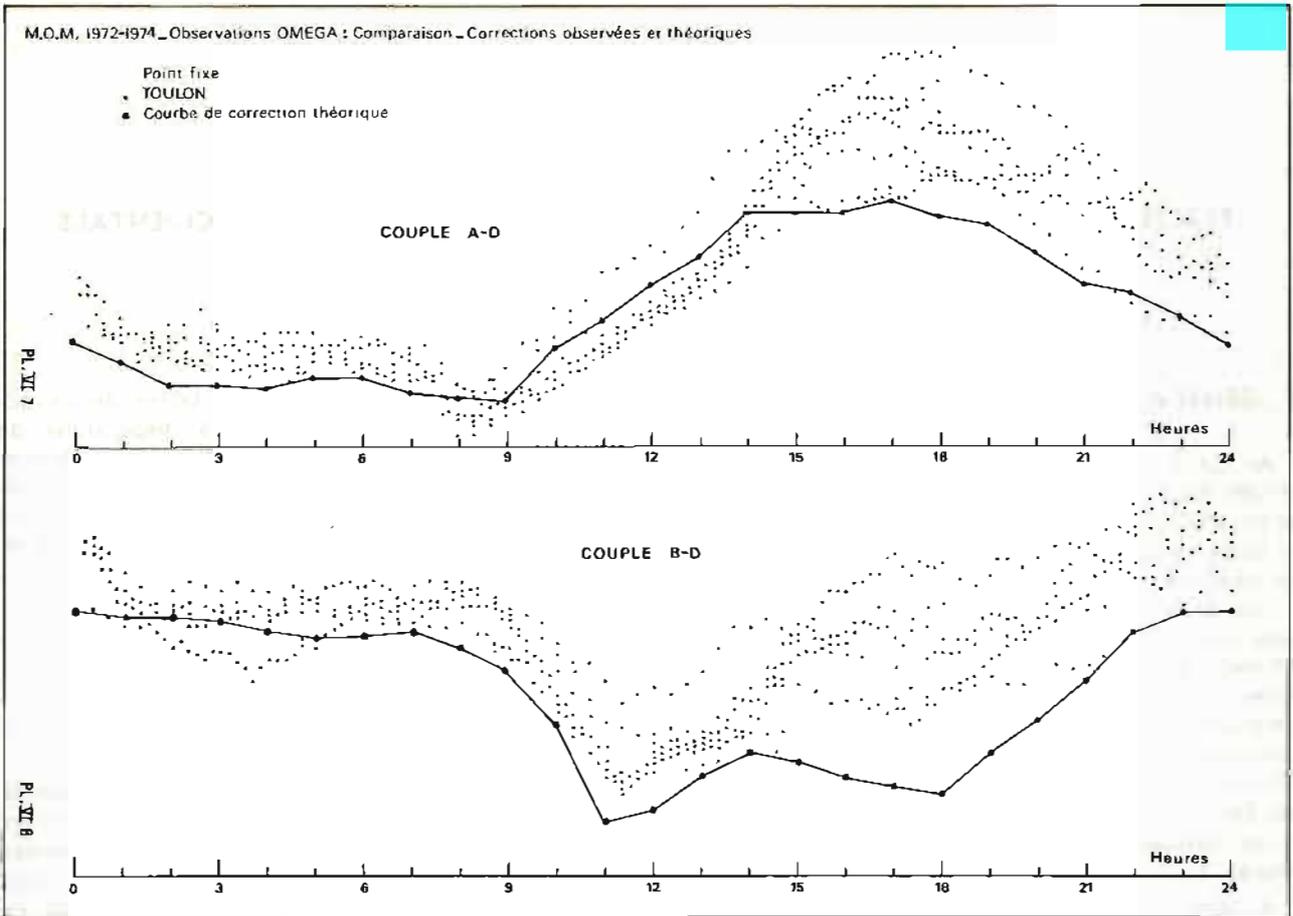
2.2.1. Campagne Hydromed A. Hiver. Mouillage à Saint-Tropez.

L'étude s'appuie sur 50 heures d'observation et un total de 176 points. Les phases observées étant AD et BD.

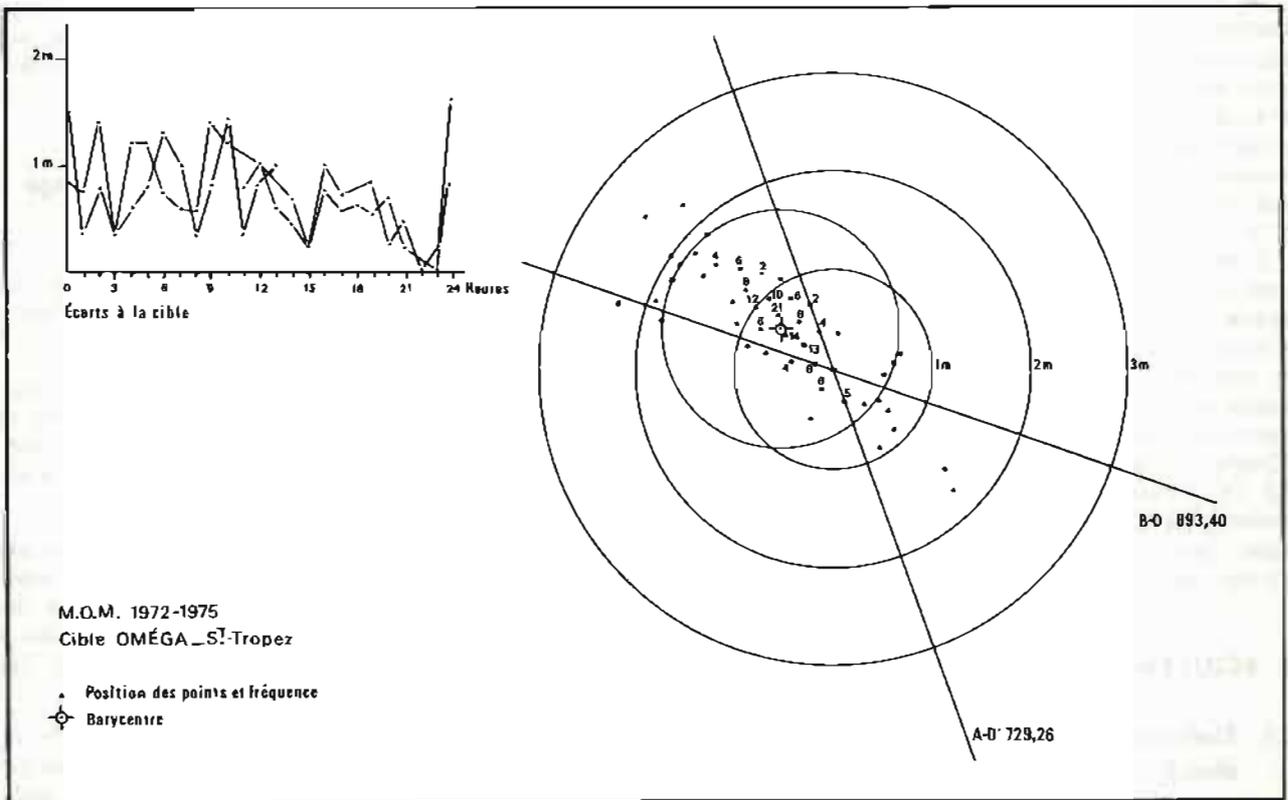
Nous avons ainsi étudié les fluctuations en fonction du temps des phases observées autour de la valeur théorique corrigée à Saint-Tropez et Toulon, et la fluctuation différentielle qui apparaissent aléatoires à ± 5 centièmes.

Les phases observées à Saint-Tropez ayant été corrigées des fluctuations autour de la valeur théorique observée à Toulon nous avons calculé les coordonnées géographiques des points observés à Saint-Tropez, ce qui nous a permis d'établir les planches fournies ci-après :

— Comparaison sur cinq jours d'observation au point fixe des fluctuations des phases observées par rapport à la courbe de corrections horaires issus des tables de l'U.S.N.O.O. (planches n° VI.7. et VI.8.).



PL. VI.7. et PL. VI.8.



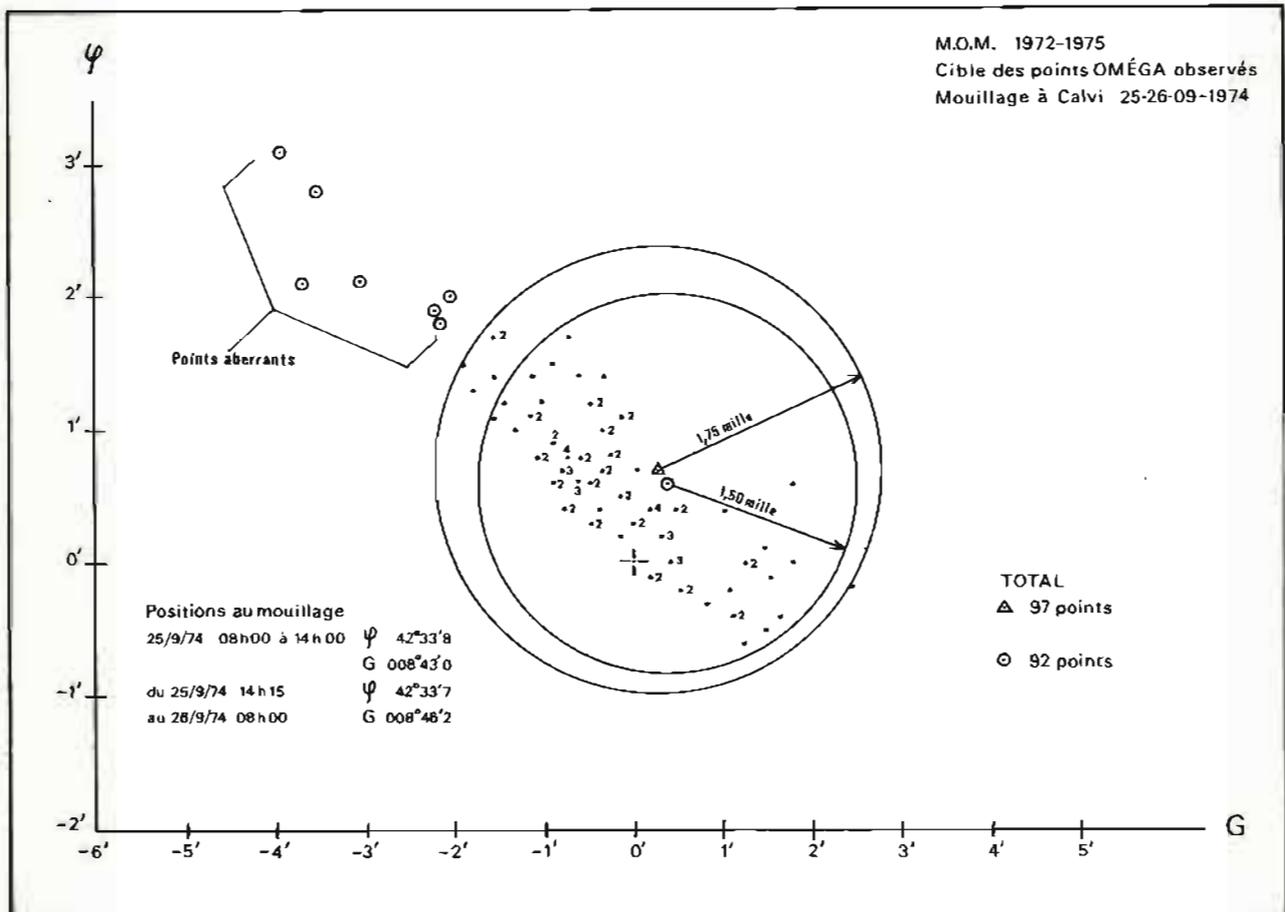
PL. VI.9.

— Fabrication d'une cible fournissant la dispersion planimétrique des points observés autour du point théorique (planche n° VI.9.).

— Variation des écarts en distance par rapport au centre de la cible en fonction de l'heure de la journée.

2.2.2. Campagne Hydromed A. Eté. Mouillage à Calvi.

En septembre 1974 sur cible portant sur 97 points et 48 heures d'observation analogue à la cible de Saint-Tropez a été calculée et est représentée sur la planche n° VI.10.



PL. VI.10.

3. CONCLUSION : ÉVALUATION DU SYSTÈME.

La cible Saint-Tropez (planche n° VI.9.) montre que le barycentre des points observés se situe à 0,7 mille du point théorique. Ceux-ci sont tous inclus dans un cercle de 1,8 mille de rayon centré sur le barycentre ; 90 % des points sont situés à l'intérieur d'un cercle de 1,2 mille de rayon.

La cible de Calvi (planche n° VI.10.) montre que les barycentres des points observés sont situés à

0,8 mille environ du point théorique. 90 % des points observés sont situés à l'intérieur d'un cercle de 1,5 mille de rayon, centré sur le barycentre.

En vue de côte, les points Oméga différentiels ont pu être comparés aux points observés en vue de terre. Les erreurs sont très variables et doivent être expliquées par les erreurs sur le point observé. L'écart moyen observé est de 1,4 mille.

La précision absolue du Système Oméga fonctionnant en différentiel dans le périmètre Marseille - Saint-Tropez - Calvi, est de l'ordre de 1,5 mille.

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

PREMIÈRE PARTIE

	Pages
G. CHABERT D'HIÈRES et C. LE PROVOST : Atlas des composantes harmoniques de la marée dans la Manche	5
M. MENACHÉ, C. BEAUVERGER et G. GIRARD : Etude de la variation de la masse volumique de l'eau (eau pure et eau de mer) en fonction de la composition isotopique et de la teneur en gaz atmosphériques dissous	37

DEUXIÈME PARTIE

J.F. BONNOT : Mission Hydrographique de Dragage (février 1972 - août 1972) et Mission Océanographique de Méditerranée (août 1972 - novembre 1975)	79
---	----