

ANNALES HYDROGRAPHIQUES

5^e Série – Vol. 9 – 1981

N° 756



Service Hydrographique
et Océanographique de la Marine - Paris

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

ANNALES HYDROGRAPHIQUES

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
Première partie	
Les hétéroéléments (nickel, vanadium, soufre, azote) dans l'identification d'un résidu pétrolier, par MM. M. BUSSIERE, J.L. RIOU et J.L. CARVIN, Pharmacien-Chimiste Principal des Armées, Etablissement Principal du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine	5
Méthodes de prédiction de la marée en Gironde, par M.B. SIMON, Ingénieur Civil sous contrat, Etablissement Principal du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine.	25
Prédiction de la Marée au Havre, par M. B. SIMON, Ingénieur Civil sous contrat, Etablissement Principal du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine.	39
Deuxième partie	
Mission Océanographique de Méditerranée (2 novembre 1975 – 29 décembre 1978), par M.L. PIERETTI, Ingénieur en chef de l'Armement (hydrographe).	49



PREMIÈRE PARTIE



LES HÉTÉROÉLÉMENTS (nickel, vanadium, soufre, azote) DANS L'IDENTIFICATION D'UN RÉSIDU PÉTROLIER

ANALYSE CRITIQUE DES DIFFÉRENTES MÉTHODES PHYSICO-CHIMIQUES UTILISÉES

par

MM. M. BUSSIÈRE, J.L. RIOU et J.L. CARSIŃ,
Pharmacien-Chimiste Principal des Armées

Établissement Principal du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine

RESUME

Dans le contrôle de l'état de pollution de la mer par les hydrocarbures, l'identification du polluant est assurée par l'analyse de différents paramètres chimiques. Aux analyses des familles hydrocarbonées s'ajoutent celles des éléments hétérogènes, soit métalliques à l'état de traces du type vanadium et nickel, soit sulfurés ou azotés.

Après quelques généralités sur l'origine de ces composés, la première partie présente une étude bibliographique des différentes techniques analytiques utilisées. Dans la deuxième partie, sont testées quelques méthodes de minéralisation et d'analyses de ces hétéroéléments pratiquées sur des résidus pétroliers recueillis sur le littoral de la pointe de Bretagne.

ABSTRACT

When checking the pollution of the sea by hydrocarbons, identification of the polluting element is performed through analysis of different chemical parameters.

After the analyses of hydrocarbons come those of some heterogeneous elements, either metallic like traces of vanadium and nickel, or sulphureted or nitrogenous.

After generalities dealing with the origin of such compounds, the first part of this paper brings up a bibliographical study on the diverse analytical techniques in use.

In the second part mineralization and analyses methods of heteroelements are tested on oil residuums collected on the shore of Brittany's foreland.

Le véritable problème de la pollution de la mer par les hydrocarbures résulte d'une contamination systématique liée au trafic du pétrole à laquelle s'ajoute épisodiquement celle provoquée par des rejets accidentels. A l'encontre de ce danger, il est important de :

- détecter rapidement les nappes d'hydrocarbures en dérive ;
- repérer les navires pétroliers ou autres qui, dégageant volontairement, ont enfreint la réglementation en vigueur sur les rejets d'hydrocarbures en mer ;
- surveiller après une pollution accidentelle, le déplacement des nappes d'hydrocarbures.

Ceci nécessite la caractérisation du contaminant par analyse chimique et la comparaison de son identité avec

celle de divers résidus trouvés dans la région où la pollution s'est produite.

Sur le plan chimique, les pétroles sont des mélanges complexes classés en trois groupes : les aliphatiques, les cyclaniques et les aromatiques en proportions variables. Il existe un éventail des méthodes analytiques pour leur caractérisation :

- spectrométrie infrarouge,
- spectrométrie ultraviolette,
- spectrométrie Raman,
- chromatographie en phase gazeuse.

A ces familles hydrocarbonées, s'ajoutent des composés hétérogènes, soit métalliques à l'état de traces (nickel, vanadium), soit sulfurés ou azotés. Ces éléments entrent dans la composition de produits organiques stables ou dans celle de produits solubles dans l'eau.

PREMIERE PARTIE

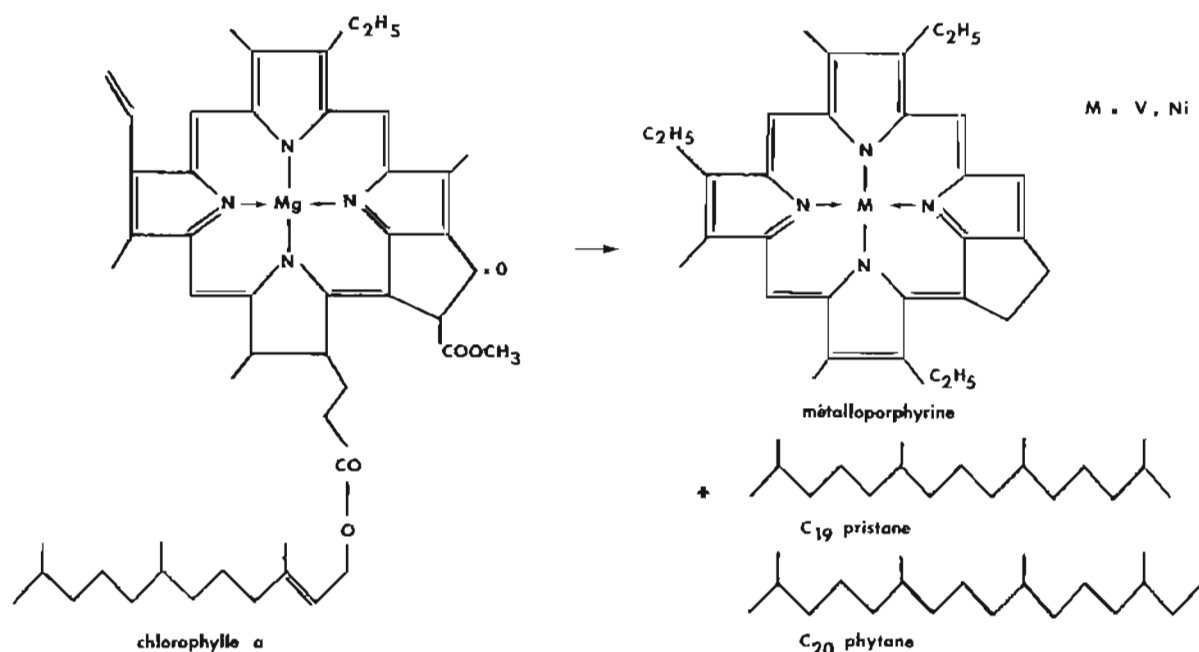
ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

AVANT-PROPOS

NATURE DES ELEMENTS METALLIQUES

Certains métaux, en particulier le nickel et le vanadium, se trouvent sous forme de porphyrines, dérivant de celles de la chlorophylle des plantes ou de l'hémine du sang.

Mais les porphyrines du pétrole ne rendent compte que d'une petite partie de l'existence du nickel et du vanadium dans les bruts. Certaines porphyrines sont volatiles et expliquent la présence des métaux dans les fractions lourdes de distillation du brut. En fait 97 % du vanadium et 99 % du nickel se retrouvent dans les fuels oils résiduaires et sont précipités avec les asphaltènes.



NATURE DES COMPOSES SOUFRES

Parmi les dérivés organosoufrés, on distingue principalement :

- les composés thiophéniques (benzo et dibenzothiophènes, benzonaphthothiophènes) que l'on trouvera dans les fractions lourdes ;
- les composés non thiophéniques (hydrogène sulfuré, mercaptans, sulfures, disulfures) dans les fractions de bas point d'ébullition.

Ces deux familles possèdent des propriétés chimiques très différentes. Enfin, dans certains pétroles, le soufre se trouve sous forme élémentaire.

NATURE DES COMPOSES AZOTES

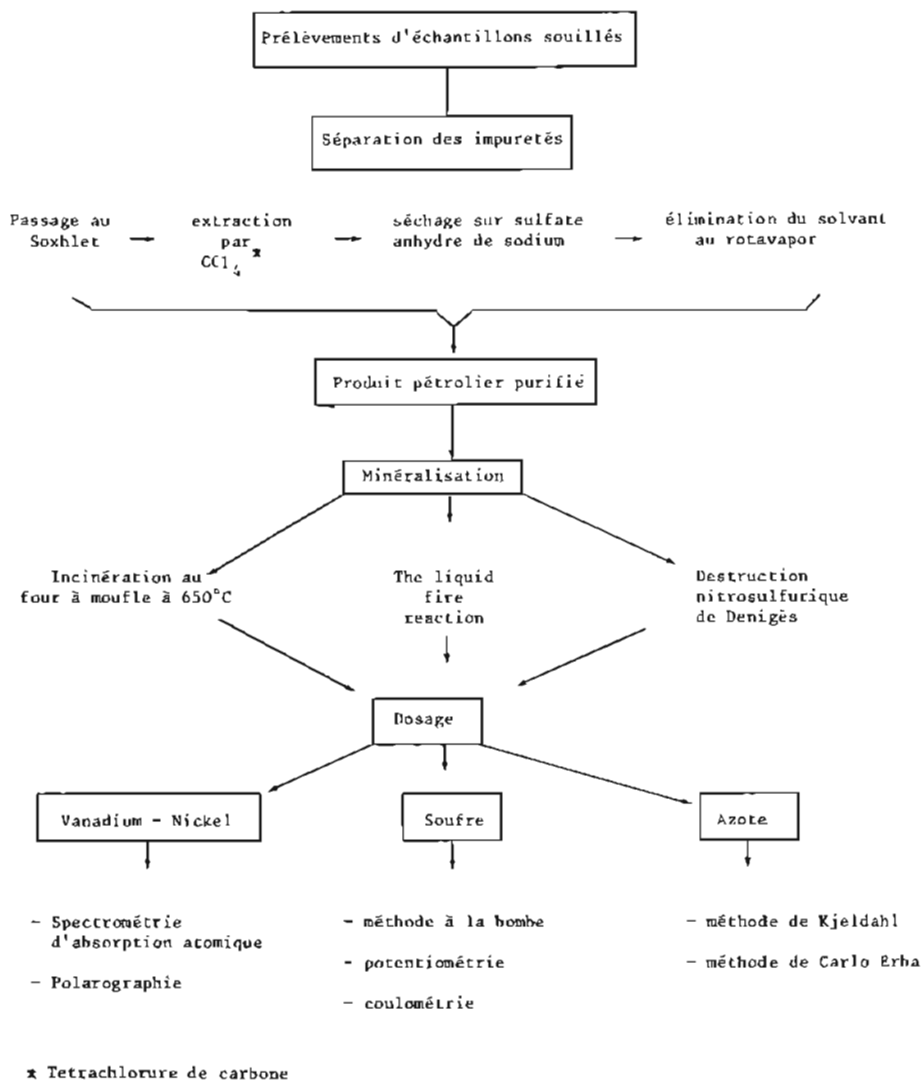
Comme les composés soufrés, on les rencontre essen-

tiellement dans les fractions lourdes. Les composés azotés sont classés en deux grandes catégories selon leurs propriétés acides-bases :

- les produits basiques (pK_a > 5) qui sont essentiellement des alkyldopyridines (méthylpyridine ou picoline, diméthylpyridine ou lutidine, éthylpyridine et triméthylpyridine ou collidine) et les quinoléines ;
- les produits faiblement basiques ou neutres qui sont des dérivés du pyrrole, du thiazole, de l'indole et du carbazole.

Les métalloporphyrines, complexes tétrapyrroliques de certains métaux de transition, font aussi partie des composés azotés non basiques des fractions lourdes du pétrole.

Nous nous proposons d'étudier les différentes techniques analytiques relatives à ces éléments dont les résultats apporteront des renseignements supplémentaires à l'identification du produit.



Pl. 1. — Protocole expérimental

CHAPITRE I

DOSAGE DES TRACES DE NICKEL ET DE VANADIUM DANS LES HYDROCARBURES

Depuis quelques années, géologues, chimistes et ingénieurs des compagnies pétrolières prêtent une attention toute particulière aux traces de métaux présents dans le pétrole brut et ses produits dérivés, ceci pour deux raisons essentielles :

— la première est l'importance de leurs interactions avec les catalyseurs employés dans les procédés de raffinage ;

— la seconde est que la teneur de ces éléments permet une identification des divers hydrocarbures bruts et donne ainsi de précieux renseignements sur les polluants.

Nous nous limitons dans cette étude aux traces de nickel (Ni) et de vanadium (V), premiers éléments dosés pour lesquels de nombreuses données de référence sont disponibles pour la majorité des bruts. En effet, le rapport V/Ni, paramètre le plus utilisé pour situer l'origine géographique du pétrole, semble ne pas être modifié par les dégradations subies par ce dernier au cours de son séjour dans l'eau de mer. Ces deux métaux se rencontrent dans le pétrole sous forme de composés de poids moléculaire très variable : soit des composés organiques stables (métalloporphyrines), soit des composés minéraux solubles dans l'eau. En général, les composés

du nickel sont considérés comme plus volatils et plus solubles dans l'eau que ceux du vanadium.

Leur dosage s'effectue par différentes méthodes : colorimétrie, spectrométrie d'absorption atomique, polarographie. Dans un premier paragraphe, nous étudierons les procédés de destruction du pétrole, c'est-à-dire sa minéralisation, puis dans un second paragraphe les techniques d'analyse du nickel et du vanadium.

1.1. MINÉRALISATION DU PÉTROLE

1.1.1. Intérêt

Les éléments traces se trouvent concentrés au niveau de la fraction d'asphaltène, fraction la plus résistante à la dégradation. Le nickel ou le vanadium se trouve inclus dans des complexes organométalliques, notamment les porphyrines où il est lié à quatre atomes d'azote, donneurs d'électrons. Dans les autres composés, l'oxygène et le soufre peuvent agir comme donneurs dans différentes combinaisons. L'élément trace est alors inclus dans des complexes organométalliques avec une configuration électronique semblable à celle rencontrée dans les dicétones, les α dicétone-imines et les monothio ou dithio- β -cétones.

La minéralisation détruit toute la matière organique et permet ainsi de ne conserver de l'échantillon que la charge minérale où se trouvent les éléments traces nickel et vanadium.

1.1.2. Préparation des échantillons

Les échantillons à analyser sont habituellement des résidus pétroliers ramassés sur le littoral et souillés d'eau de mer ou de débris marins (sédiment, sable, algues, coques, plumes d'oiseaux). En conséquence, la séparation du produit pétrolier de ses impuretés s'effectue dans un extracteur Soxhlet au moyen d'un solvant, le tétrachlorure de carbone (CCl_4). Ce dernier, par dissolution récupère uniquement l'hydrocarbure.

Après séchage de la solution organique par passage sur du sulfate anhydre de sodium, le solvant chloré est éliminé au rotavapor.

1.1.3. Procédés de minéralisation

1. Incinération des échantillons

Les échantillons sont placés dans des creusets en platine tarés. Après addition de quelques gouttes d'acide sulfurique concentré, on les introduit dans un four à moufle dont on monte la température à 650°C .

Les cendres sulfatées sont ensuite reprises par un acide dilué, l'acide nitrique. Dans le cas de l'emploi d'acide chlorhydrique, une dissolution à chaud est nécessaire pour éviter les pertes de métaux.

2. "The liquid fire reaction"

Ce type de minéralisation s'effectue dans un Erlen Meyer, muni d'un réfrigérant, contenant la substance à minéraliser et le mélange d'acides suivant :

acide nitrique 5 parties,
acide sulfurique 2 parties,
acide perchlorique 2 parties.

L'oxydation de la matière organique est réalisée assez rapidement en toute sécurité. Cette méthode est appelée "the liquid fire reaction" parce qu'il peut arriver parfois que le produit pétrolier s'enflamme spontanément au contact de la solution chaude de perchlorate.

Ainsi, ce procédé est utilisé avec succès pour le caoutchouc, le bois, le charbon et maintenant l'asphalte. Cependant, l'emploi de ces trois acides amène les observations suivantes :

— l'acide nitrique oxyde les groupes instables qui rendent la réaction explosive ou qui forment des composés explosifs par la présence d'acide perchlorique ;

— l'acide sulfurique agit comme déshydratant, il permet de conserver une température élevée aux cendres ($> 340^\circ\text{C}$) ;

— l'acide perchlorique, à faible température et dilué, n'agit pas comme oxydant. En revanche, à une température élevée, il possède un pouvoir d'oxydation élevé surtout s'il est combiné à un excès d'acide. 25 ml de mélange suffisent pour oxyder un gramme d'asphalte. L'échantillon est porté à la température de 100° pendant trente minutes puis de 350°C jusqu'à dessiccation. L'évaporation doit être totale pour éliminer les dernières traces d'acide sulfurique qui dans le cas d'une mesure par absorption atomique peuvent donner des interférences avec le nickel (les sulfates absorbent près du nickel à 320 \AA).

En fin de réaction, tous les métaux sont à leur degré d'oxydation le plus élevé. Dans de telles conditions, il n'y a pas de perte de nickel mais le chlorure de vanadium se volatilise en petite quantité. De là résulte une diminution d'environ 5 % du vanadium total.

3. Destruction nitrosulfurique de Denigès

La substance (1 à 2 grammes) est placée dans une fiole conique montée d'un petit entonnoir. Après addition d'acides nitrique (5 ml) et sulfurique (2 ml), on chauffe modérément au départ puis progressivement, on augmente la température sans perdre d'acide nitrique.

Lorsque la solution noircit, on ajoute de l'acide nitrique par portions de 0,5 ml à 1 ml. On porte à ébullition. On continue l'opération jusqu'à ce que la solution soit incolore ou jaune pâle.

Après refroidissement, on ajoute 1 à 3 ml d'eau puis on évapore à nouveau jusqu'à l'obtention de fumées sulfuriques. On recommence l'opération jusqu'à disparition complète de l'acide nitrique. L'opération se termine par addition d'acide perchlorique (2 gouttes). Si la solution noircit alors, il faut recommencer après addition d'acides nitrique et perchlorique.

1.2. Dosage par spectrométrie d'absorption atomique

Mise au point par Walsh en 1955, il s'agit d'une méthode sensible de dosage des éléments métalliques. Elle s'est largement développée ces dernières années.

1.2.1. Principe

Le passage d'un atome d'un niveau d'énergie E_1 à un niveau E_2 plus élevé met en jeu une quantité d'énergie qui peut être fournie par un faisceau lumineux. Dans ce cas, l'atome absorbe un quantum d'énergie.

$$h \nu_0 = E_2 - E_1$$

h = constante de Planck

ν_0 = fréquence de rayonnement

Cette fréquence, située pour les éléments métalliques entre 200 et 900 nm est caractéristique de l'atome considéré.

En spectrométrie d'absorption atomique, un faisceau de lumière monochromatique d'intensité I_0 traverse un nuage d'atomes neutres formé à partir de l'échantillon à analyser.

Si I est l'intensité lumineuse du faisceau émergent, l'absorbance

$$A = \log \frac{I_0}{I}$$

est proportionnelle au nombre d'atomes neutres N présents sur le parcours du faisceau. Ce nombre N , dans les conditions d'atomisation constante, est proportionnel à la concentration C de l'élément sous toutes ses formes dans l'échantillon et la relation :

$$A = f(c)$$

est en première approximation linéaire.

Indépendamment des données physiques, spécifiques de l'élément considéré, la sensibilité d'un dosage est fonction du rendement de la transformation des atomes combinés en atomes neutres. Ce rendement dépend lui-même de l'atomiseur et des conditions thermiques d'atomisation mais aussi de nombreux équilibres physico-chimiques pas toujours bien connus.

En conséquence, il est nécessaire de réaliser un étalonnage par l'élément à déterminer et ceci dans des conditions aussi semblables que possible à celles de l'analyse.

La spectrométrie d'absorption atomique est une méthode spécifique du métal mais elle n'est pas toujours exempte d'interférences et présente par ailleurs l'inconvénient de nécessiter une source lumineuse par métal à doser, ce qui rend les dosages simultanés difficilement réalisables.

1.2.2. Appareillage

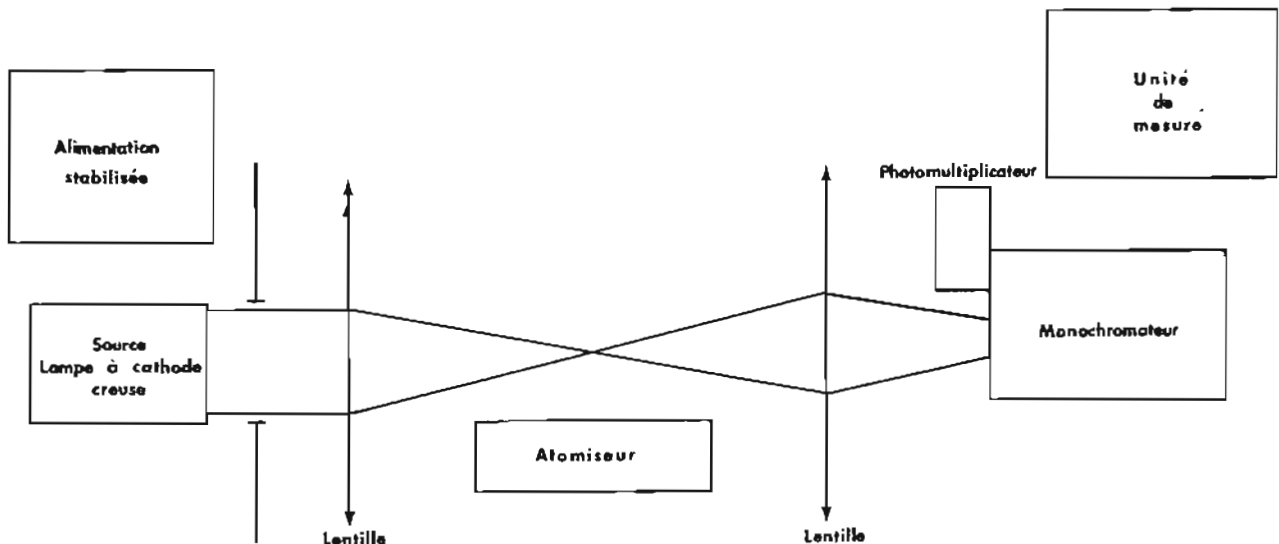
Un spectrophotomètre d'absorption atomique comprend :

- une source lumineuse (lampe à cathode creuse) qui émet une radiation de fréquence ν_0 absorbable par l'élément à analyser :
- une source d'atomes neutres ;
- un monochromateur ;
- une alimentation stabilisée fournissant le courant à la source lumineuse. La lumière émise est modulée soit électroniquement, soit mécaniquement.

Les sources d'atomes neutres sont variées. Les plus couramment utilisées sont les flammes (air, acétylène, protoxyde d'azote-acétylène) et les atomiseurs sont de type four de graphite ou nacelle de tantale.

Deux lentilles en quartz servent à la focalisation du faisceau lumineux sur l'atomiseur et sur le monochromateur qui permet d'isoler la radiation de fréquence ν_0 après passage à travers le nuage d'atomes neutres.

L'intensité du faisceau lumineux émergent est mesurée par un photomultiplicateur dont le signal est traité



en fonction de l'unité de mesure choisie. Ce signal peut être amorti, amplifié ou intégré.

La description présentée est celle d'un appareil simple à monofaisceau et monocanal. Pour éliminer les erreurs dues aux variations de l'intensité lumineuse de la source et pour corriger les absorptions non spécifiques souvent importantes dans le cas de matrices complexes, des spectrophotomètres à double faisceau et double canal ont été réalisés.

1.2.3. Les interférences

La spectrométrie d'absorption atomique laisse entrevoir un certain nombre d'interférences.

1. Perturbations physiques (*)

Elles apparaissent uniquement en spectrométrie d'absorption atomique avec flamme. Elles proviennent des modifications dans la nébulisation (viscosité, tension superficielle, densité. . .) de la solution ou de la nature de la flamme dont la température, la composition et la transparence peuvent varier.

2. Perturbations chimiques

Elles sont liées à la nature de l'élément à doser et aux différentes réactions auxquelles il peut participer. Il est possible d'attribuer ces perturbations à des interactions atomiques (ionisation) ou moléculaires. Celles-ci ont lieu soit en phase vapeur où elles provoquent des modifications des équilibres, soit en phase condensée où elles conduisent à la formation de composés difficilement dissociables.

3. Perturbations spatiales

Elles sont dues essentiellement aux phénomènes de réémission ou d'absorption sur le trajet optique.

Toutes ces perturbations interviennent le plus intensément lorsque l'élément à doser se trouve en présence d'une matrice importante.

1.2.4. Les méthodes de mesures

Il en existe deux :

1. La méthode directe

Elle consiste à pulvériser la solution étudiée, à lire l'absorption puis à se reporter à une courbe d'étalonnage établie dans des conditions rigoureusement identiques.

2. Les méthodes des ajouts dosés

On mesure la densité optique de la solution à analyser. On refait la mesure plusieurs fois en ajoutant à chaque fois une quantité connue d'élément à doser. On trace alors des courbes donnant l'absorption en fonction de la concentration des ajouts. Cette courbe coupe l'axe des abscisses en un point X tel que OX représente la concentration cherchée.

(*) Effet de matrice

Cette méthode devient relativement longue pour des mesures de grande série. Elle suppose que l'absorption mesurée soit entièrement due à l'élément à doser, ce qui n'est pas toujours le cas.

1.3. DOSAGE PAR POLAROGRAPHIE

1.3.1. Définition

La polarographie est l'étude des courbes intensité-potential $I = f(E)$ obtenues au cours de l'électrolyse d'une solution dans laquelle plongent deux électrodes entre lesquelles on établit une différence de potentiel progressivement croissante.

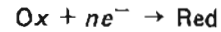
Dans des conditions expérimentales déterminées et après étalonnage, il est possible de déduire la concentration des corps électrolysés à partir de la mesure de l'intensité du courant.

1.3.2. Principe

— L'une des électrodes (anode) est une électrode de référence au calomel impolarisable. On choisit une électrode de grande surface de telle façon que les variations d'intensité dans la cellule n'entraînent pas de variations dans la composition autour de l'électrode.

— L'autre électrode (cathode) est très facilement polarisable : elle est constituée de gouttes de mercure s'écoulant, à intervalles réguliers, d'un capillaire dans la solution.

A cette électrode, il se produit une véritable électrolyse :



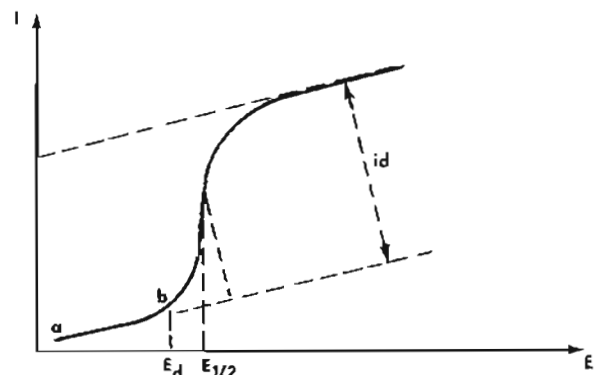
et la concentration en ions électroactifs autour de cette électrode diminue rapidement.

Pour que les échanges ioniques puissent se poursuivre à l'électrode, il faut que les ions soient remplacés au fur et à mesure de leur décharge par des ions provenant de la solution. Ces ions sont apportés principalement par :

— migration ionique sous l'influence du champ électrique créé par la différence de potentiel entre la surface de l'électrode et la solution

— diffusion due au gradient de concentration entre la solution elle-même et la solution au voisinage immédiat de l'électrode.

Les courbes ont la forme suivante :



Avant d'atteindre le potentiel de décharge E_d de l'ion réductible, l'intensité du courant est très faible (section *ab*). Lorsque la tension appliquée devient supérieure à E_d , l'intensité augmente brusquement, les ions se déchargeant très rapidement à la cathode, la vitesse de diffusion augmentant très rapidement jusqu'à atteindre un maximum. A ce moment, les ions sont réduits immédiatement à l'électrode au fur et à mesure de leur diffusion et comme ce phénomène est indépendant de la tension appliquée, l'intensité du courant atteint une valeur limite, dite palier de diffusion ou courant limite de diffusion.

On montre :

– que le courant de diffusion i_d est proportionnel à la concentration du corps en solution :

$$i_d = K \times C$$

– que le potentiel de demi-vague qui correspond pour une vague à la moitié de diffusion est indépendant de la concentration du corps en solution mais il est caractéristique de l'ion déchargé dans des conditions opératoires bien déterminées.

La détermination de i_d et $E_{1/2}$ permet l'analyse quantitative et qualitative des solutions.

S'il existe plusieurs substances oxydables ou réductibles, la courbe devient (schéma ci-dessous) :

1.3.3. Appareillage

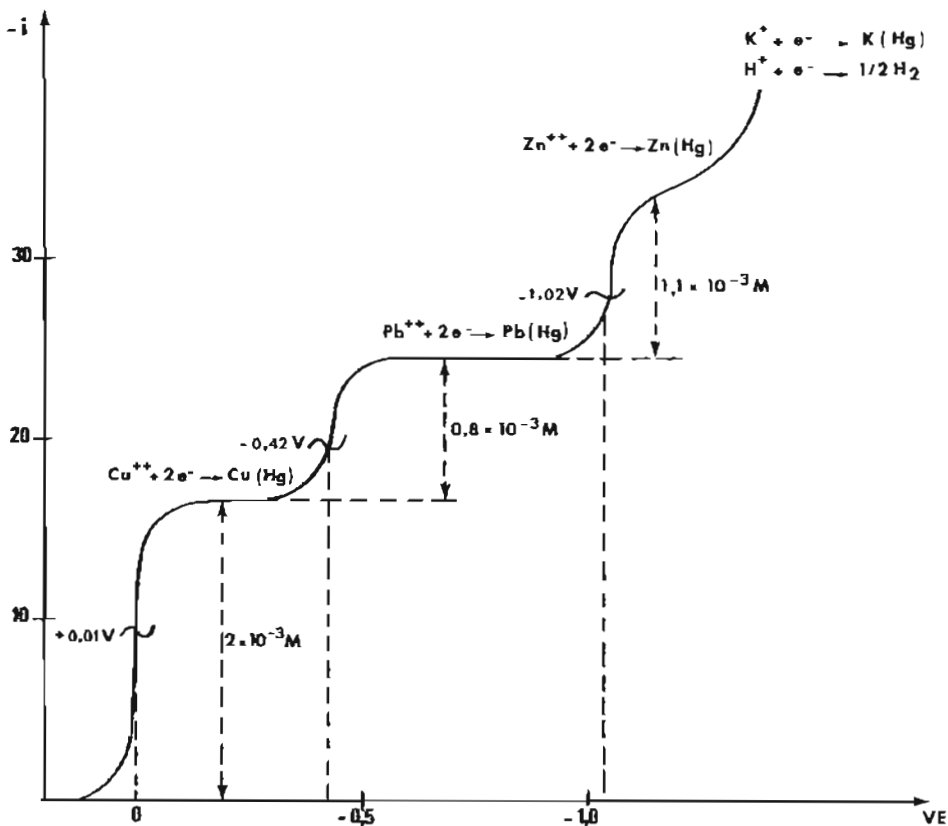
En se déplaçant sur les rails, le chariot entraîne dans son mouvement le curseur du potentiomètre et par là modifie progressivement la tension appliquée que l'on mesure en abscisse sur le papier enregistreur.

Le spot lumineux du galvanomètre qui mesure, à chaque instant, l'intensité du courant de diffusion est projeté sur le papier et se déplace perpendiculairement à la translation du chariot lorsque l'intensité augmente.

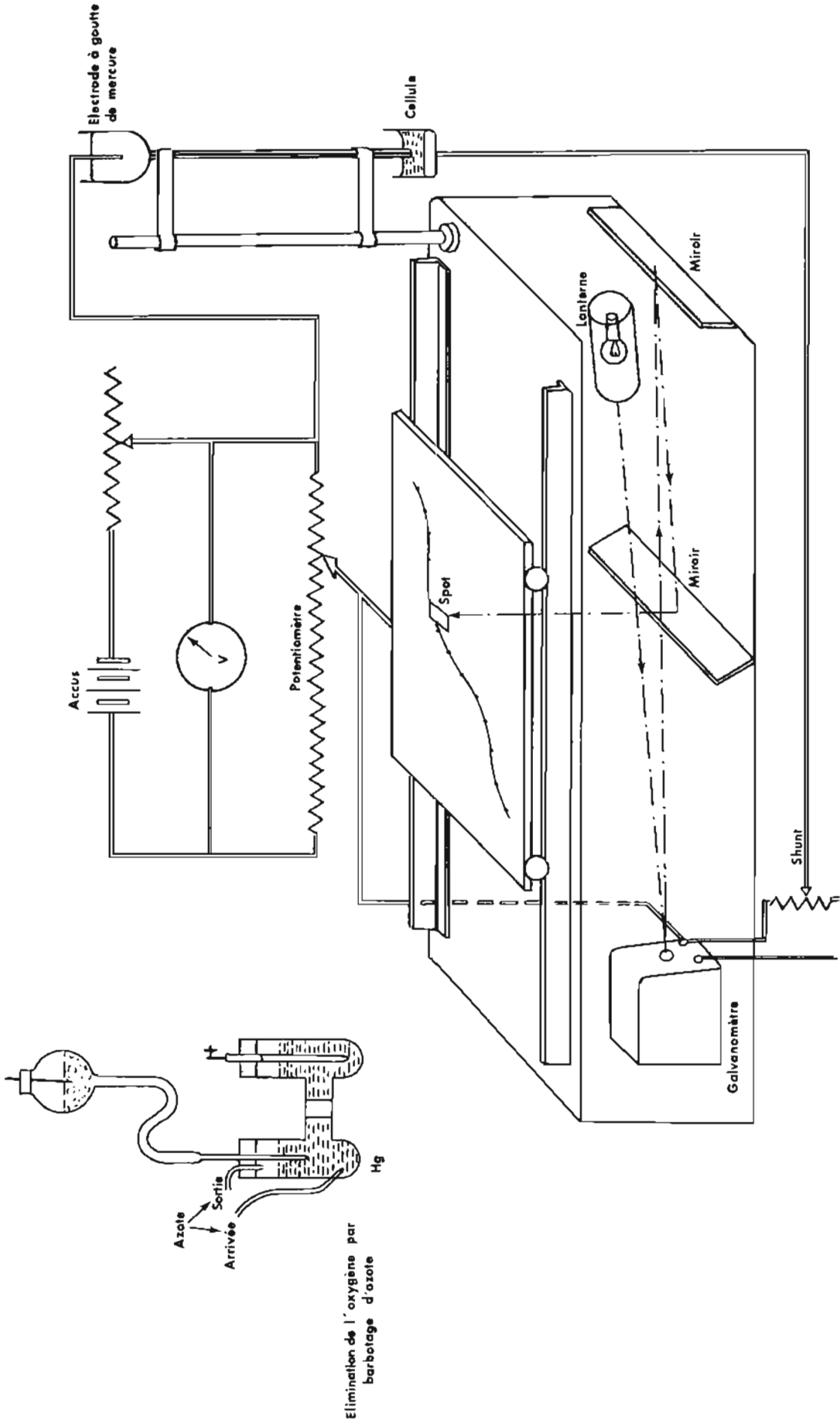
En repérant la position du spot pour différentes positions du chariot, c'est-à-dire pour différentes valeurs de E , on obtient directement le polarogramme. Les potentiels E sont mesurés par rapport au potentiel de l'électrode au calomel saturé qui sera utilisée comme électrode référence (v. Pl. 2).

1.3.4. Remarques

1. Dans tous les cas, il faut faire attention aux gaz dissous et surtout à l'oxygène dissous qui peut donner lieu à deux vagues (à $-0,3$ V et à -1 V). L'élimination se fait par barbotage prolongé d'azote comprimé dans la solution. On peut également faire réduire, par électrolyse, l'oxygène dissous en pratiquant une pré-électrolyse de une demi-heure, une heure.



Polarogramme d'une solution de nitrates de Cu, Pb, Zn dans KNO_3 M (pH4)



Pl. 2. - Schéma de principe de l'appareil

2. La constante K dépend des dimensions et de la disposition géométrique de l'appareillage. Un étalonnage avec une solution de concentration connue est toujours nécessaire.

Equation d'Ilkovic :

$$i_d = K \times c$$

$$i_d = 605 n \sqrt{D} m^{2/3} l^{1/6} \times c$$

c = concentration en moles/l

n = nombre de Faraday

D = constante de diffusion

m = masse de mercure s'écoulant du capillaire par seconde

l = intervalle de temps qui sépare la chute de deux gouttes

Si h est la hauteur de mercure au-dessus du capillaire, on a :

$$h^{1/2} = m^{2/3} l^{1/6} \times c \Rightarrow i_d = 605 n \sqrt{D} \sqrt{h} \times c$$

Connaissant c , h et i_d que l'on mesure après étalonnage pour déterminer \sqrt{D} , on peut déduire n c'est-à-dire le nombre d'électrons entrant en jeu durant l'expérience.

3. La loi $i_d = K \times c$ n'est vérifiée qu'aux faibles concentrations pour 10 à 1000 ppm. Il importe que la concentration totale du corps dosé ne varie pas d'une façon appréciable par suite de l'électrolyse. Il faut donc une faible intensité de courant. Mais comme il est nécessaire d'avoir une forte densité de courant pour atteindre

le palier de diffusion, la surface de l'électrode indicatrice doit être très petite. Les courants sont de l'ordre de 10^{-4} à 10^{-8} ampères.

4. L'électrode la plus utilisée en polarographie est l'électrode à gouttes de mercure. Elle favorise une excellente reproductibilité du régime de diffusion, un renouvellement constant de la surface de l'électrode, une forte surtension de l'hydrogène sur le mercure. Ceci permet de réduire un grand nombre de substances, certains cations dont le métal forme souvent un amalgame avec le mercure.

1.3.5. Domaine d'application

La polarographie permet certains dosages qui ne sont pas possibles par les autres méthodes, en particulier en chimie organique.

En chimie minérale, c'est la méthode la plus simple. Elle est utile pour les dosages en série de nombreux éléments. En une seule opération, on obtient les résultats qualitatifs et quantitatifs ; les valeurs des potentiels de demi-vague caractérisant les corps réagissants et les hauteurs de ces vagues permettant de déterminer leurs concentrations.

La méthode se prête aux dosages automatiques. Les séparations préliminaires par voie chimique sont parfois inutiles ou très réduites.

Sa précision est de l'ordre de 2 à 3 %, rarement 1 % pour des concentrations de 10^{-3} à 10^{-4} N.

CHAPITRE II

DOSAGE DU SOUFRE TOTAL DANS LES HYDROCARBURES

La structure chimique des différents composants du pétrole a fait l'objet de nombreuses recherches. La fraction distillable du pétrole, essentiellement composée d'hydrocarbures, comprend également en proportions plus ou moins importantes des quantités d'oxygène, d'azote et de soufre. En dépit de leurs faibles concentrations, ces composés préoccupent les raffineurs et les géochimistes.

Le soufre peut exister à l'état libre mais aussi sous forme de molécules plus ou moins complexes dans la composition des pétroles bruts. Sa teneur est variable : certains pétroles n'en possèdent pas, d'autres en contiennent 7 à 8 %.

Après le carbone et l'hydrogène, l'élément le plus abondant dans le pétrole est le soufre. Il est présent sous forme de composés organiques soufrés : thiols, sulfures, disulfures et thiophènes.

Les méthodes de dosage du soufre total dans les produits pétroliers sont nombreuses. Elles se répartissent en méthodes par voie physique, et en méthodes par voie chimique.

II.1. METHODES PAR VOIE PHYSIQUE

II.1.1. Fluorescence X

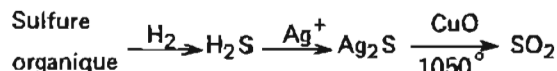
Cette analyse donne le pourcentage du soufre dans l'échantillon, mais la teneur en soufre peut diminuer par évaporation et dégradation.

C'est une technique sensible, précise mais coûteuse.

II.1.2. Composition isotopique du soufre

C'est la proportion de soufre présent comme isotope stable ^{34}S par rapport à l'isotope prédominant ^{32}S . Elle est mesurée sur le dioxyde de soufre à l'aide d'un spectromètre de masse.

Le soufre organique du résidu est réduit par hydrogénation en sulfure d'hydrogène qui est transformé en sulfure d'argent solide. Ce dernier, chauffé en présence d'oxyde cuivrique, forme du dioxyde de soufre :



II.1.3. Spectrométrie de masse

Elle permet d'étudier la répartition du soufre thiophénique dans la fraction supérieure à C₁₀ du pétrole brut. La chromatographie en phase gazeuse à l'aide d'un sélectif à photométrie de flamme donne l'allure de différents couples thiophéniques.

II.1.4. Spectrophotométrie

Elle permet de déterminer les groupements thiophéniques dans les pétroles. C'est une méthode colorimétrique basée sur la couleur bleu-vert du complexe formé entre le thiophène et le réactif α nitroso β naphtyl en présence d'acide sulfurique.

II.2. METHODES PAR VOIE CHIMIQUE

II.2.1. Méthodes gravimétriques

1. Elles permettent la détermination de 0,5 à 10 % du soufre total dans le pétrole. L'échantillon de brut est vaporisé dans une atmosphère d'hydrogène puis passé sur une toile métallique de platine à 1100 °C dans un tube à combustion. Le soufre organique est transformé en hydrogène sulfureux qui est absorbé dans une solution de nitrate d'argent. Le sulfure d'argent précipité est filtré, lavé, séché et mesuré par gravimétrie. La concentration en protons est déterminée afin de vérifier les résultats. Le pourcentage en soufre déterminé par gravimétrie est :

$$S \% = \frac{A \times 12,94}{g}$$

A = poids de Ag₂S_↓ en grammes

g = poids de l'échantillon

2. Il existe une deuxième méthode gravimétrique dite méthode à la bombe. Cette technique permet de déterminer 5 à 50 % du soufre total contenu dans les composés organiques qui sont brûlés dans un tube à combustion à oxygène dit de "Schöniger".

25 à 50 mg d'échantillon sont enflammés dans ce tube contenant de l'oxygène sous pression.

La quantité de soufre à l'état de sulfate de baryum est déterminée gravimétriquement. Le pourcentage est alors :

$$S \% = \frac{B \times 13,73}{W}$$

B = masse de BaSO₄↓ en grammes

W = masse de l'échantillon

II.2.2. Méthodes électrochimiques

On y trouve deux méthodes essentielles : la potentiométrie et la coulométrie.

1. Dosage par potentiométrie

a) Généralités

Un conducteur métallique est plongé dans une solution contenant les ions correspondant à ce métal (par exemple une électrode d'argent placée dans une solution d'Ag⁺). Il se produit alors un échange d'électrons : l'électrode prend un certain potentiel.

Si l'électrode est réversible (si l'échange peut se produire indifféremment dans un sens ou dans l'autre), le potentiel à l'équilibre est donné par l'équation de Nernst.

$$E = E_0 + \frac{RT}{nF} \text{Log} (M^{n+})$$

E₀ = constante caractéristique du métal

R = constante des gaz parfaits

T = température absolue

n = nombre d'électrons mis en jeu

F = Faraday

Log = logarithme népérien

(Mⁿ⁺) = activité des ions en solution

L'expression précédente à une température de +25 °C devient :

$$E = E_0 + \frac{0,0591}{n} \log (M^{n+})$$

Si l'activité des ions est égale à 1, nous avons E = E₀. Cette constante est appelée Potentiel Normal du métal.

L'activité ne pouvant être assimilée à la concentration qu'en solution infiniment diluée et le coefficient d'activité ne pouvant être lui-même connu d'une manière précise, on est amené à définir les potentiels normaux d'une manière arbitraire.

Pour mesurer le potentiel d'électrode, il suffit de disposer d'un autre ensemble électrode-solution dont le potentiel est exactement connu. Les deux électrodes peuvent alors être combinées pour former une pile dont la force électromotrice (f-e-m) correspond à la différence algébrique des deux potentiels d'électrode.

$$E_{\text{pile}} = E_1 - E_2$$

E₁ et E₂ sont les potentiels normaux des deux électrodes déterminés par rapport à l'électrode d'hydrogène et affectés par conséquent du signe convenable. La détermination de ces f-e-m est la base de la potentiométrie.

L'emploi d'une telle méthode pour l'évaluation d'une concentration ionique dépend cependant de la possibilité de trouver un système d'électrodes approprié. Celui-ci doit comporter :

- une électrode qui conserve un potentiel constant quelle que soit la composition du milieu : électrode de référence.

- une électrode qui prend un potentiel fonction de cette composition : électrode de mesure ou électrode indicatrice.

la f-e-m de l'ensemble est alors de la forme

$$E_{\text{pile}} = C_{\text{ste}} + \frac{0,0591}{n} \log (I)$$

où (I) représente l'activité des ions ou le rapport des activités d'un système redox $\left(\frac{(\text{Ox})}{(\text{Red})}\right)$.

La f-e-m de la pile ne peut être mesurée avec précision que si les mesures sont faites sans tirer de courant appréciable de la cellule. La potentiométrie ne satisfait que si un courant minimum dans le galvanomètre permet d'établir le point d'équilibre entre une f-e-m inconnue et une f-e-m connue mise en opposition (méthode de Poggendorff).

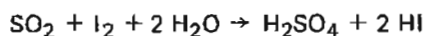
Dans la pratique, deux cas sont utilisés :

- potentiométrie à tension imposée
- potentiométrie à intensité imposée

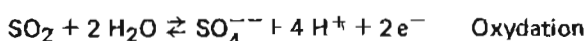
b) Application

L'analyse est précédée par un mode de combustion conduisant à la formation du mélange $\text{SO}_2 - \text{SO}_3$. Il s'agit principalement de la méthode dite à haute température qui utilise un four à résistance ou un four à induction.

SO_2 est alors titré par une solution d'iode selon l'équation :



Les systèmes d'oxydoréduction mis en jeu sont :

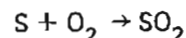


La teneur en soufre est déterminée par potentiométrie à courant imposé.

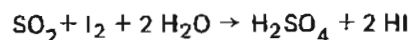
2. Dosage par coulométrie

La coulométrie consiste en la détermination de la quantité d'électricité mise en jeu au cours d'une réaction électrochimique. Alors qu'en potentiométrie, le titrage s'effectue par addition de quantités connues de réactif par volumétrie, en coulométrie le réactif est directement produit par électrolyse. Cette électrolyse se réalise le plus souvent soit à potentiel imposé, soit à intensité imposée.

Par combustion de l'échantillon étudié sous courant d'oxygène pur à haute température, le soufre est oxydé en dioxyde de soufre :



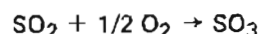
Le dosage du dioxyde de soufre est effectué par iodo-métrie avec point final prédéterminé selon l'équation citée plus haut :



L'iode est générée par oxydation électrolytique d'ions iodure sur une anode de platine. En fin de réaction, l'excès d'iode est détecté par potentiométrie à courant imposé au moyen d'une électrode double de platine.

La quantité d'électricité ayant traversé les électrodes génératrices pendant le titrage est mesurée avec précision par intégration et convertie en concentration de soufre exprimée en %.

Remarque : La combustion du soufre sous courant d'oxygène pur conduit à la formation de dioxyde de soufre et de trioxyde de soufre :



Le facteur de correction est le rapport $\frac{(\text{SO}_2 + \text{SO}_3)}{\text{SO}_2}$

et est déterminé au moyen d'un gaz-oil étalon.

CHAPITRE III

DOSAGE DE L'AZOTE TOTAL DANS LES HYDROCARBURES

La concentration dans les pétroles, inférieure à 1 %, des composés azotés y est plus stable que celle du soufre. En effet, l'azote est habituellement enfermé dans les porphyrines dont le noyau fondamental est constitué de porphines, ensembles pyrroliques à quatre chaînons méthène ($-\text{CH}=\text{}$). La méthode de référence pour le dosage de l'azote est la méthode de Kjeldahl. Mais d'autres techniques plus élaborées et plus précises ont été également utilisées.

III.1. DOSAGE VOLUMETRIQUE : METHODE DE KJELDAHL

Cette méthode consiste à doser l'ammoniac (NH_3), après avoir transformé l'azote organique et les nitrures

en sulfate d'ammonium ($(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$) par action de l'acide sulfurique concentré à chaud (ébullition).

Après minéralisation de l'azote organique dans une fiole de Kjeldahl (matras spécial en verre d'Ina ou de Bohême, ou en pyrex, ayant un col long de 20 cm environ), la solution est amenée à pH alcalin puis portée à ébullition pour avoir un dégagement d'ammoniac. Ces vapeurs sont alors condensées et récupérées dans une solution contenant un excès parfaitement connu d'acide titré.

On dose cet excès d'acide en retour par alcalimétrie ce qui permet de déterminer la quantité formée d'ammoniac.

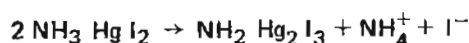
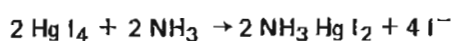
Le catalyseur utilisé pour la minéralisation est un mélange de selenium, de sulfate de cuivre et de sulfate

de potassium dont la présence augmente le point d'ébullition de la solution.

III.2. DOSAGE COLORIMETRIQUE (REACTIF DE NESSLER)

L'azote organique est minéralisé comme précédemment, puis l'ammoniac est dosé par le réactif de Nessler (iodomercurate de potassium alcalin) selon une méthode colorimétrique.

L'ammoniac réagit avec le réactif de Nessler selon la réaction :



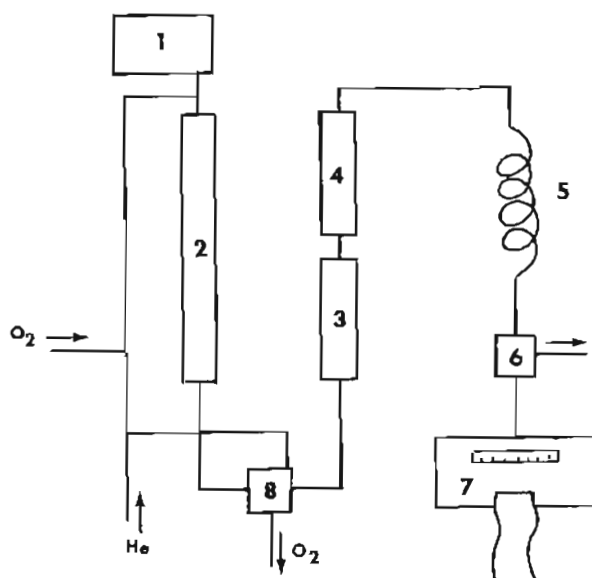
La présence d'ammoniac est décelée par l'apparition d'une coloration brun rougeâtre.

On effectue les mesures spectrométriques aux longueurs d'onde de 400 à 425 nm. La quantité d'ammoniac est alors déterminée par une courbe d'étalonnage.

Limite de détection : 0,02 mg/l

Précision de la mesure : $\pm 5\%$

III.3. DOSAGE PAR L'ANALYSEUR AUTOMATIQUE D'AZOTE (Carlo Erba)



Les échantillons pesés dans des nacelles en étain (1) sont introduits un par un dans une chambre d'oxydation (2) contenant de l'acide chromique chauffé à 1000 °C. Les gaz de pyrolyse sont chassés de ce four par un courant d'hélium (enrichi par 3 % d'oxygène pour favoriser la combustion) et passent sur un lit d'adsorbants (3) qui retiendront l'eau, le dioxyde de carbone et les acides inorganiques.

La réduction des oxydes d'azote formés en (2) se fait dans un deuxième four par du cuivre chauffé à 500 °C (4). L'azote est alors entraîné vers une colonne chromatographique (5) qui le sépare des autres gaz de combustion puis mesuré par un catharomètre (6),

détecteur décelant les variations de conductivité thermique des gaz qui le traversent. Le signal du détecteur est intégré (7) et la concentration en azote est lue sur un affichage digital.

Après la combustion, l'excès d'oxygène est éliminé par une valve (8).

Paramètres analytiques

– adsorption en (3) : sonde-chaux-perchlorate de magnésium

– colonne chromatographique (5) :

Porapak (polymère de styrène-divinyl benzène)
• longueur : 2 mètres

diamètre : 6 x 5 mm

– détecteur : type Thermal conductivity detector (TCD) courant 120 mA.

Remarques

La combustion doit être rapide et totale (flash combustion) pour obtenir une bonne séparation chromatographique.

La pyrolyse à 1000 °C assure la totale combustion de l'échantillon même s'il y a des sels minéraux.

III.4. DOSAGE COULOMETRIQUE

Le dosage coulométrique de l'azote est couplé à un chromatographe en phase gazeuse, ce qui permet de déterminer la distribution des composés azotés compris dans l'hydrocarbure analysé et de connaître la teneur en azote total.

Les composés azotés sont séparés au niveau du chromatographe, puis l'azote organique est transformé en ammoniac par une hydrogénation catalytique (catalyseur : nickel sur oxyde de magnésium MgO).

L'ammoniac formé est titré dans une cellule coulométrique comportant deux paires d'électrodes :

– une paire platine-platine et argent-sulfate d'argent pour mesurer la concentration en ions H⁺.

– une paire platine-platine divisé pour générer les ions H⁺.

Dès que l'ammoniac NH₃ pénètre dans la cellule contenant une solution d'électrolyte (solution de sulfate de sodium à 0,003 M), il y a consommation d'ions H⁺. La différence de potentiel de la première paire d'électrodes varie et commande à la seconde paire de produire des ions H⁺ jusqu'à ce que la différence de potentiel soit revenue à sa valeur initiale.

La mesure du courant nécessaire à la production des ions H⁺ permet de déterminer la quantité d'ammoniac formé.

Sensibilité $\approx 10^{-9}$ g d'azote.

III.5. CONCLUSION

Ainsi, une détermination précise de la teneur en azote dans les hydrocarbures nécessite un appareillage coûteux (chromatographe, coulomètre...). C'est pourquoi la méthode de Kjeldahl reste encore la technique la plus couramment utilisée.

DEUXIEME PARTIE

APPLICATIONS PRATIQUES

Quelques méthodes de minéralisation et d'analyses d'éléments traces, de soufre et d'azote ont été testées sur des résidus pétroliers collectés sur le littoral de la pointe de Bretagne par le Laboratoire de Chimie Océanographique (v. Pl. 3).

Cette deuxième partie présente les résultats de l'étude entreprise sur :

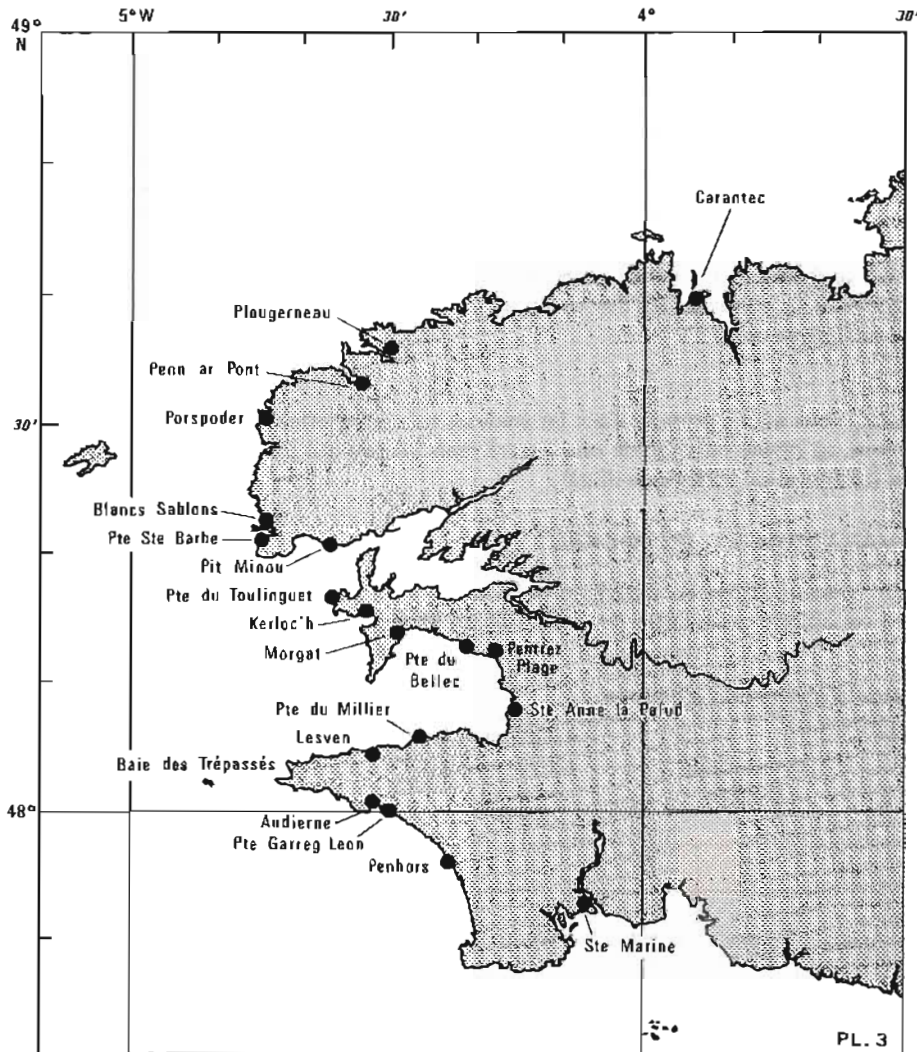
- la préparation des échantillons
 - leur minéralisation
 - les techniques d'analyses envisagées pour le dosage ;
- du nickel et du vanadium
 - du soufre
 - de l'azote

I. PREPARATION DES ECHANTILLONS

1.1. Les échantillons analysés viennent de produits pétroliers recueillis :

- soit par des plongeurs à bord du navire pétrolier "Boëhlen" qui a sombré en octobre 1976 dans la "Chaussée de Sein"
- soit sur des nappes d'hydrocarbures en dérive, échappées de ce bâtiment au moment du naufrage
- soit sur le littoral quelques mois après l'accident.

1.2. Les échantillons étaient souillés d'eau de mer ou de débris marins (sédiments, sable, algues, coques,



P. 3. —

plumes d'oiseaux). La séparation du produit pétrolier de ses impuretés s'est effectuée dans un extracteur Soxhlet, au moyen d'un solvant, le tétrachlorure de carbone (CCl_4). Ce dernier, par dissolution à chaud, récupère uniquement l'hydrocarbure.

1.3. Après séchage de la solution organique sur du sulfate anhydre de sodium, le solvant chloré est éliminé au rota-vapor pour n'obtenir qu'un résidu pétrolier parfaitement purifié.

II. MINERALISATION DES PRODUITS PETROLIERS

II.1. Nous avons étudié les deux principales méthodes de minéralisation :

- l'incinération à 650 °C au four à moufle
- la technique nitrosulfurique de Denigès

Il ne nous est pas apparu nécessaire d'expérimenter la troisième technique exposée précédemment "the liquid fire reaction", voisine de celle de Denigès.

II.2. Résultats

	Echantillons témoins minéralisation nitrosulfurique					Echantillons témoins Incinération				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Concentration en vanadium en %	0,063	0,108	0,104	0,070	0,095	0,093	0,081	0,078	0,085	0,083
Concentration en nickel en %	0,0102	0,0106	0,0107	0,0108	0,0105	0,0106	0,0102	0,011	0,0106	0,0108
V/Ni	6,18	10,19	9,72	6,48	9,05	8,77	7,94	7,09	8,10	7,69

Analyses sur une série de prises d'essai venant du même échantillon (échantillon témoin).

Ce tableau fait observer que le rapport V/Ni n'est pas constant pour des mesures faites sur des prises d'essai du même produit pétrolier. Cette constatation relève des variations de taux en vanadium, variations d'autant plus importantes que la minéralisation des échantillons pétroliers est effectuée par la méthode de Denigès. Les écarts de la teneur de cet élément trace dans les hydrocarbures incinérés sont effectivement moins grands que dans la minéralisation nitrosulfurique.

Celle-ci introduit probablement "l'effet de matrice" dans l'analyse par spectrométrie d'absorption atomique par changement de viscosité à la nébulisation des solutions témoins et des solutions analysées. Ces dernières sont très concentrées en acide sulfurique pur.

II.3. Conclusion

Pour cette raison, nous avons préféré, dans les analyses suivantes, effectuer l'incinération des échantillons, opération qui, non seulement, se révèle plus rapide que l'autre mais encore qui permet d'obtenir directement des solutions sensiblement neutres (milieu acide sulfurique dilué).

III. DOSAGE DU VANADIUM ET DU NICKEL

Les mesures des concentrations en vanadium et en nickel ont été effectuées par spectrométrie d'absorption atomique au laboratoire de chimie analytique de la II^e Région Maritime et par polarographie par les soins de la société Solea-Tacussel.

III.1. Par spectrométrie d'absorption atomique

	Echantillons témoins			Echantillon pris sur une nappe en dérive	Echantillons de résidus pétroliers				Novembre 1978
	1	2	3		1	2	3	4	
Concentration en vanadium en %	0,092	0,087	0,083	0,070	0,126	0,119	0,109	0,0115	0,077
Concentration en nickel en %	0,0108	0,0106	0,0104	0,0106	0,0120	0,0106	0,0109	0,0110	0,005
V/Ni	8,52	8,21	7,98	6,60	10,50	11,23	10,00	10,45	14,5

Les changements de composition du pétrole dus à l'évaporation et à la dissolution se marquent surtout par la disparition des hydrocarbures les plus légers. Autrement dit, au cours de leur dégradation dans le milieu marin, les résidus pétroliers s'enrichissent habituellement en éléments traces. En effet, ceux-ci entrent dans la composition ou de produits solubles dans l'eau, ou de produits organiques stables, les métalloporphyrines que l'on trouve dans les hydrocarbures les plus lourds. Dans les analyses effectuées plus haut, le taux en nickel des échantillons de résidus pétroliers n'a sensiblement pas varié de celui des échantillons témoins, à l'exception de l'échantillon 5 prélevé en novembre 1978, c'est-à-dire deux années après le naufrage.

Par contre, une légère augmentation de la concentration en vanadium des échantillons de résidus donne un rapport V/Ni plus élevé que dans les échantillons témoins. Ces variations pour le vanadium proviendraient de l'effet de matrice qui est assez important pour cet élément.

Remarque :

Le prélèvement de l'échantillon sur une nappe en dérive, provenant du "Boehlen", a été effectué 36 heures après l'accident. Le prélèvement de l'échantillon témoin a été réalisé trois mois après par des plongeurs. On avait donc un produit pétrolier plus frais dans le premier cas que par la suite, bien que les prélèvements soient effectués à bord du bâtiment.

Il est cependant difficile de donner une explication sur un si petit nombre d'analyses.

III.2. Par polarographie

		Témoins		Résidus pétroliers		
		1	2	1	2	3
Concentration en vanadium en ppm	1 ^{er} essai	613	664	875	729	22
	2 ^e essai	576	723	875	751	21
	moyenne	594,5	693,5	875	740	21,5
Concentration en nickel en ppm	1 ^{er} essai	79	75	58	72	78
	2 ^e essai	76	75	59	73	78
	moyenne	77,5	75	58,5	72,5	78
V/Ni		7,67	9,25	14,96	10,21	0,28

IV.1. Méthode à la bombe

Les prises d'essai étant de 1 gramme :

	Essais effectués sur un échantillon témoin										Essais effectués sur des résidus pétroliers								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	
Teneur en soufre en %	5,6	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,4	5,4	5,4	5,5	5,4	5,5	1,9	1,45	1,4	1,35	1,13

Les teneurs en nickel sont remarquablement constantes, à l'exception du résidu 1 (diminution importante). Par contre, on note une augmentation du taux de vanadium dans les échantillons 1 et 2, ceci pour les raisons citées plus haut. La concentration très faible de l'échantillon 3 prouve que le résidu n'a pas la même origine que les deux autres. Le rapport est très faible.

III.3. - Conclusion

Bien que le rapport V/Ni ne soit pas rigoureusement constant d'un échantillon à l'autre de même origine, son ordre de grandeur est une indication précieuse car il s'avère différent d'un pétrole à l'autre :

Origine	V/Ni
Pétrole brut de Lybie	0,10
Pétrole brut du Nigéria	0,11
Pétrole brut d'Iran	2,89
Pétrole brut de Koweït	3,00
Pétrole brut d'Algérie	1
Pétrole brut du Venezuela	10,6

Compte tenu des variations individuelles et inter-individuelles, en vanadium et en nickel, cette méthode n'apparaît pas suffisamment fiable pour caractériser parfaitement un produit pétrolier ; c'est un critère nécessaire mais non suffisant.

IV. DOSAGE DU SOUFRE TOTAL

Trois techniques d'analyses ont été testées sur un échantillon témoin provenant du "Boehlen" et sur différents résidus pétroliers recueillis sur le littoral :

- méthode à la bombe : au laboratoire de chimie analytique de la 11^e Région Maritime à Brest ;
- potentiométrie : au laboratoire de chimie de la station d'essais des combustibles et lubrifiants de la flotte à Toulon ;
- coulométrie : par la société Solea Tacussel à Villeurbanne.

Les dix essais effectués sur le même échantillon témoin reflètent bien la reproductibilité et la fiabilité de cette méthode.

Les hautes teneurs en soufre des résidus pétroliers 1, 2 et 3 permettent de suspecter la même origine que le témoin c'est-à-dire la cargaison du "Boehlen". La concentration en soufre de 5,5 % est donc dans ce cas un renseignement précieux.

Par contre, les valeurs comprises entre 1 et 2 % n'autorisent aucune identification, de trop nombreux pétroles bruts ou raffinés ayant de telles teneurs en soufre :

Origine	Teneur en soufre en %
Irack (Kirkuk)	1,95
Iran (Agha Sari)	1,33
Mexique (Reforma)	1,56
U.S.A. (Los Angeles)	1,43
Arabie Saoudite (Arabian Heavy)	1,38

IV.2. Potentiométrie

Les analyses ont permis de distinguer deux sortes d'échantillons (voir tableau 1) :

- ceux qui possèdent une teneur en soufre élevée (> 4 %) : regroupés dans la partie gauche du tableau ;
- ceux qui possèdent une teneur en soufre entre 1 % et 3 % : à droite du tableau.

Le témoin possédant une teneur en soufre de 5,25 %, les échantillons possédant un fort pourcentage de soufre proviendraient de la même cargaison.

A la mi-novembre, la concentration est de 4,94 %. Donc les diverses dégradations subies par le produit pétrolier pendant son séjour dans le milieu marin n'affectent guère la teneur en soufre. D'ailleurs, l'Institut Français du Pétrole, sur des prélèvements effectués deux ans après le naufrage (novembre 1978), trouvait des concentrations de 2,95 %.

Dans la partie droite du tableau, bien que les teneurs en soufre des échantillons soient proches du témoin "Olympic-Bravery", il n'est pas possible, avec ce seul paramètre, de tirer des conclusions, pour les raisons déjà citées précédemment.

TABLEAU 1

Teneur en soufre des différents échantillons collectés

Lieu de prélèvement	Date de prélèvement	Pourcentage pondéral en soufre S %	Lieu de prélèvement	Date de prélèvement	Pourcentage pondéral en soufre S %
Témoin "Boehlen"		5,25	Témoin "Olympic-Bravery"		1,95 - 2
Kerloc'h	24/02/77	4,65	Kerloc'h	24/02/77	2,02
Trez Bellec	24/02/77	4,81	Lesven	22/04/77	1,67
Blancs Sablons	01/03/77	4,81	Baie des Trépassés	22/04/77	1,72
Pte Ste Barbe	04/04/77	4,53	Pte Karreg Léon	22/04/77	1,63
Pentrez plage	22/04/77	4,08	Penhors	22/04/77	1,78
Ste Anne la Palud	22/04/77	4,20	Morgat	27/12/77	1,70
Pte du Millier	22/04/77	5,06	Toulinguet	27/12/77	1,56
Plage Ste Marine	22/04/77	5,15	Ste Anne la Palud	27/12/77	2,07
Audierne	17/11/77	4,94	Côte Nord Carantec	04/01/78	2,05
			Côte Nord Carantec	04/01/78	1,72
			Côte Nord Carantec	04/01/78	1,60
			Porspoder	04/01/78	1,45
			Porspoder	04/01/78	1,35
			Pointe du Minou	17/11/78	2,95

IV.3. Coulométrie

TABLEAU II

Origine du prélèvement	Teneur en soufre en %		
	1 ^{er} essai	2 ^e essai	3 ^e essai
1. Boëhlen du fond récupéré par plongeur	5,30	5,27	5,39
2. Boëhlen du fond récupéré par plongeur	5,19	5,12	5,10
3. Boëhlen du fond récupéré par plongeur	5,26	5,33	5,31
4. Boëhlen du fond récupéré par plongeur	5,32		
5. Petit Minou le 19/11/76	5,16	5,10	5,18
6. Petit Minou le 10/12/76	3,92		
7. Petit Minou le 21/01/77	5,27	5,22	5,14
8. Penn ar Pont (Aber Benoit) le 15/05/77	1,60	1,57	1,50
9. Porspoder le 07/06/77	1,43	1,42	1,35

Les échantillons récupérés par les plongeurs (1, 2, 3, 4) sont homogènes et confortent la fiabilité et la répétabilité de la méthode. De même que précédemment, les

échantillons 5 et 7, possédant une importante teneur en soufre, semblent provenir du Boëhlen. Quant au produit 6, il aurait subi une forte dégradation (attaque par les dispersants).

Les teneurs en soufre de 8 et 9 n'ont manifestement pas la même origine. On ne peut que supposer leur appartenance au carburant de propulsion du navire pétrolier "Olympic-Bravery" et ceci d'autant plus que les zones de prélèvement sont relativement proches du lieu du naufrage (ce navire s'est échoué en janvier 1976 sur les récifs d'Ouessant).

IV.4. Conclusion

Il faut noter l'excellente homogénéité des résultats que ce soit dans le cas de plusieurs essais du même échantillon par une technique ou dans le cas d'analyses du même produit par plusieurs techniques. Dans le cas de fortes concentrations, le dosage du soufre permet d'orienter l'identification vers des origines restreintes mais sans toutefois pouvoir affirmer un résultat.

IV.5. Remarque

La connaissance des teneurs en soufre total n'apportant, dans la majorité des cas, que peu de renseignements, il serait souhaitable de caractériser les divers types de soufre thiophénique concentrés dans les hydro-

TABLEAU III

Teneur en azote des différents échantillons recueillis par la méthode de Kjeldahl

Lieu de prélèvement	Date de prélèvement	Pourcentage pondéral en azote N %	Lieu de prélèvement	Date de prélèvement	Pourcentage pondéral en azote N %
			Témoin "Olympic-Bravery"		0,17
Kerloc'h	24/02/77	0,49	Kerloc'h	24/02/77	0,17
Trez Bellec	24/02/77	0,54	Lesven	22/04/77	0,19
Blancs Sablons	01/03/77	0,46	Baie des Trépassés	22/04/77	0,17
Pte Ste Barbe	04/04/77	0,49	Pte Karreg Léon	22/04/77	0,20
Pentrez plage	22/04/77	0,48	Penhors	22/04/77	0,18
Ste Anne la Palud	22/04/77	0,49	Morgat	27/12/77	0,17
Pte du Millier	22/04/77	0,49	Toulinguet	27/12/77	0,20
Plage Ste Marine	22/04/77	0,48	Ste Anne la Palud	27/12/77	0,19
Audierne	17/11/77	0,52	Côte Nord Carantec	04/01/78	0,20
			Côte Nord Carantec	04/01/78	0,19
			Côte Nord Carantec	04/01/78	0,18
			Porspoder	04/01/78	0,17
			Porspoder	04/01/78	0,21

carbures aromatiques d'un pétrole, où ils représentent en général 60 à 90 % du soufre total.

L'étude de la distribution des composés thiophéniques se fait en fonction des coupes de distillation par l'intermédiaire de la spectrométrie de masse à haute résolution. Parallèlement, une étude par chromatographie en phase gazeuse avec détecteur sélectif à photométrie de flamme permet de déterminer le temps de rétention de ces composés soufrés de façon à identifier avec le maximum de certitude le profil d'un brut.

V. DOSAGE DE L'AZOTE

V.1. Méthode de Kjeldahl (tableau 3)

Les analyses effectuées sur les résidus pétroliers nous ont permis de distinguer deux groupes :

— un groupe dont la teneur en azote varie de 0,46 % à 0,54 %

— un groupe dont la teneur en azote varie de 0,17 % à 0,20 %

Chacun de ces groupes présente des valeurs très homogènes ce qui rend compte de la précision de la technique. De plus, ces teneurs stables montrent que la concentration en azote ne semble pas tributaire du facteur temps.

V.2. Méthode de l'analyseur automatique (Carlo Erba) (tableau 4)

TABLEAU IV

Teneur en azote par la méthode de l'analyseur automatique

Origine de l'échantillon	Teneur en azote en %	
	1 ^{er} essai	2 ^e essai
Boehlen du fond récupéré par plongeurs	0,60	0,61
Boehlen du fond récupéré par plongeurs	0,51	0,55
Résidu collecté au Conquet le 04/04/77	0,44	0,43
Résidu collecté à Audleme le 12/11/77	0,56	0,58
Résidu collecté à Plouguerneau le 07/06/77	0,21	0,25

Les écarts entre les deux essais sont infimes, la méthode apparaît donc très reproductible.

Le résidu collecté à Plouguerneau possédant une faible teneur en azote n'a aucun rapport avec les quatre autres échantillons. De plus, ce lieu de prélèvement se trouve très éloigné de tous les autres.

TABLEAU V

Teneurs en azote, nickel et vanadium de quelques puits de pétrole
D'après : A multiparameter Oil Pollution Source Identification System
(Environmental Protection Agency)

Origine	Puits	N %	V ppm	Ni ppm	V/Ni
Californie	Santa Maria Valley	0,73	265	128	2,07
	Gato Ridge	0,73	255	123	2,07
	Lompac	0,67	246	100	2,46
Vénézuéla	Morichal	0,50	466	103	4,52
	Pipeline Crude	0,48	232	70	3,31
Iran	Gach Saran	0,34	112	42,9	2,61
Koweït	Khafji	0,20	73,3	23,8	3,08
	Magwa - Ahmadi	0,19	49,0	12,2	4,02
	Wafra	0,13	47,9	15,0	3,19
Arabie Saoudite	Safaniya	0,18	63,4	23,2	2,73
	Ghawar (Haradh)	0,14	25,6	7,0	3,66
	Qatif	0,13	12,6	1,9	6,63
Algérie	Rhourdi El Baguel	0,09	0,5	0,1	5,0
	Hassi-Messaoud	0,07	< 0,2	2,7	< 0,07
	Gassi Touil	0,06	< 0,2	0,1	< 2,0
	Nezla Nord	0,05	0,5	0,1	5,0

V.3. Conclusion

Bien que les méthodes apparaissent très fiables, il n'est guère aisé de retirer quelque renseignement de la seule teneur en azote du fait des faibles teneurs obtenues (comparativement à celles du nickel, du vanadium et du soufre) et donc du resserrement de la fourchette des concentrations qui s'en suit.

V.4. Remarque

- Il apparaît qu'en général une forte concentration en azote correspond à une forte concentration en nickel et en vanadium (tableau 5).

- Ce tableau fait également ressortir le nombre important de produits pétroliers dont la teneur en azote est inférieure à 0,30 %, ce qui n'autorise aucune identification.

Il serait intéressant de pouvoir étudier par famille la nature des traces de molécules azotées (principalement

les dérivés pyridiniques) présentes dans les produits pétroliers. Cette analyse qualitative se fait par chromatographie en phase gazeuse couplée à un détecteur spécifique des produits azotés du type Hall, ou à un spectromètre de masse. Cette technique nécessite une concentration préalable des produits azotés basiques par percolation sur une résine échangeuse de cations macroporeuse Amberlyst 15 sous forme H^+ .

VI. CONCLUSIONS

Pour chaque méthode expérimentée, nous avons pu constater son caractère très fiable et la bonne corrélation des résultats entre chaque technique.

La connaissance d'un seul des paramètres ne permet en aucun cas une identification rigoureuse. Par contre, avec l'ensemble de ces paramètres, nous pouvons avoir une ébauche d'identification par rapport à des produits parfaitement connus :

Origine (*)	S %	N %	V ppm	Ni ppm	V/Ni
Echantillon X ₁	4,90	0,20	55,7	63,5	0,88
Koweït (Khafji)	3,80	0,20	73,3	23,8	3,08
Mississippi (Wayne)	4,91	0,11	15,6	14,1	1,11
Floride (Lebeigh field)	4,83	0,24	58,9	66,9	0,88
Floride (West falda field)	4,07	0,16	43,2	38,5	1,12
Floride (Sunniland field)	4,39	0,24	82,9	39,8	2,09
Floride (Lake trafford field)	5,18	0,14	92,0	25,2	3,65
R.A.U. (Ghroud field)	1,37	0,21	57,1	31,5	1,81

Les teneurs respectives de X₁ se rapprochent singulièrement de celles de Floride (Lebeigh field).

Origine (*)	S %	N %	V ppm	Ni ppm	V/Ni
Echantillon X ₂	2,94	0,19	12,0	8,0	1,50
Arabie Saoudite (ghawar (Haradt))	2,95	0,14	25,6	7,0	3,66
Mississippi (West Heidelberg-gulf)	2,97	0,10	12,4	7,1	1,75
Texas (Wasson)	2,90	0,18	11,2	7,5	1,49
Qatar (Maydan-Mahzan)	2,11	0,09	14,0	3,8	1,97

Dans cet exemple, l'échantillon X₂ se rapproche du Texas (Wasson). Mais lorsque les valeurs sont aussi faibles que dans ce dernier exemple, il s'avère souvent impossible de se prononcer :

Origine (*)	S %	N %	V ppm	Ni ppm	V/Ni
Echantillon X ₃	1,78	0,18	34,8	18,6	1,87
Cuba (Dos Estrellas)	1,84	0,12	9,4	4,6	2,04
Cuba (Santa Marie del Mar)	3,52	0,24	15,1	17,4	0,87
R.A.U. (Ghroud field)	1,37	0,21	57,1	31,5	1,81
R.A.U. (Alamein)	1,40	0,12	18,9	10,2	1,85
Vénézuéla (Lake Maracaibo)	1,70	0,17	85,5	10,7	7,99
Vénézuéla (Ouiriquiro)	1,21	0,23	39,0	9,0	4,33
Israël (Kekhar)	2,13	0,18	0,7	14,7	0,05

L'échantillon X₃ possède des valeurs relativement faibles et ses teneurs en différents paramètres se confondent avec deux valeurs au plus de sources possibles. L'identification est donc impossible.

(*) Les valeurs de ces trois tableaux sont tirées de "A Multiparameter Oil Pollution Source Identification System" Environmental Protection Agency.

Donc, le dosage dans les hydrocarbures des paramètres vanadium, nickel, soufre et azote apporte des renseignements intéressants quant à l'origine du polluant. Cependant, s'il est possible de se prononcer lorsque les variations des teneurs en ces éléments entre sources différentes sont importantes, par contre, il faut demeurer très circonspect si deux ou plusieurs témoins ont des valeurs voisines.

Pour renforcer le potentiel d'une telle méthode, il est nécessaire d'y adjoindre d'autres moyens d'investigation tels que :

- spectrométrie infrarouge ;
- spectrométrie ultraviolette ;
- spectrométrie Raman ;
- chromatographie en phase gazeuse.

BIBLIOGRAPHIE

- ADLARD (E.R.), CEASER (L.F.) and MATTHEWS (P.H.D.), 1972 - *Anal. Chem.* 44.
- CARLO ERBA. - Automatic Nitrogen Analyzer, mod. 1300.
- CASTEX (H.), ROUCACHE (J.), BOULET (R.). - *Revue de l'Institut Français du Pétrole*, janvier-février 1974 - vol. XXIX n° 1.
- CHARLOT (G.). - *Les méthodes de la chimie analytique. Analyse quantitative minérale.* Masson et Cie, 120, boulevard Saint-Germain 75280 Paris, Cedex 06.
- CHAUVEL, 1974 - *Polarographie - cours de 3^e année de pharmacie - Chimie analytique - Faculté de Rennes.*
- CLAUDE (M.), BOLLET (C.), ROSSET R.). - *Analusis* 1976, Vol. 4, n° 9. Masson, 120, boulevard Saint-Germain 75280 Paris Cedex 06.

- DOUGHMAN (W.R.), SULLIVAN (A.P.) and HIRT (R.C.) 1958 - *Anal. Chem.* 30.
- DUBOIS (C.), 1966 - *Chimie analytique* 48.
- ESCALLIER (J.C.), CLAUDE (C.), ROSSET (R.) - *Analusis* 1977. Vol. 5, n° 9-10. Masson, 120, boulevard Saint-Germain 75280 Paris Cedex 06.
- KASHIKI (M.) and KAZUYOSHI (I.), 1966 - *Bull. Soc. Chim. of Japan* 39.
- LE BIHAN. - *Détermination de traces d'éléments métalliques et de détergents dans les eaux naturelles par spectrométrie d'absorption atomique* (juin 1976). Université de Bretagne Occidentale 29279 Brest Cedex.
- LE FEBVRE (G.), 1978 - *Chimie des hydrocarbures. Publications de l'Institut Français du Pétrole.* Editions Technip 27, rue Ajinoux 75737 Paris Cedex 15.
- MILLER (J.W.), 1973 - *Office of Research and Monitoring.*
- PRESLEY (B.J.), 1974 - *Traces metals X Ray diffraction analysis. A quantitative and qualitative survey of oils and tars stranded on galveston Island beaches.* Department of transportation United States Coast Guard.
- RODIER (J.). - *L'analyse de l'eau. Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer.* Tomes 1 et 2. Dunod Technique (1975) Paris, Bruxelles, Montréal.
- RONALD (L.) MARTIN 1966. - *Analytical chemistry* 38. Fast and sensitive method for determination of Nitrogen.
- SEBER (G.), LANG (I.), VAVRECKA (P.), SYCHRA (V.) and WEISSER (O.), 1975. - *Analytica chimica acta.* Vol. 78, No 1. The determination of metals in petroleum samples by A.A.S.
- TISSOT (B.), 1977 - *La genèse du pétrole. La Recherche* n° 77.
- VALKOVIC (V.). - *Trace elements in petroleum.* P.P.C. Books division of the petroleum publishing company Tulsa, Oklahoma 1978.
- VIGLER (M.S.) and GAYLA (V.F.). - *Traces metals analysis in petroleum products by A.A.S.* The standard oil company Cleveland Okio 44128.

MÉTHODES DE PRÉDICTION DE LA MARÉE EN GIRONDE

par

M. Bernard SIMON
Ingénieur Civil sous contrat
Établissement Principal du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine

RESUME

Pour prédire la marée en Gironde, deux méthodes ont été étudiées. La première est la méthode harmonique, adaptée à l'identification et au calcul des constantes harmoniques de fréquence élevée. Pour la seconde, appelée "méthode des concordances par espèce", on considère une décomposition en espèces, chacune d'elles regroupant les ondes de fréquences voisines d'un nombre entier donné de cycles par jour lunaire. Chaque espèce est étudiée séparément et des lois empiriques ont été établies pour décrire au mieux les variations observées.

ABSTRACT

Two methods have been studied for tide prediction in the Gironde. The first one is the "Harmonic method" which, is adapted to identification and calculation of harmonic constants of high frequency. In the other one, called "species concordances method", a decomposition in "species" is considered, each species grouping frequency waves that are close to a given whole number of cycles by lunar day. Each species is studied separately, and empirical laws have been established to describe at best the observed variations.

I. INTRODUCTION

Les prédictions fournies par l'annuaire des marées de l'estuaire de la Gironde ayant été jugées par les services du Port Autonome de Bordeaux, d'une précision insuffisante pour les besoins de la navigation, l'étude d'une nouvelle méthode de prédiction a été demandée à l'Établissement Principal du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (EPSHOM). Pour cela, le Service Hydrographique du Port Autonome de Bordeaux a mis à notre disposition les enregistrements de hauteurs d'eau mesurées toutes les 10 minutes pendant un an en huit points de l'estuaire.

La prédiction de la marée en estuaire pose des problèmes particuliers qui peuvent être abordés de différentes manières :

— La résolution numérique des équations de l'hydrodynamique par les différences finies ou les éléments finis n'a pas été retenue en raison des temps de calcul importants que nécessiterait l'élaboration d'un annuaire.

— La méthode des concordances est celle qui est utilisée pour l'élaboration de l'annuaire actuel. Les résultats ne donnant pas satisfaction, il a semblé inutile de suivre cette voie.

Deux méthodes ont été essayées :

— La méthode harmonique, adaptée au calcul des harmoniques supérieurs jusqu'aux 30^e diurnes ;
— Une nouvelle méthode, dite des "concordances par espèce" qui semble donner de meilleurs résultats.

II. ANALYSE HARMONIQUE

II.1. Généralités

Le potentiel V de la force génératrice de la marée peut être développé sous la forme d'une série trigonométrique

$$V(t) = \sum_i a_i \cos(a_j t - \varphi_j) \quad (1)$$

On en déduit par l'intermédiaire des équations de l'hydrodynamique et des équations de continuité, que la hauteur H de la marée peut, de même, être mise sous la forme d'une série trigonométrique

$$H(t) = \sum_i h_i \cos(\Omega_i t - \alpha_i) \quad (2)$$

où les vitesses angulaires Ω_i sont égales, soit aux vitesses angulaires q_i du potentiel (les termes correspondants sont les composantes astronomiques) soit à des combinaisons linéaires à coefficients entiers de ces vitesses angulaires (les termes correspondants sont les composantes de petits fonds). L'objet de l'analyse harmonique est le calcul des amplitudes h_i et des déphasages α_i .

Les caractéristiques de la marée en Gironde sont illustrées par les figures 1 et 2.

La figure 1 représente la variation temporelle de la hauteur d'eau enregistrée aux 8 marégraphes lors d'une marée moyenne. La déformation de la courbe marégraphique est nettement mise en évidence, la haute mer se propageant plus rapidement que la basse mer. L'étude de ces déformations et des retards, en relation avec l'amplitude de la marée à l'embouchure ou du coefficient est l'objet de la méthode des concordances, dont les résultats offrent une précision qui n'est plus jugée suffisante par le service de pilotage du Port Autonome de Bordeaux.

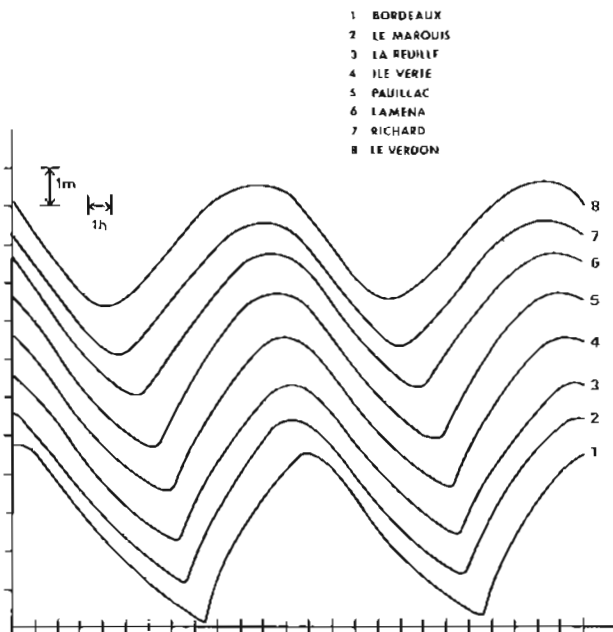


FIG. 1. — Variations de hauteurs d'eau.

La figure 2 donne la représentation de la marée dans le domaine des fréquences du Verdon (embouchure) à Bordeaux. Ce sont les représentations graphiques des modules des coefficients de la décomposition en série de Fourier de 30 jours d'observations de marée.

Les caractéristiques de ces spectres sont :

- localisation des pics aux fréquences voisines d'un multiple entier d'un cycle par jour lunaire (jour de 24,8412 heures)

- augmentation importante vers l'amont du nombre des harmoniques supérieures. Ces harmoniques supérieures, bien que de faible amplitude, ne doivent pas être négligées car, par leur nombre, ils peuvent apporter une contribution appréciable à la dénivellation.

La méthode utilisée pour l'analyse harmonique est proche de celles présentée en référence 2, avec toutefois deux différences :

- Afin de centrer les différentes espèces sur les harmoniques de M_2 (au lieu de S_2), le pas d'échantillonnage n'est plus l'heure, mais une fraction de jour lunaire.

- La F.F.T. (Fast Fourier Transform) est utilisée pour calculer les vecteurs réduits.

(Le principe de la méthode des hauteurs réduites est présentée en annexe).

11.2. Recherche des ondes

Les ondes à calculer n'étant pas connues a priori, sauf celles qui proviennent directement du potentiel, il convient de les repérer en traçant les spectres de chaque espèce.

La méthode utilisée est celle de la référence 2.

La figure 3 montre, à titre d'exemple, le résultat obtenu à Bordeaux pour les 10^e diurnes.

La principale difficulté réside dans l'identification des ondes correspondant à chaque pic : il s'agit de trouver la (ou les) combinaison possible des ondes principales susceptible d'expliquer la présence d'un pic à une fréquence donnée. Certaines combinaisons sont évidentes : ce sont les combinaisons de M_2 avec S_2 et N_2 . Par exemple, pour les 10^e diurnes représentées sur la figure 3, on identifie aisément, $6MS_{10}$, M_{10} , $4MS_{10}$, $3MS_{10}$, $3S_2M_{10}$, $4MN_{10}$. Les combinaisons triples sont plus difficiles à trouver, mais ne peuvent pas, le plus souvent, être mises en doute. Par exemple : on identifie bien sur la figure 3, $5MNS_{10}$, $3MSN_{10}$, $2(MS)N_{10}$, $5MSN_{10}$. Certains pics n'ont pas été identifiés, mais ils sont toujours de faible amplitude. Il ne faut pas oublier, en outre, que chaque pic est accompagné de pics secondaires dont l'amplitude n'est pas toujours négligeable. Deux cas douteux, dus au fait que l'on ne dispose que d'une année d'observations se retrouvent dans toutes les espèces et d'abord dans les semi-diurnes. Il faudrait quatre années d'observations pour séparer $2NM_2$ (confondue avec $2N_2$) de $2MK_2$ et $2MN_2$ (confondue avec L_2) de NKM_2 . Ceci n'est pas inhérent aux marées fluviales : ces ondes sont toujours mal déterminées lorsqu'on ne dispose que d'une année d'observations. Une difficulté semblable se retrouve dans toutes les espèces. Il suffit pour s'en convaincre d'ajouter un multiple de la fréquence de M_2 aux fréquences des ondes mentionnées ci-dessus. Avec une année d'observations, on ne peut pas séparer N_4 de $3MK_4$, $2NM_6$ de $4MK_6$, etc, et $3MN_4$ de NK_4 , $4MN_6$ de MNK_6 , etc.

La recherche des ondes a été grandement facilitée grâce à la constatation suivante : si on superpose les spectres de toutes les espèces en mettant à la même

abscisse les harmoniques de M_2 , on constate que chaque pic a un vis-à-vis dans chaque espèce, ainsi que l'illustre la figure 4.

Cette constatation permet de choisir les ondes de l'espèce semi-diurne et de passer aux harmoniques supérieurs en ajoutant aux fréquences de ces ondes, un mul-

tiplé de la fréquence de M_2 . Une remarque identique peut être faite pour les espèces impaires. Il nous suffit de choisir les ondes du groupe "diurne", celles des groupes tiers-diurne, cinquième-diurne et septième-diurne s'en déduisent simplement en ajoutant un multiple de la fréquence de M_2 aux fréquences des ondes choisies.

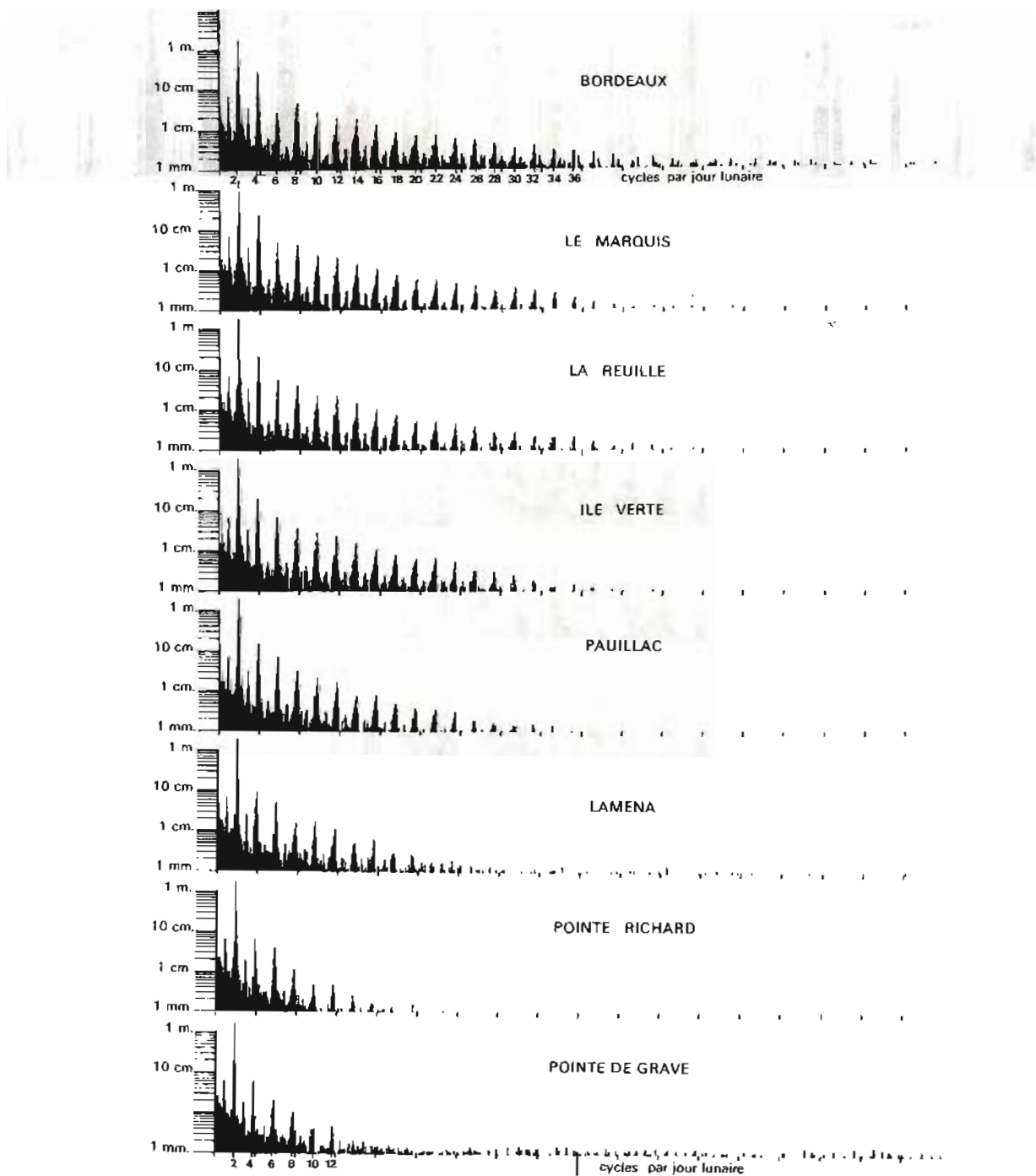


FIG. 2. — Représentation spectrale de la marée.

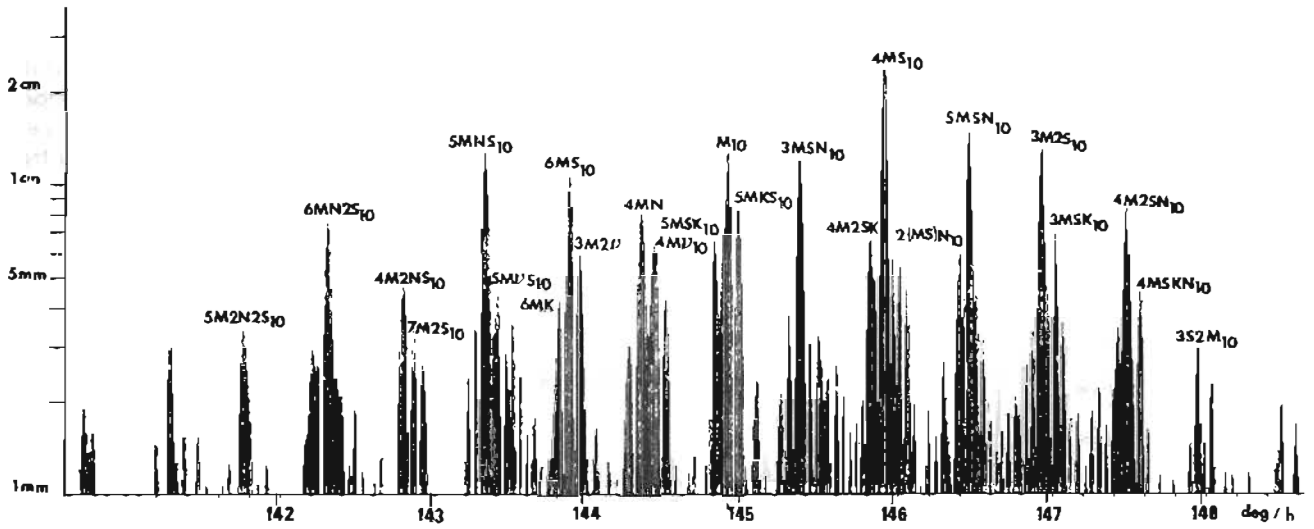


FIG. 3. — Spectre des ondes 10^8 diurnes à Bordeaux

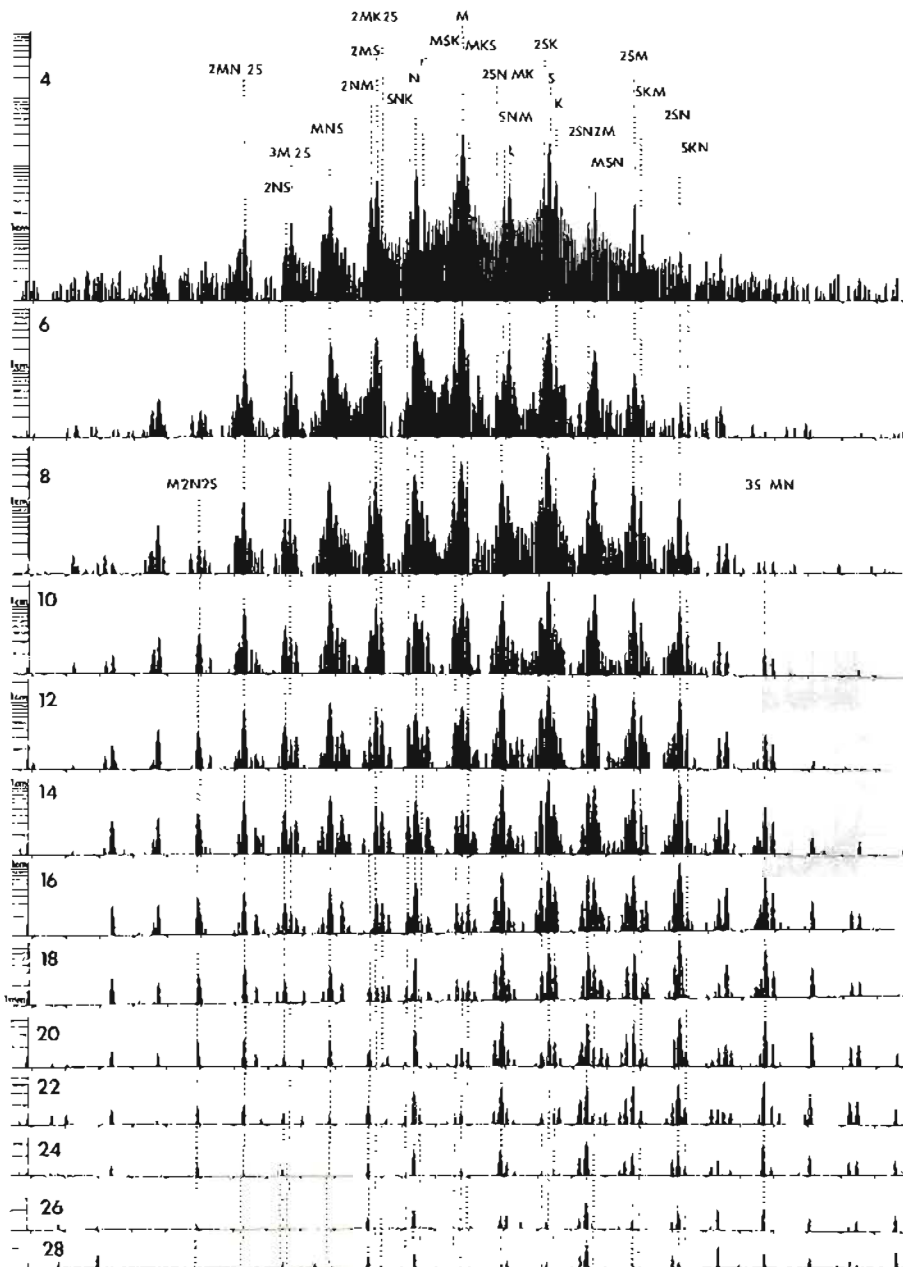


FIG. 4. — Spectre des espèces paires à Bordeaux.

Calcul des constantes harmoniques

Une liste de 30 ondes semi-diurnes et de 22 ondes diurnes a été établie.

Ces ondes sont données dans le tableau suivant :

Semi-diurnes

Nom	N° Doodson	Vitesse (heure)
1 2MN2S ₂	209655	26.40793796
2 2NS ₂	217755	26.87945905
3 3M(2S) ₂	219555	26.95231265
4 3MK3S ₂	21X555	27.03444993
5 MNK ₂	225655	27.34169646
6 MNS ₂	227655	27.42383374
7 MNUS ₂	229455	27.49668736
8 2NM ₂ ou 2N ₂	235755	27.89535483
9 2MS ₂ ou μ ₂	237555	27.96820844
10 2MK2S ₂	239555	28.05034571
11 SNK ₂	243655	28.35759225
12 N ₂	245655	28.43972952
13 NU ₂	247455	28.51258313
14 MSK ₂	253555	28.90196694
15 M (SK) ₂	254555	28.94303558
16 M ₂	255555	28.98410422
17 M (KS) ₂	256555	29.02517286
18 MKS ₂	257555	29.06624150
19 2SN (MK) ₂	261655	29.37348803
20 SNM ₂ ou λ ₂	263655	29.45662531
21 L ₂ ou 2MN ₂	265455	29.52847891
22 T ₂	272556	29.95893332
23 S ₂	273555	30.00000000
24 K ₂	275555	30.08213728
25 2SN2M ₂	281655	30.47152109
26 MSN ₂	283455	30.54437469
27 MKN ₂	285455	30.62651197
28 2SM ₂	291555	31.01589578
29 SKM ₂	293555	31.09803306
30 2SN ₂	2X1455	31.56027048

Diurnes

Nom	N° Doodson	Vitesse (heure)
1 2Q1	125755	12.85428619
2 SIGMA 1	127555	12.92713980
3 Q1	135655	13.39866088
4 *NS1	136655	13.43972952
5 RHO1	137455	13.47151449
6 O1	145555	13.94303558
7 *MS1	146554	13.98410226
8 MP1	147555	14.02517286
9 AI9	153655	14.41455667
10 M1	155655	14.49669395
11 KHI1	157455	14.56954755
12 PI1	162556	14.91786468
13 P1	163555	14.95893136
14 S1	164555	15.00000000
15 K1	165555	15.04106864
16 PSI1	166554	15.08213532
17 PHI1	167555	15.12320592
18 THETA1	173655	15.51258973
19 J1	175455	15.58544333
20 SO1	183555	16.05696442
21 OO1	185555	16.13910170
22 KQ1	195455	16.68347639

Les ondes diurnes précédées d'un astérisque n'existent pas dans la marée. Elles servent à détecter un défaut éventuel de fonctionnement du marégraphe. Il est possible que certaines ondes soient mal dénommées. Cela n'a que peu d'importance si la vitesse angulaire est exacte, car dans ce cas l'analyse harmonique fournit des constantes exactes à la correction nodale près, toujours négligeable pour ces ondes de faible amplitude. Le calcul des constantes harmoniques est identique à celui qui est présenté en référence 2.

Les harmoniques supérieures d'ordre paire sont celles qui sont obtenues en ajoutant aux fréquences des ondes semi-diurnes, la fréquence de l'onde M₂. De même, les ondes tiers-diurnes sont obtenues en ajoutant aux fréquences des ondes diurnes, la fréquence de l'onde M₂. Les résultats obtenus à Bordeaux pour les espèces paires sont listés dans le tableau suivant (Fig. 5) où, en tête de chaque colonne, figure le numéro de l'espèce et en tête de chaque ligne le numéro de l'onde, tel qu'il a été attribué ci-dessus. Les constantes harmoniques sont l'amplitude de l'onde en centimètres (caractère gras) et la situation relative (italique).

III. INFLUENCE DU DEBIT DES FLEUVES ET DES CONDITIONS METEOROLOGIQUES. ETUDE STATISTIQUE.

III.1. Généralités

En plus des observations de marée, nous avons pu disposer des données suivantes :

- Observations des hauteurs d'eau à La Réole (Garonne) et à Pessac (Dordogne) chaque jour à midi. Les hauteurs ne sont fonction que des débits des fleuves correspondants.

- Observations de pression atmosphérique et de vent (vitesse et direction) toutes les 3 heures à Bordeaux et à La Coubre.

L'influence de ces divers paramètres sur la marée a été étudiée à l'aide de méthodes d'études des fonctions aléatoires.

III.2. Résultats

III.2.1. Longues périodes

Les facteurs provoquant les variations lentes de niveau à Bordeaux sont, par ordre d'importance décroissante le niveau d'eau à La Réole (LR), le niveau d'eau à la pointe de Grave (NMGR), la pression atmosphérique (PBX), la composante NS du vent à Bordeaux (YBX) et la composante EW du vent à Bordeaux (XBX). Ces données météorologiques ont été prises à Bordeaux et non à la pointe de Grave, car d'une part les corrélations avec les vents à Bordeaux sont les meilleures et d'autre part, les pressions à la pointe de Grave et à Bordeaux sont naturellement fortement corrélées entre elles.

BORDEAUX

	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
1		1.8 78.6	0.8 185.0	0.8 213.9	0.9 311.1	0.6 23.3	0.5 100.8	0.4 187.8	0.3 289.6	0.2 18.9	0.1 120.6	0.1 211.0	0.0 313.8	0.0 26.7
2		0.6 106.1	0.5 120.7	0.4 138.4	0.6 221.6	0.5 291.5	0.4 356.6	0.4 74.8	0.2 172.3	0.1 269.6	0.1 9.2	0.1 149.5	0.0 283.9	0.0 12.0
3		3.5 103.1	0.8 218.3	0.7 224.0	0.3 336.0	0.0 37.0	0.0 233.2	0.0 324.4	0.0 57.7	0.0 170.1	0.0 215.9	0.0 135.8	0.0 205.4	0.0 314.7
4		0.4 259.8	0.3 263.7	0.6 14.0	0.5 103.4	0.4 167.2	0.3 231.5	0.4 326.8	0.1 64.0	0.1 147.0	0.0 8.1	0.0 33.7	0.0 214.3	0.0 346.6
5		1.5 312.2	0.9 42.4	0.2 125.6	0.2 158.4	0.0 157.5	0.1 172.7	0.2 251.3	0.1 325.4	0.1 25.6	0.0 98.9	0.0 152.2	0.0 254.1	0.0 219.2
6		5.1 313.8	2.4 56.1	2.2 106.2	1.9 204.8	1.1 281.3	0.8 2.3	0.8 101.1	0.3 203.8	0.2 297.6	0.1 36.3	0.1 144.1	0.0 274.1	0.0 32.2
7		2.4 307.6	0.8 39.8	0.9 82.5	0.7 171.9	0.4 248.4	0.2 322.7	0.1 59.2	0.0 156.5	0.0 216.0	0.0 99.1	0.0 233.6	0.0 321.7	0.0 96.7
8		4.1 289.0	2.2 33.3	0.2 280.3	0.8 93.7	0.2 120.5	0.2 197.6	0.0 225.9	0.0 233.8	0.1 284.8	0.1 10.3	0.1 84.7	0.1 204.6	0.1 280.4
9		18.6 322.8	5.2 77.2	2.8 119.7	2.0 225.2	0.8 317.7	0.6 33.8	0.4 133.7	0.2 222.3	0.1 303.8	0.1 0.6	0.0 100.1	0.0 153.2	0.0 256.4
10		1.3 122.5	0.3 199.6	0.9 251.9	0.8 338.2	0.5 59.6	0.4 118.2	0.3 216.6	0.2 373.8	0.1 74.7	0.0 141.7	0.0 254.2	0.0 300.7	0.0 109.2
11		0.9 347.5	0.8 210.1	0.7 87.9	0.7 258.6	0.4 328.8	0.4 44.9	0.4 117.8	0.2 195.0	0.1 262.8	0.0 276.8	0.0 352.9	0.0 316.4	0.0 328.7
12		29.4 204.9	8.2 348.2	3.5 355.9	2.9 118.9	0.8 207.6	0.6 309.6	0.5 69.2	0.4 189.2	0.2 291.8	0.2 34.6	0.1 152.0	0.1 248.4	0.1 336.2
13		12.2 189.5	2.2 292.4	3.3 312.1	1.8 65.5	0.8 121.7	0.3 208.7	0.2 287.7	0.1 11.0	0.0 82.8	0.0 114.3	0.0 203.7	0.0 323.2	0.0 344.3
14		1.7 4.8	1.4 182.0	1.2 146.5	1.2 252.3	0.7 330.3	0.5 25.0	0.3 92.5	0.1 186.9	0.0 235.8	0.0 368.1	0.0 103.8	0.0 201.1	0.1 293.8
15		5.0 33.0	1.2 352.2	1.5 175.0	0.8 334.1	0.3 63.0	0.3 156.7	0.1 222.7	0.1 315.2	0.1 45.8	0.0 120.1	0.0 219.1	0.0 327.9	0.0 94.7
16	257.3 0.0	178.0 217.5	27.8 2.8	5.7 14.1	4.3 141.9	1.1 241.0	0.8 332.6	0.4 81.3	0.1 198.3	0.1 357.7	0.1 97.4	0.1 210.8	0.0 314.6	0.0 48.8
17	16.6 13.9	4.4 73.7	1.1 45.3	0.7 246.8	0.4 69.8	0.1 121.1	0.1 236.1	0.0 344.7	0.0 145.4	0.0 220.1	0.0 299.7	0.0 30.3	0.0 113.2	0.0 218.7
18	8.2 80.3	1.7 10.4	1.4 131.9	1.1 179.8	1.2 268.0	0.6 356.7	0.4 74.7	0.2 173.1	0.2 296.0	0.1 40.5	0.1 132.3	0.1 241.8	0.1 337.7	0.0 87.6
19	6.8 127.9	1.8 241.3	0.2 38.0	0.6 35.3	0.3 159.1	0.2 219.1	0.2 147.9	0.2 239.6	0.2 309.9	0.2 4.3	0.2 79.9	0.2 140.0	0.1 216.5	0.1 271.7
20	4.4 141.1	6.3 47.8	3.0 79.3	1.0 162.1	2.0 151.9	1.1 269.4	1.1 343.8	0.8 67.0	0.5 176.2	0.3 261.4	0.3 6.3	0.2 108.5	0.1 199.7	0.0 331.4
21	12.9 31.7	18.1 47.6	4.1 166.2	2.0 189.5	1.1 271.8	0.1 63.5	0.3 328.3	0.2 347.7	0.2 50.3	0.2 155.5	0.1 238.6	0.1 318.0	0.1 41.7	0.1 95.8
22	5.4 331.8	2.0 254.4	1.4 25.2	1.7 137.7	0.8 281.4	0.2 337.5	0.2 97.9	0.1 179.7	0.0 301.6	0.0 6.3	0.0 104.0	0.0 180.5	0.0 305.9	0.0 0.9
23	16.6 13.5	47.3 267.4	20.4 56.2	3.4 84.3	5.8 187.0	2.1 286.9	1.6 2.6	1.1 106.8	0.7 121.1	0.4 300.7	0.2 28.2	0.1 135.1	0.0 266.7	0.0 81.2
24	3.8 43.5	13.7 267.3	5.4 52.5	1.0 73.9	1.2 189.6	0.3 299.7	0.3 46.1	0.4 151.7	0.3 261.6	0.2 361.9	0.1 107.1	0.0 215.4	0.1 328.0	0.0 60.8
25	1.1 19.3	0.1 274.9	1.1 233.8	0.5 299.4	0.8 325.4	0.5 21.3	0.6 68.1	0.7 138.6	0.6 225.8	0.4 302.8	0.4 30.1	0.3 128.2	0.2 230.0	0.2 373.8
26	2.6 48.5	3.3 84.5	3.0 227.4	1.8 248.6	2.6 352.7	1.2 75.0	1.1 138.6	0.8 228.5	0.4 318.1	0.1 58.8	0.0 146.2	0.0 260.5	0.0 27.0	0.0 176.3
27	0.8 135.5	0.6 332.8	0.3 207.1	0.1 213.9	0.2 331.8	0.0 267.0	0.1 296.0	0.1 20.8	0.2 93.2	0.1 190.4	0.1 244.9	0.1 356.3	0.0 66.7	0.0 186.9
28	1.2 178.7	4.4 107.3	2.1 147.9	1.0 226.5	1.8 255.8	1.2 355.1	0.9 60.8	0.7 152.9	0.5 265.9	0.4 12.2	0.3 102.5	0.3 206.2	0.2 299.5	0.1 27.2
29	0.3 54.0	2.5 100.9	1.0 144.1	0.4 173.0	1.1 241.9	0.8 327.1	0.5 31.6	0.4 129.4	0.2 249.7	0.1 346.7	0.1 99.6	0.1 183.4	0.0 324.2	0.0 44.2
30	0.4 126.8	0.8 186.8	0.4 325.4	0.2 5.7	1.1 76.0	0.9 162.2	1.0 227.9	1.0 306.0	0.8 35.3	0.6 112.3	0.4 196.5	0.3 291.5	0.1 20.8	0.1 102.3

FIG. 5.

Certaines cohérences présentent un maximum entre 0,1 et 0,2 cycle par jour, ce qui paraît suspect, car il est inconcevable qu'un bassin des dimensions de la Gironde privilégie d'aussi basses fréquences. Lorsqu'on recherche les origines possibles de ce phénomène, on ne peut s'empêcher d'évoquer la périodicité des contrôles des marégraphes et des changements de feuilles des baromètres (une période de 7 jours correspond à une fréquence de 0,14 cycle par jour).

La cohérence multiple lorsqu'on tient compte de la pression à Bordeaux, du niveau à La Réole et du niveau à la pointe de Grave est voisine de 0,9 aux très basses fréquences.

L'utilisation de ces résultats pour la prédiction n'est aisée que si les variations sont lentes. Dans ce cas, il est possible d'utiliser l'une des formules empiriques suivantes pour calculer le niveau journalier à Bordeaux. $NMBX = 257,4 - 0,15 (PBX - 1018) + 0,15 (LR - 130,0) + 0,56 (NMGR - 320,7)$ qui donne le maximum de cohérence, ou, si l'on ne désire pas utiliser le niveau moyen à la pointe de Grave. $NMBX = 257,4 - 0,735 (PBX - 1018) - 1,7 (YBX - 0,44) + 0,15 (LR - 130)$ ou, en utilisant la composante Nord-Sud du vent mesuré à la Pointe de Grave (YGR) $NMBX = 257,4 - 0,735 (PBX - 1018) - 0,95 (YGR - 1,14) + 0,15 (LR - 130)$. Dans ces formules, les hauteurs d'eau sont mesurées en centimètres, les pressions atmosphériques en millibars et les composantes de la vitesse du vent en mètres par seconde.

La même étude a été faite pour La Reuille. La cohérence multiple est alors seulement égale à 0,66 au lieu de 0,88 à Bordeaux, si l'on ne tient pas compte du niveau de la pointe de Grave. Le niveau de la Dordogne à Pessac (PSS) a plus d'influence à La Reuille, que le niveau de la Garonne à La Réole (LR), mais ces deux niveaux étant eux-même fortement corrélés entre eux, il est difficile de distinguer leurs influences respectives. Les formules empiriques suivantes permettant de calculer 66 % des variations lentes de niveau à La Reuille (NMLR). $NMLR = 1256,1 - 1,08 (PBX - 1018) - 1,7 (YGR - 1,14) + 0,11 (PSS - 138)$ ou $NMLR = 256,4 - 1,08 (PBX - 1018) - 3,04 (YBX - 0,44) + 0,08 (LR - 130)$.

Pour les points en aval les variations de niveau des cours d'eau n'ont pratiquement plus d'influence.

On peut estimer que les variations de niveau sont alors les mêmes qu'à l'embouchure.

On pourra utiliser en aval de La Reuille la formule empirique suivante donnant les variations lentes de niveau δ_{NM}

$$\delta_{NM} = 1,08 (PBX - 1018) - 1,7 (YGR - 1,14)$$

Le terme en YGR doit être compris comme la moyenne sur environ 5 jours de la composante nord-sud du vent mesuré à la pointe de Grave.

III.2.2 Semi-diurnes, quart-diurnes, sixième-diurnes

L'onde semi-diurne est représentée par un vecteur dont le module ρ et la direction φ varient lentement. Ce vecteur est assimilé au nombre complexe $\rho e^{i\varphi}$.

Soit $X_0 = \rho_0 e^{i\varphi_0}$ l'onde semi-diurne observée et $X_c = \rho_c e^{i\varphi_c}$ l'onde semi-diurne calculée par la méthode

harmonique exposée ci-dessus. On se propose d'étudier les corrélations éventuelles de la partie réelle et de la partie imaginaire de $X_0 X_c$ avec les conditions météorologiques et le débit de cours d'eau

$$R = \mathcal{R}_e (X_0/X_c) = (\rho_0/\rho_c) \cos (\varphi_0 - \varphi_c) \cong \rho_0/\rho_c$$

(au premier ordre)

$$I = \mathcal{I}_m (X_0/X_c) = (\rho_0/\rho_c) \sin (\varphi_0 - \varphi_c) \cong \varphi_0 - \varphi_c$$

(au premier ordre)

Une corrélation éventuelle avec les composantes semi-diurnes de la variation de pression a été recherchée, mais le résultat n'est pas significativement différent de zéro. Seules les variations lentes des paramètres météorologiques ont donc été retenues pour l'étude statistique.

Les cohérences sont faibles.

A Bordeaux, aux très basses fréquences

- la cohérence entre R et le niveau à La Réole est 0,41

- la cohérence entre R et la pression atmosphérique est 0,20

- la cohérence entre R et le niveau moyen est 0,33.

La cohérence multiple est égale à 0,52. Ces cohérences, bien que non nulles, sont trop faibles pour que l'on puisse envisager de corriger les ondes semi-diurnes à l'aide du débit de la Garonne, de la pression atmosphérique et du niveau moyen à Bordeaux. La même méthode appliquée aux quarts-diurnes et aux sixièmes-diurnes aboutit à la même conclusion.

Ce manque de cohérence ne signifie pas que les paramètres étudiés n'ont aucune influence sur la marée, il signifie simplement que les causes principales des écarts n'ont pas été prises en compte.

La même étude faite pour La Reuille n'a pas donné de meilleure cohérence, mais les écarts entre l'observation et la prédiction sont, pour ce port, beaucoup moins importants.

En conclusion, l'étude statistique a permis d'établir des formules empiriques permettant de calculer les variations lentes de niveau ; elle s'est révélée inapte à expliquer les écarts entre la prédiction et l'observation des diverses espèces composant la marée.

IV. RESULTATS

Les résultats obtenus par la méthode harmonique telle qu'elle est exposée ci-dessus ont été comparés aux observations.

Les cas suivants sont examinés : morte-eau, marée moyenne et vive-eau à l'étiage (0 m d'eau à La Réole) et en crue moyenne (2,5 m d'eau à La Réole). Le niveau moyen est corrigé de l'influence du niveau de la Garonne à La Réole, de la pression atmosphérique et du niveau à la pointe de Grave, selon les formules du § III.2.1.

Ces résultats peuvent sembler assez satisfaisants puisque les écarts entre le calcul et l'observation ne dépassent que rarement 20 cm.

Cependant il faut remarquer que les comparaisons ci-dessus ont porté sur les observations ayant servi à faire l'analyse, ce qui en limite la signification puisqu'il s'agit à proprement parler de prédiction.

Les moyens d'une comparaison complète nous manquent pour d'autres périodes car nous ne disposons pas en même temps des observations de marée, de météorologie et de débit des cours d'eau.

Cependant, certains défauts des courbes marégraphiques calculées, qui sont surtout évidents au moment des basses mers, laissent supposer que les harmoniques supérieurs ne sont pas déterminés avec suffisamment de précision.

V. DISCUSSION

Diverses raisons possibles des imprécisions constatées ont été examinées :

V.1. Méthode de calcul des constantes harmoniques.

La méthode de calcul des constantes harmoniques étant originale, il a paru nécessaire, de les comparer aux résultats obtenus par la méthode habituellement utilisée à l'EPSHOM.

Cette comparaison ne peut être faite que jusqu'aux huitièmes-diurnes.

L'accord est excellent, ce qui nous amène à conclure que la méthode d'analyse harmonique proposée est acceptable au moins jusqu'aux huitièmes-diurnes. La méthode de calcul étant rigoureusement identique quelle que soit l'espèce, il n'existe aucune raison de douter de la validité des résultats obtenus pour les espèces d'ordre supérieur.

V.2. Choix des ondes

L'identification des pics du spectre est la principale difficulté de l'analyse harmonique. C'est incontestablement un point faible de la méthode proposée. Cependant, comme nous l'avons vu, l'identification des pics principaux ne peut guère être mise en doute et il est peu vraisemblable que une mauvaise interprétation des cas douteux puisse entraîner un écart entre la prédiction et l'observation pouvant atteindre des valeurs importantes.

V.3. Nombre d'ondes retenues

Comme il a été indiqué plus haut, les harmoniques supérieurs, bien que de faible amplitude ne doivent pas être négligés car, par leur nombre, ils peuvent apporter une contribution importante à la dénivellation. Il est possible que le grand nombre d'ondes retenu ne soit pas suffisant. Les méthodes d'analyse et de prédiction

permettent une étude aisée de l'influence de la limitation que l'on s'est imposée dans le nombre des espèces. On calcule les vecteurs réduits C_k . Ces vecteurs réduits sont ensuite utilisés dans la méthode de prédiction exposée au chapitre suivant (§ VI.4). Si on utilise 64 vecteurs réduits ($K = 64$), on obtient une reproduction parfaite (aux défauts d'observation près) de la marée observée. Si on se limite à $K = 28$ (nombre d'espèces retenues pour l'analyse, le résultat est encore très bon, mais en vive-eau il apparaît des irrégularités au voisinage de la basse mer, qui, bien que d'amplitude beaucoup plus faible, ressemblent à celles qui ont été observées sur les courbes prédites.

Cependant, l'importance de ces irrégularités n'est pas suffisante pour que les défauts de la prédiction puisse s'expliquer par la limitation aux vingt-huitièmes diurnes des espèces analysées.

Reste la possibilité que le nombre d'ondes retenues pour chaque espèce ne soit pas suffisant. Ce serait là un défaut grave de la méthode harmonique car les ondes négligées n'ayant que rarement une amplitude supérieure à 2 mm, le nombre d'ondes supplémentaires à calculer devrait être très grand pour améliorer sensiblement la précision de la prédiction.

VI. CONCORDANCE PAR ESPECE

VI.1. Généralités

Les résultats obtenus à l'aide de la méthode harmonique n'étant pas entièrement satisfaisants, une nouvelle méthode a été mise au point.

Elle s'appuie sur l'idée selon laquelle la marée se propageant de l'aval vers l'amont, il est possible de calculer les variations de hauteur d'eau en un point de la Gironde à l'aide de la marée à l'embouchure. Cette idée n'est évidemment pas nouvelle, elle est par exemple à l'origine de la méthode des concordances qui est utilisée à l'heure actuelle pour la confection de l'annuaire. Mais alors que dans la méthode des concordances on cherche les relations pouvant exister entre les courbes marégraphiques observées à l'embouchure et en un point situé en amont, dans la méthode des concordances par espèces, la comparaison porte sur les représentations spectrales de ces deux marées.

VI.2. Formulation

Il est évident, d'après la figure 2, que les harmoniques supérieurs ne proviennent pas de l'embouchure (puisque'ils n'existent pas à l'embouchure). Ils sont donc engendrés au cours de la progression dans l'estuaire par les déformations de l'onde marée, créées essentiellement, comme nous l'enseignent les équations de l'hydrodynamique, par les frottements sur le fond et par le fait que, les célérités augmentant avec la hauteur d'eau, les pleines mers progressent plus rapidement que les basses mers.

Il est également évident que ces harmoniques d'ordre supérieur sont étroitement liés à la marée à l'embouchure puisqu'ils n'existeraient pas sans elle. Il est donc légitime de vouloir calculer le vecteur représentatif d'une espèce en fonction des vecteurs représentatifs des espèces présentes à l'embouchure à un instant précédent.

Soit $S_{nk}(t)$ le vecteur représentatif de l'espèce k à l'instant t au point n (à l'embouchure $n = 0$).

$S_{nk}(t)$ peut être assimilé à un nombre complexe :

$$S_{nk}(t) = C_{nk}(t) \text{EXP}(jkq_1 t)$$

où q_1 est égal à 2π radians par jour lunaire et où $C_{nk}(t)$ est un nombre complexe qui varie suffisamment lentement pour pouvoir être représenté par un polynôme en t pendant une période de 48 h.

$$S_{nk}(t + \tau) =$$

$$f[S_{00}(t), S_{01}(t), S_{02}(t), S_{03}(t), S_{04}(t), S_{06}(t), S_{08}(t)]$$

où f est une fonction à déterminer et τ un retard à déterminer.

f peut toujours être mis sous la forme d'un polynôme en $S_{00}(t), S_{01}(t) \dots S_{08}(t)$. On montre, par identification, en négligeant les produits comportant les termes $C_{01}(t)$ et $C_{03}(t)$, que l'on peut écrire

$$\begin{aligned} C_{nk}(t + \tau) &= B_{nk}(t) C_{02}^{k/2}(t) \text{ si } k \text{ est pair} \\ \text{et} & \\ C_{nk}(t + \tau) &= B_{nk}(t) C_{0k}(t) \text{ si } k \text{ est égal à 1 ou 3} \end{aligned} \quad (5)$$

La marée à l'embouchure étant supposée calculée avec suffisamment de précision. $C_{01}(t)$, $C_{02}(t)$ et $C_{03}(t)$ sont connus. Le terme à longue période, appelé aussi niveau moyen journalier est traité comme une espèce d'ordre pair.

Le problème se réduit dès lors au calcul des valeurs de B_{nk} .

Ce sont des quantités variables que nous supposons dépendre du niveau moyen journalier à l'embouchure, du débit des cours d'eau et de l'amplitude de la marée.

Posons :

NMGR = niveau moyen journalier à la pointe de Grave
 LR = niveau de la Garonne à la Réole
 PSS = niveau de la Dordogne à Pessac
 X = amplitude de la composante semi-diurne de la marée à la pointe de Grave : $X = |C_{02}|$
 (X est sensiblement proportionnel au coefficient de la marée et au marnage).

Plusieurs formules de regression ont été essayées. La suivante donne des résultats satisfaisants :

$$\begin{aligned} B_{nk} &= A_{0nk} + A_{1nk} X + A_{2nk} X^2 + A_{3nk} X^3 \\ &+ A_{4nk} \text{NMGR} + A_{5nk} \text{LR} + A_{6nk} \text{PSS} \end{aligned} \quad (6)$$

IV.3. Résolution

Les variables NMGR, LR, PSS, X, C_{01} , C_{02} , C_{03} ont été calculées pour chaque jour lunaire : LR et PSS par interpolation des valeurs journalières, NMGR, C_{01} , C_{02} , C_{03} par la méthode des hauteurs réduites (NMGR = C_{00}). Disposant de 355 jours lunaires d'observations de marée, on obtient pour chaque espèce un système surabondant de 355 équations que l'on résoud par la méthode des moindres carrés pour obtenir les valeurs complexes des constantes A_{0nk} , A_{1nk} etc.

Le retard τ est supposé égal au temps que met l'onde M_2 pour parcourir la distance qui sépare l'embouchure du point étudié. Si l'on ne dispose pas d'une analyse harmonique, il suffira d'adopter pour τ la moyenne des temps de parcours d'une pleine mer et d'une basse mer

IV.4. Prédiction

Les vecteurs $C_{nk}(t)$ ayant été calculés par la méthode décrite plus haut, il est possible d'obtenir facilement le vecteur représentatif de chaque espèce : dans le plan complexe, on écrit :

$$S_{nk}(t) = C_{nk}(t) e^{jkq_1 t}$$

La hauteur de la marée au point n est alors

$$H_n(t) = \frac{1}{2} \sum_{k=0}^{K-1} [C_{nk}(t) e^{jkq_1 t} + C_{nk}(t) e^{-jkq_1 t}]$$

C_{nk} est le complexe conjugué de C_{nk} .

Pour les ports situés en amont, l'application de cette formule exige un temps de calcul assez important si l'on désire une bonne définition de la courbe marégraphique. En effet, pour ces ports, il est souhaitable de faire le calcul pour des instant t espacés de 10 mm environ.

Il a semblé plus judicieux d'utiliser une méthode originale, s'inspirant de la méthode des hauteurs réduites dont les différentes étapes sont prises dans l'ordre inverse.

Posons :

$$\begin{aligned} H'_n(t, t_0) &= \\ \frac{1}{2} \sum_{k=0}^{K-1} [C_{nk}(t_0) e^{jkq_1 t} + C_{nk}(t_0) e^{-jkq_1 t}] \end{aligned} \quad (7)$$

$H'_n(t, t_0)$ est périodique en t , de période 1 jour lunaire.

Ce n'est autre que la hauteur de la marée à l'instant t , réduite à l'instant t_0 . On montre (voir annexe) qu'elle peut être obtenue par interpolation parabolique à l'instant t_0 des hauteurs observées aux instants $t - T$, t et $t + T$ où T est la durée du jour lunaire. Il est donc naturel que, réciproquement, $H_n(t)$ puisse être obtenu par interpolation entre les hauteurs réduites aux instants $t_0 - \Delta$, t_0 et $t_0 + \Delta$, à condition que Δ ne soit pas trop grand :

$$H_n(t) = H'(t, t_0) + (t - t_0) \frac{H'_n(t, t_0 + \Delta) - H'_n(t, t_0 - \Delta)}{2\Delta} + (t - t_0)^2 \frac{H'_n(t, t_0 + \Delta) + H'_n(t, t_0 - \Delta) - 2H'_n(t, t_0)}{2\Delta^2} \quad (8)$$

Cette méthode a été testée avec $\Delta = T$ sans qu'une différence appréciable avec une méthode classique de prédiction ait pu être constatée.

Le calcul est fait en 3 étapes :

a) Calcul de $C_{nk}(t_m)$ aux instants $t_m = t_0 + m\Delta$ à l'aide des formules (5) et (6) où t_0 est l'instant début de la prédiction diminué de 1,5 jour lunaire (afin de pouvoir appliquer la formule d'interpolation).

b) Calcul de $H'(t, t_0)$ à l'aide de la formule (7). Ce calcul est fait à l'aide de l'algorithme de Cooley-Tukey "Fast Fourier Transform" ou FFT.

Si le nombre d'espèces calculées n'est pas égal à une puissance de 2 (condition d'utilisation de la FFT), il suffit de compléter les espèces manquantes par des vecteurs nuls. On obtient deux fois plus de hauteurs calculées par jour lunaire que d'espèces introduites.

c) Interpolation parabolique à l'aide de la formule (8) pour obtenir les hauteurs $H_n(t)$.

L'utilisation de la FFT permet des temps de calcul très faibles, compte tenu du nombre de hauteurs calculées. Cette méthode est aussi parfaitement adaptée à la prédiction à l'aide des constantes harmoniques.

VI.5. Résultats

Les résultats sont présentés sous forme de courbes sur lesquelles sont indiquées la date, les heures et hauteurs des pleines et basses mers obtenues par interpolation parabolique. Un exemple est donné sur la figure 6 où les espèces ont été calculées jusqu'aux vingt-huitièmes diurnes.

Le tableau suivant (fig. 7) montre, à titre d'exemple une comparaison entre les heures et hauteurs de marée observées à Bordeaux et celles qui ont été prédites, d'une part par l'annuaire, d'autre part par la méthode qui vient d'être exposée.

Les hauteurs observées ont été corrigées de l'influence du niveau à l'embouchure et de la hauteur d'eau à la Réole à l'aide de la formule suivante :

$$\Delta H = 0,72 \Delta(NMGR) + 0,15 LR$$

où $\Delta(NMGR)$ est la différence entre la hauteur observée et la hauteur prédite à la pointe de Grave.

La supériorité de la nouvelle méthode apparaît très nettement :

En ce qui concerne les pleines mers, les écarts entre l'observation et la prédiction sont du même ordre de grandeur que ceux que l'on obtient pour les ports en eau libre. Pour les basses mers, et en particulier pour les basses mers du matin, les écarts sont encore importants.

Plusieurs solutions sont envisagées pour améliorer

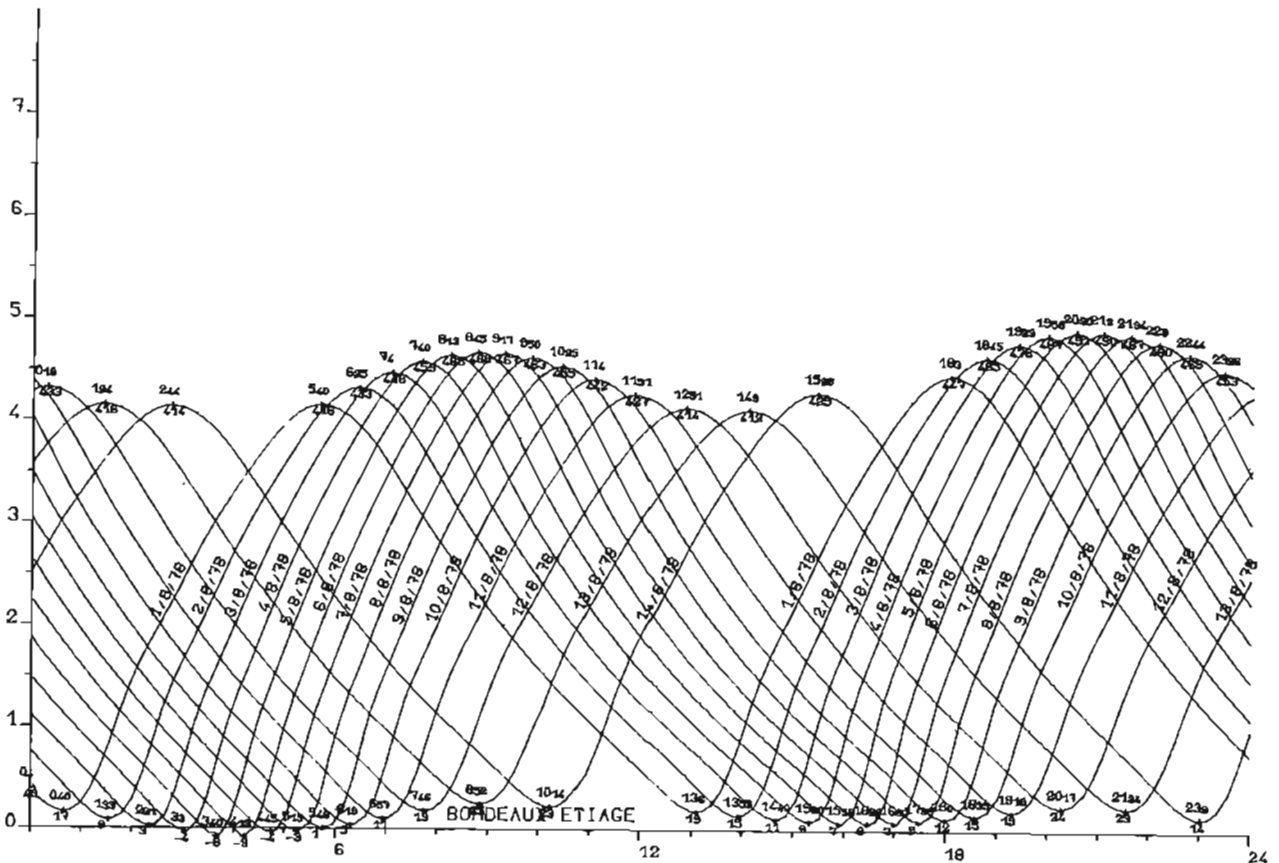


FIG. 6. — Prédiction de marée en régime d'étiage à Bordeaux.

	Observation		Annuaire				Nouvelle méthode			
	heure	hauteur	heure	hauteur	écart en temps	écart en hauteur (1)	heure	hauteur	écart en temps	écart en hauteur (1)
12.8.78	5.10	422	6.00	440	+ 20	- 18	5.41	416	+ 1	+ 1
	13.08	30	13.50	5	+ 42	- 25	13.06	19	- 2	- 11
	18.05	450	18.26	450	+ 21	0	18.03	446	- 2	- 4
2.8.78	1.48	23	2.18	0	+ 30	- 23	1.33	9	- 15	- 14
	6.24	440	6.50	460	+ 26	+ 20	6.25	433	+ 1	- 7
	14.05	24	14.42	10	+ 37	- 34	13.56	15	- 9	- 9
	18.38	469	19.10	465	+ 32	- 1	18.45	464	+ 6	- 5
3.8.78	2.40	23	30.03	- 10	+ 23	- 33	2.22	1	- 18	- 22
	7.00	455	7.29	475	+ 29	+ 25	7.03	448	+ 3	- 7
	14.50	20	15.24	15	+ 34	- 35	14.40	11	- 10	- 9
	19.25	482	19.47	480	+ 22	- 2	19.22	482	- 3	0
4.8.78	3.20	18	30.43	- 10	+ 23	- 28	3.03	- 5	- 17	- 23
	7.38	461	8.05	480	+ 27	+ 19	7.39	459	+ 1	- 3
	15.30	17	15.59	10	+ 29	- 27	15.20	9	- 10	- 8
	19.50	494	20.82	480	+ 32	- 14	17.57	487	+ 7	- 7
5.8.78	4.05	15	4.16	- 10	+ 11	- 25	3.39	- 8	- 26	- 23
	8.15	470	8.38	485	+ 23	+ 15	8.13	465	- 2	- 5
	16.10	16	16.32	10	+ 22	- 26	15.56	6	- 14	- 10
	20.20	496	20.55	485	+ 35	- 11	20.30	490	+ 10	- 6
6.8.78	4.35	10	4.48	- 10	+ 13	- 20	4.13	- 9	- 22	- 19
	8.45	473	9.11	485	+ 26	+ 12	8.45	468	0	- 5
	16.40	10	17.03	10	+ 23	- 20	16.28	6	- 12	- 4
	20.50	501	21.27	485	+ 37	- 16	21.01	490	+ 11	- 11
7.8.78	5.05	12	5.19	- 10	+ 14	- 22	4.45	- 4	- 20	- 16
	9.23	476	9.41	485	+ 18	+ 9	9.17	467	- 6	- 9
	17.10	19	17.33	10	+ 23	- 29	17.00	6	- 10	- 13
	21.23	498	21.56	485	+ 23	- 13	21.34	487	+ 11	- 11
8.8.78	5.35	9	5.48	- 10	+ 13	- 19	5.16	- 3	- 19	- 12
	9.55	461	10.10	480	+ 15	+ 19	9.49	463	- 6	+ 2
	17.40	19	18.04	10	+ 24	- 29	17.30	9	- 10	- 10
	21.55	481	22.24	480	+ 29	- 1	22.07	480	+ 12	- 1
9.8.78	6.10	4	6.18	- 10	+ 8	- 14	5.47	0	- 23	- 4
	10.28	456	10.39	480	+ 11	+ 24	10.24	455	- 4	- 1
	18.15	15	18.34	10	+ 19	- 25	18.01	12	- 14	- 3
	22.40	471	22.55	475	+ 15	+ 4	22.44	469	+ 4	- 2
10.8.78	6.40	10	6.51	- 15	+ 11	- 25	6.20	4	- 20	- 6
	11.00	449	11.11	465	+ 11	+ 16	11.04	443	+ 4	- 6
	18.45	20	19.08	- 10	+ 23	- 30	18.35	15	- 10	- 5
	23.15	456	23.29	460	+ 14	4	23.20	455	+ 11	- 3
11.8.78	7.20	18	7.27	- 5	+ 7	- 23	6.58	10	- 22	- 8
	11.55	436	11.51	450	- 4	+ 25	11.51	428	- 4	- 7
	19.30	25	19.47	0	+ 17	- 25	19.18	19	- 12	- 6
12.8.78	0.10	435	0.15	440	+ 5	5	0.18	433	+ 8	- 2
	8.05	26	8.10	5	+ 5	- 20	7.46	19	- 19	- 6
	12.50	419	12.43	430	- 7	+ 11	12.51	414	+ 1	- 5
	20.25	36	20.35	5	+ 10	- 31	20.17	24	- 8	- 12

(1) L'implantation de l'échelle marégraphique ayant été modifiée depuis 1975, (époque des observations ayant servi pour la prédiction), il convient d'ajouter 3 cm à ces résultats.

FIG. 7. — Comparaison entre prédictions et observations.

cette situation :

1) Prise en compte d'un plus grand nombre d'harmoniques, la limitation aux vingt-huitièmes diurnes ne permettant pas une définition parfaite de la courbe au voisinage de la marée basse.

2) Calcul de l'heure et la hauteur de la marée basse par une autre méthode que l'interpolation parabolique : en effet, étant donné la forme de la courbe marégraphique, l'interpolation parabolique a toujours pour effet d'avancer l'heure de la basse mer (ce qui est effectivement observé).

3) La variation diurne des écarts suggère qu'il pourrait être bon de prendre en compte des espèces d'ordre impair autres que les diurnes et les tiers diurnes.

4) Modification de la formule (6) : une forme polynomiale en X pouvant ne pas être la meilleure solution possible.

VII. CONCLUSION

Quelle que soit la méthode d'analyse et de prédiction de la marée, on est amené à faire un certain nombre d'hypothèses, soit sur la forme de la courbe marégraphique, soit sur son spectre (représentation dans le

domaine des fréquences). La valeur des hypothèses est vérifiée a posteriori : la prédiction sera jugée bonne ou mauvaise en fonction de la précision désirée. Les caractères de la marée observée qui n'entrent pas dans le cadre de ces hypothèses sont considérés comme du bruit. Ce bruit est inévitable. Il provient principalement des perturbations météorologiques, mais aussi des erreurs d'observations qui peuvent provoquer une gêne considérable pour la méthode harmonique si les erreurs ont un caractère périodique. Ces anomalies peuvent expliquer les défauts de la simulation par la méthode harmonique. La méthode de la concordance par espèce, moins sensible à ce type d'erreurs a permis une amélioration sensible des résultats.

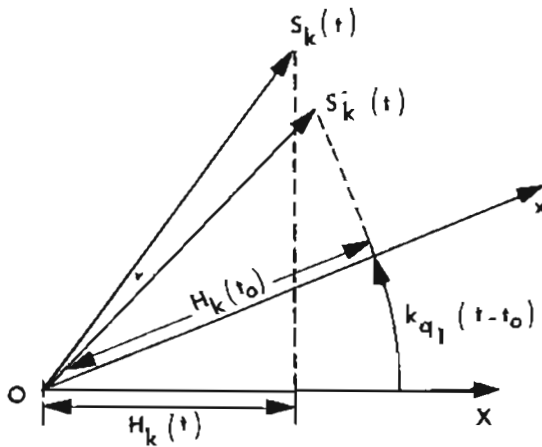
Cette nouvelle méthode, outre le fait qu'elle semble être apte à fournir une prédiction précise de la marée, présente les avantages suivants :

- Elle permet de traiter les observations comportant des lacunes ;
- Elle permet de prendre en compte les perturbations engendrées par les effets météorologiques ou les débits des cours d'eau.
- Utilisée ici pour la prédiction d'une marée fluviale, à partir de la marée prédite à l'embouchure, elle devrait permettre de prédire tous types de marée à partir du potentiel générateur.

ANNEXE

DECOMPOSITION PAR ESPECES : METHODE DES HAUTEURS REDUITES

La marée est presque périodique, de période 1 jour lunaire de 24 h 50 mn 28, 23s. C'est ce qu'illustre la figure 2 où on remarque que les coefficients de la décomposition en série de Fourier d'observations de marée sont importants au voisinage des harmoniques de la fréquence diurne. Ceci peut être interprété de la manière suivante : la hauteur d'eau est égale à chaque instant à la somme de projections sur un axe donné OX de vecteurs tournants, dont chacun fait approximativement un nombre entier k de rotations par jour lunaire et dont les amplitudes varient peu pendant la même période.



$$\alpha_1 = 2\pi \text{ radians par jour lunaire}$$

Le nombre entier k caractérise l'espèce, k est égal à 1 pour l'espèce diurne, 2 pour l'espèce semi-diurne, etc. Soit $S_k(t)$ le vecteur représentatif de l'espèce k à l'instant t et $S'_k(t)$ le vecteur tournant confondu avec $S_k(t)$ à l'instant t_0 dont la vitesse de rotation est égale à k cycles par jour lunaire et dont l'amplitude est constante.

$$\text{Posons } D_k(t) = S_k(t) - S'_k(t)$$

$D_k(t)$ varie lentement. On pourra supposer qu'il peut être calculé par un développement limité au voisinage de t_0 .

$$D_k(t) = (t - t_0) \frac{dD(t_0)}{dt} + \frac{(t - t_0)^2}{2} \frac{d^2D(t_0)}{dt^2}$$

Soit T la durée du jour lunaire.

En se limitant au second ordre, on montre aisément que

$$S'_k(t) = S_k(t) - \frac{t - t_0}{2T} [S_k(t + T) - S_k(t - T)] + \frac{(t - t_0)^2}{2T^2} [S_k(t - T) + S_k(t + T) - 2S_k(t)]$$

Soit $\bar{S}_k(t)$ et $\bar{S}'_k(t)$ les vecteurs symétriques de $S_k(t)$ et $S'_k(t)$ par rapport à l'axe OX et $H(t)$ la hauteur de la marée à l'instant t

$$H(t) = \frac{1}{2} \sum_{k=0}^K [S_k(t) + \bar{S}_k(t)]$$

$$\text{posons } H'(t) = \frac{1}{2} \sum_{k=0}^K [S'_k(t) + \bar{S}'_k(t)]$$

donc

$$H'(t) = H(t) - \frac{t - t_0}{2T} [H(t + T) - H(t - T)] + \frac{(t - t_0)^2}{2T^2} [H(t + T) + H(t - T) - 2H(t)]$$

$H'(t)$ est la "hauteur à l'instant t , réduite à l'instant t_0 ". $H'(t)$ présente sur $H(t)$ l'avantage d'être rigoureusement périodique. Il peut donc être décomposé en série de Fourier, ce qui permet d'obtenir pour k donné $S'_k(t)$ qui est confondu avec $S_k(t)$ pour $t = t_0$. On a donc, ainsi la possibilité de calculer le vecteur représentatif $S_k(t)$ d'une espèce donnée k à un instant donné t_0 .

Cette méthode est due à l'Ingénieur en Chef de l'Armement Demerliac.

Réciproquement, connaissant les vecteurs représentatifs de chaque espèce à chaque instant, il est aisé, en faisant leur somme, de calculer la hauteur de la marée au même instant.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) DEMERLIAC (A.). — Séparation des différentes familles d'onde de marée. Application au calcul des constantes harmoniques. EPSHOM — oct. 1973.
- (2) DESNOES (Y.) et SIMON (B.). — Analyse et prédiction de la marée. Application aux marées du Havre et de Brest *Annales Hydrographiques* (1977) n° 747, p. 47.
- (3) DODDSON (A.T.). — The harmonic development of the tide-generating potential. Extrait des "Proceedings of the Royal Society of London" Série A, vol. C, mars 1922.
- (4) HORN (W.). — Quelques aspects nouveaux des problèmes de marée. *Revue Hydrographique Internationale*. Vol. 37, n° 2, juillet 1960.
- (5) MUNK (W.) et CARTWRIGHT (D.E.). — Tidal spectroscopy and prediction. *Philosophical transactions of the Roy. Soc. of London* n° 1105, vol. 259, pp. 533-581, 19 may 1966.
- (6) COOLEY (J.W.) et TUKEY (J.W.). — An algorithm for the machine calculation of complexa. *Fourier series Mathematics of computation*, 1965, 19, 296.

PRÉDICTION DE LA MARÉE AU HAVRE

par

M. Bernard SIMON

Ingénieur Civil sous contrat

Établissement Principal du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine

RESUME

Une analyse harmonique sur 5 années d'observations de la marée du Havre a été réalisée.

Les hauteurs d'eau prédites heure par heure à partir des constantes obtenues ont été comparées aux valeurs observées et les écarts quadratiques moyens calculés année par année. Le même travail a été réalisé entre la marée prédite par l'annuaire et les valeurs observées. Pour chaque année la méthode harmonique est significativement meilleure.

ABSTRACT

A harmonic analysis of the tide at Le Havre has been realized using five years of measurements.

Hourly predicted sea levels from obtained constants were compared to the measured values, and the root mean square errors calculated year by year. The same comparison was realized between the tide predicted by the tables and the measured values.

For every year the harmonic method proves significantly better.

1. GENERALITES

L'étude qui suit compare la qualité de la prédiction harmonique de la marée au Havre à celle que l'on obtient par le mode de prédiction, actuellement en vigueur, par concordance avec la marée de Brest.

L'analyse harmonique a été effectuée sur les observations de 1974 à 1978 inclus.

Les comparaisons ont été réalisées sur les observations des années 1938, 1963, 1964 et 1979.

Toutes les observations disponibles ont été utilisées.

2. ANALYSE HARMONIQUE

La détermination des constantes harmoniques a été conduite de la façon suivante :

Les observations choisies ont été analysées année par année.

Elles ont ensuite été recalées dans le temps à l'aide d'une marée calculée à l'aide de la moyenne des constantes harmoniques obtenues par les analyses précédentes.

Les observations ainsi corrigées ont alors fait l'objet d'une analyse harmonique globale portant sur la période de 5 ans, et d'analyses séparées par période d'un an.

L'analyse globale a fourni les constantes des ondes non séparables sur une période d'un an, mais nous avons préféré adopter pour les ondes importantes la moyenne des constantes obtenues par les analyses séparées.

La liste des constantes et leurs valeurs respectives sont données en annexe.

3. COMPARAISON DES MODES DE PREDICTION

3.1. En raison du phénomène de tenue du plein au Havre, la comparaison des modes de prédiction utilise les hauteurs horaires et non les heures et hauteurs des pleines et basses mers.

Cette comparaison aurait pu se limiter à l'étude des écarts bruts entre les hauteurs horaires observées et prédites soit par l'annuaire, soit par la méthode harmonique.

Mais ces écarts pouvant être dus à des décalages dans le temps des hauteurs prédites, nous avons calculé chaque jour la phase de la marée semi-diurne observée

et prédite et pu ainsi déterminer les écarts de temps existant entre la marée réelle et les prédictions.

De même, les écarts de hauteurs d'eau sont calculés en tenant compte des écarts de temps précédents, et afin de minimiser les effets météorologiques les hauteurs horaires observées ont été corrigées des variations du niveau moyen journalier.

Enfin, les observations de mauvaise qualité n'ont pas été prises en compte pour le calcul des écarts-types.

3.2. Résultats obtenus

Ils sont résumés dans le tableau ci-dessous et la planche n° 1.

	Prédiction annuelle		Prédiction harmonique	
	Ecarts-types temps (mn)	Ecarts-types hauteurs horaires (cm)	Ecarts-types temps (mn)	Ecarts-types hauteurs horaires (cm)
1938	11,5	17,0	3,2	8,7
1963	9,1	11,5	5,8	9,5
1964	8,3	11,0	4,2	7,9
1979	7,5	10,9	2,6	8,4

3.3. Interprétation des résultats

La supériorité de la prédiction harmonique est évidente.

Il faut en effet bien noter que les effets de l'erreur de prédiction en temps et en hauteurs se conjuguent. L'erreur réelle de la prédiction des hauteurs d'eau est beaucoup plus importante et peut être jugée inacceptable.

Cela peut être illustré par les deux exemples suivants :

— Pour l'année 1963, l'écart-type des différences brutes des hauteurs horaires observées et prédites par l'annuaire s'élève à 20,5 cm,

— La planche n° 2 montre les erreurs de prédiction par la méthode de concordance avec Brest pour les 15 et 16 juillet 1979. Ces erreurs peuvent atteindre 70 cm et sont dues pour une grande part aux mauvaises prévisions des heures des pleines et basses mers. Pour ces deux journées, les écarts de temps s'élèvent respectivement à 17,2 et 18,8 minutes. Cette planche n° 2 montre également la nette supériorité de la prédiction harmonique.

4. CONCLUSION

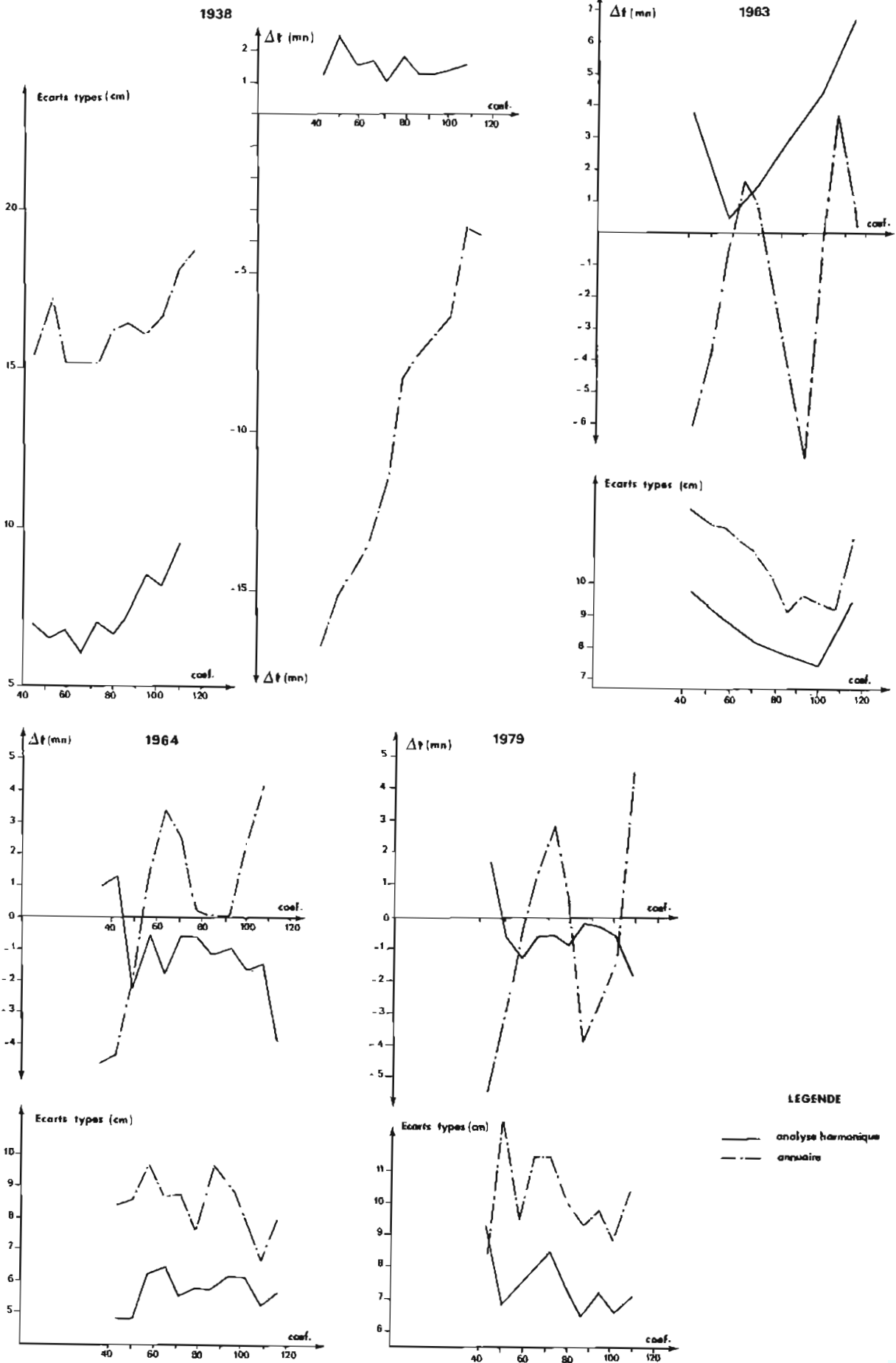
Cette petite étude montre donc qu'il est nécessaire et urgent de prédire la marée au Havre par la méthode harmonique et de ne plus utiliser la méthode des concordances.

Les écarts résiduels entre l'observation et la prédiction harmonique peuvent encore sembler importants, mais ils ne sont pas forcément dus à un défaut de la méthode.

Les variations de niveau d'origine météorologiques sont en effet importantes en Manche orientale(*) et pourraient expliquer en partie cette imprécision apparente.

La marée étant observée maintenant en permanence au Havre par le port autonome, le calcul des constantes harmoniques pourra être affiné dans quelques années.

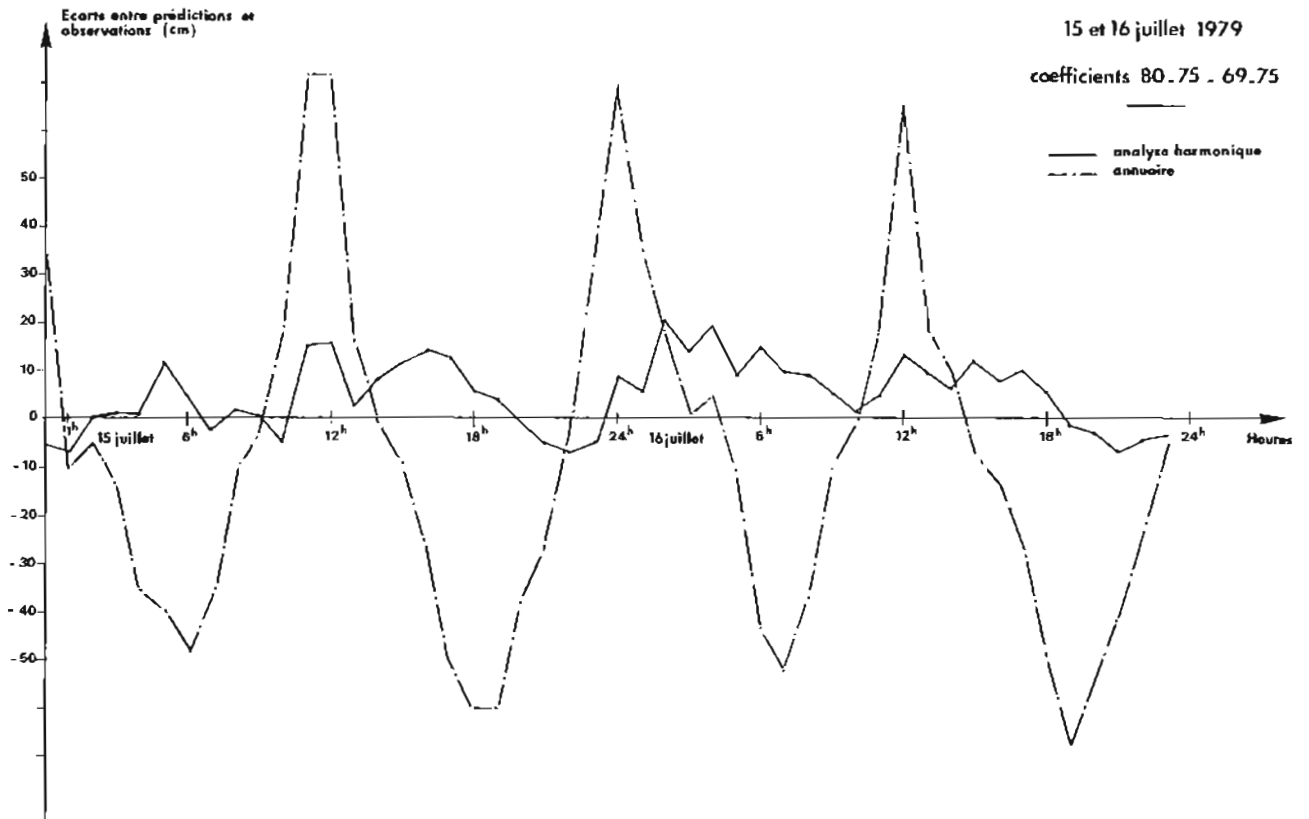
(*) Voir *Annales Hydrographiques* (1979) n° 762 p. 27.



LEGENDE

- analyse harmonique
- - - annuaire

PL. 1



PL. 2

ANNEXE
CONSTANTES HARMONIQUES DU HAVRE

LONGUES PÉRIODES				
Onde	Nombre argument	Vitesse	Amplitude	Phase
NIV MOY	055555	0.00000000	487.02	0.00
SA	056555	0.04106864	7.52	236.30

DIURNES				
Onde	Nombre argument	Vitesse	Amplitude	Phase
$2Q_1$	125755	12.85428619	0.23	224.45
σ_1	127555	12.92713980	0.73	317.63
Q_1	135655	13.39866088	1.13	357.23
ρ_1	137455	13.47151449	0.14	254.90
O_1	145555	13.94303558	4.94	31.57
MP_1	147555	14.02517286	0.83	184.70
A_{19}	153655	14.41455667	0.74	131.60
π_1	162556	14.91786468	0.60	106.49
P_1	163555	14.95893136	3.37	129.72
S_1	164555	15.00000000	0.71	43.55
K_1	165555	15.04106864	9.37	130.80
ψ_1	166554	15.08213532	0.33	6.37
ϕ_1	167555	15.12320592	0.39	119.10
J_1	175455	15.58544333	0.67	238.65
SO_1	183555	16.05696442	0.77	281.49
OO_1	185555	16.13910170	0.52	273.59
KQ_1	195455	16.68347639	0.35	135.69

PL 3

SEMI-DIURNES				
Onde	Nombre argument	Vitesse	Amplitude	Phase
2MN2S ₂	209655	26.40793796	0.31	167.00
2NS ₂	217755	26.87945905	0.69	14.52
3M2S ₂	219555	26.95231265	1.37	161.09
OO ₂ MNK ₂	225655	27.34169646	1.07	35.55
	225855	27.35098014	0.54	255.12
MNS ₂	227655	27.42383374	1.52	6.32
MVS ₂	229455	27.49668735	1.09	3.40
2MK ₂	235555	27.88607116	2.54	59.38
2N ₂ 2NM ₂	235755	27.89535483	6.67	274.62
μ ₂ 2MS ₂	237555	27.96820843	7.39	7.40
N ₂	245655	28.43972952	49.11	294.03
v ₂	247455	28.51258313	11.38	286.85
OP ₂ MSK ₂	253555	28.90196694	1.60	90.70
	253755	28.91125061	2.04	140.79
M (SK) ₂	254556	28.94303754	2.86	153.90
M ₂	255555	28.98410422	260.85	315.13
M (KS) ₂	256554	29.02517090	0.57	25.09
MKS ₂	257555	29.06624150	1.33	86.93
λ ₂	263655	29.45562531	6.26	311.16
L ₂ 2NM ₂	265455	29.52847891	13.29	316.93
NKM ₂	265655	29.53776258	2.14	42.39
T ₂	272556	29.95893332	4.79	349.30
S ₂	273555	30.00000000	87.77	3.34
K ₂	275555	30.08213728	25.30	359.70
MSN ₂	283455	30.54437469	5.89	187.06
KJ ₂ MKN ₂	285455	30.62651197	0.42	147.01
2SM ₂	291555	31.01589578	4.76	208.46
SKM ₂	293555	31.09803306	2.24	197.11

TIERS - DIURNES				
Onde	Nombre argument	Vitesse	Amplitude	Phase
MQ ₃	335655	42.38276510	0.49	272.72
2MK ₃	345555	42.92713980	1.21	312.58
M ₃	355555	43.47615633	1.15	137.10
SO ₃	363555	43.94303558	0.71	28.46
MK ₃	365555	44.02517286	0.94	68.89
SP ₃	381555	44.95893136	0.22	37.42
S ₃	382555	45.00000000	0.17	152.64
SK ₃	383555	45.04106864	0.35	273.19

PL. 4

QUART DIURNES				
Onde	Nombre argument	Vitesse	Amplitude	Phase
2NMS ₄	417755	55.86356327	0.36	181.16
2M μ S ₄	419555	55.93641687	0.52	318.40
2MNS ₄	427655	56.40793796	1.11	177.38
2M ν S ₄	429455	56.48079156	0.66	171.25
3MK ₄	435555	56.87017537	0.77	231.45
N ₄	435755	56.87945905	1.79	90.44
3MS ₄	437555	56.95231265	2.42	195.38
MN ₄	445655	57.42383374	8.89	113.29
M ν ₄	447455	57.49668735	2.25	95.19
2MSK ₄	453555	57.88607116	0.61	287.31
M ₄	455555	57.96820844	25.22	136.29
2MKS ₄	457555	58.05034571	0.52	230.64
SN ₄	463655	58.43972952	2.16	200.55
3MN ₄ ML ₄	465455	58.51258313	2.67	309.87
NK ₄	465655	58.52186680	1.33	182.22
MT ₄	472556	58.94303754	0.87	165.34
MS ₄	473555	58.98410422	17.43	190.37
MK ₄	475555	59.06624150	5.33	188.90
2SNM ₄	481655	59.45562531	0.65	2.16
2MSN ₄	483455	59.52847891	2.04	10.24
2MKN ₄	485455	59.61061619	0.46	351.84
S ₄	491555	60.00000000	1.90	263.24
SK ₄	493555	60.08213728	1.24	249.30

6 ^e DIURNES				
Onde	Nombre argument	Vitesse	Amplitude	Phase
3MNK ₆	625655	85.30990490	0.60	121.88
3MNS ₆	627655	85.39204218	1.27	111.40
3M ν S ₆	629455	85.46489578	0.77	107.80
4MK ₆	635555	85.85427959	0.74	154.39
2NM ₆	635755	85.86356327	2.58	326.49
4MS ₆	637555	85.93641687	1.15	137.00
2MN ₆	645655	86.40793796	8.96	352.39
2M ν ₆	647455	86.48079156	2.42	353.49
3MSK ₆	653555	86.87017537	0.80	190.89
M ₆	655555	86.95231265	16.03	17.91
3MKS ₆	657555	87.03444993	0.44	125.59
MSN ₆	663655	87.42383374	3.98	44.40
4MN2ML ₆	665455	87.49668735	1.76	211.09
MNK ₆	665655	87.50597102	1.99	51.39
2MT ₆	672556	87.92714176	0.93	30.66
2MS ₆	673555	87.96820843	16.14	62.90
2MK ₆	675555	88.05034571	4.77	64.13
2SN ₆	681655	88.43972952	0.69	238.53
3MSN ₆	683455	88.51258313	2.97	259.36
3MKN ₆	685455	88.59472041	0.79	258.50
2SM ₆	691555	88.98410422	3.90	113.09
MSK ₆	693555	89.06624150	2.15	102.79

8 ^e DIURNES				
Onde	Nombre argument	Vitesse	Amplitude	Phase
2 MNS ₈	827655	114.37614639	0.21	309.49
2(MN) ₈	835755	114.84766748	0.65	191.60
3 MN ₈	845655	115.39204218	1.49	211.65
3 M ₈	847455	115.46489578	0.38	216.31
2 MSK ₈	853555	115.85427959	0.16	44.82
M ₈	855555	115.93641687	2.07	237.12
2 MSN ₈	863655	116.40793796	1.29	259.63
3 ML ₈	865455	116.48079156	0.15	222.97
2 MNK ₈	865655	116.49007524	0.49	275.61
3 MS ₈	873555	116.95231265	2.94	278.53
3 MK ₈	875555	117.03444993	0.83	282.05
2 SMN ₈	881655	117.42383374	0.18	338.30
4 MSN ₈	883455	117.49668735	0.65	111.52
MSNK ₈	883655	117.50597102	0.23	321.29
4 MKN ₈	885455	117.57882462	0.18	84.00
2(MS) ₈	891555	117.96820843	1.27	325.29
2 MSK ₈	893555	118.05034571	0.70	317.12

10 ^e DIURNES				
Onde	Nombre argument	Vitesse	Amplitude	Phase
5 MNS ₁₀	1027655	143.36025061	0.21	173.50
3 M2N ₁₀	1035755	143.83177170	0.32	66.10
4 MN ₁₀	1045655	144.37614639	0.66	87.24
M ₁₀	1055555	144.92052109	0.71	117.23
3 MSN ₁₀	1063655	145.39204218	0.76	140.81
4 MS ₁₀	1073555	145.93641687	1.25	157.62
4 MK ₁₀	1075555	146.01855415	0.30	160.70
2 MSNK ₁₀	1083655	146.49007524	0.27	216.31
3 M2S ₁₀	1091555	146.95231265	0.63	209.60

PL. 6

DEUXIÈME PARTIE



MISSION OCÉANOGRAPHIQUE DE MÉDITERRANÉE (2 novembre 1975 – 29 décembre 1978)

par

M. Léandre PIERETTI
Ingénieur en chef de l'Armement (hydrographe)

SOMMAIRE

CHAPITRE I. GENERALITES

- I.1. Présentation de la MOM
- I.2. Personnel
- I.3. Moyens flottants
- I.4. Base de la MOM
- I.5. Véhicules
- I.6. Matériels spécifiques
- I.7. Travaux

CHAPITRE II. LEVE INTERMEDIAIRE DANS LE CANAL DE CORSE

- II.1. Généralités
- II.2. Système géodésique
- II.3. Localisation
- II.4. Déroulement – Exécution
- II.5. Recherche de hauts fonds – Travaux complémentaires
- II.6. Documents de rédaction établis

CHAPITRE III. LEVE INTERMEDIAIRE SUR LA COTE OUEST DE CORSE

- III.1. Généralités
- III.2. Géodésie – Localisation
- III.3. Déroulement
- III.4. Recherche de hauts fonds
- III.5. Documents établis

CHAPITRE IV. LEVE COTIER SUR LA COTE EST DE CORSE

- IV.1. Généralités
- IV.2. Déroulement – Exécution
- IV.3. Localisation
- IV.4. Levé bathymétrique
- IV.5. Topographie – Triangulation
- IV.6. Courants
- IV.7. Marée
- IV.8. Documents établis

CHAPITRE V. TRAVAUX SUR LES COTES DE PROVENCE

- V.1. Généralités

- V.2. Localisation
- V.3. Bathymétrie
- V.4. Topographie
- V.5. Exploration au sondeur latéral
- V.6. Marée
- V.7. Documents établis

CHAPITRE VI. TRAVAUX EN MEDITERRANEE ORIENTALE

- VI.1. Généralités
- VI.2. Bathymétrie
- VI.3. Océanographie
- VI.4. Localisation
- VI.5. Documents établis

CHAPITRE VII. TRAVAUX AUX ABORDS DE LA PRINCEPAUTE DE MONACO

- VII.1. Définition de la zone à lever
- VII.2. Localisation
- VII.3. Bathymétrie
- VII.4. Topographie – Amers
- VII.5. Marées – Courants
- VII.6. Documents établis

CHAPITRE VIII. TRAVAUX DIVERS

- VIII.1. Travaux au large du Cap Béar
- VIII.2. Travaux aux environs de St Raphaël
- VIII.3. Levé de la Darse de la B.A.N. D'Aspretto
- VIII.4. Levé au sud de l'île du Levant
- VIII.5. Travaux à proximité de la Galite
- VIII.6. Participation à la Campagne Coblamed

ANNEXES TECHNIQUES :

- N° 1 Système d'acquisition de la bathysonde "Guidline" de la MOM.
- N° 2 Localisation au cours de travaux de l'Origny en Méditerranée Orientale.

CHAPITRE I

GENERALITES

Le présent rapport décrit l'activité de la Mission Océanographique de Méditerranée (MOM) sous la direction de l'Ingénieur en Chef de l'Armement (Hydrographe) Pieretti du 2 novembre 1975 au 29 décembre 1978.

1.1. PRESENTATION DE LA MOM

L'organisation générale de la MOM a été décrite par mon prédécesseur(*). Elle n'a guère évolué pendant la durée de mon affectation. On peut noter cependant une simplification de principe dans la chaîne de commandement organique des éléments terrestres et navals constituant la Mission. A la suite d'une réorganisation générale du commandement des forces maritimes côtières, l'élément terrestre (à savoir la base) a été placé sous le même commandement organique que les bâtiments, celui du commandant de la Flotille de la Méditerranée venue remplacer la 3^e Escadrille de Dragage. Le Directeur lui-même a continué à dépendre organiquement de l'Amiral Commandant en Chef par l'intermédiaire de son adjoint opération, l'amiral commandant l'Escadre de la Méditerranée. Pas plus que pour mon prédécesseur cette organisation n'a été source de difficultés. Il suffit que chacun accepte de rester dans son domaine et de bien faire la différence entre 3 notions fondamentales :

– Commandement opérationnel – Commandement organique – contrôle opérationnel.

1.2. PERSONNEL

1.2.1. Ingénieurs et officiers (**)

De ma prise de fonction le 2 novembre 1975 succédant à l'ICA Bonnot, au 29 décembre 1978 où j'ai laissé la suite à mon adjoint, l'IPA Thouin, les ingénieurs suivants ont été affectés à la MOM :

- l'IPA Habert jusqu'au 26 octobre 1976,
- l'IPA Thouin à partir du 22 novembre 1976 ;
- l'IA Siess jusqu'au 23 mars 1976 ;
- l'IA Goutorbe à partir du 20 septembre 1976 ;
- l'IETA Bouet-Lebœuf jusqu'au 1^{er} septembre 1977 ;
- l'IETA Sauvage à partir du 12 septembre 1977.

(*) Voir rapport de l'ICA Bonnot : *Annales Hydrographiques* (1978) n° 750 p. 81.

(**) ICA : Ingénieur en Chef de l'Armement
 IPA : Ingénieur Principal de l'Armement
 IA : Ingénieur de l'Armement
 IETA : Ingénieur des Etudes et Techniques d'Armement

Ces effectifs confortables correspondent en fait aux besoins réels avec un IPA ancien et donc confirmé et deux jeunes ingénieurs devant être considérés comme en formation pendant les premiers mois de leur affectation.

En contrepartie de ce renforcement, un ou même deux ingénieurs ont été provisoirement détachés, à temps complet ou partiel, pour des activités extérieures. En 1977 l'IPA Thouin, assisté par l'IA Goutorbe, a dirigé une mission de circonstance aux Iles Glorieuses. Ces deux ingénieurs ont été absents du 20 septembre à la fin décembre. Avec la préparation de la Campagne, puis la rédaction ils ont été en fait distraits des activités de la Mission depuis le 1^{er} septembre 1977 jusqu'au 1^{er} avril 1978.

En 1978 l'IPA Thouin a été désigné comme expert auprès du Gaz de France à l'occasion de travaux menés en commun par la France, l'Algérie et l'Espagne en vue de la pose d'un gazoduc entre ces deux derniers pays. Il a été ainsi amené à effectuer des missions en France et à l'étranger, des sorties en mer, à rédiger des rapports ou tout simplement à rester rivé à Toulon dans l'attente d'une éventuelle mission ou embarquement toujours retardés.

– Le Lieutenant de Vaisseau Soenen embarqué de longue date au Bureau d'Etudes Océanographiques (BEO) puis à la MOM a débarqué le 25 août 1977 pour être affecté à l'Etablissement Principal du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (EPSHOM). La base de la Mission (BMOM) n'ayant plus de commandant depuis juillet 1975, il en a exercé les fonctions sous ma responsabilité jusqu'à son débarquement.

– Les plans d'armement en EOR "Recherche Scientifique" ont toujours été quantitativement honorés ; il n'en a pas toujours été de même sur le plan de la qualification, la MOM ayant besoin d'électroniciens, à l'exclusion de toute autre spécialité. Fort heureusement, les non électroniciens ont tous fait l'effort nécessaire d'adaptation et rendu ainsi tout de même des services non négligeables.

1.2.2. Officiers Mariniers Hydrographes

A mon arrivée, l'effectif de la MOM excédait largement le plan d'armement (excédent de l'ordre de 5). Il s'est par la suite fortement dégradé et le plan d'armement a été en général au mieux honoré, mais le plus souvent déficitaire avec, à titre d'exemple, un déficit de 3 au mois de septembre 1976. Dans le courant de l'année 1977, la MOM devant être chargée des Missions de Circonstance, l'effectif réglementaire a été porté à 17. Pour la première de ces Missions, celle des Iles Glorieuses déjà citée, il fallut en raison de son déficit lui détacher deux officiers marinières, mais pour la seule durée de la Mission, préparation et rédaction étant exclues. Il convient

de noter enfin le manque relatif de personnel expérimenté. Le nombre de Majors et Maîtres Principaux qui aurait dû être de 3 a été le plus souvent de 1 seul avec quelques rares pointes à 2.

1.2.3. Personnel du service général

Les plans d'armement en personnel du service général ont été en général honorés, sauf en ce qui concerne un des éléments essentiels de ce plan d'armement, le Maître Radlo, qui pour des circonstances diverses, retards au remplacement, maladies, a fait défaut pendant de longs mois et ce, bien sûr, au détriment du suivi technique et administratif du matériel de transmissions.

1.2.4. Personnel civil

Les effectifs en personnel civil ont été en août 1976 renforcés par l'affectation, en remplacement d'ETA, d'un Technicien d'Etudes et de Fabrication (TEF) électronicien, M. Quelen provenant de l'EPSHOM à Brest.

1.3. MOYENS FLOTTANTS

Les moyens flottants de la MOM ont été décrits par mon prédécesseur(*), je me contenterai, en conséquence, d'apporter quelques compléments concernant l'évolution de la flotte ainsi que quelques jugements personnels.

1.3.1. Origny

Après avoir fonctionné de manière relativement satisfaisante pendant la campagne 1976, l'*Origny* a bénéficié au cours de l'hiver 1976-77 d'une longue indisponibilité périodique de 5 mois qui a paru lui être profitable. Au cours des deux campagnes suivantes, il n'a pratiquement eu aucune avarie nécessitant une mise en indisponibilité accidentelle et a réussi en 1978 à effectuer hors des eaux métropolitaines une campagne de plus de 60 jours. Il n'en reste pas moins un vieux bâtiment, à bout de souffle, susceptible de craquer d'un jour à l'autre, qu'il s'agisse de sa propulsion principale (ligne d'arbre en particulier) ou de ses auxiliaires. Il faut préciser également qu'il a fait essentiellement de la grande sonde, opération peu éprouvante comparée à l'hydrologie en station qui nécessite des manœuvres constantes de la commande des pas d'hélices, point faible par excellence de l'ensemble de propulsion de ce type de bâtiments.

– Ses commandants successifs ont été :

– le Capitaine de Corvette Fouchier jusqu'au 11 février 1976 ;

(*). Voir rapport de l'ICA Bonnot : *Annales Hydrographiques* (1978) n° 750 p. 79.

– le Capitaine de Corvette (puis Capitaine de Frégate) Peyredieu du Charlat du 11 février 1976 au 4 mars 1977 ;

– le Capitaine de Corvette Gentien du 4 mars 1977 au 12 avril 1978 ;

– le Capitaine de Corvette Miossec à partir du 12 avril 1978.

1.3.2. La Recherche

Avec son PC Hydrographie attenant à la passerelle, ses vastes salles de dessins, ses 3 embarcations de sonde bien disposées sur un pont très bas, son système de mise à l'eau par portiques hydrauliques d'un emploi commode et d'un fonctionnement en général sûr, la *Recherche* constituerait encore, à mon sens, le bâtiment hydrographe type pourvu qu'on le dote d'une propulsion plus souple (tout en restant aussi fiable) et d'un minimum de moyens de levage.

Elle vieillit, elle aussi, et ce vieillissement se fait sentir surtout dans les circuits électriques et les auxiliaires, groupes électrogènes en particulier.

Ses commandants ont été :

– le Lieutenant de Vaisseau Richou jusqu'au 28 juillet 1978 ;

– le Lieutenant de Vaisseau Hamon à partir du 28 juillet 1978.

1.3.3. Octant et Alidade

J'ai eu la tristesse de voir au cours de mon affectation ces 2 petits bâtiments cesser de faire partie du Groupe des Bâtiments Océanographiques de Méditerranée (GBOM) pour être condamnés ou réduits à l'état de bâtiment de servitude portuaire.

Le premier à subir ce sort fut l'*Alidade*, où une visite de coque au cours de l'hiver 1976-77 avait révélé une forte attaque de mûrle susceptible de compromettre sa sécurité de navigation. Elle fut en conséquence retirée du GBOM, mais maintenue en service avec un effectif réduit pour effectuer divers travaux en rade pour le compte de la Majorité Générale. Elle fut définitivement condamnée en fin novembre 1978 et remplacée dans ces fonctions par l'*Octant* qui cessa donc lui aussi de faire partie du GBOM à partir du 8 décembre.

La perte de ces deux unités constitue un handicap sérieux pour la MOM qui n'aura plus d'intermédiaire entre les BO et BH† d'une part et les embarcations d'autre part, et ce à un moment où les renforcements en matériel de radiolocalisation (Trident), les zones d'actions prévisibles (Golfe du Lion) pourraient laisser présager une utilisation rentable et efficace.

Les commandants ont été les suivants :

Alidade :

Maître Principal (*hydrographe*) Harmange jusqu'au 21 avril 1977

Octant :

Maître Principal (*manœuvrier*) Sertilange jusqu'au 16 mars 1977

Maître Principal (*hydrographe*) L'Écrivain du 16 mars 1977 au 8 décembre 1978.

1.3.4. BSR Gazelle

La MOM aurait dû, en 1978, bénéficier de 100 jours d'utilisation d'un bâtiment de soutien de région (BSR), *la Gazelle*, aménagé pour l'hydrographie. Ce bâtiment "polyvalent" avait été équipé de 2 bases de sondeurs (Atlas et Elac) et pouvait recevoir un "conteneur hydrographique" équipé en sondeurs et moyens de radiolocalisation. Des retards dans l'aménagement du conteneur et du bâtiment lui-même (liaisons mécaniques et électriques), des priorités nouvelles dans son utilisation n'ont guère permis à la MOM d'en disposer. Je me garderai en conséquence de porter le moindre jugement faute d'expérience et laisse ce soin à mon successeur.

1.4. BASE DE LA MISSION OcéANOGRAPHIQUE DE LA MÉDITERRANÉE (BMOM)

Avec ses effectifs squelettiques la constitution de la base en unité peut paraître relativement absurde et on aurait pu tout simplement attribuer des locaux à terre à la MOM sans créer une unité particulière.

L'unité de la BMOM s'est avérée en fait fort utile pour les raisons principales suivantes :

- structure d'affectation pour le personnel civil qu'il aurait été difficile d'affecter à une unité à la mer comme l'est tout le personnel militaire, rattaché directement au Directeur (organe de direction et technique constitué en unité qui n'a de nom dans aucun texte, n'est défini que par un plan d'armement et un code unité et est appelé couramment MOM par un usage restrictif de ce terme).

- adresse télégraphique et postale fort utile pour les liaisons entre le Directeur embarqué sur un bâtiment (ou les bâtiments eux mêmes) et le personnel demeuré à la base.

Pratiquement j'ai toujours considéré la base comme m'étant directement rattachée, son commandant remplissant une sorte de rôle de chef des services généraux (personnel, véhicules, gestion financière) en plus des tâches opérationnelles qui pouvaient lui être confiées.

Je rappelle que les fonctions de commandant ont été exercées par le LV Soenen jusqu'au 25 août 1977.

Les commandants officiellement désignés ont été par la suite :

- l'Officier Technicien de 2^e classe Antoni du 27 août au 15 septembre 1977

- le Major Le Blin à partir du 29 septembre 1977.

1.5. Véhicules

Les véhicules qui avaient déjà souffert des campagnes précédentes n'ont guère résisté aux conditions de circulation sur les routes de Corse dès la première campagne 76 et leur situation tout au long de l'année 1976 a été extrêmement préoccupante. Elle s'est améliorée les deux années suivantes grâce aux mesures ci-après :

- Remplacement d'un camion à bout de souffle, et dont on n'avait d'ailleurs que faire, par une Jeep avec remorque.

- Effort appréciable du Centre automobile de Toulon pour l'entretien des véhicules et leur remplacement systématique en cas de panne de longue durée.

- Renfort de deux véhicules pendant toute la durée des campagnes en Corse au cours des années 1977 et 1978.

- Remplacement progressif des véhicules les plus usagés par d'autres soit neufs, soit, au moins, en meilleur état.

Au cours de l'année 1978 enfin, le plan d'armement permanent a été porté à 5 véhicules au total. Ce nouveau plan commençait à être mis en exécution quand j'ai quitté mes fonctions.

1.6. MATÉRIELS SPÉCIFIQUES

1.6.1. Sondeurs

Tous les bâtiments et embarcations de la MOM sont équipés en sondeurs Atlas Deso 10, *l'Origny* et *la Recherche* ayant en plus un sondeur grands fonds Elac Deneb. Les sondeurs Atlas qui sont des matériels à la fois neufs et excellents ont toujours fonctionné sans problèmes majeurs. J'ai, en plus, fait approvisionner pour chacun des bâtiments, les éléments nécessaires au passage en gamme de mesures B (jusqu'à 1 400 m). Il s'agit d'une opération simple à la portée de quiconque : changement de deux cartes et d'un pignon d'engrenage.

Les résultats ont été particulièrement bons sur *la Recherche*, nettement moins sur les autres bâtiments. La cause de cette différence doit être recherchée très probablement dans la disposition même des bases.

Les sondeurs Elac Deneb eurent par contre un fonctionnement souvent capricieux surtout en ce qui concerne la loupe. Par ailleurs le levé sur les côtes Ouest de Corse (Voir chapitre III plus loin), au relief particulièrement tourmenté, a montré qu'un sondeur à faisceau large est parfaitement inapte à donner une image satisfaisante du fond à tel point que seul le tracé des courbes niveau, tenant compte de certaines règles morphologiques, permet dans de nombreux cas de choisir entre les différentes interprétations possibles des enregistrements.

1.6.2. Radiolocalisation

Trident

Le moyen de radiolocalisation principal de la Mission fut le Trident, Trident I d'abord puis Trident II et enfin Trident III.

Le parc initial de matériel s'élevait à 3 interrogateurs Trident I et 12 balises. Ce matériel à l'exception de 6 balises relativement récentes commençait à avoir un âge respectable, puisque les premiers éléments (2 interrogateurs et 4 balises) avaient été livrés en 1966. Grâce aux efforts du personnel électronique, il consentait encore à fonctionner, mais son remplacement s'imposait.

Ce remplacement fut en partie réalisé au cours des années 1977 et 1978 et à mon départ après déclassement des matériels les plus fatigués il y avait en service :

Trident I :

1 interrogateur (conservé en secours et surtout comme organe de contrôle à bord de *la Recherche* en travaux côtiers avec ses embarcations), 6 balises.

Trident II :

3 interrogateurs,
6 balises.

Trident III :

1 interrogateur.

Le matériel Trident II a causé quelques déboires ; en particulier il s'est avéré inapte à effectuer des mesures correctes à courte distance avant que le laboratoire d'électronique de la mission, avec l'aide du constructeur, ne réussisse à y porter remède.

L'expérience acquise montre qu'il s'agit d'un matériel de fabrication de laboratoire qui a servi de banc d'essais pour la mise au point du Trident III. Je doute qu'il dure aussi longtemps que le Trident I qui a été incontestablement une admirable réussite technique. Quant au Trident III, bien que mon expérience soit très courte, j'ai eu l'impression que c'est un excellent outil auquel on pourrait peut-être reprocher une trop grande recherche de la perfection.

En dehors du vieillissement du matériel Trident I et des défauts de conception du Trident II les difficultés principales provinrent des balises : pannes et problèmes divers d'alimentation électrique.

Le problème des pannes est traité dans un paragraphe particulier relatif au fonctionnement du laboratoire d'électronique, celui des alimentations fait l'objet de l'alinéa ci-dessous.

Alimentation des balises Trident

La MOM a utilisé d'une manière systématique quatre modes d'alimentation répartis en 2 catégories : avec secteur, sans secteur.

Alimentation secteur

Suivant la qualité du réseau, la fréquence des cou-

pures, les conditions d'intervention, on a utilisé soit les alimentations spécifiques du constructeur, soit des chargeurs avec batteries en tampon.

Les alimentations du constructeur souvent sujettes à des pannes ont subi une modification simple qui a considérablement augmenté leur fiabilité. En effet, ces alimentations, par un système de commutation automatique, étaient capables de digérer en entrée n'importe quelle tension alternative entre 90 et 240 volts pour donner en sortie du 24 v. continu.

Les pannes provenant essentiellement de la commutation automatique, on a supprimé ce système pour ne retenir que 2 tensions d'entrée 110 et 220 volts commutables manuellement. Après cette modification le taux des pannes est tombé à zéro.

Le système "chargeur + batterie" bien que plus lourd fut utilisé de façon courante en Corse en raison du taux élevé des coupures du réseau électrique. La fiabilité du système fut augmentée en intercalant entre les batteries et la balise un régulateur fabriqué par le laboratoire de la Mission et destiné à éviter les surcharges.

Alimentation batteries

Dans certaines zones de travail, (Cap Corse et Côte Ouest de Corse en général), la MOM fut amenée à faire un usage fréquent de l'alimentation par batteries avec, là aussi, deux types de système :

— Pour les sites d'accès faciles on utilisa systématiquement des jeux de batteries de grande capacité, changés à intervalles de temps réguliers.

Pour les sites d'accès difficile on préféra la solution consistant à faire une seule fois l'effort de transporter tout le matériel nécessaire, batteries, groupe électrogène, chargeur, carburant et à procéder pratiquement tous les jours à la charge des batteries. Ce système fut utilisé en particulier pour armer une balise Trident sur l'île de Capraia (Voir chapitre II). Le site de cette balise n'était en effet accessible que par un sentier muletier demandant une demie heure de marche les mains vides, mais une heure et demi à deux heures pour transporter une lourde charge.

1.6.3. Bathysonde

Une bathysonde Guidline, avec son système d'acquisition piloté par un calculateur Hewlett Packard, a été livrée à la MOM au cours du 1^{er} trimestre 1976. Après une mise au point laborieuse, due à des problèmes de connexion électriques, le système subit des essais très satisfaisants. Son utilisation à la MOM ne dépassa guère le stade de ces essais ; il fallut en effet rapidement envoyer le poisson à la Mission Océanographique de l'Atlantique (MOA) qui avait perdu le sien. La MOM conserva cependant le calculateur de bureau qui s'avéra être un outil très précieux. Le système d'acquisition est décrit en détail en annexe technique n° 1.

1.6.4. Station Transit

La station Transit n'avait pu être utilisée par mon prédécesseur, le calculateur associé s'accommodant mal de la mauvaise qualité du courant fourni par le bord. Un convertisseur spécifique ayant été installé au cours de l'IPER 75-76, le fonctionnement du calculateur n'a plus posé aucun problème. Par contre la station dans son ensemble souffre d'un certain nombre de défauts tant en ce qui concerne le logiciel que le matériel (éphémérides, reconnaissance des satellites, critères de validité tenue de l'estime, réception de la fréquence 150 MHz etc). Le fonctionnement détaillé de cette station sera décrit plus loin dans un chapitre relatif à des travaux effectués par l'*Origny* en mer *Ionienne* (chapitre VI).

1.6.5. Maintenance des matériels d'électronique

La maintenance des matériels électroniques dans une Mission hydrographique moderne est un élément essentiel du bon déroulement des travaux : maintenance préventive et surtout maintenance opérationnelle sur le terrain.

Les plans d'armement en personnel électronicien permirent, après l'arrivée de Monsieur Quelen, Technicien de très grande valeur, de faire face au plus grand nombre de situations et de réduire au strict minimum les interventions des constructeurs. Le personnel électronicien se composait de : un Technicien d'Etudes et de Fabrication (TEF), un Technicien à Statut Ouvrier (TSO), deux élèves Officiers de Réserve (EOR) (recherche scientifique).

Le TSO assurait en général la maintenance à long terme et la permanence au laboratoire d'électronique de la base ; des 2 EOR, l'un était embarqué en permanence sur l'*Origny* (Transit, sondeurs, bathysonde, Sippican, GEK), l'autre assurait sur le terrain le dépannage des matériels Trident grâce à un laboratoire de campagne qui était installé dans les locaux de l'équipe à terre, au plus près du lieu de travail des bâtiments ou embarcations. Le TEF partageait son temps entre le terrain et le laboratoire. Grâce à cette organisation, qui aurait été meilleure si le laboratoire de campagne avait pu être monté sur un véhicule spécialement aménagé, les temps morts dus à des défaillances du matériel (de radiolocalisation en particulier) furent réduits au strict minimum et n'excédèrent en général jamais 24 heures.

1.7. TRAVAUX

Au cours de mon affectation, les travaux de la MOM se déroulèrent principalement en Corse et sur les côtes de Provence. A ces travaux il faut ajouter une campagne en mer Ionienne pour l'*Origny* en 1978 et quelques travaux de détail pour l'un ou l'autre élément de la Mission.

A l'exception de l'année 1976, où les travaux purent être regroupés, il y eut en général deux chantiers distincts, l'un attribué à *la Recherche* l'autre à l'*Origny* ; l'*Octant* passant de l'un à l'autre en fonction des besoins. Le calendrier d'exécution des principaux travaux est donné ci-dessous.

1976 – Ensemble de la Mission

De mars à mai : levé intermédiaire sur la côte Est de Corse.

De juin à novembre : levés intermédiaire et côtier sur les côtes de Provence de l'embouchure du Rhône aux Calanques de Marseille

1977 – *Origny*

De mars à octobre : levé intermédiaire sur la côte Ouest de Corse.

1977 – *La Recherche*

De mars à octobre : travaux côtiers sur la côte Est de Corse.

D'octobre à décembre : travaux de détail dans la région de Marseille.

1978 – *Origny*

De mai à juillet : travaux en mer Ionienne.

De septembre à octobre : travaux sur la côte Ouest de Corse puis en mer Tyrrhénienne.

1978 – *La Recherche*

De mars à avril : travaux de détail dans la région de Marseille.

De mai à octobre : travaux côtiers sur les côtes Est et Ouest de Corse.

Novembre : travaux aux abords de la Principauté de Monaco.

CHAPITRE II

LEVE INTERMEDIAIRE DANS LE CANAL DE CORSE

II.1. GENERALITES

Le Canal de Corse peut être défini comme la partie de la Mer Tyrrhénienne enserrée entre l'Archipel Toscan et la côte Nord-Est de Corse. Dans une telle zone fermée au Nord par un seuil entre le cap Corse et Capraia et s'ouvrant largement au Sud sur la Mer Tyrrhénienne proprement dite, on a réellement affaire à un canal avec des rives relativement abruptes et un fond, en général, plat et régulier. Le levé prescrit déborde largement ces limites géographiques naturelles, puisque au Nord il englobe le prolongement du Cap Corse en s'étendant jusqu'à 20 milles de son extrémité et que, dépassant la ligne des hauts fonds qui prolongent l'Archipel Toscan au delà de Montecristo, il atteint au sud le parallèle de Portu Vecchiu (v. Pl. 1).

Ce levé fut entièrement exécuté en 1976 en 3 sorties de 3 semaines chacune, par l'ensemble des quatre bâtiments de la MOM travaillant simultanément, l'*Origny* et la *Recherche* au large, l'*Octant* et l'*Alidade* étant plus particulièrement chargés la bande comprise entre les fonds de 50 et de 250 m, le long de la côte Est de Corse. Des travaux complémentaires furent exécutés en 1977.

II.2. SYSTEME GEODESIQUE

Les travaux ont été exécutés et rédigés dans le système géodésique européen compensé en projection MTU (Fuseau 32). Ce système fut choisi pour les raisons suivantes :

- installation éventuelle de moyens de localisation en territoire italien,
- utilisation, pour le levé au Nord du Cap Corse, d'une chaîne Toran que les Italiens étaient en train de mettre en place.

Cette chaîne ne fut en fait pratiquement jamais utilisée.

On installa par contre, une balise Trident sur l'île de Capraia. Cette balise fut placée essentiellement par stations à la mer en déterminant, par coupure des lignes de bases, ses distances à différentes balises installées en Corse. A titre de vérification on mesura également un angle entre la Giraglia et le Monté Castello, seul point identifiable sans ambiguïté de l'île de Capraia.

On aurait donc pu se passer de ce système géodésique, dont la seule justification était d'être commun aux deux pays, et travailler normalement dans le système géodésique de la Nouvelle Triangulation de France. En fait, j'estime que le choix de ce système ou plutôt du système de projection associé, fut particulièrement judicieux. En effet la zone levée présente une grande exten-

sion en latitude et se trouve très proche du méridien central du fuseau ($9^{\circ} 30'$). Ceci permit d'adopter pour tout le levé un facteur d'échelle constant égal d'ailleurs à l'unité.

Pratiquement les calculs de triangulation nécessaires à ces travaux furent effectués en Lambert IV (Système 69-70 en général), la transformation des coordonnées Lambert IV en coordonnées MTU (fuseau 32) du système géodésique européen compensé s'opérant grâce aux formules (polynôme du 3^e degré), données par l'Institut Géographique National (IGN) et qui sont décrites en annexe.

II.3. LOCALISATION

La localisation fut assurée par le Trident et par un lieu Toran associé à des lieux optiques. Pour mémoire, il faut ajouter également la chaîne Toran italienne du Golfe de Gènes.

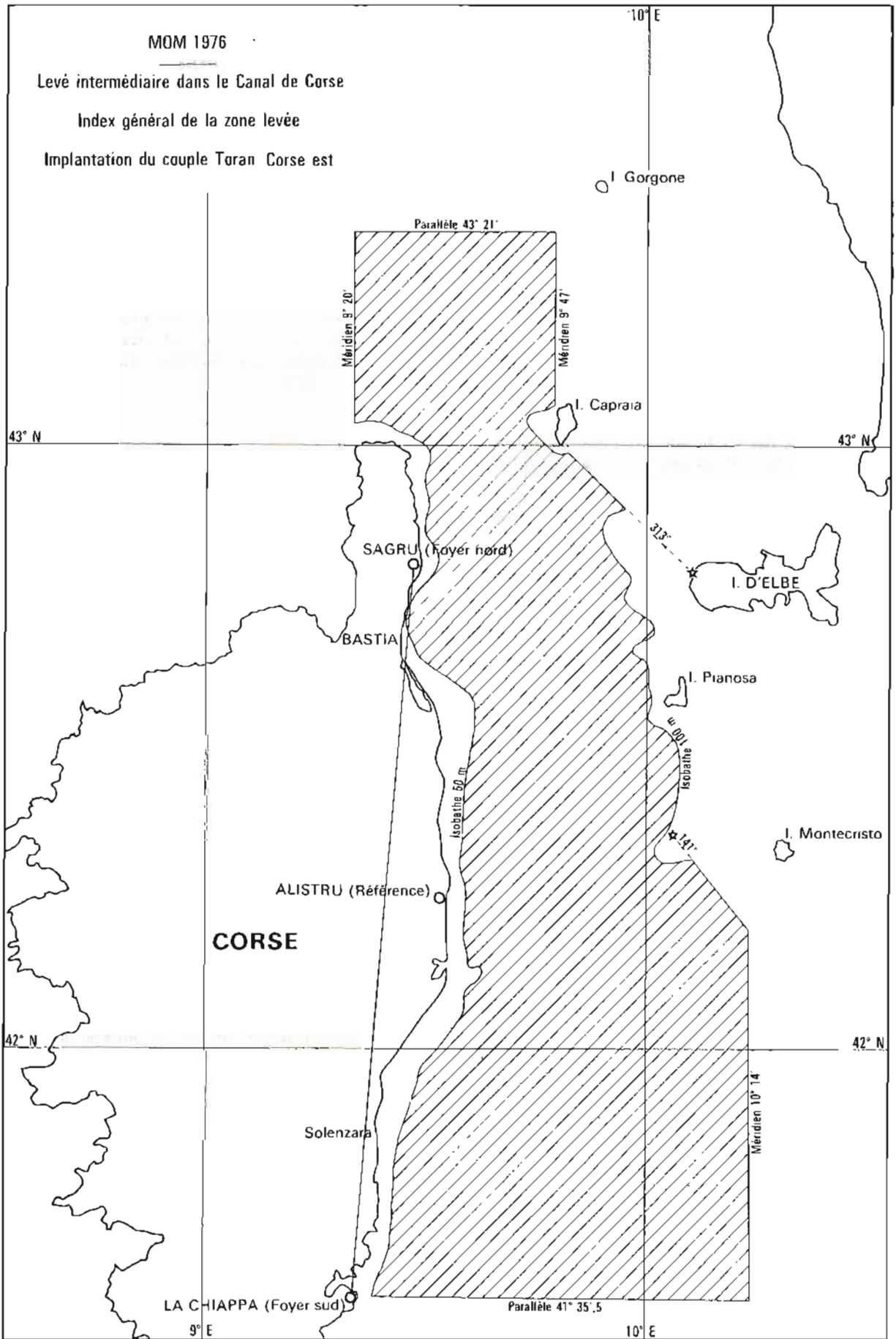
II.3.1. Trident

La côte Est de Corse, tout au moins entre Solenzara et Bastia, se prête fort bien à l'utilisation du Trident, tant en levé au large qu'en levé côtier.

On a en effet dans toute cette zone, une large plaine côtière que surplombent des villages d'altitude élevée, situés très souvent sur la crête militaire et offrant en conséquence des vues bien dégagées. Aux deux extrémités du levé, c'est-à-dire au Nord de Bastia et au Sud de Solenzara, la plaine disparaît et les villages situés dans les vallées n'offrent en général que des vues très restreintes vers la mer. La zone Nord Cap Corse présente elle un autre caractère, commun d'ailleurs à toutes les pointes, l'absence de base de largeur suffisante, ce qui a amené à envisager l'utilisation de la chaîne Toran italienne puis à l'installation d'une balise Trident à Capraia.

Les positions des balises Trident ont été, du Nord au Sud, les suivantes (coordonnées MTU système européen compensé).

	X	Y
Capraia	565 805	4 764 900
Toricella	531 211	4 757 286
Merla	538 249	4 754 042
Sagru	540 047	4 738 711
Bastia (ancien phare)	537 188	4 727 025
Borgu	535 293	4 711 585
Santa Maria	541 032	4 688 482
Prunelli	527 025	4 651 204
Sari	531 018	4 631 974
Telica	532 328	4 620 988
Lachiappa	530 327	4 605 082



Le Trident, moyen de localisation principal de ce levé, utilisé exclusivement par l'*Originy* et la *Recherche* et en partie par l'une ou l'autre des deux annexes, fonctionna en général d'une manière satisfaisante contrairement aux craintes que l'on pouvait avoir.

11.3.2. Toran

Le nombre des interrogateurs Trident (j'avais en plus, dans un premier temps, décidé d'en garder un en permanence en réserve), la pénurie en personnel qui commençait déjà à se faire sentir (voir chapitre I) amenèrent à l'installation d'une chaîne Toran côtière (Foyers à la Chiappa et à Sagru) dont la fonction essentielle était de fournir dans la bande de 50 à 250 m un guide rectiligne, perpendiculaire à la côte et régulièrement espacé, la localisation même étant assurée par des visées au théodolite (2 en général). La fonction guide permettait de faire des économies substantielles en personnel, l'adjonction de lieux optiques, sûrs et précis, supprimant les problèmes de levé d'ambiguïté et un étalonnage. Avec ce système, on avait en effet un levé d'ambiguïté et un étalonnage permanent et on pouvait éventuellement, dans ces conditions, se permettre de pousser les profils hors de portée d'un théodolite, en conservant toujours deux lieux sûrs, le deuxième lieu optique et une hyperbole parfaitement définie et étalonnée.

Les caractéristiques de cette chaîne Toran sont les suivantes :

- fréquence Foyers 1 760,5 KHz
- fréquence Référence 1 977,5 KHz
- coordonnées des stations (UTM fuseau 32, Europe50)
- foyer Nord Sagru X=540 193,1 Y=4 738 303,8
- foyer Sud La Chiappa X=530 579,7 Y=4 605 077,8
- référence Alistru X=544 500 Y=4 679 100

(Coordonnées approchées)

11.3.3. Chaîne Toran Italienne (v. Pl. 2).

Cette chaîne Toran fut très peu employée, quelques heures au cours d'une nuit avant de retomber une fois de plus en panne.

Elle fut utilisée de la manière suivante qui rappelle celle décrite ci-dessus (§ 11.3.2., (voir également rapport de mon prédécesseur, l'ICA Bonnot) : Le bâtiment qui sondait la zone Nord Cap Corse en suivant des cercles de distance centrés sur Torricella, disposait à l'extrémité Est de sa zone de 3 balises Trident (Torricella, Sagru, Meria) ; il pouvait ainsi, tous les lieux (circulaires et hyperboliques) ayant été portés sur la même mappe, se caler en début de profil, vérifier son calage jusqu'à perte des 2 autres balises Trident, puis poursuivre son profil en utilisant alors le Toran comme traversier et avoir une nouvelle vérification au retour dès l'accrochage d'une deuxième balise Trident. Il convient de noter qu'en fait un seul des 2 lieux Toran était correctement exploitable, l'île de Capraia offrant un obstacle important à la propagation des signaux radioélectriques en provenance de Portoferraio (Île d'Elbe). (v. Pl. 2).

11.4. DEROULEMENT – EXECUTION

Après une reconnaissance sur le terrain, effectuée par moi-même et l'IPA Habert, en vue de fixer les grandes lignes du schéma d'implantation de la radiolocalisation un élément précurseur s'occupa, dès la première quinzaine de février, des travaux de Triangulation et de la mise en place des balises Trident. Le premier bâtiment disponible, à savoir la *Recherche*, put ainsi commencer à travailler sans aucune perte de temps dès son arrivée sur la zone, le 1^{er} mars.

La chaîne Toran transportée par la Gabare *Scarabee* fut mise en place avec un certain retard et ne fut réellement utilisée qu'à partir de la deuxième sortie de 3 semaines des bâtiments.

L'espacement des routes est celui défini par les Instructions Techniques à savoir 250 m pour les profondeurs comprises entre 50 et 250 m, 500 m pour les profondeurs supérieures à 250 m. L'espacement des profils fut doublé de manière systématique toutes les fois que les sondages laissaient prévoir l'existence de reliefs intéressants. De plus, des recherches de têtes isolées furent effectuées sur profils serrés. Des travaux complémentaires furent d'ailleurs ordonnés pour l'année suivante (voir ci-après, § 11.5.).

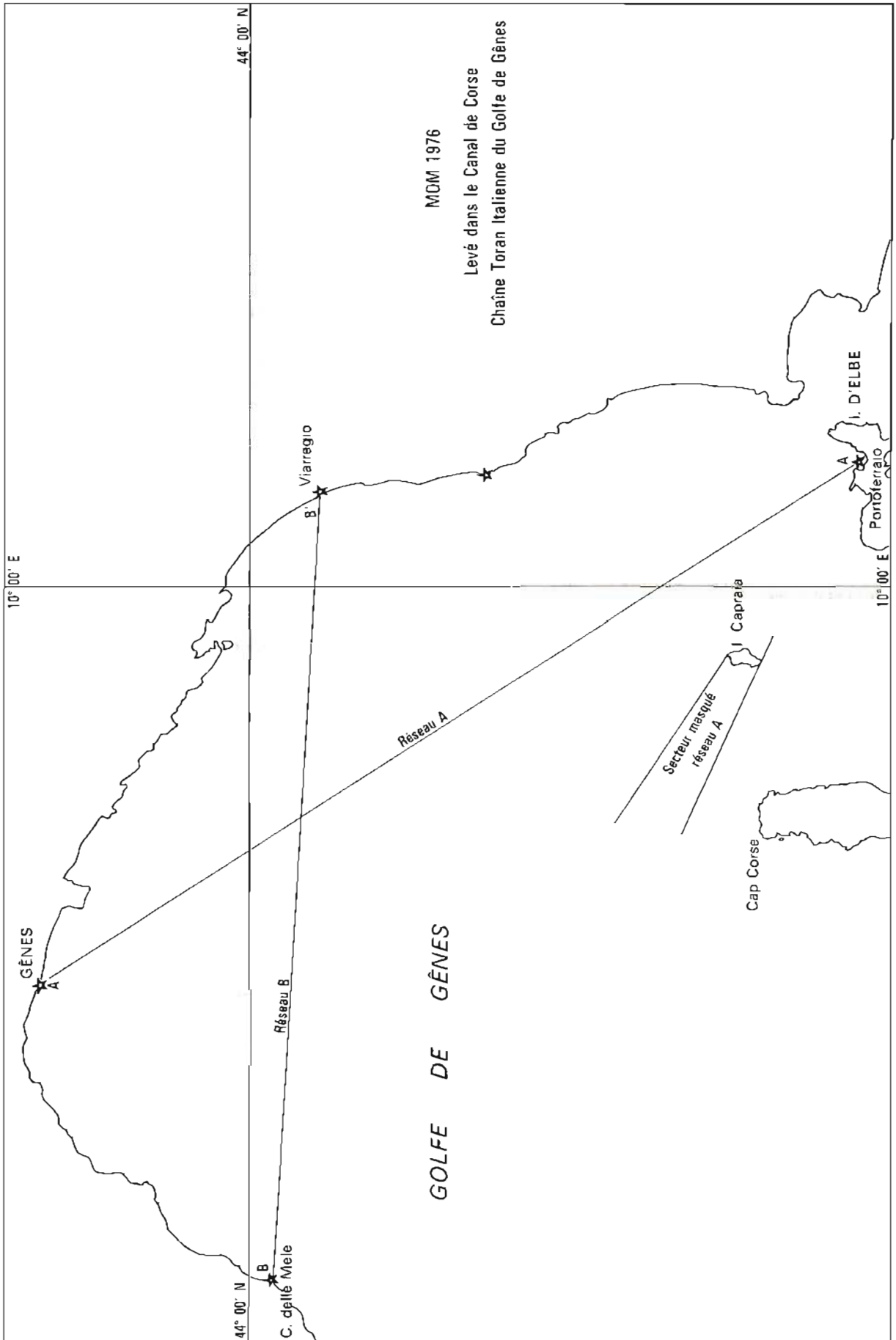
La progression devait se faire du Nord au Sud, de manière à permettre aux Italiens d'achever les opérations de mise en fonction de leur chaîne Toran. Devant les retards dans le fonctionnement de cette chaîne, on fut amené, pour gagner du temps, à étendre vers le Sud jusqu'au parallèle de la Chiappa le levé qui initialement était limité à l'embouchure du Travu (soit le parallèle 41° 55').

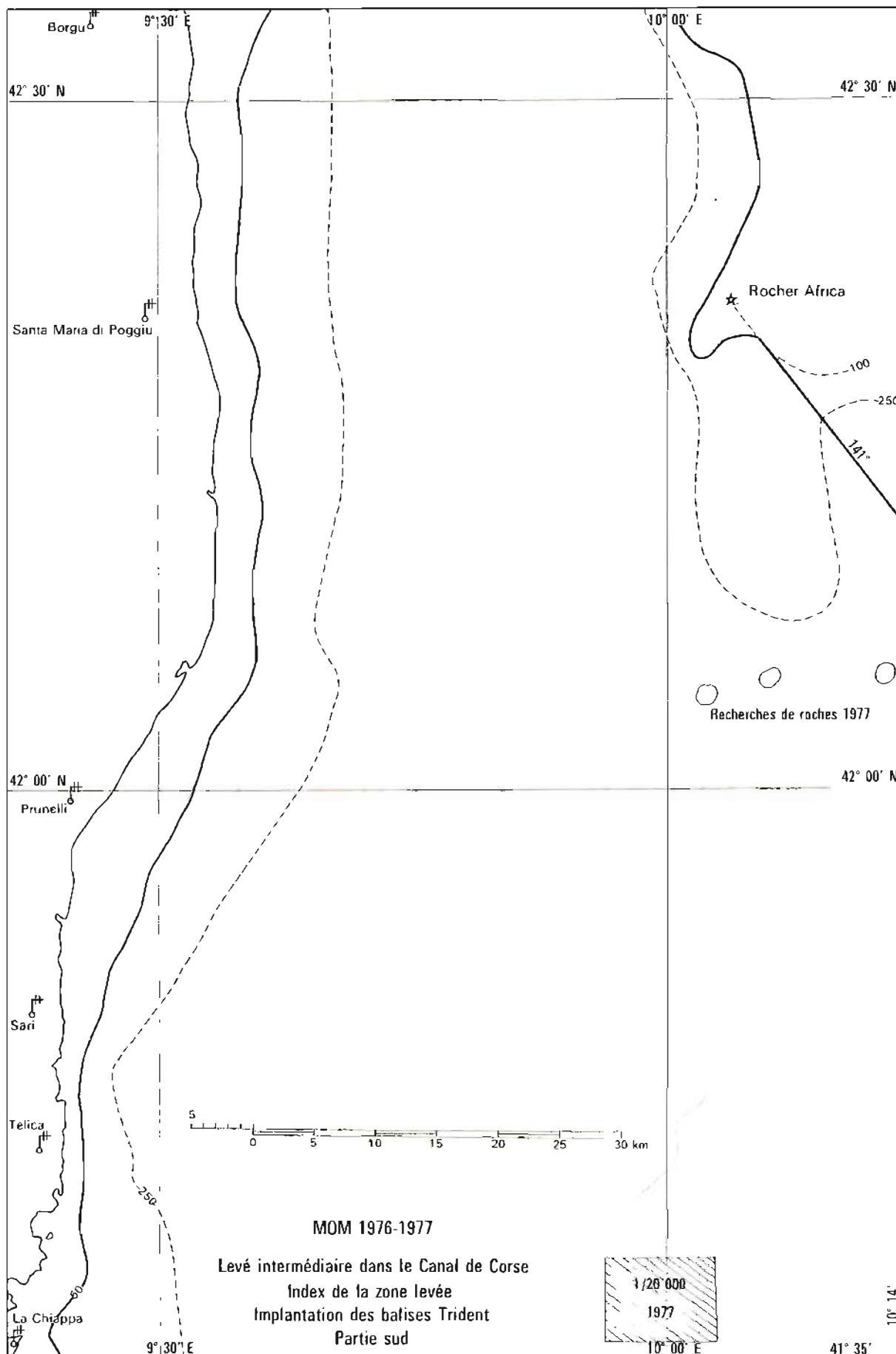
Je pris par ailleurs l'initiative de profiter de l'installation d'une balise à Capraia pour étendre dans la zone Nord Cap Corse ce levé un peu plus à l'Ouest de manière à, ayant débordé la limite Ouest de ce Cap, pouvoir ultérieurement assurer la localisation des travaux à venir avec des implantations de systèmes radioélectriques limitées au territoire national.

11.5. RECHERCHES DE HAUTS-FONDS – TRAVAUX COMPLEMENTAIRES

11.5.1. Généralités

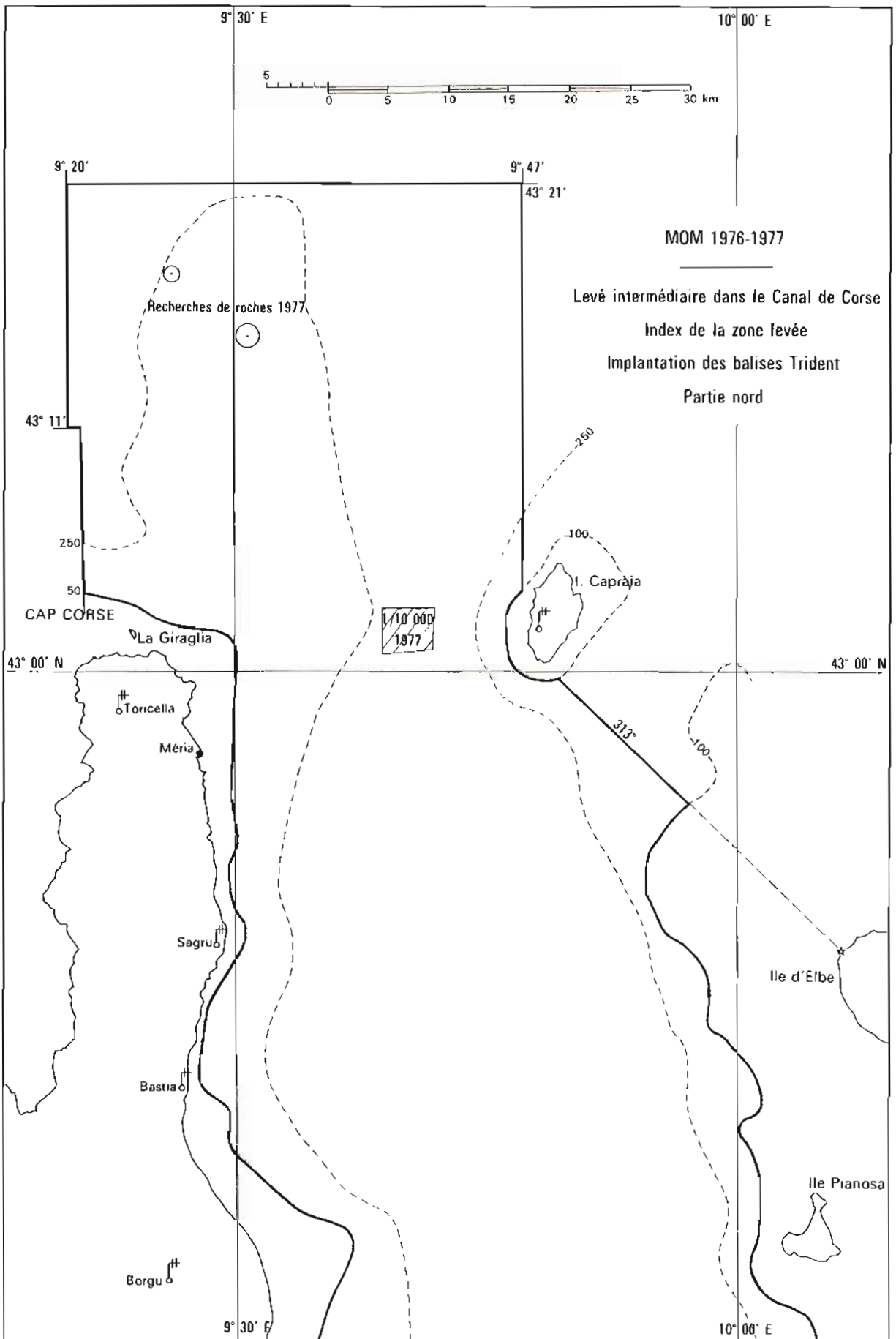
Le fond du Canal de Corse proprement dit, c'est-à-dire limité au Nord par le seuil du Cap Corse et au Sud par les hauts-fonds qui s'étendent au-delà de l'Îlot Montecristo et du rocher Africa, est parfaitement régulier. Ces rives en pente relativement forte ne présentent guère de particularités si ce n'est par exemple le long de la côte Est de Corse l'amorce des talwegs que l'on raccorde sans difficulté à la topographie terrestre ; on notera à ce sujet que les talwegs ne commencent à apparaître, en général, qu'au delà de l'isobathe 100. Ceci me paraît constituer l'indice d'une importante sédimentation, confirmé par l'existence d'une plaine





MOM 1976-1977
 Levé intermédiaire dans le Canal de Corse
 Index de la zone levée
 Implantation des balises Trident
 Partie sud

1/250 000
 1977
 10° 00' E



côtière, très souvent lagunaire. Il n'en est pas de même des zones Nord Cap Corse et Sud Montecristo qui présentent chacune un relief relativement complexe.

1. Zone Sud Montecristo

Au Sud de Montecristo, sauf très rares exceptions, on ne trouve guère de têtes isolées mais on a affaire, en général, à d'assez vastes mouvements de terrain, correspondant à des sortes d'îlots immergés de structure relativement simple. On fut certes amené à effectuer des recherches ponctuelles serrées sur des têtes isolées, mais le plus souvent on n'eut qu'à doubler systématiquement les profils pour préciser la cote et les contours de certains mouvements. On a pu constater, en général, que ce doublement de profils n'a guère apporté de modification à la cote minimum initialement trouvée et je peux affirmer que, sauf éventuellement en deçà de l'isobathe 200 ou même 100 (au Sud de Montecristo), la probabilité d'existence de têtes dépassant plus de 10 % des cotes minimales trouvées est extrêmement faible.

2. Zone Nord Cap Corse

Dans le prolongement du Cap Corse, en deçà de l'isobathe 200 m, on a affaire à une sorte de plateau de cote moyenne de l'ordre de 120 m (la pente devient très forte à partir de 150 m) parsemé de têtes isolées ou de zones au relief déchiqueté présentant un certain nombre de têtes relativement fines. Dans ces conditions je ne peux, sur cette zone, apporter les mêmes garanties que dans la précédente.

11.5.2. Travaux complémentaires

A la suite de ces travaux et du rendu de la rédaction, des travaux complémentaires furent ordonnés (et exécutés) soit pour préciser certains reliefs, soit pour vérifier l'existence et la cote de certains hauts fonds dont on n'avait eu connaissance, en général par des sources extérieures, qu'après exécution du levé.

1. Levés complémentaires

On a, en 1977, levé les zones suivantes :

a) levé au 1/10 000 jusqu'à l'isobathe 400 m centré sur la sonde 325 mètres situé par $43^{\circ} 01' 50''$ N et $09^{\circ} 40' 42''$ E.

b) levé au 1/20 000 jusqu'à l'isobathe 600 m centré sur la sonde 521 m situé par $41^{\circ} 37' 18''$ N et $10^{\circ} 00' 50''$ E.

Nota. Dans chacune de ces zones on a effectué en outre des profils traversiers à un espacement double de celui du levé régulier.

c) levé au 1/10 000 dans une zone le long de la côte Est de Corse limitée par les isobathes 50 et 100 m à l'Ouest et à l'Est et les parallèles $42^{\circ} 37', 5$ N et $42^{\circ} 42', 5$ N au Sud et au Nord (environs Sud de Bastia).

Les instructions demandaient de sonder des profils intercalaires ; les positions des balises Trident n'étant pas exactement les mêmes en 1977 qu'en 1976, on préféra reprendre entièrement le levé à l'échelle de

1/10 000 à l'occasion du levé côtier qui était en cours d'exécution à cette échelle.

2. Recherches complémentaires de hauts fonds.

a) 57 m et $43^{\circ} 17', 6$ N et $09^{\circ} 26', 2$ E (Cap Corse).

Au voisinage de cette position figurait sur les cartes, au moment de l'exécution du levé régulier, la cote 68 m. Des recherches poussées effectuées par la Recherche ne permirent d'obtenir qu'une cote de l'ordre de 72 m et de constater que les enregistrements étaient très parasites, avec des difficultés sérieuses de distinguer les parasites du fond dès que l'on poussait un peu trop le gain. L'Origny repris cette recherche en 1977 et arriva aux mêmes conclusions, à savoir cote minimum de l'ordre de 72 m et présence de parasites pouvant fausser complètement la mesure.

Ce phénomène des parasites sur les têtes à des profondeurs de cet ordre a été assez général, tant au Sud de Montecristo que dans le Nord Cap Corse. Il peut expliquer, dans de nombreux cas, des différences de cote entre les sondes provenant de sources étrangères et celles trouvées par la MOM, que ces différences soient de l'ordre de 2 ou 3 mètres ou qu'elles atteignent comme pour ce haut fond 4 puis 15 m.

b) 88 m en $43^{\circ} 14', 5$ N et $09^{\circ} 30', 3$ E (Cap Corse)

A l'emplacement de ce 88 m le levé régulier de 1976 donnait des fonds de 105 m, mais on avait trouvé et étudié une tête à 88 m dans le SSW à 1,500 m. Les recherches complémentaires effectuées par l'Origny en 1977 confirmèrent la tête à 88 m de 1976. Ils permirent en outre de trouver un 96 m dans des fonds de 105 m, à une position voisine de celle du 88 m recherché. Cet exemple illustre la remarque que j'ai formulée (§ 11.5.1.2.) sur la complexité du relief dans le prolongement du Cap Corse.

c) 287 m en $42^{\circ} 04', 0$ N et $10^{\circ} 01', 6$ E (Sud Montecristo).

Les recherches poussées effectuées par la Recherche ne donnèrent aucun résultat si ce n'est la confirmation de l'existence, à proximité de cette position, d'une montagne sous-marine trouvée en 1976 et culminant à 320 m. Par contre on avait trouvé déjà, 2500 m environ plus à l'Est, une cote voisine de celle recherchée sur laquelle on refit une nouvelle recherche qui donna une cote minimum de 292 m.

d) 183 m en $42^{\circ} 04', 9$ N et $10^{\circ} 13', 7$ E.

Cette sonde, en limite de levé, n'avait pas été trouvée en 1976. Elle fut par contre retrouvée facilement à la position indiquée en 1977, et sa cote confirmée.

11.6 DOCUMENTS DE REDACTION ETABLIS.

11.6.1. Travaux de 1976

12 minutes de bathymétrie à l'échelle de 1/25 000

8 minutes de bathymétrie à l'échelle de 1/50 000.

Nota. Les minutes au 1/25 000 ne concernent que la côte Est de Corse, la zone Nord Cap Corse et la zone

Sud Montecristo. Les sondages à l'espacement de 250 m dans les eaux italiennes (autre que Sud Montecristo) entre les isobathes 250 et 100 m ont fait l'objet, étant donné l'étroitesse de la bande sondée, d'une rédaction serrée sur les minutes au 1/50 000.

II.6.2. Travaux de 1977

1 minute de bathymétrie à l'échelle de 1/10 000 ;

1 minute de bathymétrie à l'échelle de 1/20 000 ;
1 minute de recherche de roches à l'échelle de 1/25 000 ;

1 minute de recherche de roches à l'échelle de 1/50 000.

Nota. La rédaction des travaux faisant l'objet de l'alinéa II 5.2.2.c a été incluse dans celui des travaux côtiers.

ANNEXE AU CHAPITRE II

LEVE INTERMEDIAIRE DANS LE CANAL DE CORSE

Transformation de coordonnées rectangulaires

Lambert IV (Conforme 69-70) ↔ UTM Fuseau 32

Transformation conforme par polynôme complexe de troisième degré.

Formules :

$$M = C_1 + D_1x - D_2y \quad x = (X - X_0) 10^{-5}$$

$$N = C_2 + D_2x + D_1y \quad y = (Y - Y_0) 10^{-5}$$

$$P = B_1 + Mx - Ny \quad X' = A_1 + Px - Qy$$

$$Q = B_2 + Nx - My \quad Y' = A_2 + Qx + Py$$

X, Y coordonnées de départ, X', Y' coordonnées d'arrivée.

Coefficients :

Lambert IV (conforme 69-70) → UTM Fuseau 32

$X_0 =$	558 000	(558 000)
$Y_0 =$	209 000	(209 000)
$A_1 =$	507 894,284	(507 899,2)
$A_2 =$	4 669 353,413	(4 669 354,761)
$B_1 =$	99 661,454	(99 661,53)
$B_2 =$	- 7 794,888	(- 7 794,91)

$C_1 =$	0,405	(0,390)
$C_2 =$	- 0,488	(- 0,370)
$D_1 =$	5,242	(4,760)
$D_2 =$	- 0,256	(- 0,840)

Les coefficients indiqués entre parenthèses correspondent à la transformation

Lambert IV (IGN 53) → UTM Fuseau 32

Coefficients :

UTM (Fuseau 32) → Lambert IV (conforme 69-70)

$X_0 =$	507 000	(507 000)
$Y_0 =$	4 670 000	(4 670 000)
$A_1 =$	557 057,699	(557 052,9)
$A_2 =$	209 575,083	(209 573,349)
$B_1 =$	99 729,616	(99 729,54)
$B_2 =$	7 800,208	(7 800,2)
$C_1 =$	- 0,348	(- 0,320)
$C_2 =$	0,311	(0,200)
$D_1 =$	- 5,158	(- 4,780)
$D_2 =$	- 1,111	(- 0,700)

Les coefficients indiqués entre parenthèses correspondent à la transformation UTM (fuseau 32) → Lambert IV (IGN 53)

CHAPITRE III

LEVE INTERMEDIAIRE SUR LA COTE OUEST DE CORSE

III.1. GENERALITES (V. Pl. 5)

Ce levé, qui est la suite naturelle de celui exécuté en 1976 (voir chapitre II) sur la côte Est, s'étend tout au long de la côte Ouest de Corse depuis le parallèle 43° 20' au Nord jusqu'au parallèle 41° 10' au Sud soit quelques milles à peine de l'île Asinara (Sardaigne). S'il constitue la suite du levé sur la côte Est, il convient de noter cependant qu'il s'agit d'un levé de caractéristiques entièrement différentes en raison de la différence fondamentale de la topographie terrestre et donc sous-marine entre les 2 côtes de l'île. La limite Ouest (large) était définie comme l'enveloppe des cercles de 5 milles de rayon centrés sur la sonde 2000 m la plus au large obtenue sur chaque profil ; à l'Est la limite devait être les fonds de 50 m jusqu'à la pointe Senetose, les fonds de 200 m au Sud de cette pointe.

Ce levé, jusqu'aux fonds de 200 m, a été réalisé pratiquement entièrement par l'*Origny* renforcé par la *Recherche* pendant un temps très bref, mais suffisant pour assurer une fin de travaux dans des délais préalablement fixés.

Le levé de la bande 50-200 m confié à l'*Octant* n'est qu'en partie réalisé : du Cap Corse à l'île Gargalu, avec d'ailleurs quelques lacunes le long des côtes du Cap Corse.

III.2. GEODESIE – LOCALISATION

La localisation pour ce levé fut, en dehors de quelques cas particuliers où l'on eut recours aux moyens optiques (fonds des golfes, certaines parties de la zone *Octant*) entièrement assurée par le Trident.

La complexité du relief, la rareté des routes et en particulier des routes côtières permettant d'accéder aux pointes rendirent le choix des sites Trident relativement difficile : sites accessibles en véhicule, vues dégagées vers la mer, électrification souhaitable. Les opérations de triangulation posèrent également quelques problèmes, toujours en raison des conditions d'accès (la lecture des carnets IGN est à cet égard souvent édifiante).

Parmi les problèmes les plus délicats à résoudre il faut citer le contournement de l'île Gargalu, point le plus avancé vers l'Ouest de toute la Corse et qui à tous points de vue, géographique, météorologique, géodésique, radioélectrique, historique et culturel même constitue une frontière entre deux parties bien distinctes de la Corse, le Nord et le Sud. La position des balises Trident est donnée ci-dessous.

On a distingué :

– un réseau principal constitué de balises d'altitude en général assez élevée, ayant de larges secteurs de visi-

bilité et qui ont été utilisées pendant de longues périodes, principalement pour la localisation au large ;

– un réseau secondaire constitué de balises ajoutées temporairement pour lever un détail particulier (fonds de Golfe, zones masquées à l'approche de la terre).

Réseau Principal (Lambert IV, Système géodésique 69-70)

	X	Y	Type d'alimentation
Toricella	574 355	298 440	Secteur
Canari (Mlne)	571 522	281 805	Batteries
Corbara	538 543	256 730	Secteur
Cavalu	520 527	243 721	Secteur
Osini	516 289	213 168	Batteries
Cargèse	518 104	202 026	Batteries
Pozzu di Borghu	527 367	181 991	Secteur
Cotti Chiavari	534 219	161 837	Secteur
Roccapiña	551 729	133 015	Batteries
Pertusatu	572 001	190 922	Secteur

Nota : les emplacements des balises Toricella 76 et 77 sont différents.

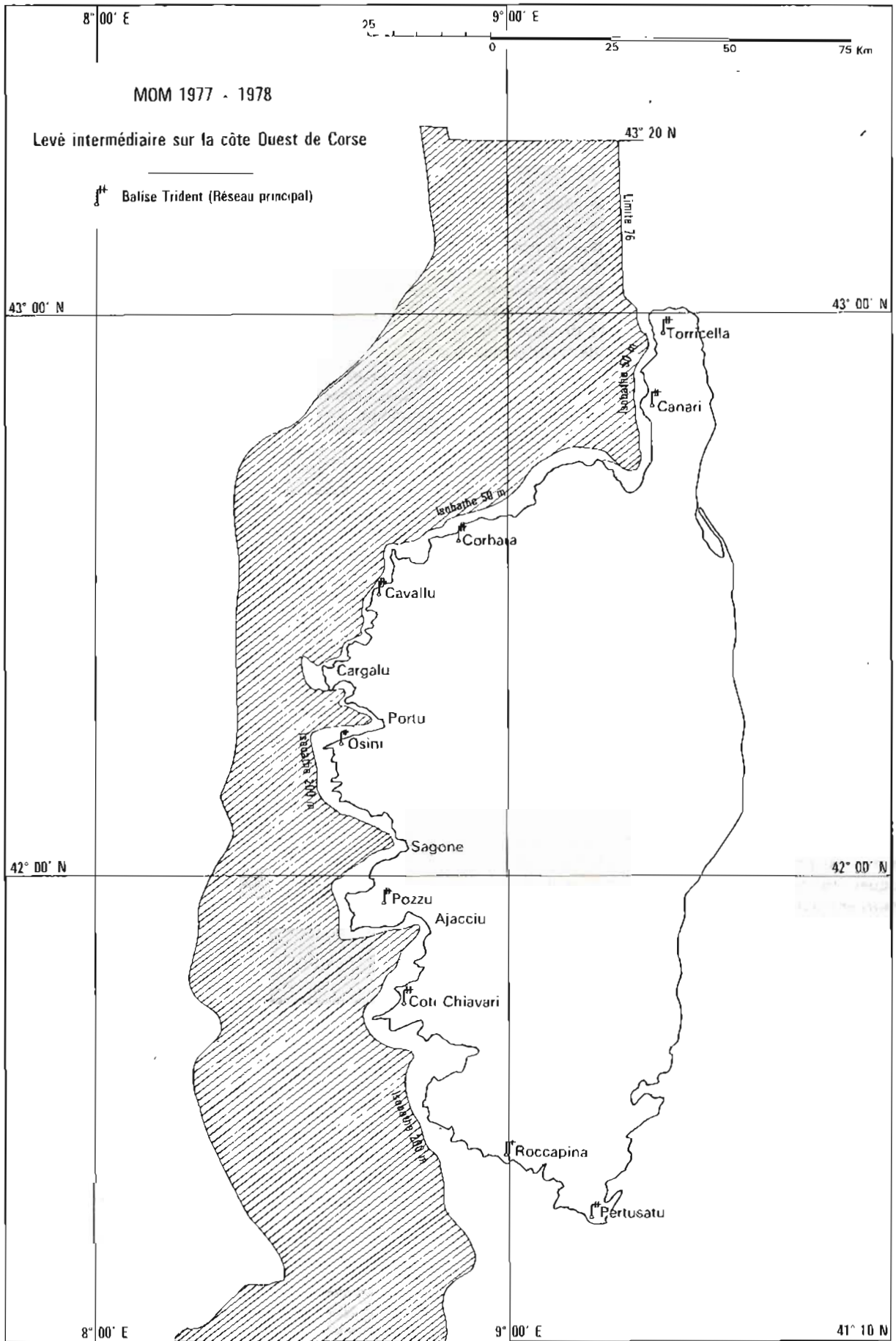
Réseau secondaire

	X	Y	Type d'alimentation
Vecchiaja	571 867	270 539	Secteur
Tremonti	545 151	254 868	Batteries
Revellata	523 701	251 384	Batteries
Calvi	527 310	250 608	Secteur
Galerla	518 914	232 937	Batteries
Portu	524 024	216 753	Batteries
Punta Locca	528 034	194 395	Batteries
Campu Doloru	535 335	178 640	Secteur
A Parata	520 944	176 546	Secteur
Propriano	545 965	152 805	Batteries

III.3. DEROULEMENT – EXECUTION

Une première reconnaissance sur le terrain fut effectuée pendant l'hiver par moi-même et l'IA Goutorbe qui devait être chargé des travaux à bord de l'*Origny*. La coordination générale des travaux entre les différents éléments (*Origny*, *Octant*, équipe à terre, épisodiquement La *Recherche*) a été en général assurée par l'IPA Thouin qui dès le mois de février effectua avec une équipe renforcée le choix définitif des sites "Trident", les travaux de triangulation et diverses opérations nécessaires à la mise en place des balises.

Les travaux à la mer qui se sont déroulés en progressant du Nord au Sud se sont étendus sur les deux années 1977 et 1978.



L'*Origny*, qui en a été le principal artisan, y a consacré 4 sorties de quatre semaines (entrecoupées d'autres travaux, hydrologie en particulier) en 1977, une sortie de cinq semaines avec concours d'une semaine de La *Recherche* en 1978. La contribution de l'*Octant* qui en 1977 et 1978 se partagea entre les deux côtes est de 8 semaines environ :

– levé du haut fond de Centuri et de la bande comprise entre les fonds de 50 et 200 m depuis le Golfe de St Florent jusqu'à l'île Gargalu en 1977 ;

– recherches des roches complémentaires, poursuite du levé entre 50 et 200 m le long des côtes du Cap Corse en 1978.

Je précise que pour cette dernière zone, le sondeur ayant eu des défaillances, une partie des travaux vers le large sera à reprendre entre la Punta Vecchiaja et la Punta Minerviu.

L'espacement initial des routes a été celui prescrit aux Instructions Techniques soit 200 m dans les fonds de 50 à 200 m, 400 m dans les fonds de 200 à 1 000 m, 800 m au-delà.

La densité des profils a été augmentée toutes les fois que cela a paru nécessaire pour préciser un relief, rechercher un haut fond, soit découvert au cours du levé, soit porté sur les cartes en service.

La limite large ("enveloppe des cercles de 5 milles de rayon centrés sur la sonde 2000 m la plus au large sur chaque profil") a été en général atteinte sauf en quelques endroits où on s'est laissé surprendre par un changement brutal de direction des lignes de niveau qui, en liaison avec la topographie terrestre, correspondait le plus souvent également à un changement de la balise Guide.

III.4. RECHERCHE DES HAUTS FONDS

III.4.1. Caractéristiques générales

Le relief sous-marin sur cette côte est aussi tourmenté que le relief terrestre correspondant. Il est caractérisé en particulier par les talwegs profonds et étroits pénétrant, pour les principaux, au fond des golfes qui caractérisent cette côte, à savoir St Florent, Portu, Sagone, Ajacciu, Valincu ou aboutissant à des points de la côte qui sans être aussi caractéristiques que ceux précédemment cités n'en permettent pas moins d'établir des corrélations évidentes ; je citerai à titre d'exemple : l'île Rousse, le Golfe de Caleria ou bien même une simple baie comme celle de Focolara (à l'Est de l'île Gargalu). Les pointes se prolongent en général en mer par des lignes de crêtes bien marquées sur lesquelles des croupes ont donné lieu à de nombreuses recherches particulières dans la zone du large. Parmi ces recherches nous en retiendrons, à titre d'exemple, 3 concernant des hauts fonds déjà portés sur les cartes, une concernant un haut fond nouveau. A partir des fonds de 2000 m le relief s'adoucit et le fond descend en pente plus douce jusqu'à des profondeurs de l'ordre de 2600 m ; au-delà il semble que l'on ait affaire à une plaine uniforme.

La bande côtière, de 0 à 200 m ne présente une certaine extension que du Golfe de St Florent à Calvi, les recherches y ont été nombreuses mais sans apporter rien de bien caractéristique et important. A partir de la pointe Revellata, la ligne de fonds de 50 m se rapproche de la côte à un point tel qu'elle a été parfois difficile à atteindre même pour une aussi petite unité que l'*Octant*.

III.4.2. Etudes de quelques recherches particulières

a) 1 830 m en L = 43°23' N G = 08°46' E (Références carte 5016)

Ce haut fond situé à l'extrémité Nord Ouest du levé a été retrouvé sans difficultés. Il appartient à une zone tourmentée qui étant hors des limites de portée de la localisation en place n'a pu être levée en entier. Deux têtes principales ont été trouvées, l'une à 1868 m à une position correspondant sensiblement à celle du 1830 m de la carte, l'autre à 1777 m, dans l'WSW et à 5 km environ de la première.

b) 1 500 m en L = 43°05', 4 N G = 08°54', 2 E

A l'époque du levé cette cote ne figurait pas sur la carte 5016, où elle n'a apparu qu'à l'édition de 1978, et sa recherche n'était pas prescrite aux Instructions Techniques. Il convient de noter que son existence était connue puisqu'elle figurait déjà sur la carte 6632. On se trouve à cet endroit à l'extrémité côté large d'un talweg avec un fond moyen de l'ordre de 2 300 m ; le levé régulier à l'espacement de 800 m ne fait apparaître aucun indice de relèvement du fond. J'ignore l'origine de cette sonde mais j'estime ou bien qu'elle n'existe pas ou qu'il y a une grossière erreur de position. Vers les fonds moindres, les cotes du même ordre de grandeur sont à plus de 3 milles, à moins qu'il ne faille chercher plus au large, c'est-à-dire dans la plaine, par des fonds supérieurs à 2 600 m.

c) 1 930 m L = 42°36', 4 N G = 08°15' E

La recherche de ce haut fond porté sur les cartes était demandée aux Instructions Techniques. Une exploration autour de la position présumée n'a révélé aucun indice de remontée dans un fond uniforme de l'ordre de 2 600 m. Cette cote n'existe certainement pas à la position indiquée et ce dans un rayon de 3 milles environ.

d) 1 277 m L = 42°57', 2 N G = 08°52', 5 E

Il s'agit là d'un exemple d'une côte non portée sur les cartes et située sur une croupe à l'extrémité côté large d'une ligne de crête qui, partant du désert des Agriates, constitue le flanc Sud-Ouest du talweg du Golfe de St Florent. Les fonds moyens environnants sont supérieurs à 1 500 et la courbe de niveau de 2 000 m passe à une distance de l'ordre de deux milles.

e) Hauts fonds dans les environs de l'île Gargalu.

La carte 4993 porte dans le Sud et à 5 700 m environ de l'île Gargalu la cote 88 (PA). Sensiblement à cette position l'*Origny*, en levé régulier, a trouvé un 66 m. Ce haut fond en extrémité de profil et très proche de la côte n'a pu faire l'objet d'aucune recherche. Je

précise que dans cette zone non atteinte par l'*Octant* la limite effective du levé est la ligne des fonds de 200 m.

Plus au Nord à 2 km environ, à l'WSW de l'île Gargalu, l'*Octant* a trouvé et recherché au delà de la ligne des fonds de 100 m (fonds moyens de l'ordre de 115 m) un haut fond à 97 m.

III.5. DOCUMENTS ETABLIS

1 minute de bathymétrie à l'échelle de 1/10 000 (hauts fonds de Centuri)

19 minutes de bathymétrie à l'échelle de 1/25 000.

9 minutes de bathymétrie à l'échelle de 1/50 000.

Nota.

a) pour ce levé intermédiaire, de manière à ne pas multiplier les documents, on a adopté 2 échelles de rédaction à savoir : 1/25 000 et 1/50 000. Dans ces conditions, la distance entre profil varie de 8 mm (dans la bande en général étroite de 50 à 200 m) à 1,6 cm, exceptionnellement 3,2.

b) La partie du levé à l'espacement de 200 m effectué en 1978 sur la côte Ouest du Cap Corse sera rédigée sur les minutes correspondantes du levé côtier à mesure de son exécution.

CHAPITRE IV

LEVE COTIER SUR LA COTE EST ET NORD-OUEST DE CORSE

IV.1. GENERALITES

Ce levé poursuit jusqu'à la côte le levé du Canal de Corse effectué en 1976 (Voir chapitre II). Il s'étend donc depuis le Golfe de Portu Vecchiu inclus jusqu'à l'extrémité Ouest du Cap Corse. Cependant on traitera, dans ce même chapitre, des quelques travaux qui ont été effectués en 1978 sur la côte Ouest du Cap et qui dans le déroulement chronologique des opérations ne se différencient pas de ceux de la côte Est proprement dits.

Ce levé d'une très grande étendue ne peut être homogène et on doit s'attendre à y trouver des zones aux caractères différents.

Schématiquement on peut distinguer :

- une zone sablonneuse et basse au centre (de Solenzara à Bastia) ;
- différentes zones rocheuses de part et d'autre avec chacune ses particularités propres.

Le mode d'exécution du levé, les travaux annexes (topographie, triangulation) sont fortement liés à la nature de ces différentes zones : caractère topographique général, existence d'une route côtière, accès à la côte, etc. Les travaux se sont échelonnés sur 2 ans. Ils ont été effectués, en ce qui concerne la bathymétrie tout au moins, par les embarcations de la *Recherche* avec un concours non négligeable de l'*Octant*.

IV.2. DEROULEMENT – EXECUTION

En 1977 la *Recherche* y a consacré la plus grande part de son activité, du mois de mars au mois d'octobre.

Elle a levé, avec le concours de l'*Octant* qui a pris à son compte les fonds supérieurs à 20 m en général entre Alistru et Bastia d'une part, au Nord de Meria d'autre part, toute une vaste zone comprise entre quelques kilomètres au Nord de la Solenzara et l'extrémité NW du Cap Corse.

En 1978, toujours épaulée en partie par l'*Octant*, elle a, au cours des mois de juin, juillet, septembre et une partie d'octobre, levé le Golfe de Portu Vecchiu, puis étendu les travaux vers le Nord jusqu'à assurer la jonction avec ceux de 77, effectué des travaux de détail et de topographie sur les côtes Est et Nord du Cap Corse et enfin entrepris la poursuite du levé sur la côte Ouest du Cap Corse. Les travaux de topographie ont été en général l'œuvre d'une équipe indépendante par fois soutenue par l'*Octant* (le long des côtes rocheuses en particulier) et qui a poursuivi ses activités pendant une grande partie de l'hiver 77-78.

IV.3. LOCALISATION

Le moyen de localisation principal fut le Trident avec des particularités propres aux différentes zones dont il a été question ci-dessus. Sur toute la zone sablonneuse où l'arrière pays permettait d'installer des balises traversières, ce fut pratiquement le moyen exclusif ainsi qu'en grande partie dans le Golfe de Portu Vecchiu. Ailleurs il ne permis en général d'assurer que la fonction guide et on eut en conséquence, largement recours aux moyens optiques.

La position des balises Trident est donné ci-dessous (Projection Lambert IV, Système géodésique 69-70),

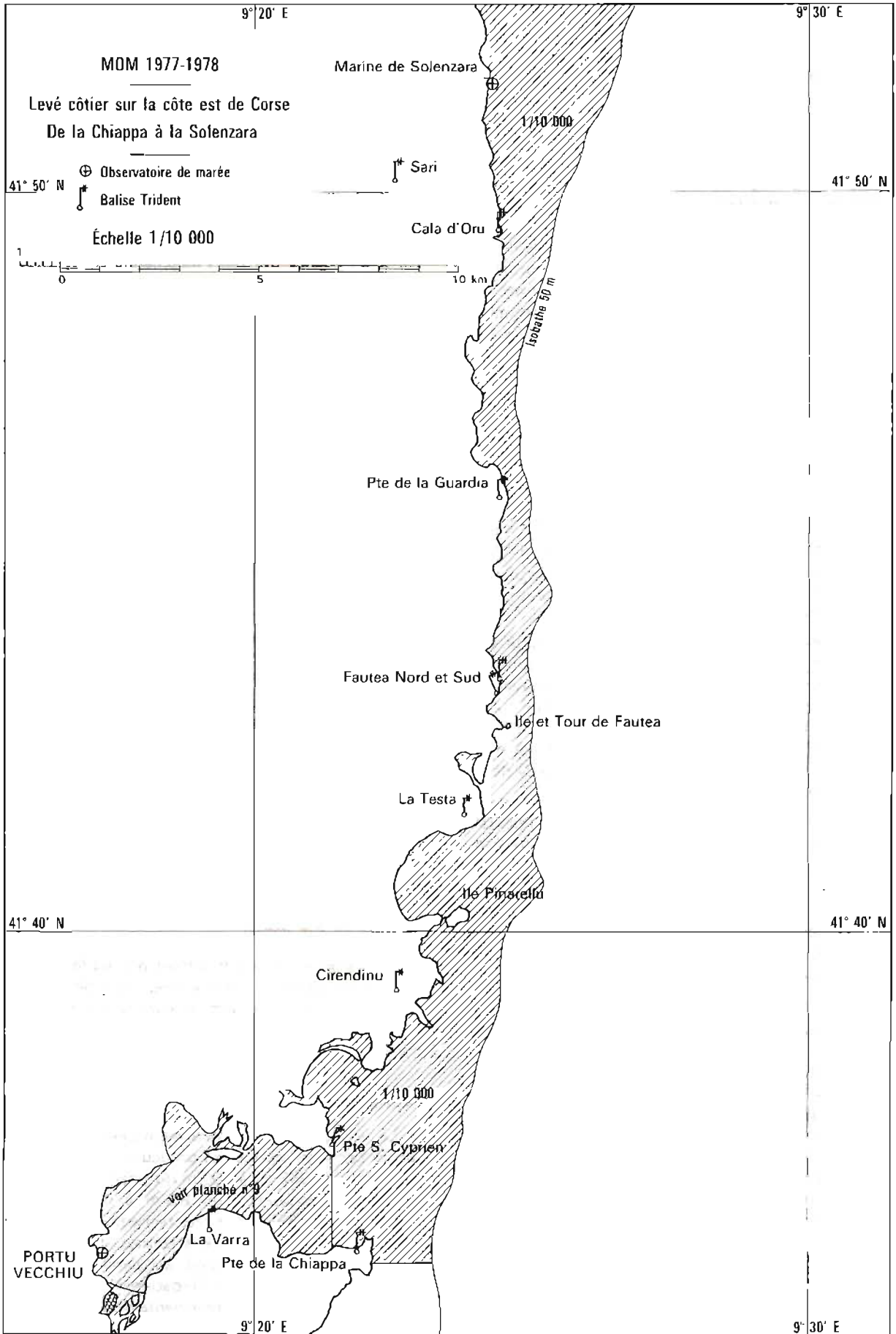
— Golfe de Portu Vecchlu

	X	Y	Type d'alimentation
Feu rouge	579 001,4	145 584,2	Secteur
Bastion	578 641,2	145 727,4	Secteur
La Varra	581 557,1	146 825,9	Secteur (avec une centaine de mètres de fil)
Furoli	579 821,2	147 934,9	Secteur (chez l'habitant)
St Cyprien	584 538,2	149 092,7	Secteur
La Chiappa (Sémaphore)	585 386,3	146 651,8	Secteur

– De St Cyprien à la Solenzara					
	X	Y	Type d'alimentation		
La Varra La Chiappa St Cyprien	} Voir ci-dessus				
Fautea Nord	587 710,3	161 142,5	Batteries (sur le bord de la route)		
Fautea Sud	587 718,1	160 904,5	"		
La Guardia	587 433,4	165 886,2	"		
Cala d'Oru	586 722,9	172 557,1	Batteries (dans village de vacances)		
Sari	583 967,8	173 527,0	Secteur		
Coascina	582 224,9	187 800,0	Batteries (à proximité d'un château en ruine)		
– De la Solenzara à Bastia					
	X	Y	Type d'alimentation		
Cala d'Oru Sari Coascina	} Voir ci-dessus				
Prunelli de Fiumorbu (*)	578 656,4	192 244,3	Secteur (Chez l'habitant)		
Clocher d'Alenria	593 001,6	204 062,7	Secteur		
Phare d'Aljstru	593 912,9	221 518,2	Secteur		
Sta Maria Pogglu	589 555,9	230 661,2	Secteur		
Renosu Sud (**)	588 709,6	236 957,5	Batteries		
Renosu Nord (**)	588 639,1	236 972,8	Batteries ou secteur chez l'habitant (100 m de câble)		
Borgu (*)	582 032,0	253 259,5	"		
Bastia (vieux phare)	582 717,1	268 800,8	Secteur		
– De Bastia à l'extrémité NW du Cap Corse					
	X	Y	Type d'alimentation		
Bastia (plateau)	582 178,1	268 730,4	Batteries		
Sémaphore Sagru	584 658,0	280 679,1	Batteries (sémaphore réarmé et électrifié depuis l'exécution du levé)		
Ghiunchi	583 874,8	286 557,6	Batteries (sur le bord de la route)		
Mortada Sud			Batteries ""		
Moulin de Meria	581 669,5	295 820,0	Secteur à proximité		
Finochiarola	581 500,4	301 121,6	Batteries et groupe électrogène		
La Giraglia	575 767,4	305 410,8	Batteries avec chargeur, chargées la nuit		
Sémaphore du Cap Corse	572 133,2	302 747,6	Secteur		
Toricella	574 355,5	298 440,5	Secteur		
– Cap Corse côte W.					
	X	Y	Type d'alimentation		
Sémaphore du Cap Corse Toricella	} Voir ci-dessus				
Mattai Nord	572 691,5	299 406,8	Batteries (véhicules tous chemins)		
Alisu Nord	572 266,0	294 434,3	Batteries (sur le bord de la route)		
Minerviu haut	571 099,2	290 960,7	"		

(*) Les emplacements 1977 de Borgu et de Prunelli ne sont pas les mêmes qu'en 1976.

(**) A hauteur de Renosu, les reliefs s'avancent pratiquement jusqu'à la côte, coupant la plaine orientale en deux (une partie Nord et une partie Sud). Il n'a pas été possible de trouver un point unique ayant des vues dégagées du Nord au Sud et il a donc fallu avoir deux points distincts.



IV.4. LEVE BATHYMETRIQUE

IV.4.1. De la Solenzara à Bastia (v. Pl. 7)

Le levé dans cette zone a été entièrement exécuté au Trident avec quelques rares utilisations de moyens optiques : vérification d'étalement, traversiers occasionnels, radioguidage issu du phare d'Alistru pendant une courte indisponibilité d'un interrogateur. Les caractéristiques topographiques de la zone (voir chapitre II) se prêtent en effet fort bien à ce mode de localisation. L'existence d'une plaine côtière surplombée par des villages accessibles par la route permet de trouver en général des sites favorables à l'implantation de balises traversières. Aussi la configuration des réseaux est-elle la plupart du temps excellente au point que j'ai été amené, suite à une grosse inattention, à ne pas me rendre compte que dans une zone de quelques kilomètres au Sud de Bastia les 3 lieux, à la côte, étaient pratiquement tangents. La partie correspondante n'a pu ainsi être rédigée et le levé devait être repris par mon successeur. L'espacement initial des profils a été de 100 m conformément aux Instructions Techniques. En fait sur une très grande partie cet espacement a été réduit à 50 m pour les raisons suivantes :

- Application d'Instructions Techniques particulières demandant de doubler les profils à proximité des aéroports dans le prolongement des pistes.

- Existence à une certaine distance de la côte sur pratiquement toute la largeur du levé d'une zone au relief très tourmenté par des fonds de 20 m en moyenne (allant de 10 à 30 m en général). Dans une telle zone, l'expérience des premiers jours l'a montré, il eut été en effet impossible de faire des recherches individuelles et la seule solution possible était en conséquence de doubler systématiquement les profils.

L'exécution de ce levé a mis en évidence une organisation générale de structures parallèles à la côte que l'on peut schématiquement résumer comme indiqué ci-dessous. A un fond en pente régulière viennent se superposer :

Tout d'abord une ou deux (rarement plus) barres de sables, la plus au large étant couverte par 2 mètres d'eau environ et située à 200 ou 300 m du rivage.

Ensuite la zone au relief tourmenté dont il a été question ci-dessus. Il est remarquable que la pente générale du fond reste inchangée, ainsi que la profondeur moyenne. Par une sorte d'analogie on peut considérer que l'on a affaire à un bruit d'énergie moyenne nulle venant se superposer à un signal régulier. L'amplitude de ce bruit est de quelques mètres (3 ou 4 en général), sa longueur d'onde de quelques dizaines de mètres parfois moins. Le tracé des courbes de niveau sur les minutes relève de l'acrobatie ; seul, à titre expérimental, un levé à l'échelle du 1/1000 environ aurait pu permettre de cerner la réalité. Les plongeurs de la *Recherche* ont reconnu certaines parties de cette zone ; leurs observations peuvent se résumer ainsi : herbes et algues, sable et boue, pâtés rocheux recouverts de sable, failles de 2 à 3 mètres.

IV.4.2. Côtes du Cap Corse. (v. Pl. 8).

La côte Est du Cap Corse moyennement élevée est longée par une route côtière jusqu'à Macinaggiu. Sur toute cette zone le matériel Trident ne servit en général qu'à fournir le lieu assurant la fonction de guide, les cercles de distances étant, en général, tous tangents en arrivant à la côte. Aussi les traversiers furent-ils le plus souvent fournis par des visées au théodolite.

La Côte Nord du Cap n'est accessible qu'en de rares endroits, en particulier le sémaphore du Cap Corse, mais la présence des Iles Finochiarola et de la Giraglia, sur lesquelles on put placer balise Trident et théodolite, facilita grandement l'exécution du levé.

Le contournement du Cap jusqu'à la Marine de Centuri posa quelques difficultés. On a affaire en effet à une côte très élevée, parfaitement inaccessible et on dut recourir à la bonne méthode de la station à la mer.

Au delà de Centuri les conditions s'améliorent légèrement grâce à la présence d'une route côtière ; mais les caractéristiques topographiques, côte très élevée et déchiquetée, amènent à multiplier tant les sites optiques que radioélectriques, surtout quand on veut atteindre la côte même, que ce soit pour la sonde ou dans le cadre des opérations de topographie.

Dans cette zone du Cap Corse, côte Nord et Ouest, les recherches de roches ont été nombreuses. Les résultats principaux sont donnés ci-dessous :

Banc de Ste Marie

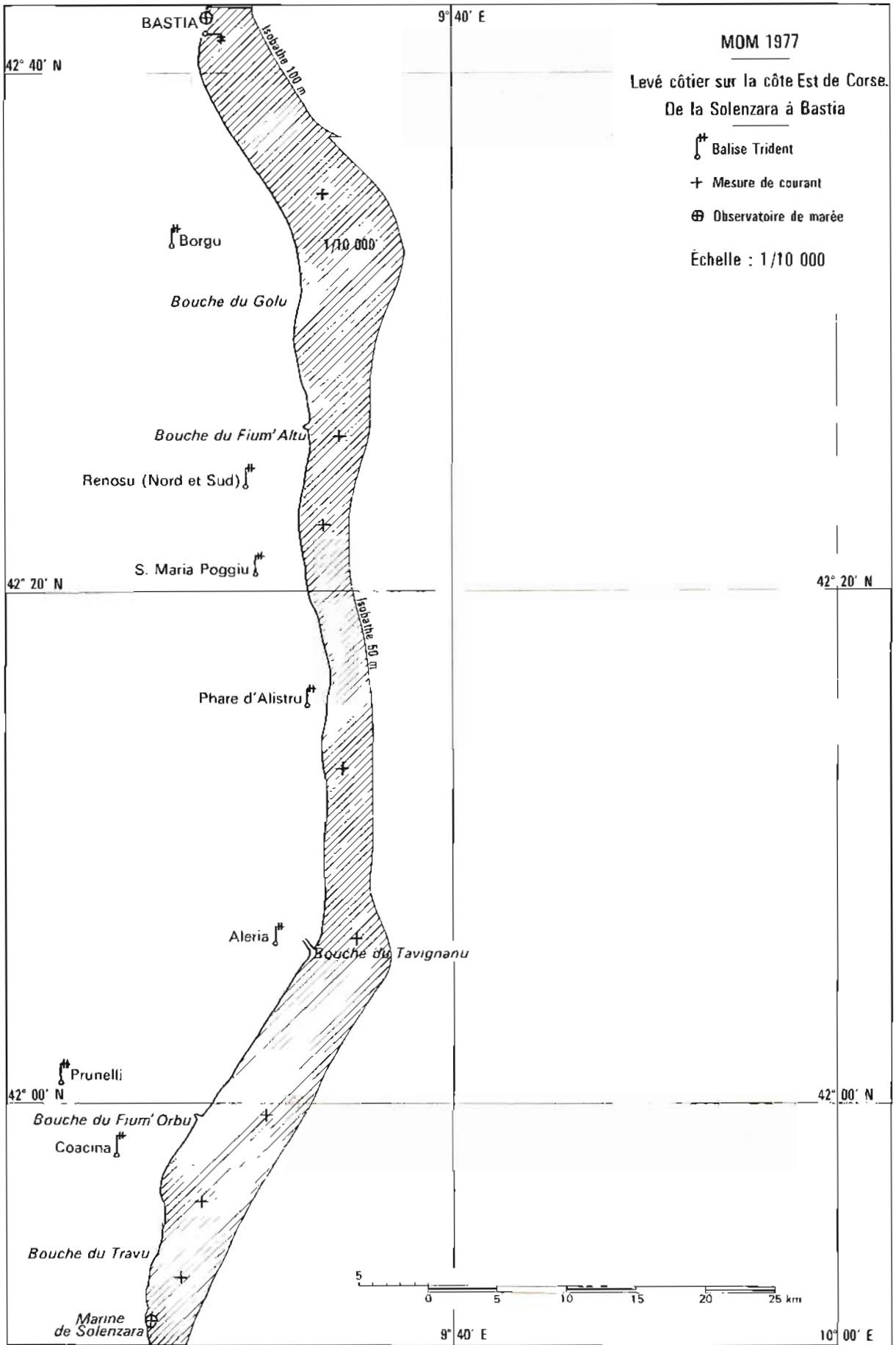
Il s'agit de deux têtes à 9,6 m et 9,5 m à 2 000 m environ au Nord de l'île Finochiarola. Elles ont été retrouvées l'une et l'autre. Pour la plus au large cotée 9,6 m sur les cartes en service on a trouvé 9,3 m. Sur la plus à terre on n'a pu trouver que 10,0 m au lieu de 9,5 m. Une exploration par plongeur a confirmé cette cote. Un dragage de vérification au plafond de 9 m a par ailleurs été effectué.

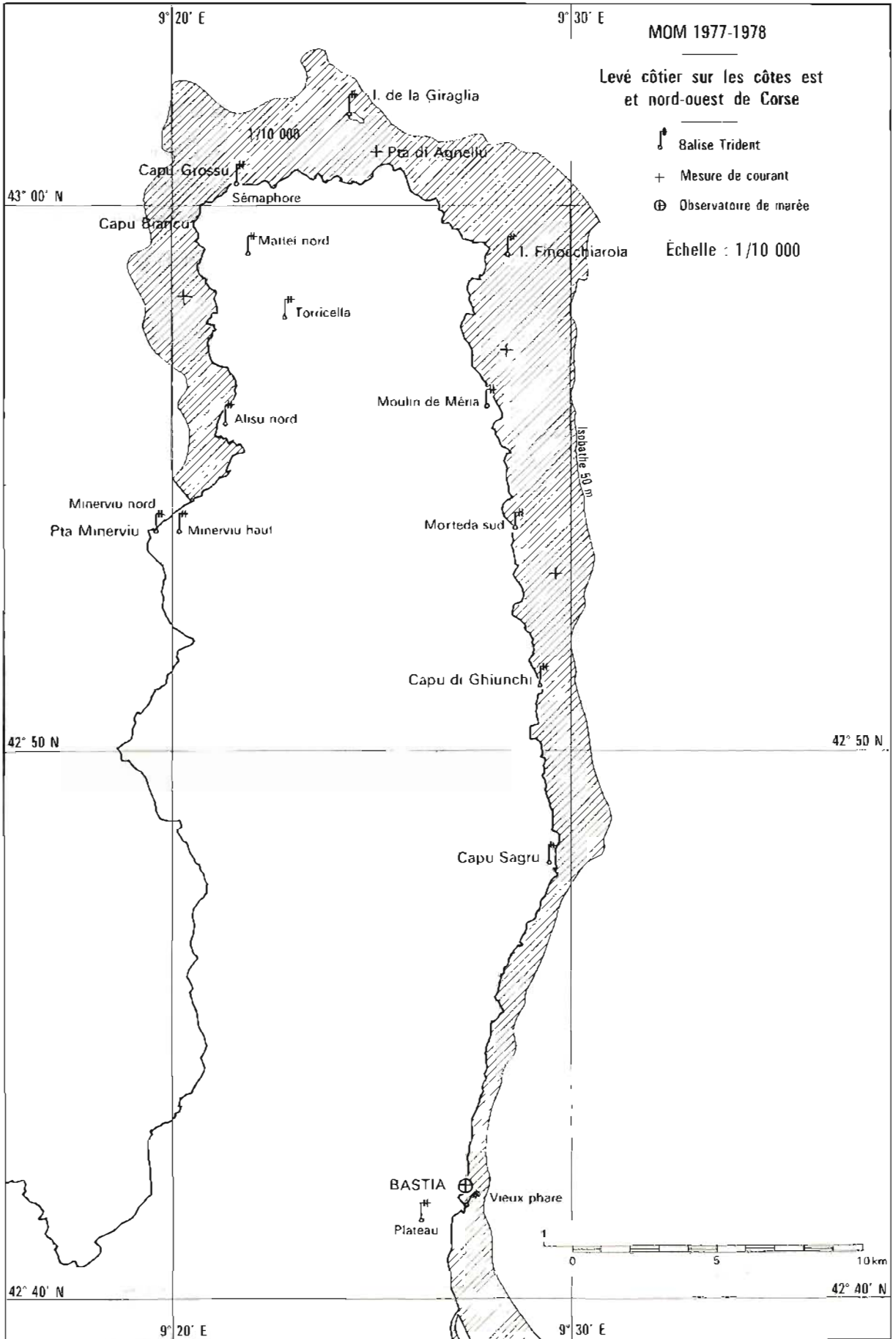
Dangers de Ste Marie.

Les cartes en service montrent par des fonds de 15 m environ un plateau rocheux avec deux têtes à 5 m et 5,6 m. La cote minimum trouvée a été de 5,3 m. Il convient, bien que la recherche ait été très poussée, de conserver la cote minimum ancienne à 5,0 m.

Passage entre la Giraglia et la terre.

Le levé a révélé des fonds moindres que ceux portés sur les cartes en service. En particulier la recherche d'un 12 m dans le SSE et à 700 m du phare de la Giraglia a amené la découverte d'un 8,8 m à une centaine de mètres dans la SSE de la tête recherchée. La rédaction a montré que les travaux effectués dans cette zone étaient insuffisants et qu'il conviendrait d'effectuer un levé de détail serré à l'espacement initial de 25 m environ. Ce travail complémentaire devait normalement être effectué par mon successeur.





Haut fond de Centuri

Les cotes minimum du haut fond Centuri, situées sur une sorte de crête rocheuse orientée Sud Est – Nord Ouest, étaient deux têtes à 14 m aux 2 extrémités de cette crête. Sur la tête NW (3 milles dans le NW de l'Îlot de Centuri) on a trouvé 13,8 m. Sur la tête SE (2,5 milles dans le NW de l'Îlot de Centuri) on n'a trouvé que 15,9 m. En fait, au cours des recherches on s'est laissé entraîner sur une nouvelle tête à 15,2 m (confirmée par plongeurs) 250 m environ plus au large. Il convient en conséquence, si d'autres travaux ne sont pas effectués, de conserver l'ancienne sonde à 14 m, *Sonde 17,0 R à 1500 m* dans le NW de l'Îlot de Centuri. Cette tête située dans des fonds supérieurs à 30 m a été recherchée au sondeur et explorée par les plongeurs. La côte minimale trouvée est de 17,8.

Sonde 0,4 m à proximité de l'Îlot de Centuri

L'Îlot de Centuri est débordé vers le NW par une avancée rocheuse qui culmine à la cote de 0,4 m, d'après les cartes en service au moment du levé. Des recherches poussées au sondeur, par plongeurs, à vue (avec le concours de pêcheurs locaux), par examen des photographies aériennes, n'ont pas abouti. La cote minimum trouvée est de 1,1 m. Les pêcheurs consultés semblaient ignorer l'existence de ce 0,4 m ; l'un deux a prétendu qu'un chalutier se serait échoué et que la tête aurait pu être arrasée à cette occasion. Je n'accorde guère de confiance au concours que ces pêcheurs ont pu apporter, d'autres circonstances ayant montré ultérieurement qu'il fallait se méfier de leur prétendue expérience. En conséquence, j'estime que ce 0,4 m doit être maintenu d'autant que, par une longue houle d'Ouest de faible amplitude, j'ai personnellement vu la mer briser dans les parages.

IV.4.3. Golfe de Portu Vecchiu. (v. Pl. 9).

Le levé du Golfe de Portu Vecchiu constitue un cas particulier, étant donné la nature de la zone à lever : golfe profond, fonds faibles sur une grande partie de la zone, présence de nombreuses roches.

Le levé initial fut effectué à l'espacement de 50 m avec localisation Trident et optique. Je rappelle que c'est à l'occasion de ce levé que l'on se rendit compte de l'inaptitude du Trident II à fonctionner correctement à très courte distance. L'espacement fut doublé, d'une part, suite à des instructions complémentaires, sur une partie de la côte Nord du Golfe (entre les pointes Benedettu et St Cyprien) et d'autre part dans un certain nombre de zone où la recherche des têtes une à une eut été impossible.

Les recherches de roches, soit portées sur les cartes, soit découvertes au cours du levé ont pris une grande place dans ces travaux.

D'une manière générale, mis à part quelques "ratés" ou omissions, toutes les têtes portées sur les cartes ont été retrouvées et leurs cotes en général nettement améliorées.

Les résultats principaux de ces travaux sont les suivants :

- Existence de fonds plus faibles que ceux portés sur la carte (têtes à 3,5 m par exemple, alors que ceux portés sur la carte étaient de l'ordre de 4,5 m) à droite du chenal balisé d'accès au port de Portu Vecchiu.

- Découverte d'une tête à 15 m dans des fonds de 20 m dans le 195 et à 450 m de la tourelle Pecorella ; 150 m plus au Sud environ la carte portait une cote à 18 m à proximité de laquelle on a trouvé un 15,8 m.

Enfin bien que cela soit en dehors du Golfe de Portu Vecchiu lui-même, découverte de deux têtes à l'entrée du Golfe de St Cyprien, l'une à 7,5 m par des fonds de l'ordre de 14 m, à 400 m et dans le Sud de l'Île Cornuta, l'autre à 4,1 m par des fonds de l'ordre de 10 m, à 250 m dans le Sud Ouest du sommet de cette même île.

IV.4.4. De St Cyprien à la Solenzara. (v. Pl. 6)

Les caractéristiques du levé dans cette zone ressemblent fort à celles rencontrées dans le Cap Corse ; 1^{ère} sous-zone, avec route côtière entre Solenzara et Fautea, 2^e sous-zone, sans route rôtère et rares accès à la côte entre Fautea et St Cyprien. Ceci entraîna l'usage combiné du Trident et du théodolite. Les principales difficultés consistant à atteindre le fond des baies (Favone ou Fautea par exemple) ou des Golfes (Golfes de Pinarellu et de St Cyprien).

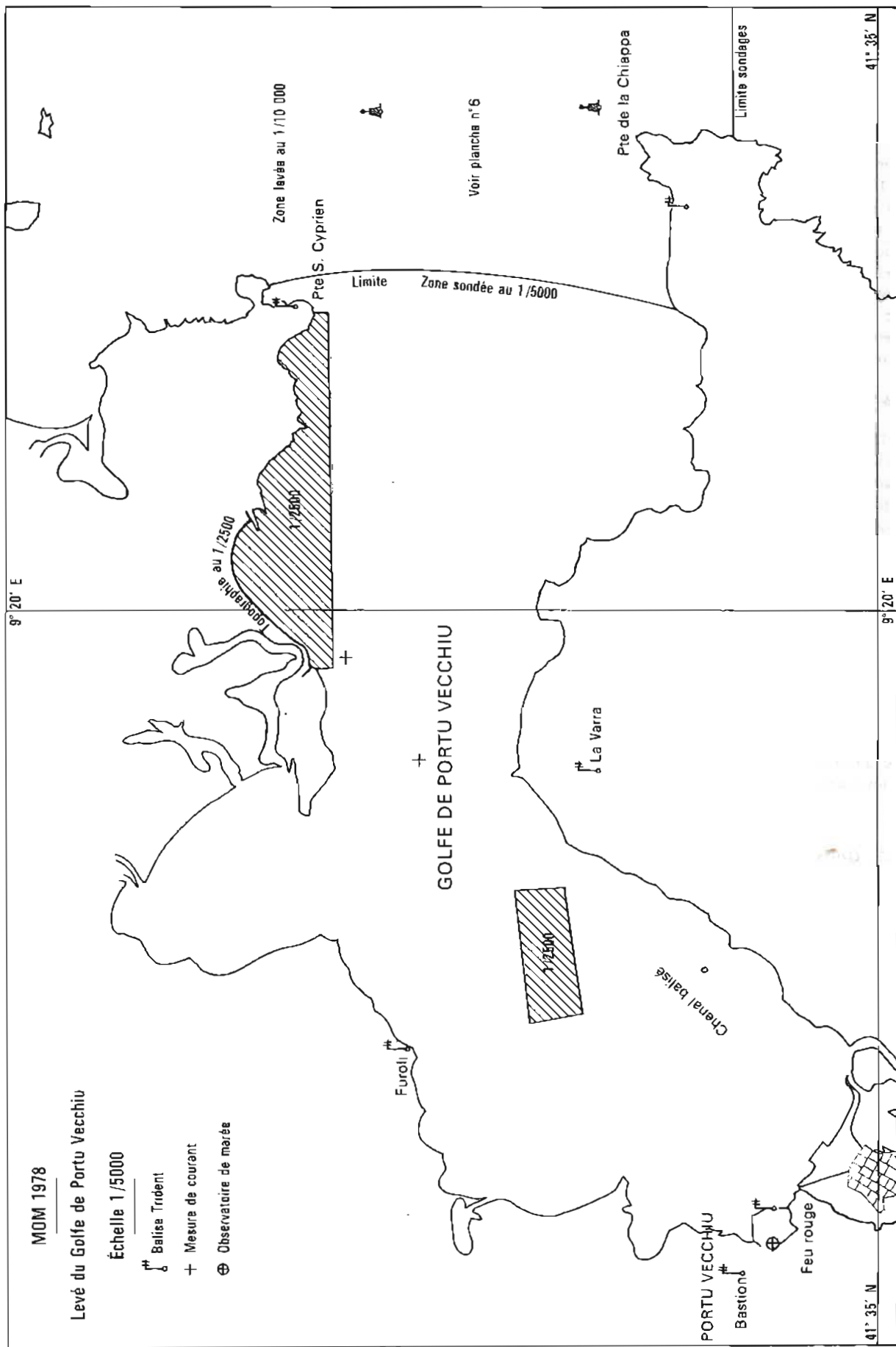
IV.5. TOPOGRAPHIE – TRIANGULATION

IV.5.1. Triangulation

Aux conditions topographiques générales qui ont amené à distinguer un certain nombre de zones aux caractéristiques spécifiques est venue s'ajouter le fait que la couverture géodésique de l'IGN n'était complète que dans la zone comprise entre la Solenzara et Bastia.

Ailleurs, on ne disposait que des points de 1^{er} et 2^e ordre et de ceux de la triangulation des ingénieurs hydrographes (Triangulation Hatt) à condition que les repères existent encore ou qu'on puisse les identifier avec certitude. A titre d'exemple, dans le Cap Corse, on ne retrouva aucun des points de Toricella ni aucun des signaux maçonnés des tours de Tollari ou de la Finocchiarola. Par contre, j'eus le plaisir de retrouver après près d'un siècle, perdue dans le maquis, la pyramide en maçonnerie de la "Punta ai Ghiunghi" (entre Pietra Corbara et Porticciolu).

Ainsi la triangulation entre la Solenzara et Bastia, pour les besoins du levé bathymétrique, ne posa guère de problème si ce n'est comme partout en pays montagneux les conditions d'accès à certains points et les problèmes habituels de visibilité vers l'intérieur depuis la côte. Aussi, quelques points ayant été placés à la côte pour les besoins de la sonde, les déterminations complémentaires nécessaires à la topographie se firent-



elles exclusivement par cheminement ou rayonnement au telluromètre.

Au Nord de Bastia et au Sud de la Solenzara ont fut amené à exécuter deux cheminements au telluromètre.

Le premier part du Sémaphore du Cap Sagru et s'en vient fermer sur le moulin de la Coscia.

Le deuxième part d'un point MOM sur la jetée du nouveau port de plaisance de la Solenzara et ferme sur le sémaphore de la Chiappa.

Les travaux sur la côte Nord du Cap Corse ne présentent guère de difficultés grâce essentiellement aux différentes tours existant encore, à l'île de la Giraglia et au sémaphore du Cap Corse.

Par contre, les conditions propres à la côte Ouest posèrent de sérieux problèmes : absence de points déjà existants, difficulté à créer des figures géométriques qui se coupent convenablement, impossibilité totale enfin de faire fonctionner le telluromètre sur cette côte particulièrement abrupte, en raison probablement des réflexions parasites. Fort heureusement, une équipe de L'IGN, en opération dans la région et qui travaillait au géodimètre (au faisceau beaucoup plus étroit), put nous passer les coordonnées de quelques points essentiels.

IV.5.2. Topographie

De la Solenzara à Bastia la restitution des photographies aériennes constitue la part essentielle du travail topographique. Les photographies d'excellentes qualités ont été complétées par les observations faites au cours des sondages et depuis la terre, à l'occasion des cheminements au telluromètre et du piquetage.

Dans ces conditions, étant donné en outre la maîtrise acquise par le TSO dessinateur de la MOM, je ne pense pas que des détails importants aient pu échapper. Il convient de noter que, sur ces photographies, les barres de sable dont il a été question au paragraphe IV.3.1., les différences de nature du fond (roche et algues d'une part, sable d'autre part) apparaissent nettement.

En ce qui concerne les barres, la concordance entre minutes de bathymétrie et de topographie est en général bonne. Il y a cependant quelques divergences que j'attribue essentiellement au déplacement des barres. Deux ans en effet environ séparent les prises de vue du levé bathymétrique et en quelques endroits les habitants nous ont effectivement fait part des déplacements parfois importants de ces barres (tempêtes, crues violentes à proximité des rivières, constructions d'ouvrages etc.

Tableau des Mesures de Courant effectuées sur les côtes de Corse

1. Année 1977

N° dossier MOM	Position		Immersion	Date et heure (TU + 2) Début et fin de station
	L	G		
2 Rech.	41° 56' 07" N	009° 26' 35" E	15 m	19/04/08 h 43 – 23/04/19 h 10
4 Rech.	41° 59' 15" N	009° 29' 06" E	15 m	30/04/10 h 52 – 06/05/12 h 40
5 Rech.	42° 06' 44" N	009° 34' 23" E	5 m	04/06/19 h 25 – 07/06/15 h 40
6 Rech.	"	"	15 m	04/06/19 h 34 – 07/06/15 h 42
7 Rech.	42° 12' 53" N	009° 34' 20" E	5 m	07/06/19 h 34 – 10/06/14 h 25
8 Rech.	"	"	15 m	06/06/19 h 31 – 10/06/15 h 58
9 Rech.	42° 22' 32" N	009° 32' 49" E	5 m	18/06/15 h 48 – 21/06/15 h 35
10 Rech.	"	"	15 m	18/06/15 h 42 – 21/06/15 h 35
12 Rech.	42° 53' 29" N	009° 29' 39" E	15 m	06/08/08 h 05 – 07/08/14 h 30
13 Rech.	42° 57' 26" N	009° 28' 15" E	5 m	09/08/11 h 30 – 12/08/15 h 20
14 Rech.	"	"	15 m	09/08/11 h 30 – 12/08/15 h 20
15 Rech.	42° 26' 20" N	009° 33' 50" E	5 m	23/08/15 h 50 – 26/08/10 h 30
16 Rech.	"	"	15 m	23/08/15 h 50 – 26/08/10 h 25
17 Rech.	43° 01' 01" N	009° 24' 52" E	5 m	14/09/15 h 15 – 15/09/17 h 10
18 Rech.	"	"	15 m	14/06/15 h 15 – 15/09/17 h 10
<i>Heure TU + 1 (heure d'hiver)</i>				
19 Rech.	42° 35' 19" N	009° 33' 13" E	5 m	26/09/15 h 55 – 29/09/09 h 15
20 Rech.	"	"	15 m	26/09/15 h 55 – 29/09/09 h 18
21 Rech.	41° 53' 19" N	009° 25' 36" E	5 m	05/10/09 h 14 – 06/10/09 h 15
22 Rech.	"	"	15 m	05/10/09 h 09 – 06/10/09 h 15

2. Année 1978

1 Rech.	41° 36' 37" N	009° 19' 21" E	5 m	26/05/15 h 00 – 30/05/17 h 00
2 Rech.	41° 36' 58" N	009° 19' 50" E	3 m	26/05/16 h 58 – 30/05/17 h 35
3 Rech.	41° 36' 37" N	009° 19' 21" E	3 m	01/06/14 h 42 – 03/06/08 h 40
4 Rech.	41° 36' 58" N	009° 19' 50" E	6 m	01/06/15 h 50 – 03/06/09 h 10
5 Rech.	42° 57' 44" N	009° 02' 42" E	5 m	18/09/17 h 30 – 20/09/11 h 15
6 Rech.	"	"	15 m	"

Sur les côtes rocheuses les photographies ont été renseignées avec soin sur le terrain et toutes les roches cœtières ont été en principe répertoriées.

IV.6. COURANTS

Des mesures de courant de durée variable, aux immersions de 5 et 15 mètres, furent effectuées à chaque mouillage de la *Recherche* de manière à surveiller constamment les appareils. Ceci permit de ne perdre aucun matériel et, en dehors de quelques exceptions, les mesures, bien que les courants soient très faibles, paraissent en général bonnes. A l'occasion d'un mouillage de courte durée à l'ouvert de la vallée de Luri on a constaté un courant en surface d'une force exceptionnelle de l'ordre de 1,5 nœuds que rien dans les conditions météorologique du moment ou d'un passé récent ne permettant d'expliquer. Une ligne de courantométrie fut aussitôt mouillée pour un peu plus de 24 heures. Malheureusement, un seul des courantographes, celui à 15 m, fonctionna correctement. J'avais envisagé de

refaire une mesure au même point. Le déroulement ultérieur des travaux ne m'en donna pas l'occasion.

Les différentes mesures effectuées font l'objet du tableau ci-dessus (p. 75).

IV.7. MARÉE

La marée fut observée pour les besoins du levé à Bastia, Solenzara, Portu Vecchio et Calvi. Par ailleurs, indépendamment du levé, des observations de longue durée furent effectuées à Bastia et Ajaccio.

A Bastia le marégraphe installé dans le nouveau port fut laissé en place à l'issue de la Campagne 77 et fonctionna de façon continue pendant un an sous la surveillance de la capitainerie du Port.

A Ajaccio un marégraphe fut installé en février 1978, pour une durée minimum de un an dans la darse de la B.A.N. d'Asprettu à l'occasion d'un levé de détail que l'on effectua dans cette darse (voir chapitre VIII).

Les descriptions et les cotes des repères des différents observatoires font l'objet des tableaux ci-dessous.

Observatoire de Bastia (v. Pl. 10)

Désignation	Description	Cote par rapport au Zéro NGC	Cote par rapport au niveau de réduction des sondes
A Repère fondamental	Repère du NGC MM'3 scellé dans le mur à l'enracinement de la jetée du nouveau port (quai Nord)	+ 2,385 m	+ 2,715 m
B	Bolard à l'extrémité Sud du quai Fango	+ 2,143 m	+ 2,473 m
C	Organeau sur l'arrête Nord du terre-plein d'embarquement des véhicules	+ 1,663 m	+ 1,993 m
D	Repère du NGC MM'1 scellé dans le mur de la gare	+ 12,673 m	+ 13,003 m

Nota : Le zéro hydrographique a été établi par concordance avec celui de Toulon (33 cm au-dessous du NGC).

Le zéro ancien était défini par rapport au quai du nouveau port et du môle Génois. Au nouveau port, le zéro nouveau semble être en bon accord avec l'ancien qu'on pense avoir sensiblement identifié ; au môle Génois, le zéro ancien n'a pu être retrouvé.

Observatoire de Solenzara (v. Pl. 11)

Désignation	Description	Cote par rapport au Zéro NGC	Cote par rapport au niveau de réduction des sondes
A	Médailon du NGC FM' 147 situé à 0,50 mètre du sol dans le mur d'un pont d'une ancienne voie ferrée au lieu-dit Cansa di Bavella	+ 7,701 m	+ 8,061 m
B	Organeau scellé dans le quai à l'enracinement de la digue du port de plaisance de Solenzara	+ 0,847 m	+ 1,207 m
C	Repère focal. Croix gravée dans une console en ciment (côte indiquée 5,840) située à proximité du port de plaisance de Solenzara	+ 5,820 m	+ 6,180 m

Nota. Le zéro hydrographique a été établi par concordance avec celui de Bastia. Une concordance de vérification a été également faite avec Toulon. 36 cm au-dessous du NGC.

Observatoire de Portu Vecchiu (v. Pl. 12)

Désignation	Désignation	Cote par rapport au Zéro NGC	Cote par rapport au niveau des sondes
A	Repère du NGC FM'205 scellé dans le tablier d'un ponceau, au lieu-dit Porretta	3 895	4 225
B	Repère en acier type NGF scellé dans un murin sur la route située en bord de mer, direction Zonza	3 043	3 373
C	Anneau en fer scellé dans le quai près du marégraphe	0 633	0 963

Nota. Le zéro hydrographique a été établi par concordance avec celui de Bastia (33 cm au-dessous du NGC)

Observatoire de Calvi (v. Pl. 13)

Désignation	Désignation	Cote par rapport au Zéro NTC	Cote par rapport au niveau de réduction des sondes
A	Repère NGC FM 228 scellé dans le parapet (côté mer) de la route venant du quai des pêcheurs et allant vers la gare	2, 535	2,805
B	Sommet d'un tube acier scellé dans jeté Nord de Calvi près du feu d'entrée	1,217	1,487
C	Sommet de la bitta à l'extrémité Sud du quai Landry	2,113	2,383
D	Repère NGC FM 229 scellé dans le mur de la gare de Calvi	6,141	6,411
F	Sommet de la patte d'ancre scellée dans le quai près de la tour de Sel.	1,824	2,094
G	Anneau scellé dans le quai à proximité de la Tour de Sel	1,986	2,256

Nota. 1) Le zéro hydrographique est celui déterminé par l'ICA Bonnot et vérifié par une concordance avec Toulon.

2) La cote du repère B est différente de celle donnée par l'Ica Bonnot par suite d'un léger affaissement du quai consécutif à des travaux.

Observatoire d'Asprettu (v. Pl. 14)

A	Repère de NGC FM'2 à l'entrée du Tunnel d'Asprettu (voie ferrée Bastia-Ajaccio)	7,642	8,016
B	Boulon scellé dans le mur de la jetée près du bâtiment de commandement.	2,337	2,711

Nota. Le zéro hydrographique à Ajaccio est défini par rapport à des repères situés au Port de commerce. Sa cote par rapport au NGC est de 0,374. Le zéro hydrographique donné pour l'observatoire d'Asprettu n'a pas été rattaché aux repères du port de commerce par un nivellement direct, mais par l'intermédiaire du nivellement général de la Corse auquel est rattaché le repère A.

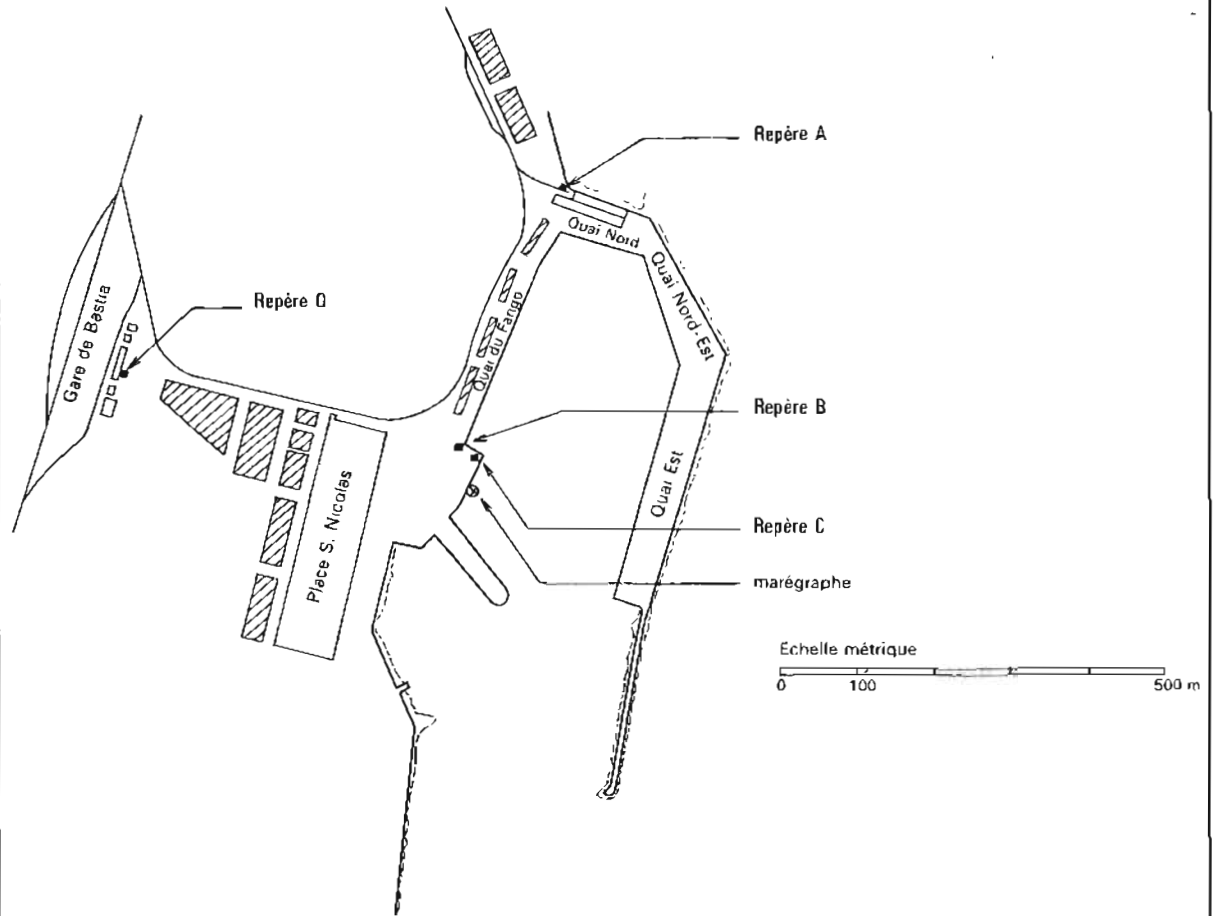
IV.8. DOCUMENTS ETABLIS

26 minutes de bathymétrie à l'échelle de 1/10 000 ;
2 minutes de bathymétrie à l'échelle de 1/ 5 000 ;
19 minutes de topographie à l'échelle de 1/10 000 ;

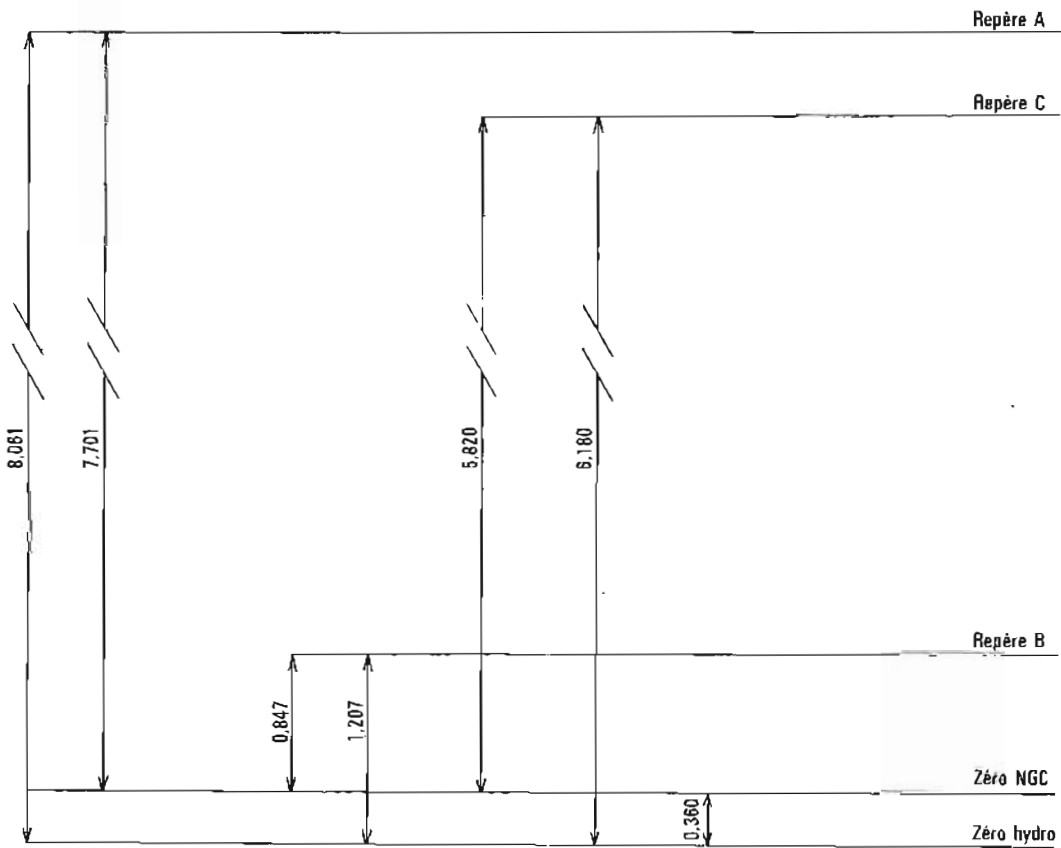
11 minutes des natures du fond à l'échelle de 1/20 000 ;
135 fiches géodésique d'amers ;
5 fiches descriptives d'observatoire de marée,
25 dossiers du courantométrie,
4 fiches d'épaves.

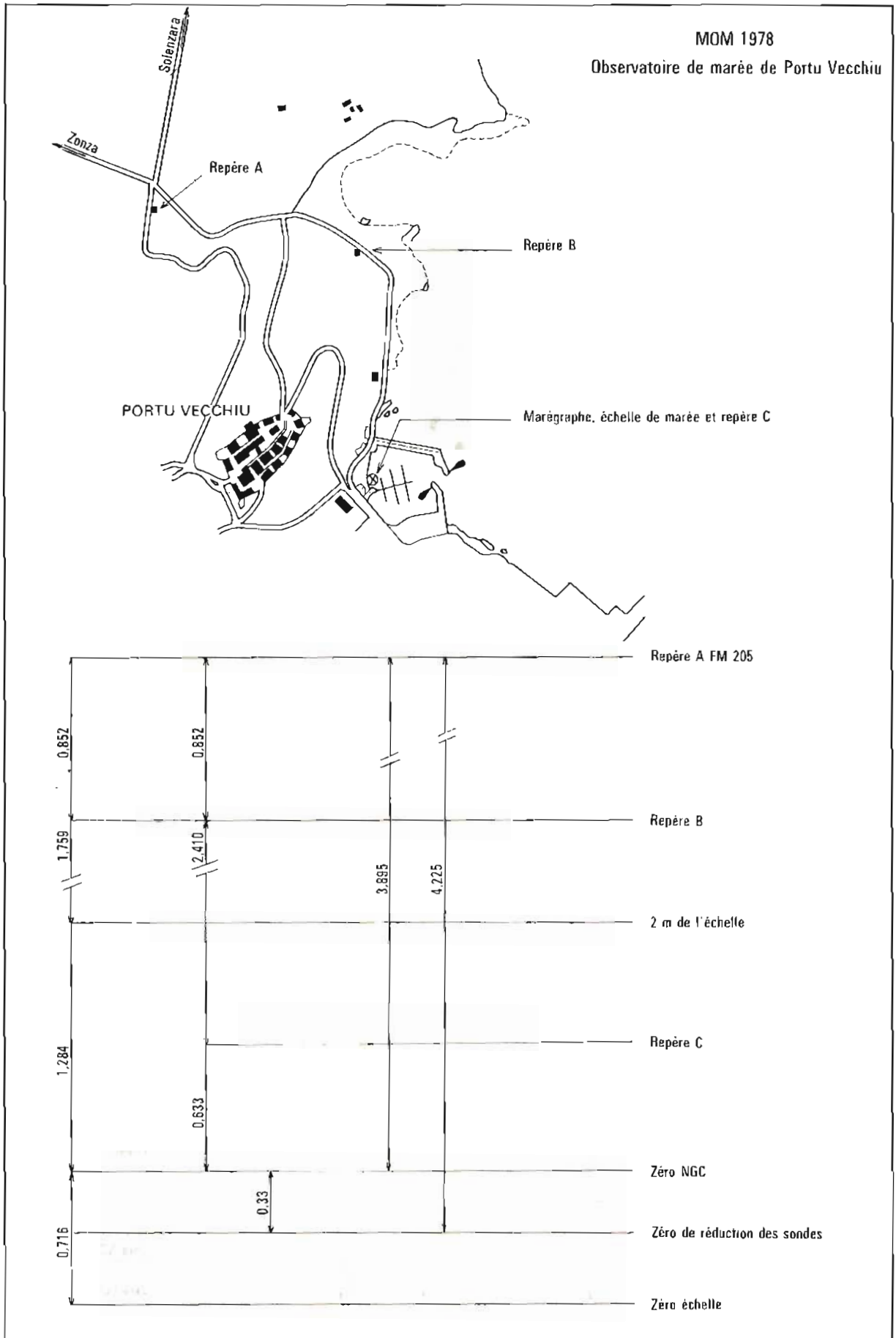
MOM 1976-1978

Observatoire de marée de Bastia

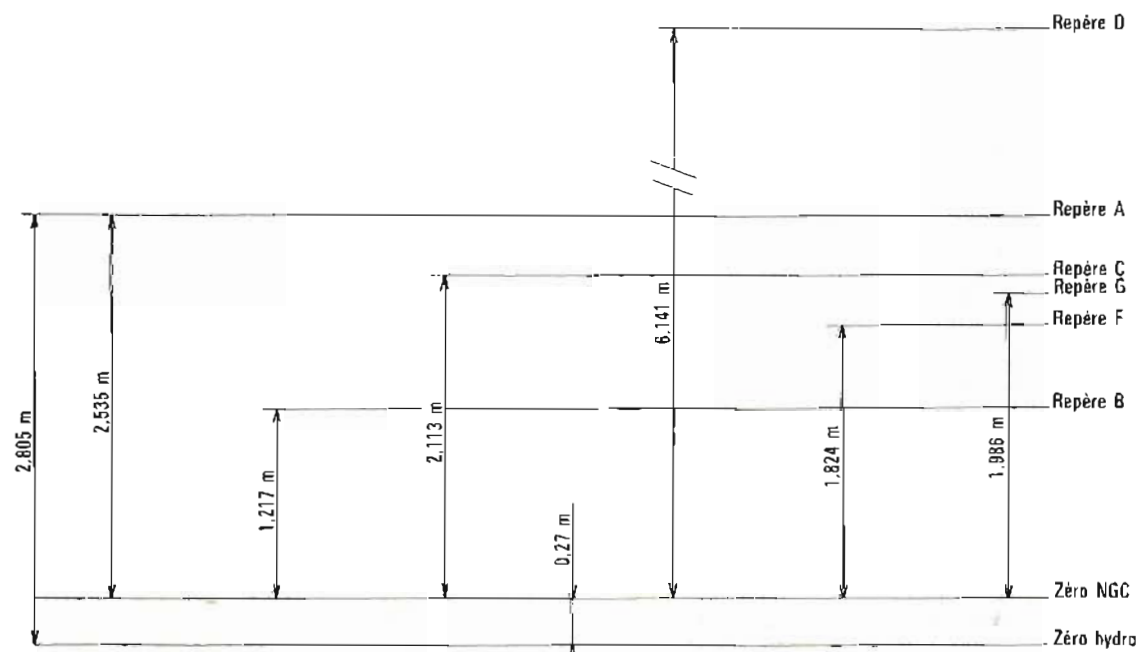
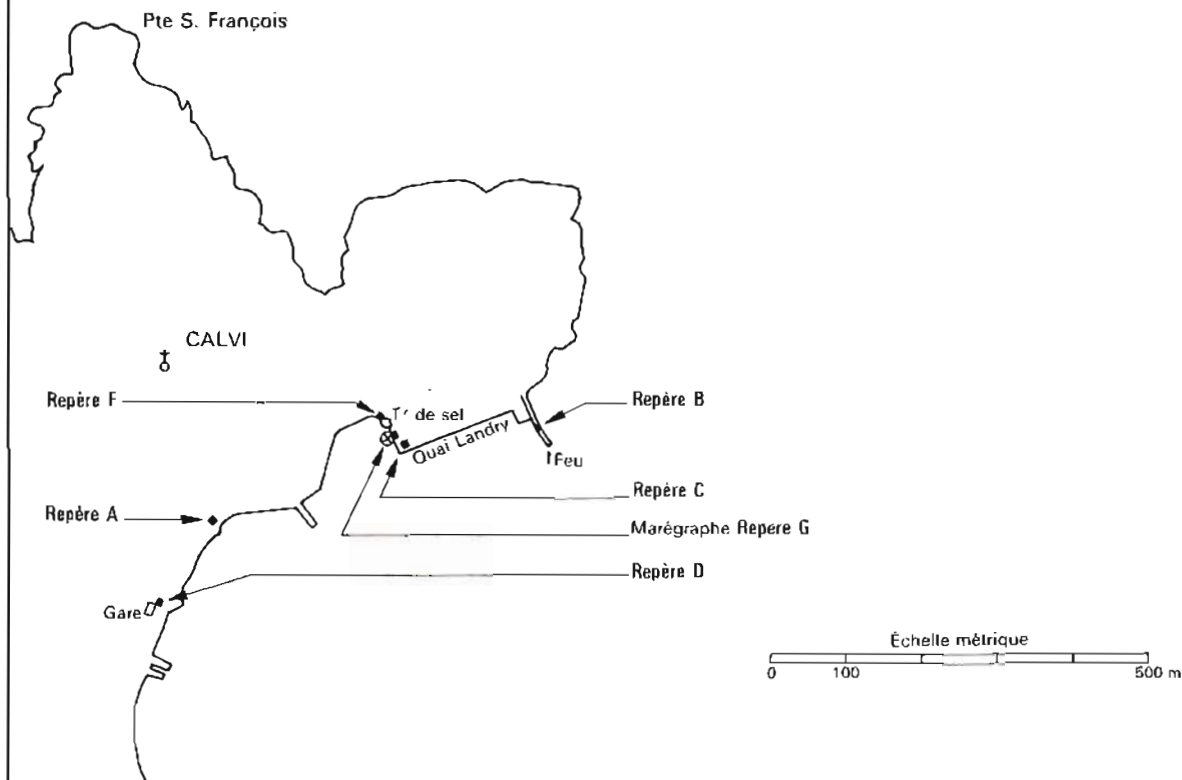


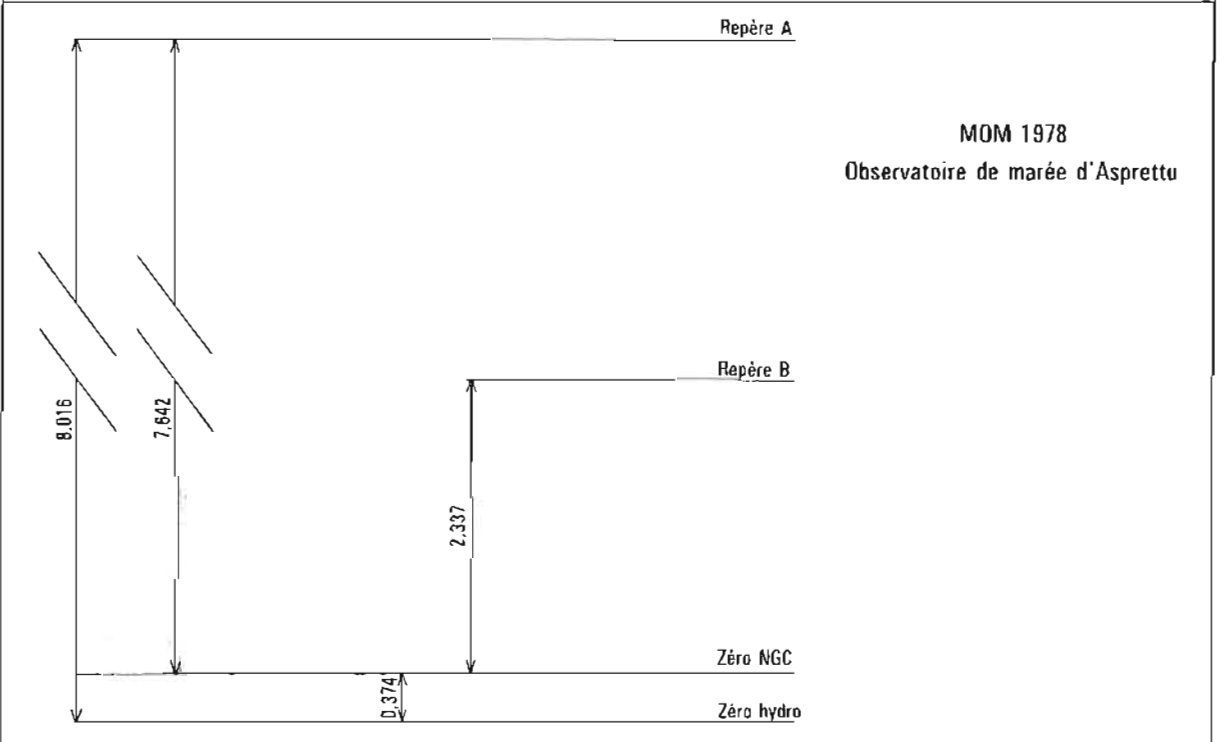
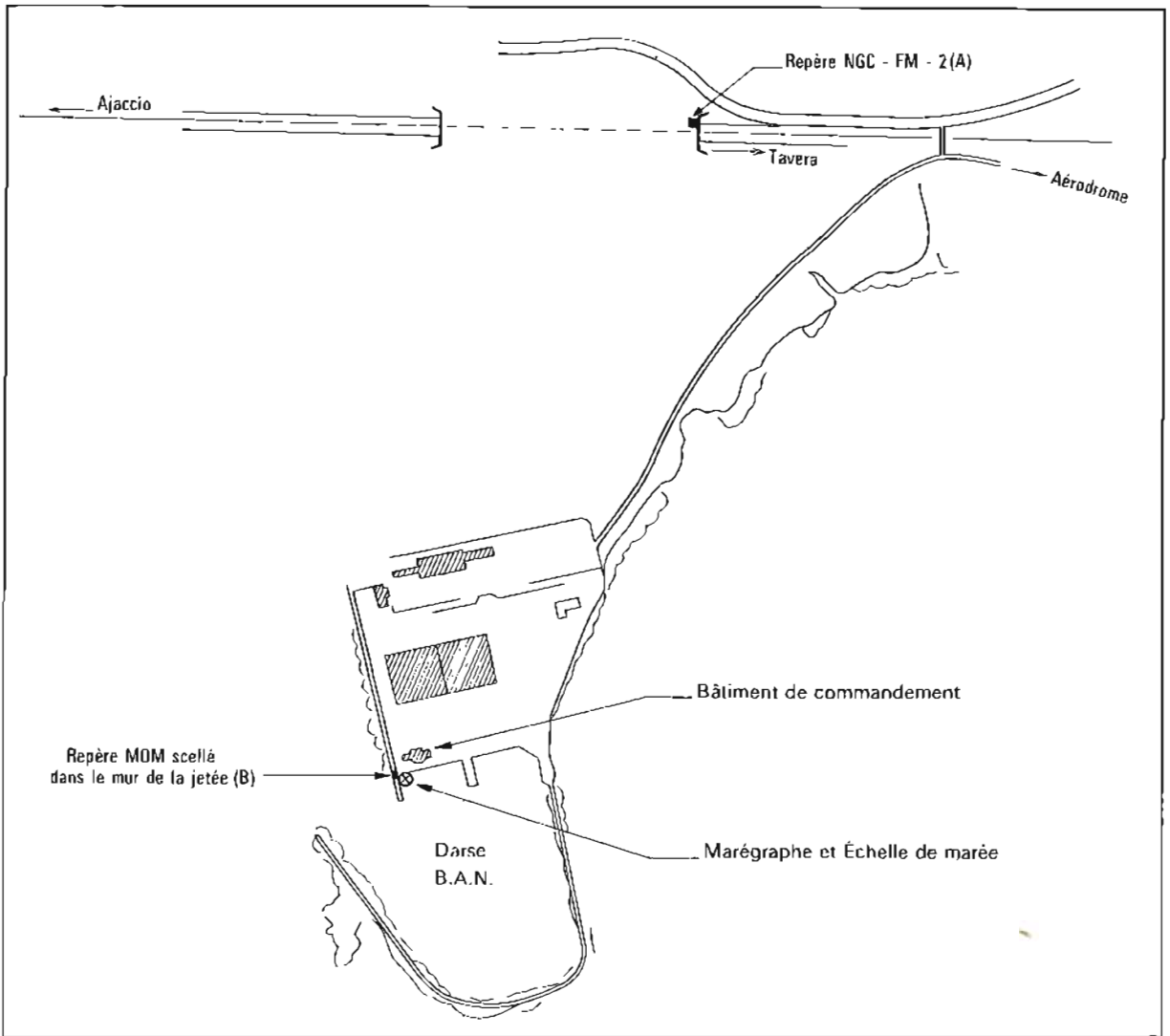
MOM 1977
Observatoire de marée de Solenzara



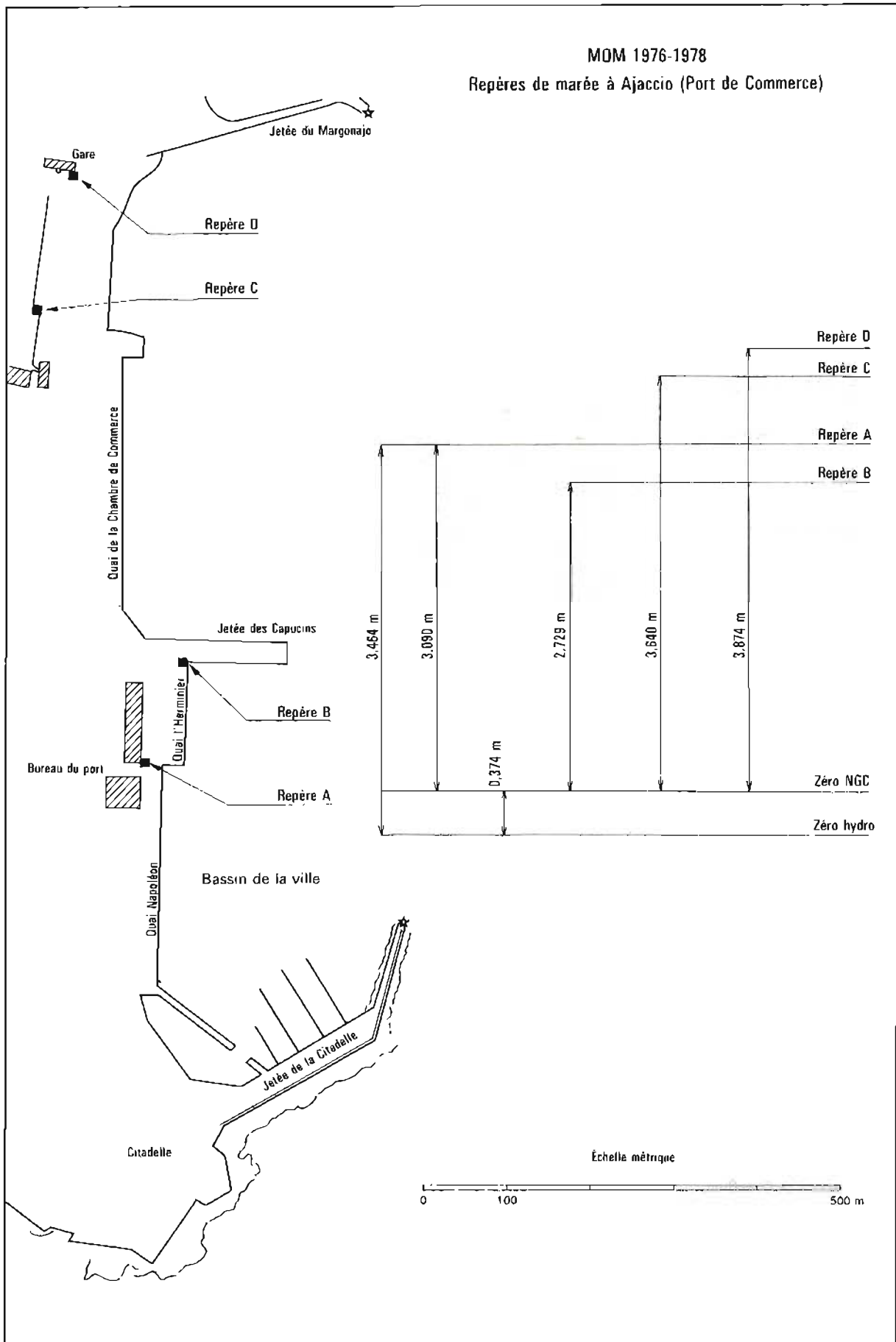


MOM 1977-1978
Observatoire de marée de Calvi





MDM 1976-1978
Repères de marée à Ajaccio (Port de Commerce)



ANNEXE AU CHAPITRE IV
COORDONNEES DES AMERS ET DES POINTS REPERES. PROJECTION LAMBERT IV
SYSTEME GEODESIQUE 69-70

Désignation	Repère			Classement	Observations Origine
Silo à ciment de Portu Vecchlu	Axe	577 935,7 09° 16' 27",66	146 764,5 41° 36' 05",37	1	
Clocher de Portu Vecchlu	Axe	578 480,21 09° 16' 47",12	145 630,85 41° 35' 27",31	1	IGN
Bastion de Portu Vecchlu	Croix gravée	578 641,2	145 723,7		
Feu rouge de Portu Vecchlu	Axe	578 999,7 09° 17' 09",32	145 586,1 41° 35' 24",49	1	
Feu rouge de Portu Vecchlu	Croix gravée	579 001,5	145 584,2		
Feu vert de Portu Vecchlu	Axe	579 032,4 09° 17' 10",83	145 615,5 41° 35' 25",36	1	
Feu de Pozzoli	Axe de la Tour	579 123,0 09° 17' 22",04	147 697,7 41° 36' 32",39	1	
Balise rouge et blanche	Axe	579 351,0 09° 17' 24",92	145 723,6 41° 35' 28",01	1	
Furoli	Repère en laiton	579 827,0	147 934,0		
Antenne Est de La Varra	Axe	581 594,2 09° 19' 05",7	146 750,4 41° 35' 55",25	1	
Antenne Ouest de La Varra	Axe	581 574,9 09° 19' 04",22	146 747,4 41° 35' 55",21	1	
Tour de St Cyprien	Angle N W	583 690,2 09° 20' 46",95	150 049,0 41° 37' 36",25	1	IGN
Phare de St Cyprien	Axe	584 540,2 09° 21' 20",15	149 092,9 41° 37' 03",10	2	IGN
<i>Sémaphore de la Chiappa</i>				3	
Mat	Axe	585 390,9 09° 21' 48",11	146 653,0 41° 35' 42",02		
Plateforme	Centre	585 387,6 09° 21' 47",96	146 651,8 41° 35' 41",99	2	
Antenne Ouest de La Chiappa	Axe	585 494,5 09° 21' 52",61	146 665,5 41° 35' 42",15	2	
Antenne Est de La Chiappa	Axe	585 554,1 09° 21' 55",20	146 673,8 41° 35' 42",26	2	
Phare de La Chiappa	Axe	585 599,34 09° 21' 57",17	146 679,72 41° 35' 42",33	3	
Balise Pecorella	Axe	585 817,9 09° 22' 13",64	148 668,7 41° 36' 45",99		
Balise Chiappinu	Axe	585 967,4 09° 22' 15",07	147 258,5 41° 36' 00",04	2	
Maison blanche de Cirendinu	Angle Sud du mur	585 334,1 09° 22' 06",48	152 513,2 41° 38' 51",48	1	
Maison blanche de Cirendinu	Douille MOM 78	585 297,2	152 452,5		
Tour de Pinarellu	Axe	587 165,4 09° 23' 35",02	155 222,8 41° 40' 14",12	2	IGN
Tour de Pinarellu	Repère MOM	587 157,6	155 218,7		MOM

Désignation	Repère			Classement	Observations Origine
Tour Fautea	Axe	587 856,2 09° 24' 22",02	160 045,3 41° 42' 48",05	2	
Tour Fautea	Repère MOM 76	587 862,1	160 049,0		
Pylone de Telica	Axe	586 129,0 09° 23' 16",97	162 681,0 41° 44' 17",82	3	
La Guardia	Douille 77	587 538,8	165 917,1		
La Guardia	Croix Gravée	587 536,0	165 923,3		
Maison basse de la Guardia	Axe de la cheminée	587 465,8 09° 24' 26",35	165 955,6 41° 46' 00",02	1	
Hôtel la Guardia	Angle Sud-Est	587 223,1 09° 24' 16",40	166 102,3 41° 46' 05",41	1	
Hôtel la Guardia	Angle Nord-Est	587 226,3 09° 24' 16",63	166 129,6 41° 46' 06",28	1	
Cala d'Oru	Douille 1977	586 901,6	172 211,5		
Sari di Portu Vecchiu	Axe du clocher	583 968,8 09° 22' 22",46	173 529,2 41° 50' 14",02	1	Le village de SARI constitue un détail topographique d'ordre 3.
Sari di Portu Vecchiu	Douille 76	583 990,5	173 541,2		
Jetée du Port de Solenzara	Croix gravée	586 320,7	176 225,7		
Jetée du Port de Solenzara	Douille	586 320,2	176 225,0		
Maison du Berger	Pignon Nord-Ouest	585 002,3 09° 23' 14",42	175 575,1 41° 51' 17",35	2	
Maison Sepalu	Pignon Sud-Est	582 867,6 09° 21' 50",72	177 969,9 41° 52' 40",41	2	
Clocher de Solaru	Axe	579 674 09° 19' 42",14	180 635 41° 54' 15",00	1	Le village de Solaru constitue un détail topographique d'ordre 3
<i>Tour de contrôle de Solenzara</i>				1	
Mat central	Axe	585 384,9 09° 23' 58",21	183 183,7 41° 55' 22",11	1	
Antenne Nord Ouest	Axe	585 380,9	183 187,7		
Citernes de Solenzara	Axe des 2 citernes	586 260,9 09° 24' 37",10	183 464,5 41° 55' 28",83	1	
Clocher de Ventiseri	Axe	579 764 09° 20' 01",17	184 896 41° 56' 32",41	2	IGN – Le village de Ventiseri constitue un détail topographique d'ordre 3
Maison Piedicervu	Pignon N-W	583 145,8 09° 22' 29",14	185 360,1 41° 56' 38",40	1	La plus caractéristique d'un groupe isolé de 5 maisons
Chateau en ruine de Coacina	Centre	582 225 09° 21' 58",08	187 820 41° 58' 00",32	3	
Chateau en ruine de Coacina	Douille MOM	582 225,0	187 800,0		
Clocher de Serra di Fiumoru	Axe	579 600,51 09° 20' 10",67	189 557,82 41° 59' 03",44	2	IGN
Tour de Calzarellu	Axe du mat	588 042,4 09° 26' 20",09	190 655,4 41° 59' 16",32	3	IGN
Tour de Migliacciaru	Axe	584 748,3 09° 24' 01",17	191 685,5 41° 59' 58",45	1	IGN

Désignation	Repère			Classement	Observations Origine
Clocher de Prunelli di Fiumorbu	Axe	578 324,79 09° 19' 25",13	192 286,80 42° 00' 34",99	1	IGN – Le village lui-même constitue un détail topographique d'ordre 4
Château d'eau d'Aleria	Axe	589 824,1 09° 28' 25",30	203 906,1 42° 06' 19",51	3	
Clocher d'Aleria	Axe	593 000,0 09° 30' 43",62	204 084,3 42° 06' 16",00	2	IGN
Maison de Padulone	Pignon Est	596 086,0 09° 33' 01",33	205 256,0 42° 06' 46",07	1	
Cuve Sud de Padulone	Axe	596 098,9 09° 33' 03",34	205 514,5 42° 06' 54",37	1	
Cuve Nord de Padulone	Axe	596 100,6 09° 33' 03",44	205 522,4 42° 06' 54",64	1	
Tour de Diana	Sommet de la ruine	596 292 09° 33' 22",84	208 634 42° 08' 31",38	1	
Jetée de Diana	Croix peinte	596 333,6	208 622,3		
Pylone TV d'Antisantì	Axe	578 391,1 09° 20' 30",98	209 965,2 42° 10' 05",89	3	Le village lui-même constitue un détail topographique d'ordre 4
Maison Riva Bella	Pignon Nord	596 011,0 09° 33' 15",96	209 986,2 42° 09' 19",05	1	
Tour de contrôle de Diana	Axe	594 326,6 09° 32' 12",82	212 701,7 42° 10' 51",36	1	MOM 74
Tour en ruine de Bravone	Sommet de la ruine	595 558,2 09° 33' 12",40	214 359,8 42° 11' 41",54	2	
Maison Giustiniana	Angle NE	594 233,9 09° 32' 28",37	218 029,0 42° 13' 43",65	1	
Sémaphore en ruine d'Alstru	Axe	593 966,9 09° 32' 29",53	221 502,6 42° 15' 36",58	1	
Phare d'Alstru	Axe	593 910,3 09° 32' 27",13	221 518,2 42° 15' 37",24	3	IGN
Tour Falcone (Ruine)	Sommet	592 467,5 09° 31' 26",70	222 143,4 42° 16' 01",37	2	IGN
Pylone TV d'Alstru	Axe	594 497,3 09° 33' 02",64	224 231,1 42° 17' 03",25	1	
Maison "Pointe de la Guardia"	Centre	592 653 09° 31' 55",44	227 772 42° 19' 02",65	1	Restitution photographique
Clocher Cervlone	Axe	589 208,6 09° 29' 30",11	229 017,1 42° 19' 52",23	2	IGN – Le village lui-même constitue un détail topographique d'ordre 4
Maison de la nuit	Pignon S-E	592 362,2 09° 31' 51",64	230 178,7 42° 20' 21",17	2	
<i>Feux du Port de Campolaru</i>					
Feu vert	Axe	593 230,2 09° 32' 30",25	230 404,0 42° 20' 26",07	1	
Feu rouge	Axe	593 262,3 09° 32' 31",88	230 467,9 42° 20' 28",05	1	
Clocher de San Nicolau	Axe	589 546,7 09° 30' 00",75	233 366,3 42° 22' 11",78	2	IGN

Désignation	Repère			Classement	Observations Origine
Eglise de Peru Casavecchia	Axe du clocher N-E	586 386,9 09° 28' 00",12	238 027,2 42° 24' 50",88	2	IGN — Seule église de la région ayant un double clocher qui la rend identifiable
Dome de la CNRO	Axe	592 091,7 09° 32' 17",56	240 419,3 42° 25' 52",63	3	
Sphère à Gaz de Furiani	Axe	582 453,9 09° 26' 48",28	265 392,5 42° 39' 45",32	2	
Clocheton Hotel Carnèlla	Axe	580 928,4 09° 25' 52",96	268 529,7 42° 41' 30",74	1	
Pylone TV Serra di Pignu	Axe	578 328,7 09° 23' 59",36	268 589,1 42° 41' 39",64	4	
Immeuble Turete	Centre de cheminée	581 955 09° 26' 38",51	268 696 42° 41' 33",35	1	
Relais de l'armée de l'air au Fort Lacroix	Axe	581 878,0 09° 26' 35",16	268 700,2 42° 41' 33",69	1	
Clocher de Sainte Marie	Axe	582 640,91 09° 27' 08",63	268 719,93 42° 41' 32",27	3	
Anclon phare de Bastia	Axe	582 717,1 09° 27' 12",26	268 800,8 42° 41' 34",68	1	
Feu de la Jetée du Dragon	Axe	582 793,7 09° 27' 16",14	268 941,2 42° 41' 39",01	2	
Feu du Mole Genoïs	Axe	582 709,8 09° 27' 12",67	269 001,8 42° 41' 41",19	2	
Feu vert du Port Saint Nicolas	Axe	582 904,3 09° 27' 22",63	269 395,2 42° 41' 53",37	2	
Balise Lumineuse du port Saint Nicolas	Axe	582 740,0 09° 27' 16",10	268 578,1 42° 41' 59",72	1	
Clocher N.D. de Lourdes	Axe	582 611,3 09° 27' 11",68	269 908,0 42° 42' 10",72	1	
Clocher de Ste Lucie	Axe	581 038,9 09° 26' 05",88	270 743,4 42° 42' 41",94	2	
Criscione	Croix gravée	583 084,2	273 317,7		
Tour de Miomu	Axe de la guerite	582 981,3 09° 27' 43",68	274 222,2 42° 44' 29",05	1	IGN
Lavasina	Croix peinte	583 395,7	275 481,8		
Clocher de Pozzu	Axe	582 633,8 09° 27' 40",05	277 384,5 42° 46' 12",12	2	IGN
Tour d'Erbalunga	Axe	583 928 09° 28' 38",62	277 888 42° 46' 24",87	1	IGN
Tour d'Erbalunga	Croix gravée	583 934,8	277 879,8		
Sagru	"	584 877,9	280 294,7		
Sémaphore de Sagru	Axe	584 653,1 09° 29' 20",67	280 677,1 42° 47' 52",98	3	IGN
Pylone TV de Sagru	Axe	584 320,9 09° 29' 08",68	281 375,6 42° 48' 16",44	2	
Siscu	Croix gravée	584 875,7	281 620,4		
Couvent de Ste Catherine	Pignon Sud	584 330 09° 29' 14",36	282 812 42° 49' 02",78		

Désignation	Repère			Classement	Observations Origine
"	Axe du donjon	584 291 09° 29' 12",59	282 797 42° 49' 02",42		
Tour d'Aquila (Ruine)	Centre	583 734 09° 28' 54",62	284 551 42° 50' 00",57	2	IGN
Pietra Corbara (Sud)	Croix gravée	583 830,3	284 845,8		
Pietra Corbara (Nord)	Douille de borne ciment	583 835,3	285 509,9		
Giunchi	"	583 874,8	286 557,6		
Tour de Losse	Axe	583 433,7 09° 28' 52",65	287 595,9 42° 51' 39",71	1	IGN
Porticciolo Sud	Croix gravée ds borne ciment	583 501,5	287 944,2		
Torra Marina	Croix gravée	583 142,8	288 771,1		
Santa Severa Sud	"	583 001,9	289 758,1		
Jetée de Santa Severa	"	582 806,8	290 511,0		
Mortela Sud	"	582 526,5	291 876,2		
Mortada Nord	"	582 362,4	292 152,1		
Caracu Sud	"	582 235,6	292 940,0		
Caracu Nord	"	582 141,0	294 056,5		
Meria Sud	"	582 154,8	294 485,8		
Tour de Meria	Axe	581 631,2 09° 28' 03",11	295 643,6 42° 56' 04",47	1	IGN
"	Croix gravée	581 638,7	295 642,3		
Meria Nord	Douille ds borne ciment	581 741,5	295 819,8		
Moulin de Meria	Axe	581 669,5 09° 28' 05",44	295 820,0 42° 56' 10",06	1	
Clocher de Tominu	Axe	579 296,5 09° 26' 24",54	296 741,7 42° 56' 46",23	2	IGN
Moulin de Macinaggiu	Axe	580 386,0 09° 27' 15",58	297 600,8 42° 57' 11",04	2	
Chapelle de Macinaggiu	Axe du clocheton	580 236,0 09° 27' 11",39	298 255,7 42° 57' 32",59	1	IGN
<i>Faux du Port de Macinaggiu</i>					
Feu rouge	Axe	580 455,3 09° 27' 21",26	298 317,4 42° 57' 33",99	1	
Feu vert	Axe	580 410,1 09° 27' 19",08	298 266,4 42° 57' 32",47	1	
Repère MOM	Croix gravée	580 464,4	298 315,8		
Dôme de Torricela	Axe du Dôme	574 393,1 09° 22' 55",07	298 412,1 42° 57' 53",33	4	
"	Pylone Axe	574 396,4	298 516,9		
"	Borne 76	574 356,0	298 441,0		
Pylone TV de Torricela	Axe	574 227,3 09° 22' 49",47	298 877,2 42° 58' 08",79	3	

Désignation	Repère			Classement	Observations Origine
Moulin de Coscia	Axe	580 391,2 09° 27' 21",41	299 125,6 42° 58' 00",26	1	IGN
"	Pylone TV	580 350,2	299 149,0		
"	Douille	580 395,7	299 129,3		
Maison blanche de Tamerone	Centre	580 495 09° 27' 30",55	300 370 42° 58' 40",17	1	Restitution photographique
Tour de Finochiarola	Axe	581 487 09° 28' 17",06	301 153 42° 59' 02",77	2	IGN Coordonnées approchées ; le repère maçonné de la triangulation des IH a disparu.
"	Croix gravée	581 481,5	301 146,2		
"		581 526,6	301 099,6		
	Clou	581 526,6	301 099,6		
Chapelle Ste Marie	Axe	580 063,3 09° 27' 15",01	301 308,0 42° 59' 11",62	1	IGN
Tour Ste Marie	Axe	579 886 09° 27' 07",99	301 757 42° 59' 26",65		
Sémaphore du Cap Corse	Axe	572 133,3 09° 21' 31",40	302 742,9 43° 00' 19",22	3	IGN
"	Mat	572 133,2	302 746,4		
Tour de Tollare	Axe	574 489 09° 23' 16",89	303 247 43° 00' 29",21	1	IGN (même remarque que pour Finochiarola)
Tour d'Agnellu	Axe	577 680,8 09° 25' 38",99	303 701,2 43° 00' 35",32	1	IGN
Phare de la Giraglia	Axe	575 767,36 09° 24' 21",04	305 410,8 43° 01' 35",66	3	IGN
Tour de la Giraglia	Axe	575 763,57 09° 24' 21",01	305 448,43 43° 01' 36",89	2	IGN
<i>Moulins de Torricella</i>					
Moulin Ouest	Axe	573 231,3 09° 22' 06",85	299 202,5 42° 58' 21",95	2	
Moulin Est	Axe	573 263,5 09° 22' 08",22	299 189,1 42° 58' 21",44	2	
Moulin Mattei	Axe	572 942,33 09° 21' 54",77	299 374,77 42° 58' 28",29	2	IGN -- Moulin Francesch de la triangulation des Ingénieurs Hydrographes
	Statue	572 808,1	299 439,4		
	Axe				
Moulin Marcantoni	Axe	571 878,86 09° 21' 05",99	298 819,02 42° 58' 13",17	1	IGN
Balise de Centuri	Axe	571 709,94 09° 20' 57",13	298 425,08 42° 58' 00",90	1	IGN
Tour de Centuri	Axe	571 782,40 09° 21' 00",19	298 389,91 42° 57' 59",57	1	IGN
Cairn de l'Îlot Centuri	Axe	571 134,4 09° 20' 30",26	297 991,5 42° 57' 48",43	1	
Clocher de Centuri	Axe	573 381,44 09° 22' 08",31	297 786,50 42° 57' 35",83	1	IGN
Couvent Morsiglia	Axe du Fronton	572 901,1 09° 21' 44",80	297 018,6 42° 57' 12",28		

Désignation	Repère			Classement	Observations Origine
Moulin Est de Morsiglia	Axe	572 554,44 09° 21' 28",23	296 702,43 42° 57' 03",02	1	IGN
Moulin Ouest de Morsiglia	Axe	572 362,63 09° 21' 19",91	296 791,89 42° 57' 06",42	1	IGN
Clocher de Morsiglia	Axe	573 551,78 09° 22' 08",14	295 674,24 42° 56' 27",16	1	IGN
Alisu Nord	Croix peinte sur rocher	572 266,0	294 434,3		
Alisu Sud	"	572 857,7	293 549,8		
Tour de Pinu	Axe	571 882 09° 20' 42",44	292 275 42° 54' 41",82	2	
Campanile du Couvent de Pinu	Axe	571 969,62 09° 20' 46",48	292 326,26 42° 54' 43",24	1	IGN
Tour de Seneca	Axe	574 204,77 09° 22' 22",54	291 736,49 42° 54' 18",24	1	IGN
Clocher de Pinu	Axe	572 431,49 09° 21' 05",96	292 102,64 42° 54' 34",79	1	IGN
Minerviu Haut	Croix peinte	571 099,2	290 960,7		
Minerviu ord	Borne Béton	570 354,8	290 693,9		
Minerviu Sud	Croix peinte	570 283,2	290 200,8		

CHAPITRE V

TRAVAUX SUR LES COTES DE PROVENCE

V.1. GENERALITES

Les travaux effectués sur les côtes de Provence avaient pour objet de compléter les levés de 1974 de l'ICA Bonnot (*).

Achèvement du levé dans les limites de la carte 5116, étendu à l'Est jusqu'au méridien du Cap Couronne, au Sud jusqu'au parallèle 42° 30'.

Complément jusqu'à la côte du levé intermédiaire au Sud de Marseille.

Les zones levées sont indiquées sur la planche n° 16. En dehors d'une enclave côtière à l'Ouest de l'embouchure du Rhône, on distingue deux zones principales :

– une zone du large au Sud des côtes de Camargue, entièrement incluse dans le levé relatif à la carte 5116 ;

– une zone continue, du Golfe de Fos aux calanques de Marseille, limitée au Nord par la côte, au Sud par les levés Bonnot 1974, à l'Est par la limite des levés antérieurs à 1974.

Les travaux, pour la plus grande partie, se sont déroulés du mois de juin au mois d'octobre 1976, avec le concours de l'ensemble des moyens de la Mission ; ils se sont poursuivis par des travaux de détail côtier effectués par l'*Octant* et la *Recherche*, à l'automne 1977 et au printemps 1978.

Le levé intermédiaire au Sud des côtes de Camargue n'a pu être achevé ; la partie restante était en effet en 1976 hors de portée du Trident I et n'aurait pu de toutes manières être achevée même ultérieurement au Trident II par suite de l'absence de reliefs élevés, proches de la côte dans cette région. L'installation par les Phares et Balises d'une chaîne Toran assurant une excellente couverture aurait dû nous être d'un grand secours ; malheureusement sa mise en fonctionnement fut sans cesse retardée et le soin d'achever ce levé dû être laissé à mon successeur.

On profita par ailleurs de ces travaux, c'est-à-dire de l'implantation de balise Trident, pour combler quelques lacunes dans les levés antérieurs. C'est ainsi qu'en particulier on fut amené à lever au 1/20 000 le banc des Blanquières qui, bien que par des fonds inférieurs à 200 m, n'avaient fait l'objet que d'un levé à l'échelle de 1/50 000.

V.2. LOCALISATION

Le Trident fut naturellement le moyen principal de localisation, complété à la côte par des moyens

(*) Voir rapport ICA Bonnot. *Annales Hydrographiques* (1978) n° 750 – p. 79.

optiques, à l'Est du Cap Couronne principalement. Les positions du réseau fondamental des balises Trident sont données dans le tableau ci-dessous (Lambert III – Système géodésique NTF). Des points secondaires ont été par ailleurs utilisés pour les besoins localisés en opérations côtières.

	X	Y
Phare de Faraman	790 526,8	119 918,7
Château d'eau de Fos	804 496,1	127 342,0
Cheminée du Ponteau (*)	817 618,5	121 038,0
Phare de Couronne	820 286,8	117 593,3
Pylonne de La Gatasse	820 567,8	121 507,2
Phare du Planier	836 172,6	104 016,6
Batterie Bassa de Niolon	836 889,7	119 551,4
Feu vert de la Jetée du large	841 711,7	120 766,0
Endoume	844 212,5	113 589,5
Mont Rose	844 889,9	107 892,0
Sémaphore des Goudes	845 243,9	105 702,8
Notre Dame de la Garde	846 229,0	113 881,1
Calseraigne	847 586,3	103 487,8
Etoile 1 (**)	850 283,1	125 104,7
Etoile 2 (**) (IGN n° 9 Aix)	851 271,6	125 978,2
Etoile 3 (**)	850 235,3	125 079,6
Sémaphore du Bec de l'Aigle	863 182,7	102 381,9

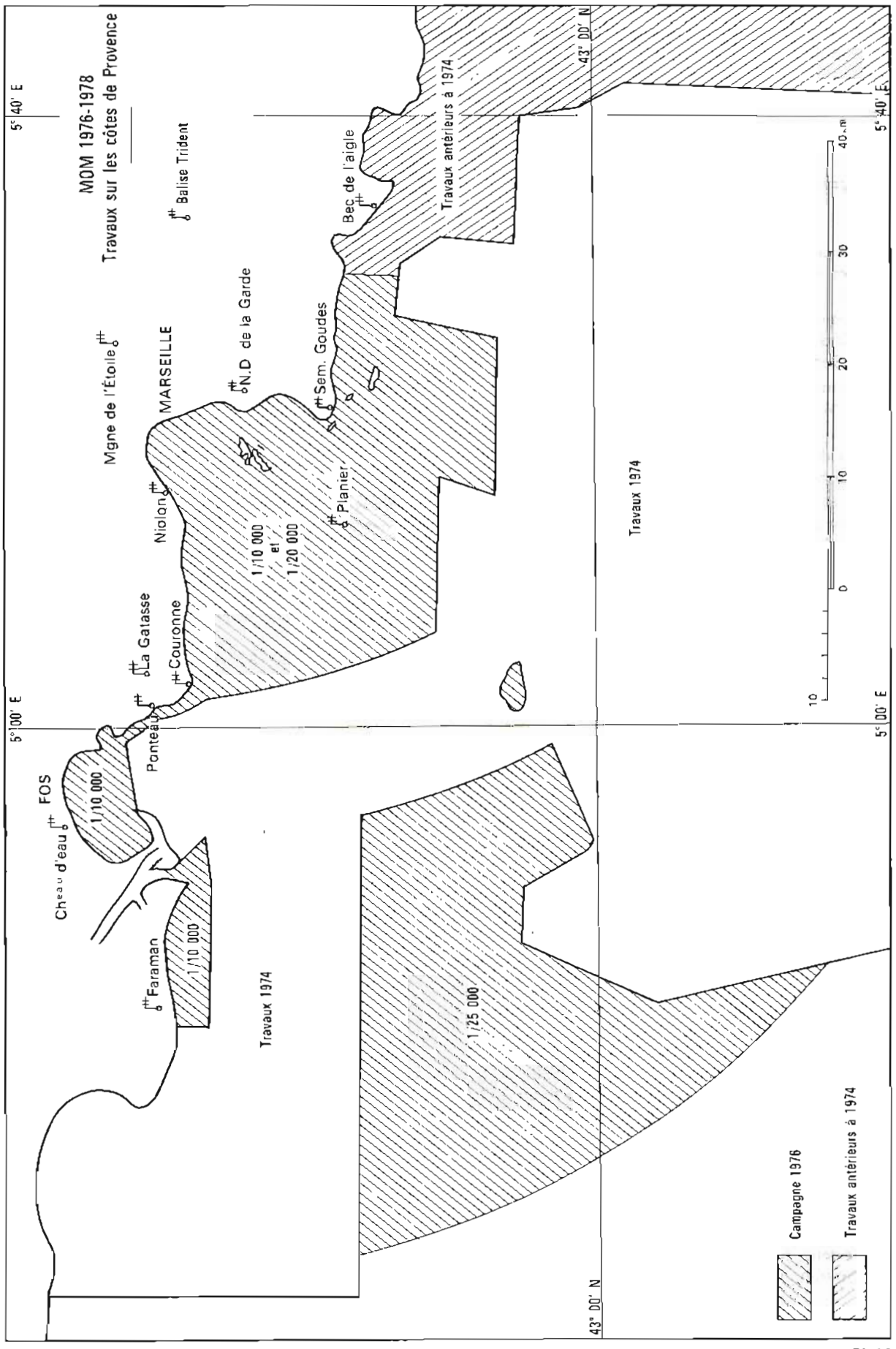
(*) La cheminée du Ponteau déjà utilisée par mon prédécesseur fut rapidement abandonnée au profit du Pylone de La Gatasse plus facilement accessible et assurant la même couverture.

(**) Trois sites furent utilisés dans le massif de l'Etoile, deux à l'intérieur de l'enceinte de la station de télévision, un dans la nature à l'emplacement de la borne IGN Aix n° 9. Le plus utilisé fut le 2° (Etoile 2) les deux autres ayant dû être, après quelques jours d'essais, abandonnés en raison de forts brouillages radioélectriques ; la station de l'Etoile émettait en effet plusieurs dizaines de Kw qui venaient par moment complètement saturer le récepteur de la balise. Ceci m'amène à une remarque générale sur le Trident, à savoir que, s'il est généralement peu sensible aux parasites radioélectriques, il s'accommode cependant naturellement mal des émissions proches à très forte puissance. Un phénomène semblable, avec moins d'ampleur, la balise étant plus éloignée, a été constaté en Corse sur le site de Pozzu di Borgu (voir chapitre III) où les fonctionnements étaient plus satisfaisants à certaines heures correspondant aux arrêts des émissions.

V.3. BATHYMETRIE

V.3.1. Zone du large au Sud de Camargue

La zone levée est presque entièrement comprise entre les fonds de 100 m (limite Sud du levé Bonnot 1974) et les fonds de 200 m qui n'ont été que rare-



ment dépassés. L'espacement des profils est de 250 m, mais la rédaction pour être homogène avec celle des levés 1974 a été effectuée à l'échelle de 1/20 000.

Pour les mêmes raisons, la valeur du mètre acoustique est de 0,001333 s correspondant à la vitesse standard de propagation de 1 500 m/s. Les sondes ne sont pas réduites de la marée.

V.3.2. Du Golfe de Fos aux Calanques de Marseille

1. Levé régulier (y compris l'enclave côtière à l'Ouest de l'embouchure du Rhône).

Le levé régulier a été effectué à l'espacement initial de 100 m jusqu'aux fonds de 50 m, à l'espacement de 200 m au delà, la limite atteinte par les travaux Bonnot 1974 étant en général voisine de l'isobathe 200 m. Les routes suivies sont à quelques exceptions près, exclusivement des cercles de distances Trident.

Les sondes ne sont corrigées de la marée que jusqu'à l'isobathe 100 m. Entre l'isobathe 50 m et l'isobathe 200 m, les sondes sont exprimées en mètre acoustique dont la valeur est de 0,001325 s, correspondant à une vitesse de propagation de 1509 m/s, valeur moyenne déduite des relevés bathythermiques régulièrement effectués tout au cours du levé qui, pour le large, s'est entièrement déroulé en période estivale. Au delà de 200 m la valeur du mètre acoustique est de 0,001333 s.

2. Travaux côtiers complémentaires

L'examen des minutes de sonde ayant fait apparaître un certain nombre de lacunes au voisinage de la côte à l'Est du Cap Couronne, des travaux complémentaires furent ordonnés par le SHOM. En plus des opérations topographiques qui sont décrites ci-dessous, ils portèrent principalement sur les points suivants : recherches de roches, compléments de sondage au plus près de la côte et dans certaines petites baies qui avaient été négligées dans un premier temps. Ces travaux effectués en embarcation de sonde et souvent même en dinghy, fortement gênés par les conditions météorologiques, occupèrent à temps plein la *Recherche* et l'*Octant* pendant une partie de l'automne 1977 et du printemps 1978 (mois de mars et avril).

V.4. TOPOGRAPHIE

Les opérations de topographie qui s'étendent de l'embouchure du Rhône (They de la Gracieuse) à l'île Riou se sont déroulés en deux phases :

— Dans une première phase, en 1976 et au printemps 1977, on s'est essentiellement intéressé au Golfe de Fos et aux environs de Marseille.

L'effort principal porta sur le Golfe de Fos en perpétuelle évolution. On en établit une topographie la plus complète possible à l'aide de photographies aériennes récentes complétées par des travaux divers sur le terrain :

vérification de l'état d'avancement des travaux des installations portuaires et industrielles, sondages côtiers dans les zones marécageuses de la côte Sud du Golfe topographie de roches sur la côte Est etc. Il convient de noter que les minutes établies sont à jour au printemps 1977 et qu'à cette date l'aménagement portuaire et industriel du Golfe n'était pas encore entièrement achevé.

Dans la région de Marseille on se contenta, après vérification soigneuse des installations portuaires, d'effectuer une restitution des photographies aériennes. La zone ainsi traitée s'étend de l'Estaque au port de la Pointe Rouge et inclut les îles du Frioul.

Partout ailleurs on se borne à vérifier le trait de côte de la carte de l'IGN au 1/25 000 et à effectuer, pour sa mise à jour, quelques travaux de détails.

Dans une deuxième phase, en même temps que les travaux côtiers complémentaires décrits à l'alinéa III.2.1. ci-dessus on procéda à la topographie détaillée des roches découvrantes depuis le Cap Couronne jusqu'à l'île Riou. La zone des Calanques avec ses nombreuses îles fut traitée plus complètement et on procéda entre l'anse des Goudes et l'île Riou au piquetage des photographies aériennes, en vue de leur restitution qui, par suite d'erreurs de positionnement ou (ce qui revient au même) de repérage, s'avéra difficile à réaliser. Il fallut, après avoir fait un choix destiné à éliminer les points les plus douteux, procéder à une sorte de compensation qui peut avoir localement laisser subsister quelques erreurs.

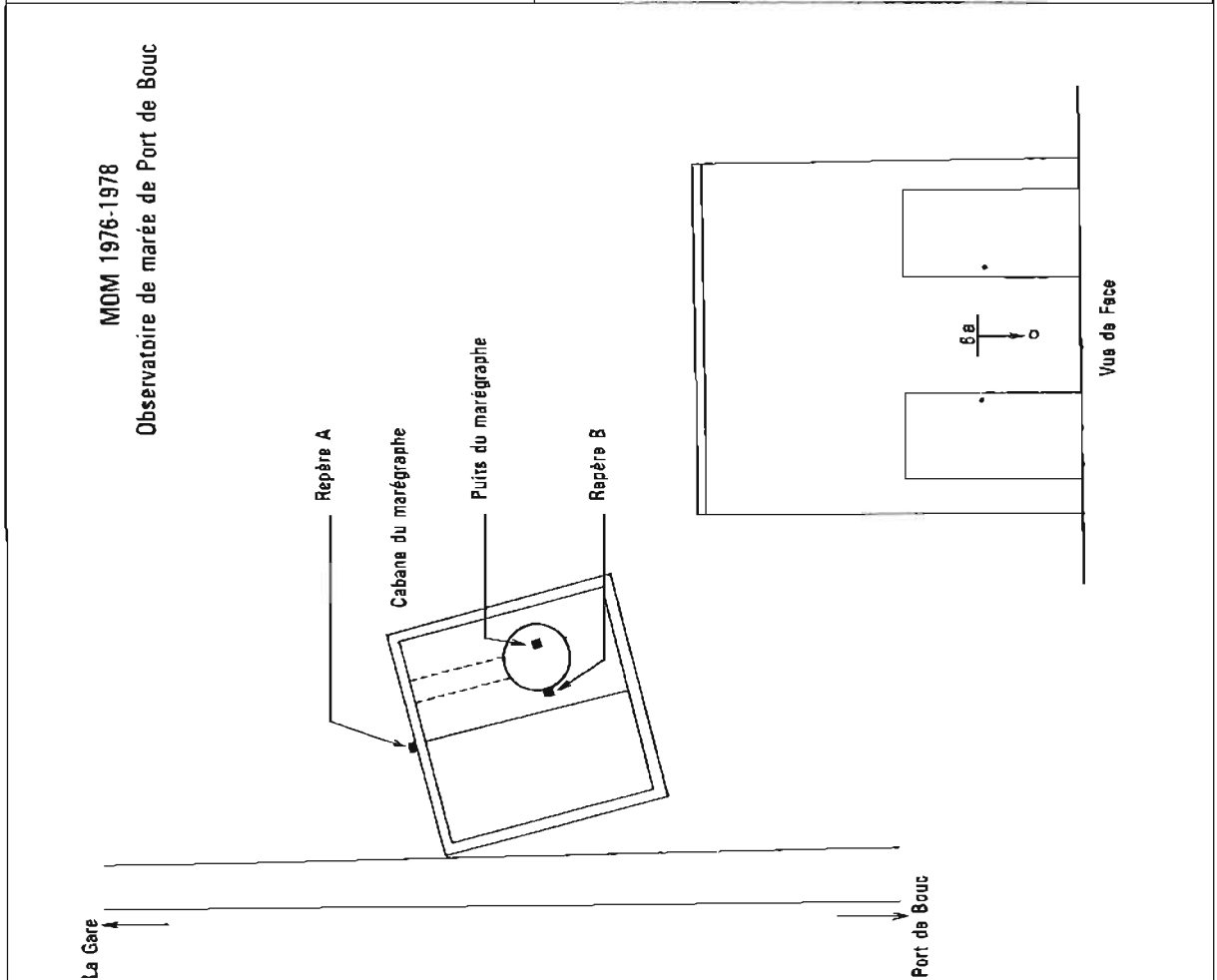
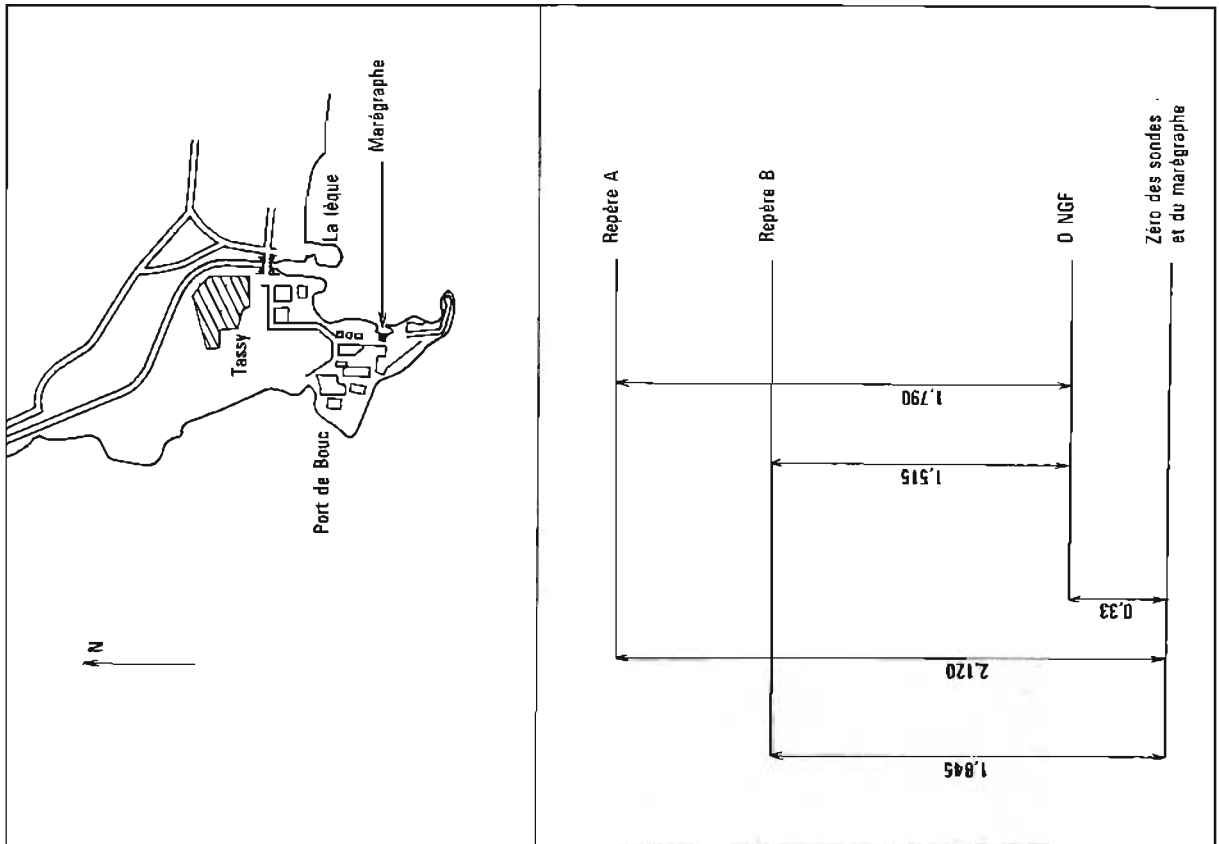
V.5. EXPLORATION AU SONDEUR LATERAL

Les rades de Marseille et d'Endoume ont été explorées au sondeur latéral par l'*Alidade* et l'*Octant* jusqu'à l'isobathe 60 m sensiblement ; 8 épaves (ou obstructions) ont été ainsi détectées. Trois d'entre elles situées en rade de Marseille avaient déjà été détectées par un chasseur de mines, ce qui constitue une certaine preuve de bon fonctionnement du sondeur latéral (fiches n° 137, 105 et 104) ; 4 autres à l'ouvert de la rade d'Endoume sont à des positions relativement voisines d'épaves figurant déjà au fichier (n° 34, 32 et 33). N'ayant pu cependant les faire explorer par les plongeurs en raison de leur profondeur (de l'ordre de 50 m) il est difficile d'établir une correspondance rigoureuse.

Une exploration effectuée depuis Faraman jusqu'au They de la Gracieuse ne donna aucun résultat. Il s'avéra qu'en fait le sondeur latéral utilisé avait mal fonctionné. Des incidents divers, avaries du matériel en général et plus particulièrement du câble électroporteur, ne me permirent plus de reprendre ce levé et de le pousser jusqu'à couvrir entièrement l'entrée du Golfe de Fos.

V.6. MAREE (v. Pl. 17 et Pl. 18)

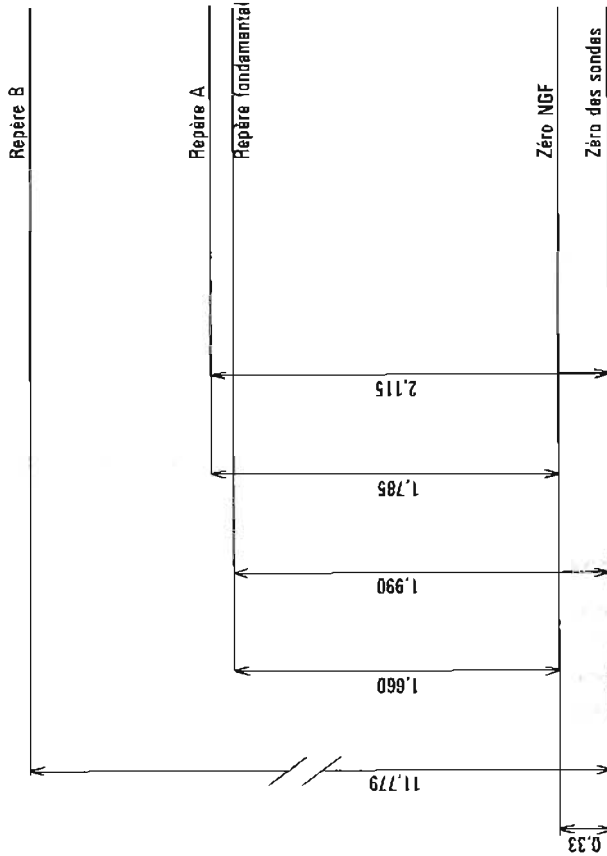
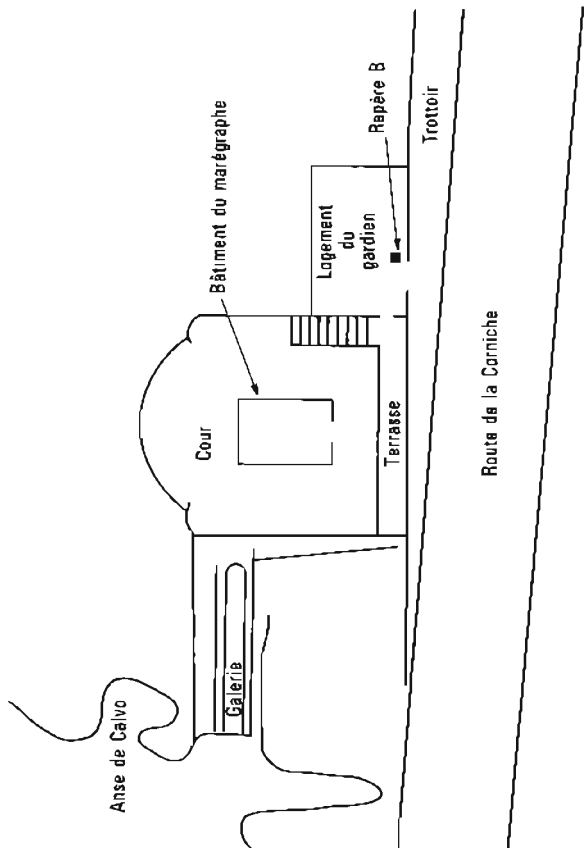
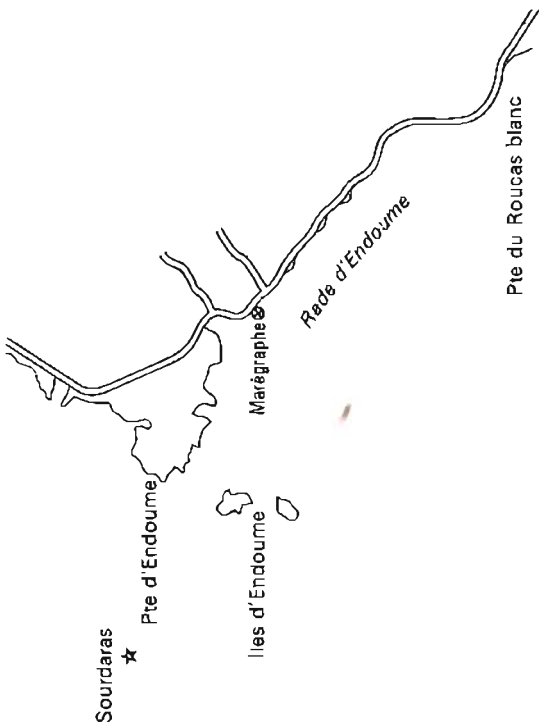
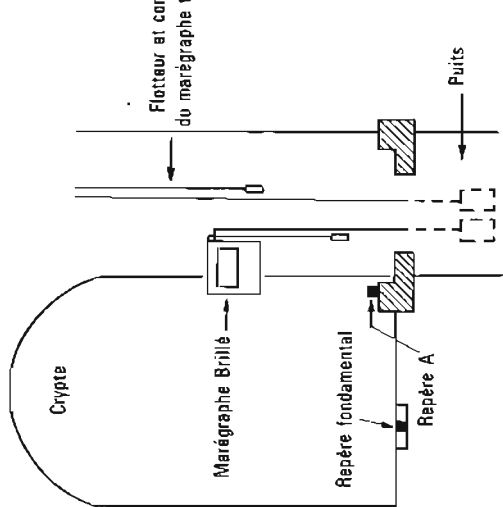
La marée, pendant toute la durée des travaux, a été observée à l'observatoire permanent du Port de Bouc



MMM 1976-1978
Observatoire de marée de Port de Bouc

MOM 1976- 1978

Observatoire de marée de Marseille Corniche



ainsi qu'à celui de Marseille (Corniche). Pour la zone située à l'Ouest de l'embouchure du Rhône, on utilisait cependant la même marée qu'en 1974, c'est-à-dire celle du Grau de la Dent (Voir rapport ICA Bonnot, § 11.2.3.4) (*).

Les côtes et les descriptions des 2 observatoires de

Port de Bouc et de Marseille sont données dans le tableau ci-dessous.

Pour l'observatoire de Port de Bouc j'ai conservé aux repères les mêmes baptêmes, mais on notera que la définition du zéro est légèrement différente, 33 cm au lieu de 30 cm au-dessous du NGF.

Désignation	Description	Cote par rapport au Zéro du NGF	Cote par rapport au niveau de réduction des sondes
<i>Observatoire de Port de Bouc</i>			
Repère A Mc. B3. C3 6 al	Rivet repère au niveau du sol dans la cabane marégraphe du port de pêche de Port de Bouc	1,515	1,845
Repère B Mc. B3. C3 6 a	Médailon repère scellé dans le mur du bâtiment du marégraphe	1,79	2,120
<i>Observatoire de Marseille (Corniche)</i>			
Repère fondamental	Rivet scellé dans le pavage de la crypte	1,660	1,990
Repère A	Rivet scellé dans la margelle du puits	1,785	2,115
Repère B	Médailon scellé dans le mur de la maison du gardien du marégraphe	11,449	11,779

V.7. DOCUMENTS ETABLIS

13 minutes de bathymétrie au 1/10 000 ; 14 minutes de bathymétrie au 1/20 000 ;
11 minutes de topographie ; 11 fiches d'épaves ; 140 fiches géodésiques.

ANNEXE AU CHAPITRE V

COORDONNEES DES AMERS ET DES POINTS REPERES – SYSTEME GEODESIQUE NTF PROJECTION LAMBERT III

Désignation	Repère	X		Classement	Observations Origine
		G(E)	L(N)		
Chateau d'eau Port St-Louis "Les Enfores"	Axe	799 217,6 04° 47' 48",82	125 522,3 43° 24' 10",13	2	
Feu de la Tour St-Louis	Axe	799 981,1 04° 48' 20",09	123 530,4 43° 23' 04",88	1	MHA 1959
Chateau d'eau de la Rizerie de Port St-Louis	Axe	801 194,39 04° 49' 14",36	123 831,32 43° 23' 13",44	1	IGN
Cheminée rouge et blanche de Port St-Louis	Axe	802 299,9 04° 50' 03",00	123 488,6 43° 23' 01",26	1	
Ancien Feu d'Alignement du port de Carteau	Axe	802 928,7 04° 50' 29",44	122 390,4 43° 22' 25",07	1	
Balise d'Alignement du Port de Carteau	Axe	803 120 04° 50' 38",07	122 495 43° 22' 28",27	1	
Maison des Quatre vents	Mat Axe	803 797,4 04° 51' 11",23	124 768,3 43° 23' 41",23	1	MHA 1959

(*) *Annales Hydrographiques* (1978) n° 750, p. 108)

Désignation	Repère	X		Classement	Observations Origine
		G(E)	L(N)		
Pin Parasol du Pavillon des embouchures	Axe du tronc	804 202 04° 51' 24",88	121 593 43° 21' 57",99	1	
Chateau d'eau des minéraliers	Axe	804 493,6 04° 51' 45",67	127 349,8 43° 25' 04",15	1	
Chateau d'eau des minéraliers	croix gravée	804 493,4	127 346,6		
Feu postérieur d'Alignement de Fos	Axe	804 517,1 04° 51' 48",18	126 225,7 43° 24' 27",72	1	
Phare de Port St Louis	Axe	805 352,89 04° 52' 19",68	124 302,51 43° 23' 24",60	1	IGN
Feu antérieur d'alignement de Fos	Axe	805 003,8 04° 52' 06",63	126 095,5 43° 24' 23",02	1	
Réservoir des Minéraliers	Axe	805 453 04° 52' 27",69	126 906 43° 24' 48",22	1	
Cheminée Ouest Solmer	Axe	805 863,2 04° 52' 49",60	129 518,1 43° 26' 13",02	1	
Cheminée Minerais	Axe	806 071,2 04° 52' 57",55	128 644,3 43° 25' 44",51	1	
Cheminée Est Solmer	Axe	806 084,4 04° 52' 59",55	129 677,7 43° 26' 17",96	1	
Feu du quai des pétroliers	Axe	806 284,5 04° 53' 04",88	127 087,7 43° 24' 53",88	1	
Ballon Ouest Solmer	Axe	806 547 04° 53' 19",47	129 213 43° 26' 02",45	1	Restitution photographique
Vigie du Port de Fos	Axe	806 760,4 04° 53' 26",82	127 663,6 43° 25' 12",05	1	
Ballon Nord Solmer	Axe	806 767 04° 53' 30",44	130 073 43° 26' 30",08	1	Restitution photographique
Cheminée Sud du bloc Solmer	Axe	807 243,5 04° 53' 52",45	130 677,5 43° 26' 49",18	2	Ces deux cheminées surmontent un bâtiment dont l'ensemble constitue un détail topographique d'ordre 3
Cheminée Nord du bloc Solmer	Axe	807 276,1 04° 53' 53",92	130 692,6 43° 26' 49",64	2	
Ballon Est Solmer	Axe	808 123,2 04° 54' 30",27	129 754,4 43° 26' 18",40	1	
Feu de la Pointe St Gervais	Axe	810 786,5 04° 56' 27",19	128 717,1 43° 25' 42",09	1	
Cheminée cartonnerie	Axe	810 088,0 04° 56' 41",29	129 213,8 43° 25' 57",86	1	MHA 1959
Tour de l'horloge de Fos	Axe	811 139,5 04° 56' 44",37	129 782,6 42° 26' 16",24	1	MHA 1959
Tour des Templiers de Fos	Axe	811 152,96 04° 56' 45",11	129 878,46 43° 26' 19",33	1	IGN
Chapelle N.D. de Fos	Axe de clocheton	811 206,6 04° 56' 46",55	129 208,6 43° 25' 57",57	1	MHA 1959
Clocher de Fos	Centre de la boule	811 225,52 04° 56' 48",33	129 877,21 43° 26' 19",21	1	IGN
Cheminée Nord Cimenterie Lafarge	Axe	813 058 04° 58' 08",26	128 812 43° 25' 42",82	2	Restitution photographique
Cheminée Sud Cimenterie Lafarge	Axe	813 059,1 04° 58' 08",28	128 791,0 43° 25' 42",14	2	IGN
Immeuble vigie de Port de Bouc :					
1) Hampe drapeau Ouest	Axe	814 180,1 04° 58' 53",55	125 606,0 43° 23' 57",82	2	IGN

Désignation	Repère	X		Classement	Observations Origina
		G(E)	L(N)		
2) Hampe drapeau Est	Axe	814 193,0 04° 58' 54",12	125 605,4 43° 23' 57",79		IGN
Maison des Pilotes de Port de Bouc	Centre de la Tour	814 200,4 04° 58' 54",19	125 423,5 43° 23' 51",89	1	MHA 1959
Feu rouge d'entrée à Port de Bouc	Axe	814 512 04° 59' 07",83	125 286 43° 23' 47",11	1	Restitution photographique
Feu violet de Port de Bouc	Axe	814 538 04° 59' 08",61	125 025 43° 23' 38",63	1	Restitution photographique
Phare de Port de Bouc	Axe	814 587,22 04° 59' 10",77	125 004,79 43° 23' 37",92	2	IGN
Cheminée de Lavera	Axe	815 029,9 04° 59' 29",41	124 291,9 43° 23' 14",37	2	
Alignement d'entrée à Port de Bouc Feu antérieur Ouest	Axe	815 031,1 04° 59' 33",00	126 130,3 43° 24' 13",91	1	
Feu postérieur Ouest	Axe	815 117,6 04° 59' 36",17	126 293,4 43° 24' 19",10	1	
Feu antérieur Est	Axe	815 203,1 04° 59' 39",73	126 125,2 43° 24' 13",57	1	
Feu postérieur Est	Axe	815 296,6 04° 59' 44",08	126 259,6 43° 24' 17",82	1	
Chateau d'eau Nord Ile de Bouc	Axe	815 207 04° 59' 38",27	124 985 43° 23' 36",63	1	Restitution photographique
Chateau d'eau Sud Ile de Bouc	Axe	815 225,8 04° 59' 38",80	124 777,0 43° 23' 29",78	1	MHA 1959
Torchère Nord d'Auguette	Axe	816 703,3 05° 00' 42",81	123 664,0 43° 22' 52",28	2	
Torchère Sud d'Auguette	Axe	816 755,7 05° 00' 44",73	123 378,4 43° 22' 42",97	2	
Chateau d'eau de Lavera	"	816 758,0 05° 00' 46",31	124 401,4 43° 23' 16",11	1	MHA 1959
Feu de l'anse de Lauron	"	817 252,5 05° 01' 03",06	120 800,2 43° 21' 18",95	1	
Cheminée Sud du Ponteau	"	817 621,0 05° 01' 19",76	121 042,1 43° 21' 26",39	3	IGN cheminée la plus Sud d'un ensemble de 4 cheminées qui constitue l'amer principal du Golfe de Fos
Cheminée Naphtachimie	Axe	817 648,2 05° 01' 24",31	123 345,6 43° 22' 40",97	3	
Balise de la Pointe de Carro	"	819 340 05° 02' 31",49	117 907 43° 19' 43",33	1	Restitution photographique
Feu du Port de Carro	"	819 422 05° 02' 35",29	118 018 43° 19' 46",54	1	"
Sémaphore du Cap Couronne	Axe de la Tour	820 179,5 05° 03' 09",53	118 452,5 43° 19' 59",81	2	
"	Axe du Mat	820 180,6	118 449,1		
Clocher de Couronne	Centre de la boule	820 222,49 05° 03' 12",25	119 009,92 43° 20' 17",81	1	IGN
Phare du Cap Couronne	Axe	820 285,5 05° 03' 12",97	117 594,8 43° 19' 31",91	3	"
"	Croix gravée	820 286,9	117 595,2		
Tour métallique de la Gatasse	Axe	820 568,5 05° 03' 31",27	121 507,7 43° 21' 38",34	2	

Désignation	Repère	X		Classement	Observations Origine
		G(E)	L(N)		
Maison de la Boumandariel	Axe de la cheminée	822 610,7 05° 04' 56'',82	118 068,7 43° 19' 44'',85	2	IGN
Maison du village de vacances de Sausset les Pins	Clocheton Axe	823 915,9 05° 05' 55'',30	118 455,6 43° 19' 55'',88	1	
<i>Chateau de Sausset Les Pins</i>					
Clocheton Est	Axe	824 272,0 05° 06' 11'',07	118 439,8 43° 19' 54'',98	2	
Clocheton Ouest	Axe	824 270,3 05° 06' 10'',99	118 439,3 43° 19' 54'',96		
Feu du Port de Sausset les Pins	Axe	824 829,9 05° 06' 35'',40	118 156,6 43° 19' 45'',20	1	
Immeuble de Carry le Rouet	"	828 274,8 05° 09' 08'',78	118 525,7 43° 19' 53'',37	3	
Balise de Carry le Rouet	"	828 312,6 05° 09' 09'',60	117 965,8 43° 19' 35'',19	1	
Chapelle Notre Dame du Rouet	Axe du clocheton	830 536,5 05° 10' 49'',37	118 695,7 43° 19' 56'',35	1	
<i>Vigie du Cap Mejean</i>					
Plateforme	Centre	834 322,9 05° 13' 37'',47	118 775,6 43° 19' 54'',67	1	
Cheminée	Axe	834 322,9	118 771,4		
Feu de l'Elvine	"	835 086,6 05° 14' 11'',04	118 578,9 43° 19' 47'',43	1	
Phare du Planier	Axe	835 172,55 05° 13' 52'',14	104 016,61 43° 11' 55'',73	4	IGN
Batterie haute de Niolon	Axe de la Tour	835 869,60 05° 14' 47'',21	119 496,36 43° 20' 16'',25	2	
Batterie basse de Niolon Feu	Croix gravée	836 889,7	119 551,4		
Feu de la Pointe de l'Esquilladou	Axe	838 440 05° 16' 43'',54	120 940 43° 21' 00'',04	1	Restitution photographique
Feu de l'Îlot Tiboulan	Axe	839 395,6 05° 17' 13'',51	113 125,0 43° 16' 45'',85	1	
Balise en ciment de Pomègues	"	839 717,2 05° 17' 25'',88	111 940,3 43° 16' 07'',11	1	
Eolienne du cap Caveaux	"	839 720,9 05° 17' 24'',64	111 060,5 43° 15' 38'',61	1	
Feu du Cap Caveaux	"	839 721,2 05° 17' 24'',65	111 054,8 43° 15' 38'',43	1	
Balise en ciment de Ratonneau	"	839 809,4 05° 17' 32'',01	113 228,4 43° 16' 48'',72	1	
Balise en ciment de la Lave	"	839 864,4 05° 17' 48'',26	121 890,2 43° 21' 29'',16	1	
<i>Sémaphore de Pomègues</i>					
Plateforme Supérieure	Centre	840 114,5 05° 17' 43'',24	111 772,2 43° 16' 01'',07	2	
Mat de Pavillon	Axe	840 115,1	111 768,2		
Petit mat	Axe	840 110,1	111 772,4		
Cheminée noire cimenterie	Axe	840 323,9 05° 18' 09'',64	122 507,8 43° 21' 48'',62	1	
Feu de la Digue de la Lave	Axe	840 456,8 05° 18' 14'',71	121 990,2 43° 21' 31'',71	1	

Désignation	Repère	X		Classement	Observations Origine
		G(E)	L(N)		
Fort de Pomègues	Centre	840 490 05° 18' 00",59 E	112 235 43° 16' 15",75 N	1	
Pylone TV de Pomègues	Axe	841 151,95 05° 18' 30",59	112 650,46 43° 16' 28",44	2	IGN
Feu Sud de l'Estaque	"	841 217,1 05° 18' 47",83	121 606,4 43° 21' 18",39	1	
Feu Nord de l'Estaque	"	841 228 05° 18' 48",75	121 876 43° 21' 27",11	1	Restitution photographique
Clocher de l'Estaque	"	841 305,3 05° 18' 52",91	122 328,3 43° 21' 41",66	1	
Feu du Port de Frioul	"	841 358 05° 18' 40",21	112 952 43° 16' 37",96	1	Restitution photographique
Ancien Mirador de Ratonneau	"	841 377,3 05° 18' 42",07	113 579,5 43° 16' 58",26	1	
Vigie du Port de Frioul	"	841 620 05° 18' 52",52	113 390 43° 16' 51",84	1	Restitution photographique
Feu Nord de la jetée du large	"	841 711,5 05° 19' 08",42	120 767,6 43° 20' 50",64		
Feu de la Digue de Saumaty	"	841 845,0 05° 19' 14",60	120 923,4 43° 20' 55",53	1	
Relais Hertzien de Marseille	"	841 965,3 05° 19' 26",58	125 050,2 43° 23' 09",03	3	
Pylone métallique sur jetée au large	"	842 263,6 05° 19' 32",30	120 381,0 43° 20' 37",48	1	
Tour du chateau d'If	"	842 505,3 05° 19' 31",61	113 295,5 43° 16' 47",74	1	
Ancien phare de Mourepiane	Axe	842 507,0 05° 19' 45",04	121 585,9 43° 21' 16",21	1	
Feu d'If	"	842 716,4 05° 19' 41",01	113 324,3 43° 16' 48",42	2	
Feu de l'îlot Tiboulou de Maire	"	842 919,15 05° 19' 38",14	105 960,21 43° 12' 49",71	2	IGN
Eolienne de l'îlot Tiboulou de Maire	"	842 934,3 05° 19' 38",84	105 980,7 43° 12' 50",35	2	
Feu du Soudaras	"	843 525,6 05° 20' 17",46	113 688,1 43° 16' 59",25	2	
Tourelle du Canoubier	"	843 631,01 05° 20' 22",34	113 815,78 43° 17' 03",26	1	IGN
Croix du Cap Croisette	"	843 804,0 05° 20' 17",31	105 957,4 43° 12' 48",57	1	
Ruine sur l'île Maire	"	843 859,2 05° 20' 19",36	105 716,6 43° 12' 40",71	1	
Croix de l'îlot des Cent Francs	"	844 064,9 05° 20' 40",36	113 065,4 43° 16' 38",45	1	
Feu de la digue des Catalans	Axe	844 138,8 05° 20' 46",18	114 638,5 43° 17' 29",30	2	
Balise en ciment d'Endoume	"	844 248,0 05° 20' 49",66	113 797,4 43° 17' 01",93	1	
Feu de l'anse des Goudes	"	844 372 05° 20' 43",11	106 363 43° 13' 01",04	1	
Balise de l'anse des Goudes	"	844 420 05° 20' 45",20	106 342 43° 13' 00",30	1	
Monuments aux Morts d'Orient	Centre	844 549,5 05° 21' 03",43	114 045,0 43° 17' 09",59	1	

Désignation	Repère	X		Classement	Observations Origine
		G(E)	L(N)		
Feu de la digue Ste Marie	Axe	844 708,0 05° 21' 12",46	115 282,8 43° 17' 49",49	2	
Clocher d'Endourme	Centre de la croix	844 719,7 05° 21' 10",69	113 875,4 43° 17' 03",90	1	IGN
Clocher st Paul la Viste	"	844 771,64 05° 21' 26",60	122 241,26 43° 21' 34",75	1	IGN
Silo à grain SGTM	Axe	844 789,8 05° 21' 22",07	118 963,2 43° 19' 48",58	1	
Cheminée Huileries Salador	"	844 805,35 05° 21' 25",87	120 874,69 43° 20' 50",46	1	IGN
Feu de la Pointe de la Desirade	"	844 811,4 05° 21' 16",60	115 010,0 43° 17' 40",53	2	
Antenne du Mont Rose	"	844 876,8 05° 21' 07",91	107 873,7 43° 13' 49",36	2	La plus haute d'un groupe d'antennes
Calvaire du Mont Rose	"	844 922,65	107 911,23		IGN
Clocher de Saint Louis	Axe de la statue	844 888,6 05° 21' 29",75	120 988,9 43° 20' 54",06	1	IGN
<i>Pylones radio de la jetée du large</i>					
Pylone Nord	Axe	844 887,1 05° 21' 23",69	117 304,2 43° 18' 54",74	1	
Pylone central	"	844 952,0 05° 21' 26",41	117 205,1 43° 18' 51",45	1	
Pylone Sud	"	844 999,5 05° 21' 28",40	117 134,8 43° 18' 49",12	1	
Ancien phare de la Joliette		845 124,9 05° 21' 31",37	115 545,1 43° 17' 57",49	1	
Vigie de la Joliette	Axe du Mât	845 113,5 05° 21' 30",82	115 520,8 43° 17' 56",72	1	
Feu rouge d'entrée de la Joliette	Axe	845 131,6 05° 21' 31",61	115 511,7 43° 17' 56",40	1	
Feu vert d'entrée de la Joliette	Axe	845 173,8 05° 21' 33",32	115 408,7 43° 17' 53",01	1	
<i>Cheminées Péchiney (Mont rose)</i>					
Cheminée Nord	Axe	845 410,7 05° 21' 31",98	108 139,9 43° 13' 57",22	1	
Cheminée Milieu	"	845 341,1 05° 21' 28",81	108 084,4 43° 13' 55",63	1	
Cheminée Sud	"	845 235,4 05° 21' 24",02	108 015,4 43° 13' 53",52	1	
Sémaphore des Goudes	"	845 285,6 05° 21' 22",49	105 705,5 43° 12' 38",66	1	
Sémaphore des Goudes	Axe du Mât	845 301,6	105 707,6		
Tour ronde du Fort St Jean	Axe	845 380,5 05° 21' 42",06	115 148,1 43° 17' 44",33	1	
Cheminée de l'Hôpital Psychiatrique	Axe	845 402,90 05° 21' 58",29	124 488,88 43° 22' 46",79	1	IGN
Tour carrée du Fort St Jean	Centra	845 524,5 05° 21' 48",27	115 043,1 43° 17' 40",76	1	
Tour des Accoules	Axe	845 575,2 05° 21' 50",74	115 178,5 43° 17' 45",08	1	
Cheminées de Septeme les Vallons	Axe	845 611,90 05° 22' 10",33	126 176,04 43° 23' 41",17	1	IGN

Désignation	Repère	X		Classement	Observations Origine
		G(E)	L(N)		
Cathédrale de Marseille	Axe du Dôme	845 665,99 05° 21' 55",49	115 624,19 43° 17' 59",41	1	IGN
<i>Silo à céréales du Port Autonome</i>					
Hampe drapeau Ouest	Axe	845 752,07 05° 22' 01",35	116 874,98 43° 18' 39",81	1	IGN
Pylone métallique	Axe	845 747 05° 22' 01",08	116 848 43° 18' 38",94	1	Port autonome
Feu du Port de la Pointe Rouge	Axe	845 802,66 05° 21' 51",83	109 667,1 43° 14' 46",33	1	
Balise du port de la Pointe Rouge	Axe	845 861,5 05° 21' 54",35	109 612,0 43° 14' 44",48	1	
Monument aux armées coloniales	Hélice Sommet	845 928,8 05° 22' 01",61	112 233,7 43° 16' 09",30	1	
Eglise de Montredon	Axe du Dôme	845 985,2 05° 21' 58",50	108 799,2 43° 14' 18",01	1	
Tour avec escalier extérieur	Axe	846 091,8 05° 22' 09",91	112 896,0 43° 16' 30",55	2	
<i>Notre Dame de la Garde</i>					
Statue	Axe	846 229,30 05° 22' 17",63	113 891,15 43° 17' 02",61	3	IGN
Dôme	Axe	846 254,09 05° 22' 18",70	113 870,54 43° 17' 01",92		
Château du Roucas Blanc	Pignon Ouest	846 325 05° 22' 19",67	112 545 43° 16' 18",91	1	IGN position approchée suite réfection du toit
Statue sur le Prado	Axe de la tête	846 621,4 05° 22' 30",99	111 435,5 43° 15' 42",62	1	
Tour Sainte de Saint Joseph	Axe de la statue	847 308,5 05° 23' 16",76	120 763,7 43° 20' 43",87	1	
Cheminée de l'Hopital de la Timone	Axe	849 093,9 05° 24' 25",47	114 421,9 43° 17' 16",36	2	
Pylone TV de l'Etoile	Axe	850 256,2 05° 25' 34",79	125 118,4 43° 23' 01",33	4	IGN
Chapelle Saint Joseph Le Redon	Axe du clocher	850 346,95 05° 25' 13",98	110 184,23 43° 14' 57",62	2	IGN

CHAPITRE VI

TRAVAUX EN MEDITERRANEE ORIENTALE

VI.1. GENERALITES

“Les cartes marines françaises ou étrangères qui couvrent la Méditerranée Orientale font apparaître un grand nombre de montagnes sous-marines dont l'existence reste douteuse. . . Les travaux prescrits par les présentes Instructions Techniques, doivent permettre de lever les doutes qui subsistent sur l'existence d'un certain nombre de ces montagnes”.

Cet extrait des Instructions Techniques définit l'objectif principal des travaux effectués par l'*Origny* en Méditerranée Orientale (Mer Tyrrhénienne, Mer Ionienne, Canal de Sicile). A cette tâche prioritaire, sont venus s'ajouter quelques travaux supplémentaires : Hydrologie de routine, Gek, mailles d'hydrologie.

La plus grande partie de ce programme a été réalisée au cours d'un long séjour hors métropole de l'*Origny* du 3 mai au 7 juillet. Les travaux restants, situés tous en mer Tyrrhénienne où il ne s'agissait en fait que de vérifier des découvertes récentes donc pratiquement sûres, ont été effectués au mois d'octobre à l'occasion d'une escale de détente à Tunis de l'ensemble des bâtiments de la MOM. Des précautions particulières avaient été prises pour la réussite de cette campagne (1^{ère} et principale partie de plus de 2 mois de mai à juillet).

L'*Origny* sortait d'une longue IPER

L'IA Goutorbe et l'EOR électronicien affecté à bord s'étaient longuement penchés sur le Transit et avaient apporté de nombreuses améliorations à son fonctionnement.

VI.2. BATHYMETRIE (v. Pl. 19)

Les travaux de bathymétrie ont consisté d'une part dans l'étude d'un certain nombre de sites (de l'ordre de 25 entre la Mer Ionienne et la Mer Tyrrhénienne) et d'autre part, dans un levé bathymétrique régulier dans le Canal de Sicile.

Les études de sites ont été faites à l'espacement initial de 2 milles, éventuellement 4, quand le fond apparaissait réellement plat. Par contre sur tous les sites intéressants, l'espacement des routes a été réduit à 1 ou même à 1/2 mille.

Dans le canal de Sicile, l'espacement des routes a été de 500 m. De ces travaux, qui ont servi à mettre à jour les cartes en service, on peut tirer les conclusions suivantes :

Un très grand nombre de reliefs isolés (dans des fonds moyens environnants nettement différents) semblent

à l'évidence ne pas exister et résulter, pour certains tout au moins, (hypothèse je le pense assez vraisemblable) de recopie en mètres, à l'occasion de quelque compilation, de sonde exprimées en brasses.

Seuls en général ont été retrouvés les reliefs provenant de travaux récents d'origine connue et sûre.

VI.3. OCEANOGRAPHIE

VI.3.1. Mailles

4 mailles d'hydrologie ont été exécutées (v. Pl. 19). La longueur des côtés est de 20 milles ; l'immersion de la drague est de 100 mètres.

VI.3.2. Courantométrie

Le courantomètre GEK a été remorqué sur tous les transits au Sud du parallèle $34^{\circ}30'$, soit sur un total de 470 milles. Le fonctionnement a été satisfaisant.

VI.3.3. Le Sippican.

Le Sippican, qui avait jusqu'alors en général bien fonctionné, est tombé en panne assez rapidement (au bout de 6 semaines) et n'a pu être réparé malgré tous les efforts du personnel électronicien du bord.

VI.4. LOCALISATION.

La localisation, principal problème rencontré pour ces travaux, tant pendant leur exécution qu'à la rédaction, fait l'objet de l'Annexe Technique n° 2 du présent rapport.

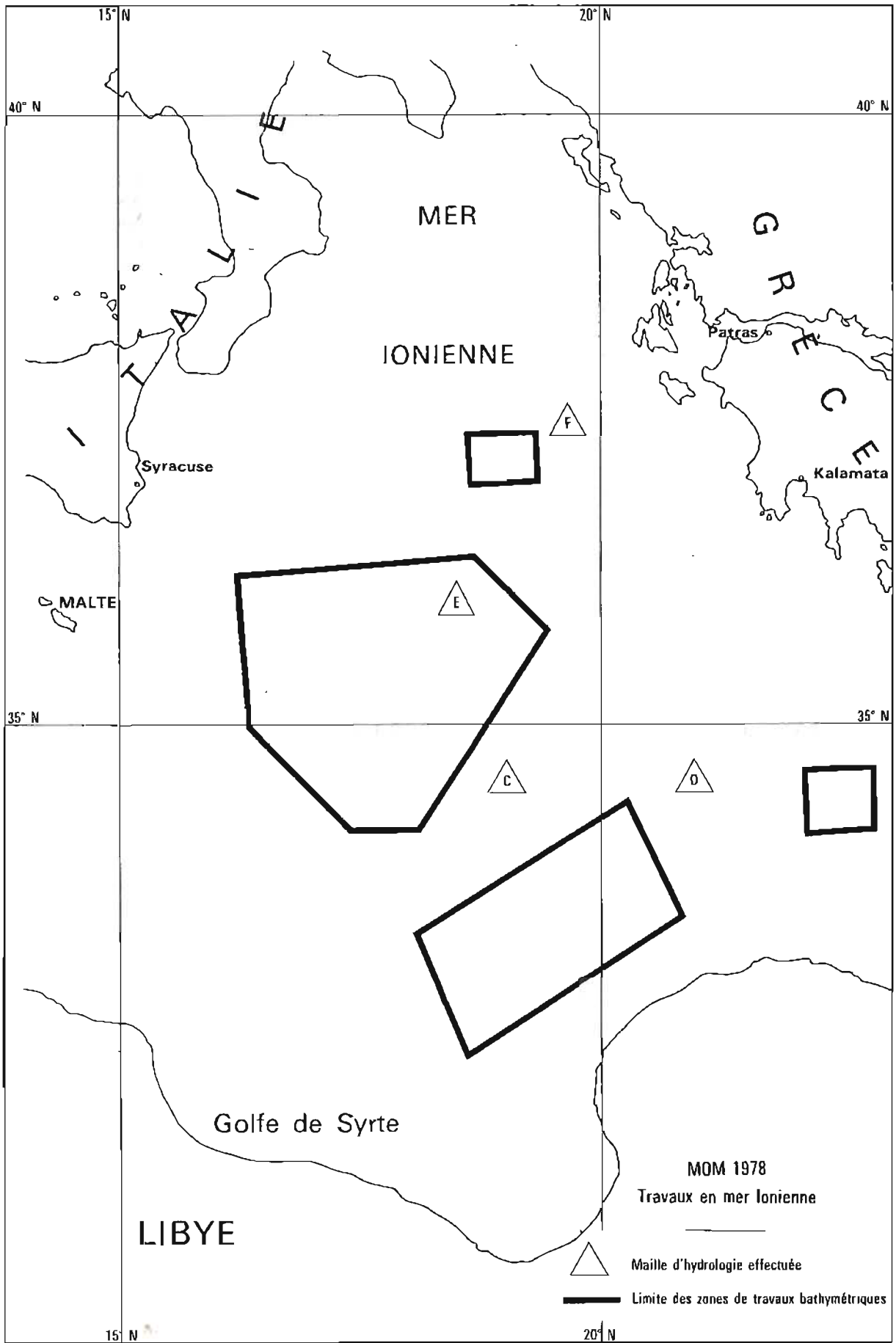
VI.5. DOCUMENTS ETABLIS

4 minutes au 1/1 000 000 donnant, par couple, les écarts du Loran C dans les zones de travail (Mer Ionienne, Canal de Sicile, environs de la Galite, Mer Tyrrhénienne).

2 minutes de bathymétrie au 1/50 000.

5 minutes de bathymétrie au 1/300 000.

Nota. — Les travaux aux environs de la Galite font l'objet du chapitre VIII "Travaux divers".



CHAPITRE VII

TRAVAUX AUX ABORDS DE LA PRINCEPAUTE DE MONACO

VII.1. DEFINITION DE LA ZONE A LEVER

La zone à lever était limitée à l'Ouest par le méridien de la Pointe de Cabuel, au Sud par les levés Bonnot 1973 (correspondant sensiblement à l'isobathe 400 m), à l'Est par une ligne orientée au 130 et passant par l'ancien sémaphore du Cap Martin, et enfin au Nord par la côte (v. Pl. 20).

Outre les opérations habituelles de bathymétrie, topographie, courantométrie etc. on devait satisfaire, dans une certaine mesure, aux demandes particulières des autorités monégasques.

Grâce à des conditions météorologiques exceptionnelles pour la saison, le programme a pu être en très grande partie réalisé entre le 2 et 18 novembre 1978, par l'*Octant* et la *Recherche* travaillant simultanément. Au 18 novembre, date d'arrêt des travaux imposée par des tâches plus urgentes, il restait à effectuer :

- des compléments de topographie et de recherches d'obstructions
- une mesure de courant au voisinage de l'isobathe 100 m au S.E. du Cap Martin.
- deux levés de détail à la demande des autorités monégasques, l'un dans le port de la Condamine, l'autre au pied du rocher.
- des travaux complémentaires dans la réserve naturelle de l'angle de Larvotto.

VII.2. LOCALISATION

La localisation a été assurée comme d'habitude par le Trident doublé en permanence pour les travaux côtiers par un ou même deux lieux optiques.

Les balises Trident ont occupé en permanence les positions principales suivantes (Lambert III, Système géodésique NTF) :

	X	Y
Sémaphore du Cap Ferrat :	1 002 130,5	165 806,8
Tête de chien :	1 007 883,6	171 742,5
Hôtel Vistaero :	1 011 048,5	174 585,0

Une balise supplémentaire a été en plus installée chaque jour en différents points en fonction de la progression du travail côtier.

VII.3. BATHYMETRIE

VII.3.1. Levé bathymétrique régulier

Le levé bathymétrique régulier a été effectué par les vedettes de la *Recherche* entre la côte et l'isobathe 50 m, par l'*Octant* au delà de cette isobathe.

L'espacement des routes (cercles de distance Trident) est de :

- 100 m jusqu'au fond de 50 m ;
- 200 m des fonds de 50 m aux fonds de 200 m ;
- 400 m au large de l'isobathe 200 m.

VII.3.2. Recherche de hauts fonds

Tous les hauts fonds portés sur les cartes en service ont été recherchés ; ils ont tous été retrouvés à l'exception d'une tête à 1 m par des fonds de 7 m, située à 200 m environ de la côte à l'Ouest de la baie de Roquebrune (2 100 m dans le SW du clocher de Roquebrune). Malgré les opérations effectuées, sondages serrés, recherches à vue y compris la terre, examen des photographies aériennes, cette recherche est à reprendre avec éventuellement enquête auprès des pratiques locaux.

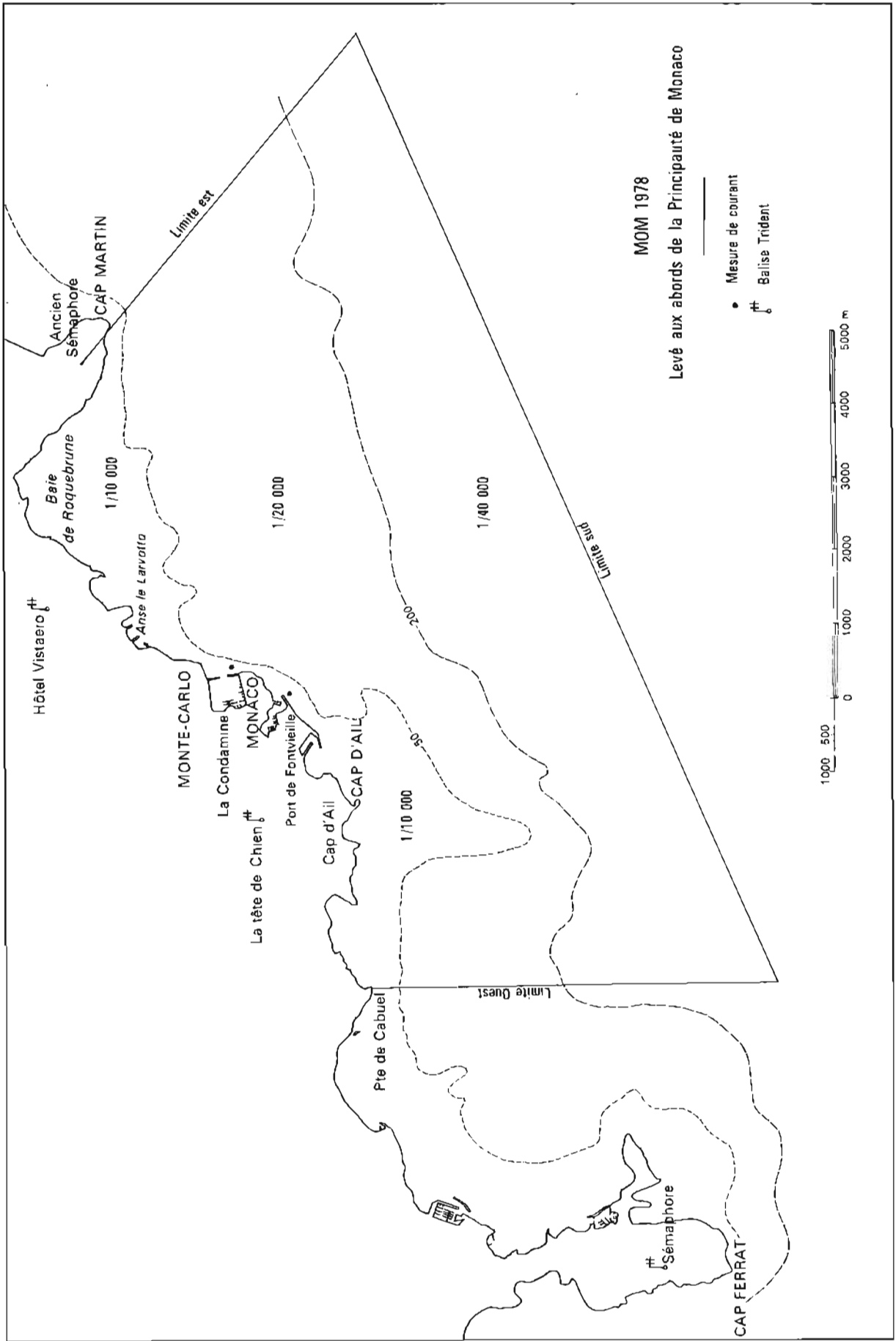
VII.3.3. Travaux de détail dans la réserve naturelle de l'Anse de Larvotto.

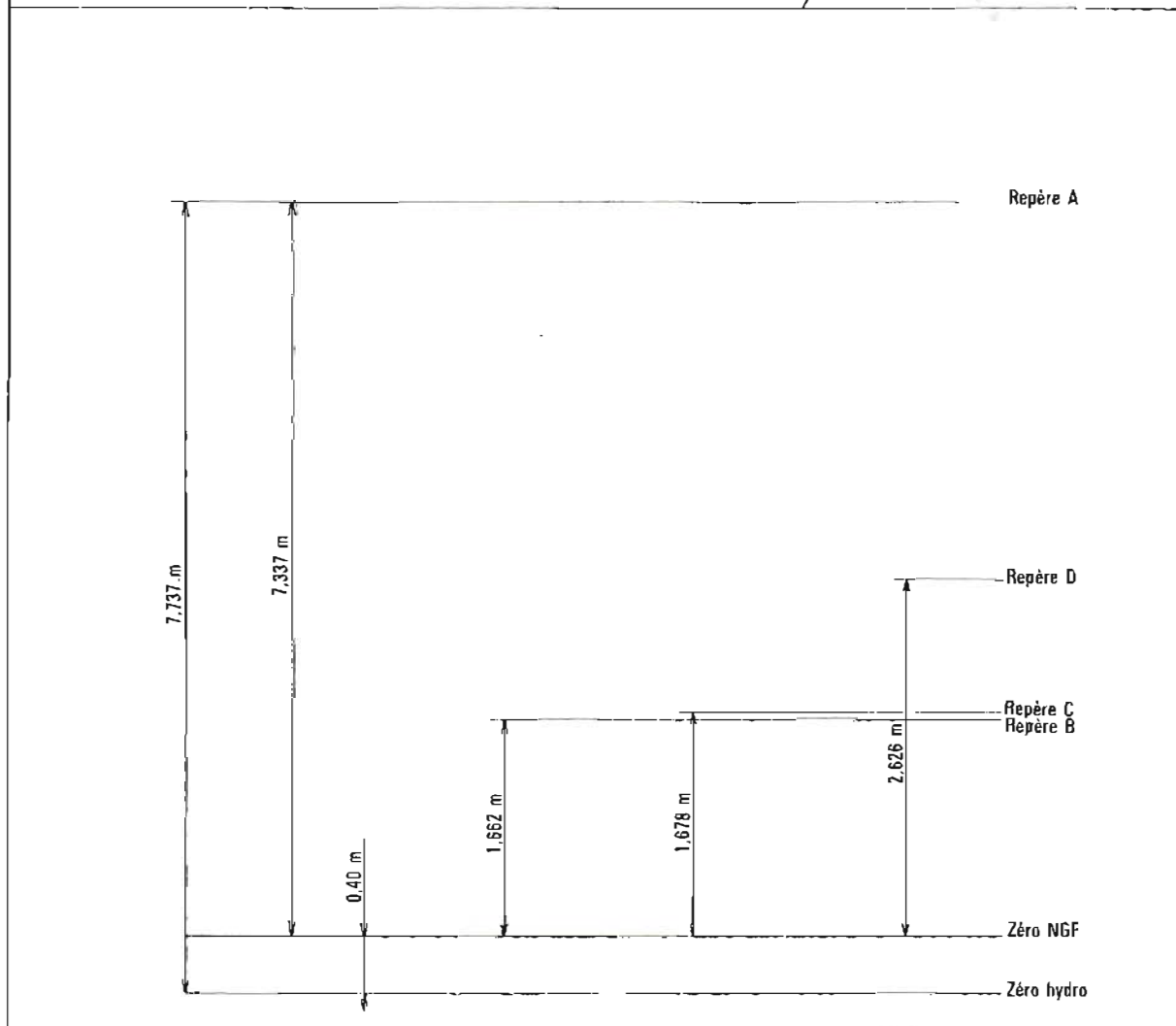
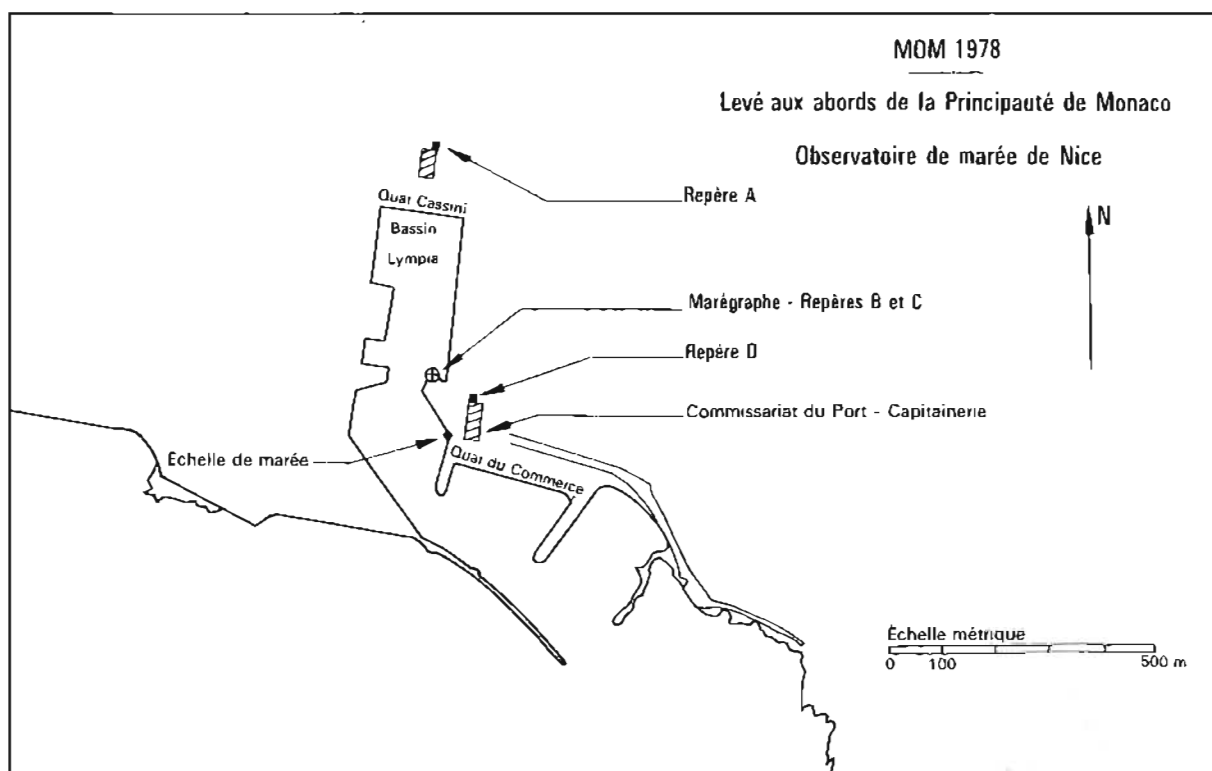
A la demande des autorités locales on a effectué un resserrement des profils sur une partie de la réserve de l'Anse de Larvotto, dans les buts suivants :

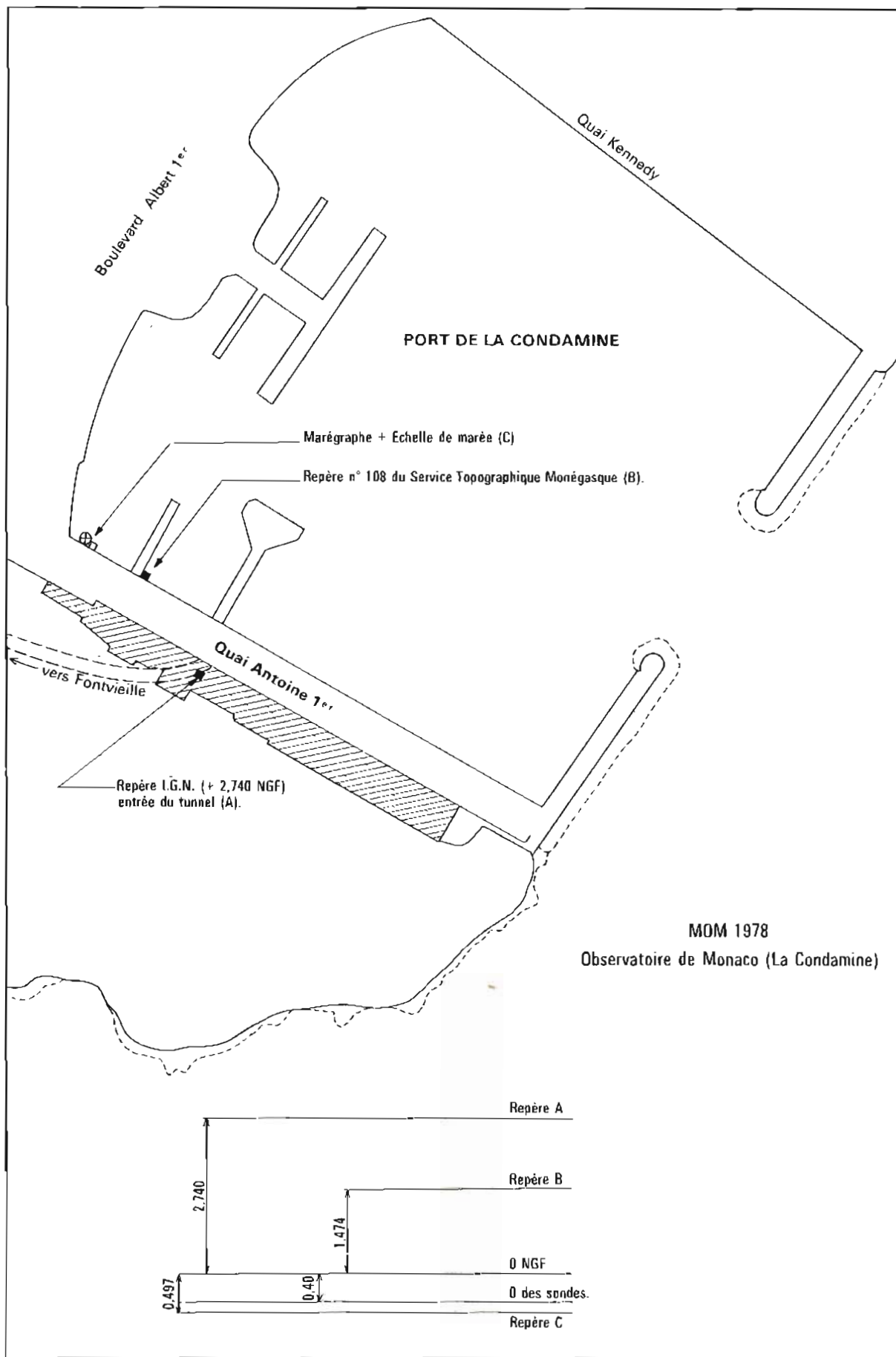
- Essayer de déterminer la limite de l'herbier ;
- Rechercher et localiser des enrochements artificiels mis en place sur le fond.

La première opération échoua complètement, les traces au sondeur sur l'une ou l'autre fréquence (30 et 210 Khz) et avec différents gains ne révélant absolument rien. Une tentative au sondeur latéral a également échoué par suite d'une avarie de matériel.

Les enrochements par contre ont été, pour un grand nombre, retrouvés et l'existence de certains, dans la mesure du possible (limitation du nombre de plongées successives), confirmée par les plongeurs. Des travaux complémentaires restaient cependant encore à faire : poursuite des identifications par plongeur, recherche des enrochements non retrouvés dans un premier temps, exploration au sondeur latéral.







VII.4. TOPOGRAPHIE – AMERS

Les photographies aériennes couvrant la zone ont été toutes vérifiées et renseignées particulièrement en ce qui concerne les roches côtières.

Les opérations côté mer concernant la revue d'amers (choix et sélection) ont été également effectuées. Pour clore ces travaux il restait en conséquence à effectuer toutes les opérations de triangulation en vue du positionnement des amers et du piquetage des photographies aériennes.

VII.5. MAREE – COURANTS

VII.5.1. Marée (v. Pl. 21 et Pl. 22).

La marée a été, pendant toute la durée des travaux, observée à Nice et Monaco où existent des observatoires permanents.

Une concordance de vérification, faite après mon départ, a mis en évidence un défaut de calage du marégraphe de Nice.

Après recalage correct, elle a permis de vérifier que les zéros hydrographiques traditionnels situés l'un et l'autre à 40 cm au-dessous du zéro du NGF sont bien en concordance. Les cotes et les descriptions des repères sont données dans le tableau ci-dessous :

Désignation	Description	Cote par rapport au zéro hydrographique	Cote par rapport au zéro du NGF
<i>Observatoire de Nice</i>			
A	Repère fondamental : repère NGF de l'église Notre Dame du Port	+ 7,737	+ 7,337
B	Rivet à l'extérieur de l'abri du marégraphe	+ 2,062	+ 1,662
C	Rivet à l'intérieur de l'abri du marégraphe	+ 2,078	+ 1,678
D	Repère scellé dans l'angle Nord du bâtiment du Commissariat du Port	+ 3,026	+ 2,626
<i>Observatoire de Monaco</i>			
Repère A	Repère du NGF à l'entrée du tunnel de la Condamine à Fontvieille	+ 3,140	+ 2,740
B	Repère n° 108 du Service Topographique Monégasque sur le quai Antoine 1 ^{er}	+ 2,874	+ 1,474
C	Zéro de l'échelle de marée à proximité du marégraphe du port de la Condamine	- 0,097	- 0,497

Nota. La cote du repère n° 108 (B) est déduite d'un rattachement effectué par le MOM au repère du NGF (A). Ce rattachement fait apparaître une différence de 4 mm avec la cote donnée par le service topographique monégasque (1,478).

VII.5.2. Courants

Des mesures de courant à l'immersion de 5 m ont été effectuées du 03 au 18 novembre aux points suivants (mouillage et relevage par l'*Octant*) :

– dans le 170 et à 150 m du feu rouge d'entrée au port de Fontvieille

– dans le 120 et à 100 m du feu rouge d'entrée au port de la Condamine.

VII.5.3. Documents établis

2 minutes de bathymétrie au 1/10 000 ;
1 minute de bathymétrie au 1/20 000 ;
1 minute des natures du fond au 1/20 000.

CHAPITRE VIII

TRAVAUX DIVERS

VIII.1. TRAVAUX AU LARGE DU CAP BEAR
(v. Pl. 23).

Ces travaux qui avaient pour objet l'étude détaillée d'une zone limitée ont été effectués par la *Recherche*, l'*Origny* et l'*Alidade* entre le 3 et le 11 novembre 1976. Ils ont comporté :

- un levé bathymétrique régulier à l'espacement de 50 m,
- une exploration au sondeur latéral Edgerton à l'espacement de 150 m,
- des prises de la nature superficielle du fond suivant un maillage de 0,5 mille.

Deux lignes de courantométrie avaient été en outre mouillée par l'*Origny*, l'une avec bouée de surface et courantographe à l'immersion de 5 m, l'autre avec bouée de subsurface associée à un système de largage acoustique et courantographe à 5 m du fond. La première a disparu alors que, par suite d'un fort coup de vent, les bâtiments avaient du aller chercher un mouillage abrité. L'autre a été récupérée, mais vainement, le courantographe n'ayant pas fonctionné.

La localisation pour tous ces travaux était assurée par 3 balises Trident dont les positions (Lambert III, Système géodésique NTF) sont :

	X	Y
Cap Cerbère :	668 661	15 392
Bear (Sémaphore) :	665 492	24 356
Perpignan :	644 345	41 421

Il a été établi les documents suivants :

- 1 minute des natures du fond au 1/10 000 ;
- 3 minutes de bathymétrie au 1/5 000.

VIII.2. TRAVAUX AUX ENVIRONS DE SAINT RAPHAEL

Deux travaux de détails, complémentaires au levé Bonnot 1975, ont été effectués dans la région de St-Raphaël.

Le premier avait pour objet de compléter une lacune des sondages centrée sur la position $43^{\circ} 23' N, 06^{\circ} 51' E$. Il a été effectué par l'*Origny*, à l'espacement de 200 m (espacement du levé original), à l'occasion d'un transit de ce bâtiment vers les côtes Ouest de Corse.

Pour le deuxième, il s'agissait de confirmer l'existence d'une tête à 73,6 m, au large du Cap Dramont (dans le $100^{\circ} 30'$ Lambert et à 4 850 m du sémaphore). L'*Origny* d'abord (mois de mai 1977) puis la *Recherche* (mois de novembre) y ont consacré chacun de l'ordre d'une demi-journée. Une zone de 200 m de large centrée sur la position issue du levé 1975 m a été explorée à raison d'un profil tous les 25 m. La cote minimum trouvée à été de l'ordre de 100 m. J'ai, en conséquence, après examen attentif des documents de 1975, conclu à l'inexistence de cette tête à 73,6 m.

La localisation a été assurée par 2 balises Trident (Dramont et St Aygulf) associées à un relèvement au théodolite.

— Position des balises Trident (Lambert III, système géodésique NTF)

	X	Y
Cap Dramont	965 583,4	133 827,2
St Aygulf	955 952,0	130 632,9

Chacun de ces travaux a donné à l'établissement d'une minute (simple pastille) à l'échelle de 1/10000.

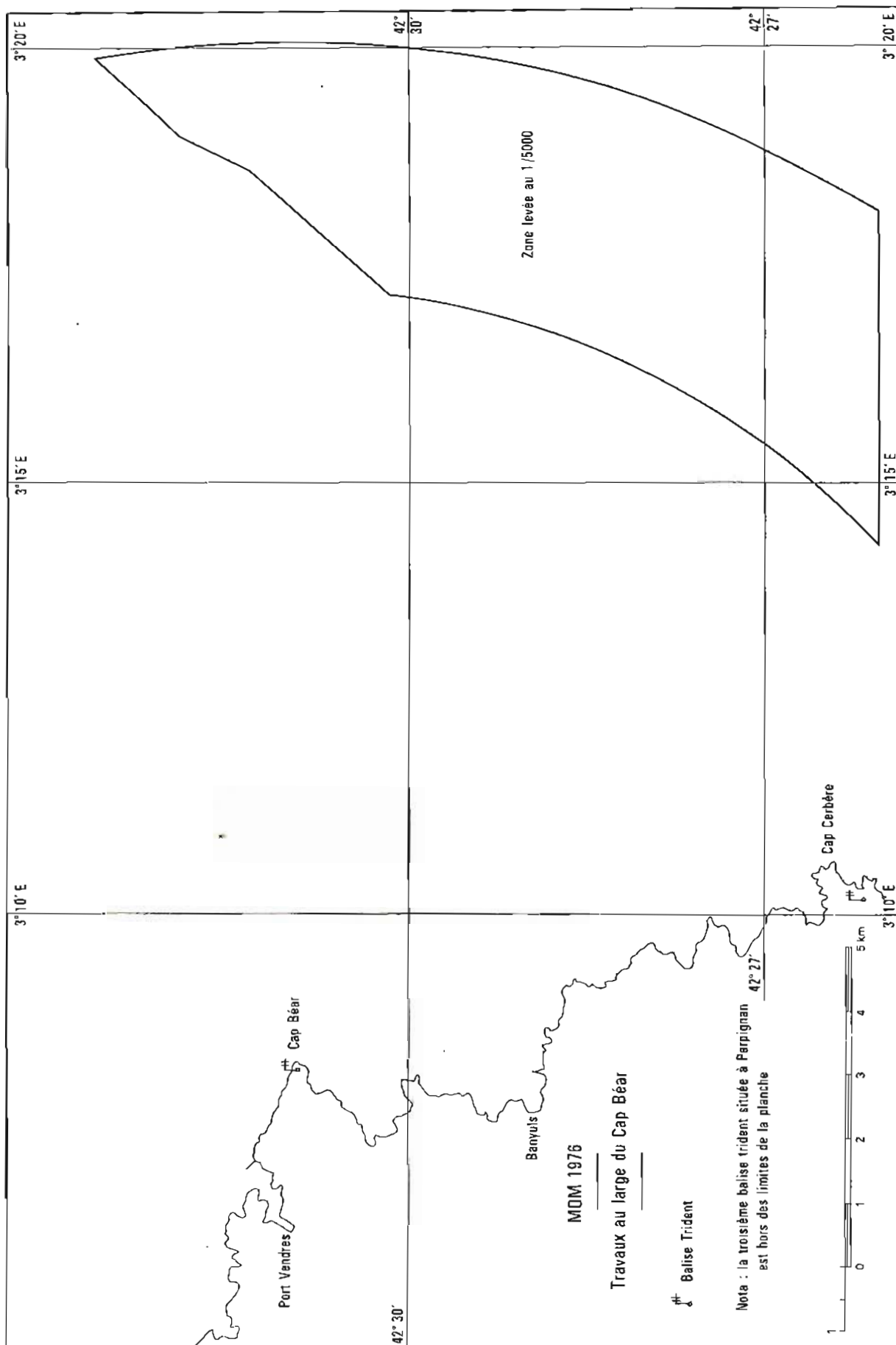
VIII.3. LEVE DE LA DARSE DE LA BAN D'ASPRETTU.

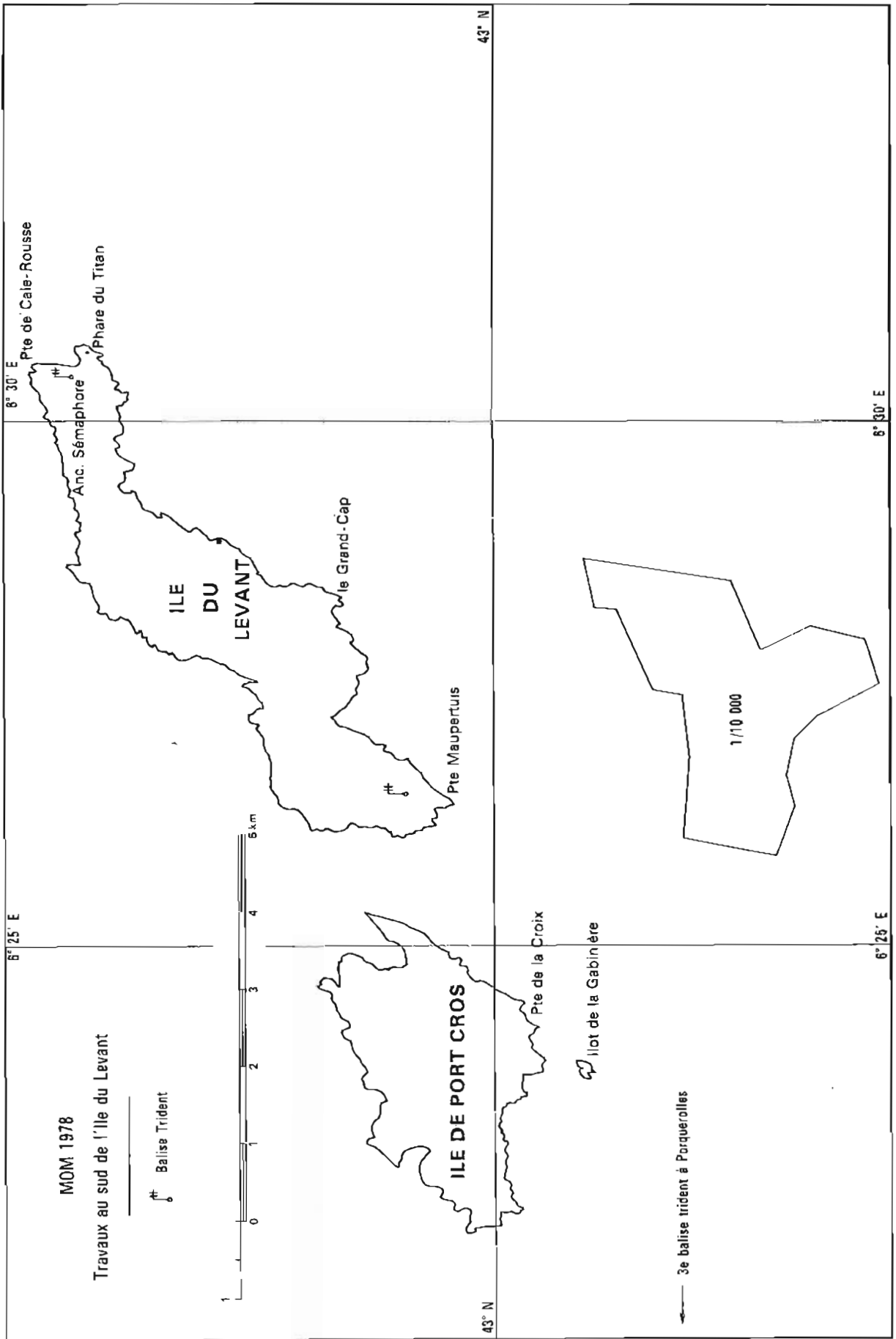
Ce levé, demandé par les autorités maritimes locales, avait pour objet de contrôler des travaux d'approfondissement effectués par les services locaux de l'équipement. Il a été effectué à l'échelle de 1/500 par une équipe de l'*Octant* renforcée par le personnel de la MOM, à l'aide d'une embarcation fournie localement et équipée d'un sondeur hors bord.

La rédaction a été effectuée immédiatement et un tirage renseigné faisant ressortir, par adjonction de couleurs, différents plafonds a été adressé à la BAN. Les sondes ont été réduites de la marée observée localement (voir § IV.7).

VIII.4. LEVE AU SUD DE L'ILE DU LEVANT
(v. Pl. 24).

A la demande du Centre d'Essais de la Méditerranée, une zone comprise entre les isobathes 200 et 500 m et





les méridiens $06^{\circ} 26' E$ et $06^{\circ} 28',15 E$ a été levée à l'espacement de 100 m. Ce travail a été effectué par la *Recherche* qui y a, au début juillet 1978, consacré de l'ordre d'une journée avant de rejoindre sa zone de travail principale sur les côtes de Corse. La localisation était assurée par 3 balises Trident (2 sur l'île du Levant, une au sémaphore de Porquerolles) :

	X	Y
Sémaphore du Titan : (île du Levant)	939 596,6	91 768,4
Maupertuis (île du Levant)	934 341,4	87 108,3
Sémaphore de Porquerolles :	917 145,0	85 308,3

Il a été établi une minute de bathymétrie à l'échelle de 1/10 000.

VIII.5. TRAVAUX A PROXIMITE DE LA GALITE.

A l'occasion d'une escale à Tunis, l'*Origny* avait été chargé de vérifier la position d'un haut fond de cote 59 m situé dans le 27 et à 20 milles de la Galite, soit $L = 37^{\circ} 49',5$ $G = 9^{\circ} 08',0$ (Référence carte 4314).

La localisation, au cours de la recherche, a été assurée au moyen du Loran C, préalablement étalonné en vue de terre (voir Annexe Technique n° 2), l'espacement initial des profils étant de 180 m.

Au voisinage du 59 m à rechercher, le fond est très tourmenté. Deux têtes ont été trouvées, l'une à 66 m, l'autre à 57 m, relativement proches l'une de l'autre et séparées par des fonds de plus de 100 m.

Les positions de ces 2 têtes (lectures Loran C corrigées de $\Delta X = +0,5$ $\Delta Z = +0,8$) sont dans un système cohérent avec la carte 4314 :

57 m $L = 37^{\circ} 49' 12''$ $G = 09^{\circ} 07' 24''$
 61 m $L = 37^{\circ} 49' 22''$ $G = 09^{\circ} 07' 37''$

VIII.6. PARTICIPATION A LA CAMPAGNE COBLAMED 1976 (v. Pl. 25).

Du 8 au 17 septembre 1976 la *Recherche*, par suite d'une indisponibilité de l'*Origny*, a participé à une partie de la Campagne Coblamed autour de la bouée Borha II. Son programme, défini par le Muséum d'Histoire Naturelle, devait consister à effectuer un circuit triangulaire autour de 3 bouées mouillées par le Muséum en exécutant un relevé bathythermique tous les deux milles et à venir une fois par 24 heures en faire un supplémentaire au plus près de la bouée Borha. En cas de mauvais temps l'obligeant à quitter sa zone pour aller chercher un abri, elle devait en outre s'efforcer d'exécuter au cours des transits (aller et retour) un relevé toutes les demi-heures.

Pour effectuer ces travaux, la *Recherche* disposait :

- d'un treuil pour bathythermographe gréé en câble de 4 mm ;
- de deux bathythermographes Richard en bon état de marche ;
- d'un bathythermographe Sippican portatif dont l'enregistreur était installé dans la deuxième chambre Ingénieur, seul endroit disponible à bord au plus près possible de l'arrière. Malgré cela le câble reliant le canon à l'enregistreur était trop court et les lancers devaient se faire non pas sur l'arrière mais sur le côté, ce qui, par fort vent, rendait l'opération pratiquement irréalisable.

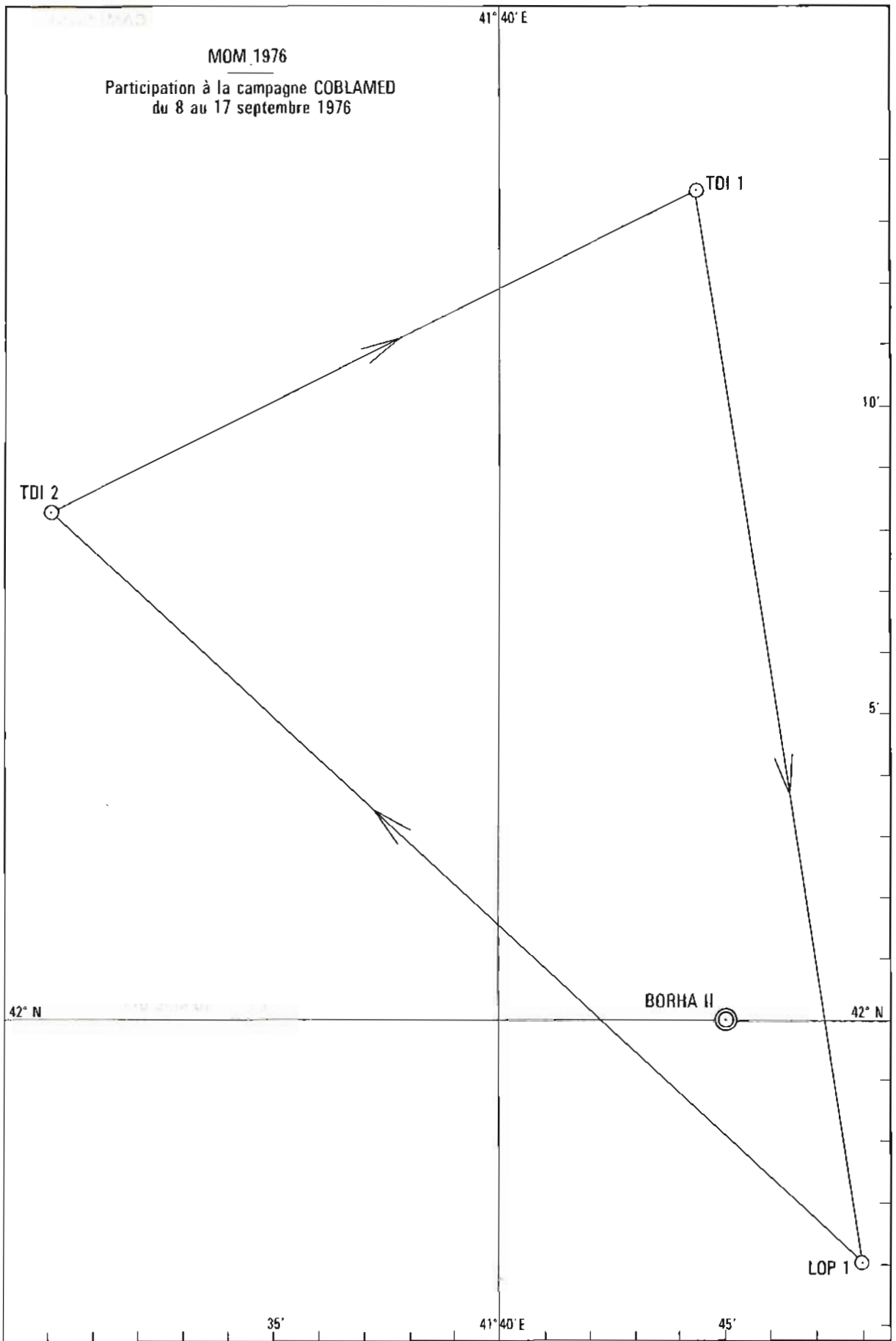
Après quelques jours de rodage, le programme s'est déroulé de manière satisfaisante, en dépit des contraintes imposées à la *Recherche* assez inadaptée à ce type de travail :

- exécution du circuit autour des bouées à l'allure la plus faible possible 5 à 6 noeuds (au-dessous des allures vibratoires), ce qui imposait un décrassage aux extrémités de chaque côté du triangle.
- Transits à 12 noeuds (variante mauvais temps) avec ralentissement toutes les demi-heures faisant passer par toute une série d'allures vibratoires.

On récolta au total :

190 bathy Richard ; 57 bathy Sippican.

Les données ont été expédiées à l'EPSHOM qui les a par la suite fait parvenir au Muséum.



ANNEXE TECHNIQUE N° 1

SYSTEME D'ACQUISITION DE LA BATHYSONDE "GUIDLINE" DE LA MOM

INTRODUCTION

Une bathysonde *Guidline*, identique à celle qui fut livrée à la MOM au printemps 1976, avait été utilisée pour la première fois par le d'*Entrecasteaux* au cours de la Campagne Norvège d'août 1974 (voir rapport ICA Schrupf) (*). Bien qu'elle eut fonctionné correctement, il était apparu que son système d'acquisition numérique n'était pas à la hauteur des performances des capteurs. Cette bathysonde délivre en effet ses informations sous forme de tensions analogiques qui sont transmises à bord simultanément grâce à un câble multi-conducteur. La chaîne d'acquisition de la MOA comprenait un voltmètre numérique qui venait, à cadence fixe, scruter les 3 voies de mesure et un perforateur de ruban comme support des données.

Le principal défaut de ce système parvenait du fait que, disposant d'un seul convertisseur, les mesures ne pouvaient être simultanées.

Aussi, à l'occasion de l'achat de la sonde CTP, destinée à la MOM, l'EPHOM avait étudié et mis au point une chaîne d'acquisition définie par le cahier des charges suivant :

- les mesures doivent être :
numérisées ; de période de 1 s. si la sonde est en déplacement, 15 s. si elle est en palier ; simultanées.

Sauf en cas de non monotonie de la suite des pressions, le nombre de mesures ne doit pas être réduit ; la conversion analogique-numérique doit respecter la précision des mesures ; il faut pouvoir contrôler, en temps réel, le fonctionnement de la sonde ; la chaîne d'acquisition doit pouvoir être mise en œuvre par un personnel non qualifié en informatique, ni en électronique ; quand la chaîne n'est plus utilisée, tout appareil la constituant doit pouvoir en être séparé facilement en vue d'un autre usage (conception modulaire).

Ce cahier des charges se caractérise par sa souplesse et sa simplicité d'emploi. Il a amené le développement du système d'acquisition décrit dans cette annexe.

DESCRIPTION DE LA CHAÎNE DE MESURES.
(v. Pl. 26).

Cette chaîne se compose d'une sonde Pression-Température-Conductivité *Guidline* (d'un célérimètre Crouzet) et d'un système d'acquisition Hewlett-Packard installé à bord.

(*) *Annales Hydrographiques* (1978) n° 749 p. 35.

A) Système de mesure

La sonde comprend un tiroir d'alimentation, une table traçante analogique à 2 plumes (le déroulement du papier peut être asservi soit au temps, soit à l'un des paramètres mesurés : en général la pression), un câble électroporteur à 7 conducteurs, un poisson muni de 3 capteurs (un quatrième capteur peut être connecté : il s'agit d'un célérimètre Crouzet). Le poisson est associé à un multi-échantillonneur électro commandé.

Le poisson reçoit deux tensions continues ($> \phi$ et $< \phi$) du tiroir d'alimentation. Les trois capteurs PTC renvoient une tension continue entre -4 V et $+4\text{ V}$, proportionnelle à la valeur du paramètre mesuré. Le célérimètre (alimenté par l'intermédiaire du poisson) renvoie une fréquence fonction de la célérité du son.

B) Système d'acquisition

L'acquisition est assurée par 3 voltmètres numériques continus Hewlett-Packard et un fréquencemètre Hewlett-Packard pilotés par un calculateur 9821 Hewlett-Packard au moyen d'une ligne BUS HP IB.

Le calculateur commande également une table traçante Hewlett-Packard.

a) Le calculateur

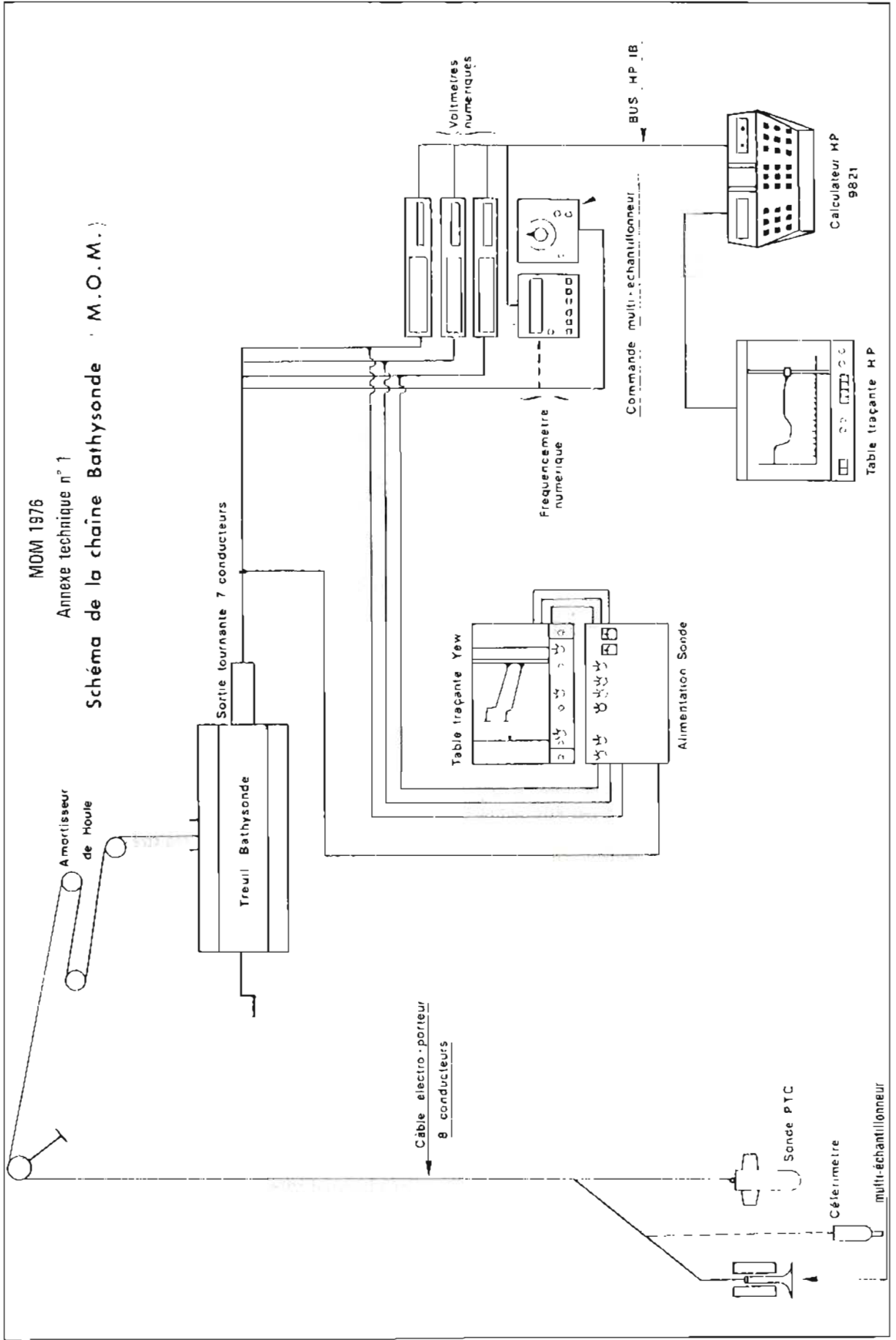
Le calculateur avec son extension maximum, a une capacité mémoire de 1423 registres (mots mémoire de 12 digits chacun). Cette mémoire est utilisée par le stockage du programme et des données.

En plus de sa mémoire vive, le calculateur dispose de 3 blocs de mémoires mortes : les ROM (Read Only Memory). Ce sont en fait des fonctions câblées qui constituent une petite librairie de sous-programmes utilitaires. L'une contient les principales fonctions mathématiques ; la deuxième contient les ordres de commande de la ligne BUS HP IB et de la table traçante. La dernière (dénommée U.D.F. User Definable Fonction) permet de définir 6 sous-programmes utilisateurs et de les appeler directement du clavier. Ces sous-programmes sont effacés dès que le calculateur est mis hors fonction. La mise en place des ROM (par simple enfichage) consomme quelques registres de la mémoire vive, qui contiennent les adresses d'appel des fonctions câblées.

Le langage du calculateur est très proche du langage algébrique, ce qui rend sa programmation très commode. Ce langage possède cependant une véritable syntaxe comprenant des possibilités de tests logiques.

Les ordres de commande du calculateur sont données par l'intermédiaire d'un clavier alphanumérique complété

MDM 1976
Annexe technique n° 1
Schéma de la chaîne Bathysonde · M.O.M.)



par des touches spéciales. Ce clavier permet de composer les programmes et, éventuellement, de rentrer des données. Les organes de sortie sont une imprimante thermique à 16 caractères par ligne et une fenêtre d'affichage lumineux à 16 caractères.

Le calculateur dispose également d'une mini-cassette magnétique sur laquelle il peut lire ou écrire, en fonction des ordres de l'opérateur ou du programme.

Remarques Importantes. Avant de poursuivre et pour faciliter la compréhension des différents programmes qui sont décrits plus loin, ainsi que les procédures d'acquisition, il convient de noter les limites qu'à imposées le choix de ce type de calculateur.

Le calculateur ne peut faire deux tâches simultanément, c'est-à-dire par exemple, une phase calcul en même temps qu'une entrée ou une sortie, ou un transfert sur la cassette de données préalablement enregistrées alors qu'il est en train d'en enregistrer de nouvelles.

Le temps d'accès à la cassette est prohibitif et n'aurait pas permis de maintenir le rythme d'acquisition défini par le Cahier des Charges.

Ces deux contraintes en entraînent une troisième ; en effet elles obligent à acquérir directement en mémoire vive, tant que la capacité de celle-ci le permet. Avant qu'elle ne soit entièrement pleine, il faut interrompre la station afin de transférer les données acquises sur la cassette. L'enregistrement d'une station comportera donc une suite d'enregistrements constituant autant de fichiers sur la cassette préalablement formatée.

b) Voltmètre et fréquencemètre.

Ces appareils mesurent et numérisent les tensions ou fréquences renvoyées par les capteurs.

Soit U_P , U_T , U_C les tensions (en volts) et F_V la fréquence (en hertz) délivrées par ces appareils. La valeur des paramètres mesurés s'obtiendra en utilisant respectivement les formules de conversion :

$$P = U_P \times 1500$$

Pression en décibar

$$T = U_T \times 10$$

Température en degrés Celsius

$$C = \frac{U_C \times 4}{4} \times 42.896$$

Conductivité en millimho par centimètre carré

$$V = F_V / 5$$

Vitesse du son en mètre par seconde

La tension de sortie des capteurs P, T ou C de la sonde varie entre -4 V et $+4$ V. Les voltmètres numériques sont à 120 000 points de mesure. La résolution est de 10^{-4} V. dans la gamme utilisée.

Dans ces conditions, les 3 chaînes de mesure capteur-voltmètre numérique, ont pour sensibilités respectives : 0,15 décibar ; 0,001 degré Celsius ; 0,001 millimho par centimètre carré.

La plage de fréquence du célérimètre s'étend de 1 000 Hz à 9 000 Hz environ.

Le fréquencemètre est à 999 000 points de mesure. Sa résolution est donc 0,01 Hz dans la gamme utilisée.

Le célérimètre a une sensibilité voisine de 0,1 m/s : ce sera la sensibilité de la chaîne de mesure célérimètre-frequencemètre.

Ces quatre appareils de mesure peuvent être commandés par le calculateur 9821 au moyen de la ligne BUS HP IB. Les appareils ne réagissent plus alors aux commandes manuelles installées sur leur face avant.

c) Contrôle de la sonde

En dehors du système d'acquisition H.P. proprement dit, la sonde CTP est couplée à une table traçante analogique YEW. Seule la vitesse du son (fréquence) n'est pas connectée.

La connection est établie à la sortie même de la sonde, en parallèle avec le branchement des voltmètres.

Cette table permet soit de tracer deux paramètres en fonction du troisième, soit deux paramètres en fonction du temps.

Elle constitue ainsi un contrôle en temps réel du fonctionnement de la sonde en déplacement (tracés de T et C en fonction de P) ou en palier (tracés de T et C en fonction du temps).

PROGRAMME D'ACQUISITION ET DE TRAITEMENTS.

A) Présentation des programmes

Les programmes d'acquisition et de traitement, qui ont été écrits par la section Océanographie de l'EPSHOM, sont au nombre de 7 et peuvent être classés en 3 catégories :

a) Programme d'acquisition.

Ils sont au nombre de 3 :

Programme 1 : constitutif du descriptif immédiat.

Programme 2 : acquisition des données et stockage sur cassette.

Programme 3 : constitutif du descriptif différé

b) Programme de prétraitement

Ils sont également au nombre de 3 :

Programme 4 : traitement de paliers

Programme 5 : correction des données observées

Programme 6 : réduction à 9C du nombre des données observées.

c) Utilitaire de Formatage

Il s'agit d'un seul programme :

Programme 7

B) Description sommaire de chaque programme.

a) Programme 7. Utilitaire de Formatage.

On a vu dans l'introduction les notions de formatage et de fichiers. Ce programme permet de prémarquer des fichiers sur une cassette de telle sorte qu'elle puisse recevoir des données observées, corrigées ou réduites.

Cassette de données observées.

On y trouvera trois sortes de fichiers :

Fichier n° 0 destiné à recevoir le descriptif immédiat, puis son complément le descriptif différé.

Fichiers 1 à 12 : destinés à recevoir les données enregistrées en profil vertical.

Fichiers 13 à 21 : destinés à recevoir les données enregistrées en palier

Cassette de données corrigées

On y trouve les mêmes fichiers que sur la précédente, à l'exception des fichiers 13 à 21.

Cassette de données réduites

Ce programme prémarque 42 fichiers identiques destinés à recevoir les éléments de 42 stations ; descriptif de chaque station, puis données réduites correspondantes (réduction du nombre de mesures à 90 pour une exploitation immédiate).

b) Programme 1 : Constitution du descriptif immédiat

Ce programme met en mémoire dans le calculateur, le minimum de paramètres nécessaires à l'identification future de la station.

Ces paramètres sont :

- numéro du pays (code SHOM) 2 chiffres
- numéro de la Mission (code SHOM) 2 chiffres
- numéro du bâtiment (code SHOM) 2 chiffres
- numéro de la campagne 2 chiffres

Ce numéro est compris entre 1 et 99. Il est donné à courir depuis le 1^{er} janvier de chaque année :

- numéro de la bathysonde (code SHOM) . . . 2 chiffres
- numéro de la station 3 chiffres

Les deux premiers chiffres de ce numéro (dizaines-centaines) forment un nombre compris entre 1 et 99, donné à courir depuis le début de la campagne. Si une campagne comporte plus de 99 stations, elle doit être divisée en autant de sous-campagnes qu'il est nécessaire pour que chacune d'elles contienne au plus 99 stations.

Le dernier chiffre du numéro de station (unités) est égal à 0 ou 1.

0 signifie que les mesures sont faites en descente
1 signifie que les mesures sont faites en montée

- Année 2 chiffres

Seuls les deux derniers chiffres sont donnés (millésime)

- Mois : numérotés de 1 à 12 2 chiffres
- Jours : numérotés de 1 à 31 2 chiffres

- Heure : heure T.U. (exprimée en dixième d'heure) du début de la station 3 chiffres

- Nombre de paramètres : égal à 3 ou 4 . . . 2 chiffres

c) Programme 2 : Acquisition des données et stockage sur cassette

Ce programme assure l'exécution des tâches suivantes :

- stocker sur cassette les données du descriptif immédiat ;

- formater (éventuellement) la cassette de données brutes (si cela n'a pas été préalablement fait par le programme 7) :

- prendre en charge la commande des appareils de mesure (gamme, mode etc.) ;

- déterminer et imposer la cadence des mesures (1s ou 15s) suivant qu'il s'agit d'une acquisition en profil vertical ou en palier ;

- assurer la simultanéité des mesures (top de début de comptage commun à tous les appareils ;

- commander la lecture des appareils ;

- assurer la monotonie (croissante ou décroissante) des pressions (sauf en palier) ;

- convertir les tensions (et fréquence) mesurées en Pression, Température, Conductivité (et Vitesse du son) ;

- stocker en mémoire vive, sous forme compacte (4 paramètres dans deux registres) les résultats de cette conversion ;

- gérer la mémoire vive et le transfert des données sur la cassette

- gérer la cassette.

d) Programme 3 : Constitution du descriptif différé

Ce programme complète le descriptif immédiat déjà enregistré sur la cassette. Les compléments apportés sont de deux sortes : d'une part les données de position et de temps caractérisant la station ; d'autre part les paramètres météorologiques mesurés pendant la station.

Ces données sont (dans l'ordre d'entrée en mémoire) :

- Quadrant : Code SHOM 1 chiffre

- Latitude : en degrés et minutes . . . 2 x (2 chiffres)

- Longitude : en degrés et minutes

. 3 chiffres et 2 chiffres

- Fond : en mètres 4 chiffres

- Température de surface : en dixièmes de degré Celsius 3 chiffres

- Salinité de surface : en centièmes de parties pour mille 4 chiffres

- Profondeur de mesure (profondeur maximum atteinte par la sonde lors de la station) : en mètres 4 chiffres

- Température sèche : en dixièmes de degrés Celsius 3 chiffres

- Température humide : en dixième de degrés Celsius 3 chiffres

- Temps : Code SHOM 1 chiffre

– Nébulosité	1 chiffre
– Mer : code SHOM	1 chiffre
Glace : code SHOM	1 chiffre
– Vent { Direction : décadegrés	2 chiffres
{ Vitesse : nœuds	2 chiffres
– Houle { Période : secondes	2 chiffres
{ Hauteur : nœuds	2 chiffres
– Pression : millibars	5 chiffres
– Heure F.S. : heure T.U. de la fin de la station, exprimée en dixièmes d'heure	3 chiffres

e) Programme 4 : traitement des paliers d'étalonnage

Ce programme est destiné à tracer successivement, en fonction du temps, les 3 ou 4 paramètres enregistrés pendant un palier d'étalonnage, afin que l'opérateur puisse en déterminer la validité, puis à calculer la valeur moyenne de chacun des paramètres, dans un intervalle choisi par l'opérateur.

Il comprend schématiquement pour chaque paramètre, 2 phases :

– calcul de la moyenne des mesures effectuées pendant le palier et tracé des écarts par rapport à cette valeur moyenne ;

– calcul éventuel et impression d'une nouvelle moyenne après que l'opérateur, suite à un examen du 1^{er} tracé, ait décidé de supprimer certaines parties du palier. Il arrive en effet, fréquemment, que les mesures en début ou en fin de palier présentent d'importantes fluctuations par rapport à la moyenne.

Nota. Les résultats ne sont pas gardés en mémoire, ni transcrits sur une cassette ; ils ne figurent que sur le papier de l'imprimante qu'il faudra conserver, puisque ce sont ces valeurs qui serviront à contrôler les coefficients d'étalonnage de la sonde qui devraient normalement être déterminés en laboratoire.

f) Programme 5 : Correction des données observées

Ce programme corrige les données observées des stations d'une campagne (ou d'une partie d'une campagne) à l'aide d'une table de valeurs dite table de corrections.

L'exploitation des paliers, jointe aux résultats de l'étalonnage en laboratoire permet de déterminer les quantités :

$$\Delta P = P_R - P_{obs} ; \Delta T = T_R - T_{obs} ;$$

$$\Delta C = C_R - C_{obs} ; \Delta V = V_R - V_{obs}$$

ce sont les quantités qu'il faut ajouter aux valeurs observées par la sonde pour obtenir les valeurs réelles *in situ*.

Les grandeurs ΔP , ΔT , ΔC , ΔV sont définies dans un intervalle de pression [P1, P2[(P2 > P1). En général, il faudra une suite d'intervalles de ce type pour couvrir toute la gamme de pression de la sonde. Cette couverture doit être sans recouvrement et sans solution

de continuités. Les intervalles doivent être classés par pressions croissantes et leur nombre est limité à 30.

La première phase du programme consiste à entrer en mémoire la table des corrections, c'est-à-dire ΔP , ΔT , ΔC (éventuellement ΔV) correspondant à chaque intervalle. La deuxième phase constitue la phase correction proprement dite. Elle se fait fichier par fichier et nécessite de passer alternativement d'une cassette "données brutes" à la cassette "données corrigées" correspondante. Ces deux cassettes se correspondent de façon biunivoque. Elles comprennent les mêmes descriptifs immédiats et différés et à chaque fichier de rang n (n compris entre 1 et 12) de l'une, correspond le fichier de même rang de l'autre. La cassette de données corrigées ne comprend pas cependant de fichiers de "mesuras en palier" (fichier de rang supérieur à 12).

g) Programme 6 : réduction à 90 du nombre d'observations

En profil vertical, le calculateur acquiert une série d'observations (3 ou 4 paramètres) par seconde. Cela correspond à au moins une observation par mètre, compte tenu de la vitesse maximum de déplacement de la sonde (ou au moins deux observations par mètre dans les gradients).

Compte tenu de la capacité mémoire du calculateur et de sa vitesse de calcul, la Mission ne peut pas traiter une telle quantité d'informations.

Par ailleurs, lors d'une campagne, il est nécessaire que la Mission effectue quelques traitements sommaires (calcul de S, de σ_r , de hauteurs dynamiques, de la période de Vaissala, etc.) afin de pouvoir modifier la place des stations en fonction du but poursuivi et des premiers résultats.

Il fallait donc réduire le nombre de données observées. C'est le but de ce programme qui calcule, par interpolation linéaire, les valeurs des paramètres T, C, V en 90 immersions standards. Ces immersions sont espacées de :

– 5 m entre	0 m et	100 m
– 10 m entre	100 m et	200 m
– 20 m entre	200 m et	300 m
– 30 m entre	300 m et	450 m
– 50 m entre	450 m et	2 000 m
– 100 m entre	2 000 m et	3 500 m

Les immersions 250 m, 350 m et 400 m sont intercalées à leur rang dans la liste des profondeurs ainsi définies.

Cette liste contient toutes les immersions standards recommandées pour les stations d'hydrologie classique, afin de rendre plus faciles des comparaisons éventuelles.

Le traitement se fait pour chaque cassette, fichier par fichier, mais contrairement à ce qui se passait pour le programme précédent (correction des données observées), il reste suffisamment de place en mémoire vive pour y faire tenir, outre le contenu entier d'un fichier (le dernier), l'ensemble des 90 mesures réduites. Dans

ces conditions, le remplacement de la cassette "données observées" par une cassette "données réduites" ne se fait qu'en fin de traitement de toute la station.

CONTRAINTES DU SYSTEME-EVOLUTION POSSIBLE

A) Exposé des contraintes

Les contraintes du système ont été sommairement exposées dans le paragraphe II. (remarque in fine) ; liées essentiellement à la nature du calculateur, on les a vues également apparaître dans la description des programmes ; elles sont surtout sensibles dans 3 programmes, le numéro 2, le numéro 5 et le numéro 6.

a) Programme (2)

La contrainte principale vient de la capacité mémoire ; la rapidité de calcul n'intervenant qu'en second lieu.

La cadence d'acquisition a été fixée à 1 mesure (3 ou 4 paramètres) par seconde en profil vertical. Pour une station de profondeur maximum 2 000 m cela donne environ 2 100 points de mesure (vitesse de descente : 0,5 m/s de 0 à 100 m ; 1 m/s au-delà).

Chaque point de mesure occupe deux mots mémoire : le stockage des données nécessiterait donc 4 200 registres, dans les meilleures conditions.

Le programme d'acquisition occupe lui-même environ 200 registres : il en reste donc 1 200 pour ranger les données acquises par le calculateur. Dès que la mémoire est saturée, il faut arrêter l'acquisition pour décharger le contenu des mémoires sur la cassette.

Ainsi, pour enregistrer une station de profondeur maximum 2 000 m, il faudra arrêter la sonde 3 fois pour transférer le contenu de la mémoire à la cassette (sans compter l'arrêt en fin de profil vertical).

Il faudra, à chacun de ces arrêts, remonter la sonde de telle sorte qu'il n'y ait pas de solution de continuité entre deux segments. Cela suppose également qu'il aura fallu que les systèmes d'alarme, indiquant que la mémoire est sur le point d'arriver à saturation, aient fonctionné correctement, que l'attention de l'opérateur ait été effectivement attirée et que la liaison opérateur calculateur-équipe pont (treuil) ne souffre d'aucune défaillance pour que le déplacement de la sonde soit effectivement arrêté en temps utile.

b) Programme 5

On a vu et nous n'y reviendrons pas plus longuement, que la capacité mémoire du calculateur entraînait, pour passer des données brutes aux données corrigées, une gymnastique incessante entre les 2 types de cassette avec les risques d'erreur et de détérioration que cela peut comporter.

c) Programme 6

La contrainte "temps de calcul" imposée par la machine, jointe à la contrainte "capacité mémoire" a conduit à l'écriture d'un programme réduisant à 90 le nombre d'observations.

Sans ce programme, la Mission ne peut pas traiter les mesures, même sommairement, du fait des temps de calcul imposés par le nombre des données de chaque station.

B) Evolution possible

Cette chaîne qui satisfait, aux prix de quelques acrobaties, au cahier des charges, est comme tout œuvre le résultat d'un compromis. Diverses solutions pour l'améliorer sont possibles.

Une première consisterait à changer radicalement de type de calculateur pour passer du calculateur de bureau à un mini-calculateur. Cela reviendrait en fait, à mettre en cause, une des principales caractéristiques du système à savoir sa mise en œuvre par du personnel sans compétence informatique et sa modularité en particulier au niveau du calculateur qui peut facilement être débarqué et utilisé à d'autres tâches. Cette souplesse, l'expérience l'a montré, a été d'un grand secours pour la MOM pour qui le 9821 a été un outil de tous les jours. Conservant en conséquence un calculateur de bureau, quelles peuvent être les améliorations apportées ?

a) Conservation du 9821

Les possibilités du 9821 ont été exploitées au maximum ; la seule amélioration à apporter à la configuration consisterait à ajouter une unité de cassette. Une telle adjonction rendrait plus commode et plus sûre l'exécution du programme 5 puisque on pourrait avoir en fonction, simultanément, la cassette "données brutes" (en protection écrite) et la cassette "données corrigées".

b) Remplacement du 9821 par des machines plus récentes.

Les nouvelles machines de bureau de la série 98 de chez Hewlett-Packard (9845 et 9835) permettraient, en conservant sensiblement le même système, de supprimer pratiquement toutes les contraintes apportées par le calculateur 9821 ; capacité mémoire infiniment plus élevée, possibilité d'effectuer deux tâches simultanées (acquisition et écriture sur la cassette par exemple), cassette de capacité également nettement supérieure, pouvant recevoir sans difficultés aussi bien les données brutes que les données corrigées relatives à une station. La seule contrainte qui subsiste étant donné qu'il s'agit de machine de technologie identique (mémoires à semi-conducteur) est liée à la rapidité de calcul ; il faudrait donc, même avec ces nouvelles machines, conserver le programme de réduction des données afin de pouvoir, dans un temps très court, procéder aux traitements nécessaires pour la conduite de la campagne. Ce ne serait là qu'une contrainte secondaire et j'estime en conséquence qu'un tel système (avec ce type de bathysonde) devrait donner entière satisfaction.

ANNEXE TECHNIQUE N° 2

LOCALISATION AU COURS DES TRAVAUX DE L'ORIGNY
EN MEDITERRANEE ORIENTALE

(D'après un rapport rédigé par l'IA Goutorbe)

LOCALISATION

La localisation était assurée :

- par un système de positionnement par satellites Transit, comprenant un récepteur Sylosat et un calculateur Mitra 15.
- par un récepteur Loran C Decca DL 91 Mk 2.
- par un récepteur Oméga Sercel RR116 A.

1. Fonctionnement de la baie Transit.

1.1. Récepteur Sylosat.

Le récepteur Sylosat a très bien fonctionné pendant 5 semaines. Ensuite, la chaîne 150 MHz est tombée en avarie (fort parasitage, pas d'accrochage des satellites, test non valide) et n'a pu être remise en état, malgré un lot complet de cartes de rechange et l'intervention de l'IETA Pelle de l'EPSHOM à Patras. La chaîne 400 MHz a toujours bien fonctionné.

1.2. Interface CSEE

L'interface de conversion du loch et du cap a fonctionné sans aucun problème.

Il lui a été attribué, pendant un certain temps, une erreur systématique d'environ 4 degrés sur le cap utilisé dans le calcul de l'estime. Il est apparu que cette erreur, devenue intermittente par la suite, était d'origine mécanique.

1.3. Calculateur Mitra 15

Le calculateur a donné entière satisfaction.

Afin de lever le doute sur certaines anomalies constatées dans l'édition des calculs, les programmes test ont été passés à 2 reprises avec succès.

Lors des coupures de secteur, le programme n'est pas "sauvé" à chaque fois mais cela peut être attribué au manque de franchise de certaines coupures.

1.4. Périphériques

Le lecteur rapide a très bien fonctionné, bien que le réglage de la partie optique soit très délicate.

Un télé-type supplémentaire, provenant de l'*Espérance*, a été embarqué avant le départ de Toulon. Cette précaution s'est avérée fort utile puisque, au retour, les deux machines étaient en panne. Les perforateurs asso-

ciés à ces machines n'ont pas donné satisfaction. L'un a fonctionné près d'un mois sans problème, l'autre quelques jours à peine. Par la suite, la perforation des messages est devenue très aléatoire et a entraîné ainsi la perte d'informations.

Il faut bien noter cependant que les télétypes sont des machines de service, en principe peu utilisées. Or pour assurer la sauvegarde des messages, en vue de les rejouer éventuellement en temps différé, on leur a demandé un travail pour lequel elles ne sont pas faites : 6 heures de perforation en moyenne par jour.

1.5. Logiciel CSEE

Le programme de la CSEE est le point faible du système. Il n'a pas été remis à jour depuis sa livraison en 1974, ce qui le rend périmé sur plusieurs points (système géodésique employé, numérotation des satellites). D'autre part, de nombreuses erreurs, décelables, peuvent lui être attribuées (calcul de l'élévation, rejet des passages longs). Enfin les entrées-sorties sont souvent peu pratiques (estime, prévisions de passage).

2. Loran C

2.1. Le Récepteur DECCA DL 91 Mk 2.

La mise en œuvre est très facile. Mais tous les modes de fonctionnement sont regroupés sur le même bouton, ce qui peut parfois être source de confusion. Une voie est tombée en panne à Héraklion le 26 mai. Une carte de rechange est arrivée à Patras le 15 juin.

Il présente assez souvent des écarts de + ou - 10 μ s sur l'une ou l'autre voie (ce qui correspond à un accrochage sur la 4^e ou la 2^e arche), sans aucune alarme apparente. Le voyant orange correspondant, censé prévenir d'une "lecture pouvant être entachée d'une erreur", s'allume environ 5 minutes au moment du saut puis s'éteint. En sondages ce saut peut être aisément repéré mais en Transit, ou lorsqu'on commence une séance de travail, il faut toujours s'assurer du calage du récepteur, et le reprendre si besoin. 10 μ s correspondent au minimum à un peu moins d'un mille (réseau X sur la ligne de base) et au maximum, en Méditerranée Occidentale, à 9400 m.

Le récepteur s'accroche tout seul sur l'onde de ciel quand l'onde directe est trop faible. Quant c'est le cas, le voyant orange reste la plupart du temps allumé mais peut aussi s'éteindre.

2.2. Les réseaux

A deux reprises, lors de la construction, il fût impossible de recalculer le point Loran sur l'estime, l'écart entre les deux croissant puis décroissant régulièrement. On a observé une zone d'écarts maxima (+ 17 μ s pour X et + 7 μ s pour Z au Nord du détroit de Messine (voir Pl. 27). Cette anomalie de fonctionnement n'est pas étonnante a priori à cet endroit (proximité de l'émetteur maître, et trajet terrestre). Ce même phénomène a été observé en pleine mer (L = 35° 55 N, G = 16° 30 E), avec des écarts maxima de + 17 μ s sur X et Z, rendant les mesures inexploitable pendant 4 heures, sans qu'une explication logique ait pu être trouvée.

Le réseau Z n'est que peu utilisable en Mer Ionienne : mauvais recouvrement avec le réseau X, perte de la réception en gros à l'Est du méridien 18° Est.

On a observé également, une mauvaise réception du même réseau Z en Mer Tyrrhénienne (sauts très fréquents de 10 μ s). Il faut voir là probablement un effet d'écran de la Corse et de la Sardaigne entre le récepteur et l'émetteur d'Estartit.

Dans le Canal de Sicile, la réception et la configuration des réseaux sont excellentes : recouvrement à 75°, pas de mesure (0,1 micro-seconde) égal à 21 m pour X et 18 m pour Z.

3. L'Oméga.

3.1. Le récepteur Sercel RR 116 A.

Ce récepteur a fonctionné sans interruption et sans problème pendant les 9 semaines de campagne.

3.2. Les réseaux

Les stations A et B sont reçues en permanence ; on reçoit bien les stations F et G (Trinidad), parfois D, E ou H la station C n'est pratiquement jamais reçue. A certaines heures de la journée, on peut ne recevoir que A et B.

On a déploré l'absence pour la zone 07 des tables de points B-F, B-G et F-G. Quand à la carte 7625, quatre des cinq réseaux qui sont tracés font intervenir les stations E et H, qui ne sont reçues qu'épisodiquement.

Disposant de 2 lieux plus précis que l'Oméga (Loran C et estime du Transit) celui-ci n'a pas été utilisé à la construction. Les bordereaux Oméga, qui n'existaient pas à l'époque du levé, ont été remplis par la suite et expédiés à l'EPSHOM, pour une évaluation de la précision des lieux et de la disponibilité des stations.

4. Etalonnage du Loran

La position était donnée par le Loran C de Méditerranée et par l'estime fournie par la station Transit, deux lieux de natures très différentes. Avant de commencer la construction, il a paru nécessaire d'étalonner les mesures obtenues avec le Decca DL 91 Mk 2.

Partant d'un point connu en L et G (point satellite ou position a quai), il est possible de transformer ces coordonnées en valeurs théoriques du Loran C en ce point, X_{th} et Z_{th}. On dispose par ailleurs, des valeurs observées (synchrones, ou moyennes d'observations à quai). On peut en déduire des écarts

$$\Delta X = X_{th} - X_{lu} \quad \Delta Z = Z_{th} - Z_{lu}$$

4.1. A quai

On a dépouillé les mesures effectuées à quai à Syracuse, Héraklion, Kalamata, Patras, et ultérieurement Tunis, soit 5 points d'étalonnage précis.

La mesure s'effectue sur environ 48 heures, avec un top toutes les 10 minutes.

– Keraklion (Appendice 1)

Le couple Z n'est pas reçu, le couple X est très mal reçu : en 24 heures d'observation, il n'a été accroché qu'un peu plus d'une heure.

$$\Delta X = - 0,9 \mu s$$

– Kalamata (Appendice 2)

Le couple Z n'est pas reçu, (voie n° 2 du récepteur en avarie) le couple X est bien reçu.

$$\Delta X = - 1,3 \mu s$$

– Patras (Appendice 3)

Les 2 couples sont bien reçus, après réparation du récepteur. On observe de grandes fluctuations sur Z, dues probablement à la proximité de la ligne d'ombre.

$$\Delta X = + 0,4 \mu s$$

$$\Delta Z = - 0,6 \mu s$$

– Syracuse (Appendice 4)

X et Z sont bien reçus. Le couple Z est le plus souvent décalé de - 10 μ s, probablement à cause de la disposition géographique de Syracuse et de l'émetteur d'Estartit.

$$X = - 0,4 \mu s$$

$$Z = - 0,7 \mu s$$

– Tunis (Appendice 5)

Très bonne réception des 2 couples.

$$X = - 0,1 \mu s$$

$$Z = 0,0 \mu s$$

Remarques. — On n'observe pas de variations liées au cycle solaire.

La répartition des points n'est pas gaussienne, mais généralement centrée sur 2 valeurs distantes de 10 μ s.

Le plus grand nombre de lectures ne se regroupe pas forcément autour de la valeur théorique (cas de Syracuse).

Nota. — Les mesures à quai doivent être prises avec une grande réserve, les mesures effectuées le long de la côte NW de Corse montrent des effets évidents de la proximité de la côte, surtout quand les reliefs sont élevés.

4.2. Mer Ionienne.

Les points satellites ont été triés suivant 5 critères sévères, de façon qu'ils présentent toutes les garanties de précision :

Élévation : $20^\circ \leq E \leq 60^\circ$

Ecart en fréquence par rapport à la moyenne des écarts précédents : ≤ 1 Hz

Résidu : ≤ 20 m

Nombre de messages : ≥ 6

Nombre d'erreurs à la réception : ≤ 10

115 points sur 624 ont été ainsi retenus. Ces points, par comparaison avec les valeurs Loran synchrones, ont permis de calculer des écarts X et Z, qui ont été reportés sur les minutes Mercator au 1/1000 000. Les écarts déduits de points satellite reçus en mono-fréquence 400 Méga Hz (à partir du 7/06) sont figurés entre parenthèses.

L'ensemble des points ainsi obtenus ne montre pas une grande cohérence. On remarque que la majorité des écarts ne dépasse pas quelques dixièmes de micro-secondes, soit quelques cinquantaines de mètres au maximum. Les plus grands écarts, et la plus grande dispersion, sont obtenus pour le couple Z.

Les valeurs moyennes utilisées pour la construction ont été calculées en éliminant les écarts les plus importants. Elles sont données sur la planche 28.

4.3. Canal de Sicile.

Peu de bons points satellites ont été obtenus dans la zone des travaux, ceux-ci n'ayant pas excédé 24 heures. On remarque cependant des valeurs supérieures en valeur absolue à celles observées en Mer Ionienne. Mais dans cette région le pas de mesure ne dépasse pas 21 m. De plus, on ne dispose que de réceptions en mono-fréquence.

4.4. Mer Tyrrhénienne

Le petit nombre de valeurs obtenues dans la zone des recherches ne permet pas d'adopter un étalonnage du Loran C.

4.5. Haut-fond de la Galite

Avant de commencer les sondages, et après l'escale à Tunis, il a été effectué des séries de points simultanés au Loran C et en vue de Terre, sur l'îlot de la Galite (Voir appendice 6).

Les écarts observés sont assez cohérents, mais diffèrent légèrement des moyennes observées à quai à Tunis. Ceci peut-être dû soit à une variation rapide des corrections Loran C dans cette région, soit à un mauvais positionnement de la Galite sur la carte ; soit, plus probablement encore, à un effet de terre, à quai à Tunis.

II. CONSTRUCTION

1. Recalage des valeurs Loran

Les premiers essais de construction ont révélé des sauts de 10 micro-secondes qui n'avaient pas été décelés lors des sondages. Il a donc fallu reprendre toute la suite des valeurs Loran et, à l'aide de l'estime du Transit, rétablir la bonne valeur de X ou Z. Cela ne fut pas toujours possible :

– Quand le récepteur a accroché l'onde de ciel de la station d'Estartit. Suivant en cela les conseils des tables de points américaines, nous avons décidé de ne pas utiliser ces valeurs, obtenues par différence entre une onde de sol (celle du Maître) et une onde de ciel.

– Quand le point Loran s'est progressivement écarté puis rapproché de l'estime (voir § 1.2.2.).

2. Adoption des corrections

Des corrections constantes ont été adoptées zone par zone ; les moyennes ont été faites en éliminant les valeurs extrêmes de chaque série. L'étendue des zones et les valeurs constantes qui leur ont été associées sont données sur la planche 28. Dans le Canal de Sicile, les corrections adoptées ont été :

$$\Delta X = + 2,2 \mu s \quad \Delta Z = + 2,2 \mu s$$

En Mer Tyrrhénienne, les points Loran ont été construits sans correction. Sur le haut fond de la Galite, on a utilisé les corrections moyennes déduites de l'étalonnage par points en vue de terre :

$$\Delta X = + 0,5 \mu s \quad \Delta Z = + 0,8 \mu s$$

3. Recalage de l'estime.

A de nombreuses reprises, l'estime délivrée par le calculateur MITRA 15 a présenté des sauts inexplicables de plusieurs dizaines de milles ; elle fut ensuite le plus souvent recalée à la main sur une valeur approchée. Plusieurs fois aussi, des coupures de secteur ont stoppé le calcul, et nécessité une ré-initialisation approximative à la main. Il a donc aussi fallu reprendre la suite complète des estimations, afin de recalculer celles qui étaient erronées et calculer celles qui manquaient.

Au début des sondages, on a observé une erreur constante d'environ 4 degrés sur la valeur du cap utilisée dans le calcul de l'estime ; cette erreur introduit une dérive complexe dont il faut corriger l'estime avant de pouvoir l'exploiter.

4. Construction à l'aide du calculateur HP 9821

L'idée d'utiliser le calculateur HP 9821 et sa table traçante pour la construction est venue du fait suivant : lorsque sort un bon point satellite, l'estime se recalc dessus, puis elle est entretenue par le MITRA 15 à l'aide des éléments qui lui parviennent et, progressivement,

se dégrade. Lorsque sort le point satellite suivant, l'estime présente une dérive, imputable au courant, au vent, à l'imprécision des instruments de navigation etc. En supposant que ces causes n'ont que peu varié entre les deux points satellite, on peut recalculer toutes les estimations proportionnellement au temps écoulé depuis le premier point satellite. Les calculs nécessaires sont assez fastidieux, mais très faciles à programmer.

Sur ce schéma de base sont venus se greffer les problèmes abordés dans les paragraphes précédents (sauts de l'estime, sauts du Loran, abordés dans les paragraphes précédents (sauts de l'estime, sauts du Loran, décalage du Cap etc.) Trois programmes sur HP 9821 ont été écrits :

- conversion des coordonnées Latitude et Longitude (Europe 50) en X et Z Loran C, et réciproquement ;
- transport de l'estime ;
- un programme destiné à faire la construction sur la table traçante HP 9862, zone par zone. Pour cela il effectue les tâches suivantes :

Correction de l'estime de l'erreur éventuelle de Cap ;

Correction de l'estime de la dérive observée lorsque sort un point satellite ;

Correction de l'estime des sauts intempestifs, d'origine diverses, qu'elle a subi ;

Calcul de point Loran quand on dispose des 2 valeurs X et Z ;

Calcul des morceaux d'hyperboles (ou d'un seul quand X ou Z manque) ;

Tracé de l'estime corrigée et du point Loran (ou du segment unique restant quand un réseau vient à manquer).

5. Adoption du point.

En pratique, l'adoption s'est faite sur le fragment d'hyperbole X tracé par le calculateur, le traversier étant donné par la projection de l'estime corrigée sur cet axe (projection orthogonale ou rotation autour d'un point satellite). Le réseau Z n'a jamais pu être valablement utilisé.

Dans le canal de Sicile et en Mer Tyrrhénienne on a construit le point Loran C après avoir apporté aux réseaux X et Z les corrections données en II.2.

APPENDICE 1

LORAN C

Mesures à quai à Heraklion

Position relevée sur carte n° 6709

Latitude : 35° 20,63 N

Longitude : 25° 08,39 E

1. Couple X

Mal reçu, 9 mesures seulement valides en 24 heures.

	13760,1	13760,2	13760,3
Nombre	3	5	1

Moyenne : 13760,18

Valeur théorique : 13759,3

ΔX adopté : - 0,9 μs

2. Couple Z

Non reçu.

APPENDICE 2

LORAN C

Mesures à quai à Kalamata.

Position relevée sur carte n° 3057

Latitude : 37° 01,02 N

Longitude : 22° 06,87 E

1. Couple X

Valeur approchée 13959.

	Décroché	49,3	59,2	59,3	59,4	Total
Nombre	32	25	68	151	1	277
%	11,5	9	24,6	54,5	0,4	

Soit :

- 25 mesures décalées de - 10 μs : 9 %

- 68 + 151 + 1 = 220 bonnes mesures sur 277 : 79,4 %

Valeur moyenne : 13959,27

- 25 + 220 = 245 mesures exploitables (en recalculant les 25 mesures décalées) sur 277 : 88,4 %

Valeur moyenne : 13959,27

Valeur théorique : 13958,0

ΔX adopté : - 1,3 μs

2. Couple Z.

Non reçu.

APPENDICE 3

LORAN C

Mesures à quai à Patras.

Position relevée sur carte n° 3210

Latitude : 38°15,07 N

Longitude : 21°44,03 E

1. Couple X.

Valeur approchée 14 197

	Décroché	87,7	87,8	97,6	97,7	97,8	Total
Nombre	10	29	26	13	207	11	296
%	3,4 %	9,8 %	8,8 %	4,4 %	69,9 %	3,7 %	

Soit :

– 29 + 26 = 55 mesures décalées de – 10 à : 18,6 %

– 13 + 207 + 11 = 231 Bonnes mesures : 78,0 %

Valeur moyenne : 14 197,70

– 55 + 231 + 286 mesures exploitables (en recalant les 55 valeurs décalées) 96,6 %

Valeur moyenne : 14 197,71

Valeur théorique : 14 198,1

ΔX adopté : + 0,4 μs

2. Couple Z

Valeur approchée : 54 956

	Décroché	66,0	66,1	66,2	66,3	66,4	66,5	66,6
Nombre	24	3	1	2	2	2	3	4
%	11,8 %	1,5 %	0,5 %	1 %	1 %	1 %	1,5 %	2 %

	66,7	66,8	66,9	67,0	67,1	67,2	67,3	67,4
Nombre	2	7	7	5	5	13	42	43
%	1 %	3,4 %	3,4 %	2,4 %	2,4 %	6,4 %	20,6 %	21,1 %

	67,5	67,6	67,7	77,4	Total
Nombre	27	8	4	1	205
%	13,2 %	3,9 %	2,0 %	0,5 %	

Soit

– 205 – 24 = 181 mesures exploitables sur 205 : 88,3 %

Moyenne : 54 967,22

– Moyenne sur 13 + 42 + 43 + 27 + 8 = 133 mesures les plus groupées (soit 74 %) : 54 867,38

Valeur théorique : 54 966,8

ΔZ adopté : – 0,6 μs

APPENDICE 4

LORAN C

Mesures à quai à Syracuse

Position relevée sur Carte n° 5 331.

Position 37°03,70 N
15°17,48 E

1. Couple X

Valeur approchée 12 971

	Décroché	61,1	61,2	61,3	71,1	71,2	71,3	Total
Nombre	0	1	28	32	13	173	33	280
%	0 %	0,4 %	10,0 %	11,4 %	4,6 %	61,8 %	11,8 %	

– 1 + 28 + 32 = 61 mesures décalées de – 10 s : 21,8 %

– 13 + 173 + 33 = 219 bonnes mesures : 78,2 %

Valeur moyenne : 12 971,21

– 61 + 219 = 280 mesures exploitables (en recalant les 61 mesures décalées) = 100 %

Valeur moyenne / 12 971,22 %

Valeur théorique 12 970,8

ΔX adopté : – 0,4 μ s

2. Couple Z.

Valeur approchée 54 135

	Décroché	25,1	25,2	25,3	25,4	25,5	25,6	25,7
Nombre	26	2	4	7	12	20	87	26
%	9,8 %	0,7 %	1,4 %	2,5 %	4,3 %	7,1 %	31,1 %	9,3 %

	25,8	35,2	35,3	35,4	35,5	35,6	35,7	
Nombre	4	4	1	3	5	47	32	380
%	1,4 %	1,4 %	0,4 %	1,1 %	1,8 %	16,8 %	11,4 %	

– 2 + 4 + 7 + 12 + 20 + 87 + 26 + 4 = 162 mesures décalées de – 10 μ s : 57,9 %

Moyenne : 54 135,56

– 162 + 92 = 254 mesures exploitables : 90,7 %

Moyenne globale : 54 135,58

Valeur théorique ; 54 134,8

Z adopté : – 0,7 μ s

APPENDICE 5

LORAN C

Mesures à quai à Tunis

Position relevée sur Carte n° 6 062

36° 47,78 N

10° 11,47 E

1. Couple X.

Valeur approchée : 11 534

	Décroché	34,4	34,5	34,6	34,7	44,5	Total
Nombre	1	2	40	106	126	1	276
%	0,4 %	0,7 %	14,5 %	38,4 %	45,6 %	0,4 %	

– 1 mesure décalée de + 10 s

– 2 + 40 + 106 + 126 = 274 bonnes mesures : 99,3 %

Valeur moyenne : 11 534,63

– 274 + 1 = 275 mesures exploitables : 99,6 %

Valeur moyenne (obtenue en recalant la valeur décalée) : 11 534,63

Valeur théorique : 11 534,5

X adopté : – 0,1 s

2. Couple Z.

Valeur approchée 51 731

	Décroché	31,1	31,2	31,3	31,4	31,5	31,6	41,4	Total
Nombre	3	4	21	29	114	96	8	1	276
%	1,1 %	1,4 %	7,6 %	10,5 %	41,3 %	34,8 %	2,9 %	0,4 %	

– 1 mesure décalée de + 10 μ s

– 4 + 21 + 29 + 114 + 96 + 8 = 272 bonnes mesures : 98,5 %

Valeur moyenne : 51 731,41

– 272 + 1 = 273 mesures exploitables : 98,9 %

Valeur moyenne (obtenue en recalant la valeur décalée) : 51 731,41

Valeur théorique : 51 731,4

ΔZ adopté : 0,0 μ s

APPENDICE 6

LORAN C

Etalonnage en vue de la Galite

Première série de points (16/10/78) :

ΔX	+ 0,6	+ 0,6	+ 0,5	+ 0,4	0
ΔZ	+ 0,8	+ 0,9	+ 1,1	+ 1,4	+ 0,9

Deuxième série de points (24/10/78) :

ΔX	+ 0,8	+ 0,7	+ 0,6	+ 0,4	+ 0,4	+ 0,2
ΔZ	+ 0,7	+ 0,2	+ 0,2	+ 0,7	+ 0,7	+ 1,0

Moyennes :

ΔX : 0,5 μs

ΔZ : 0,8 μs

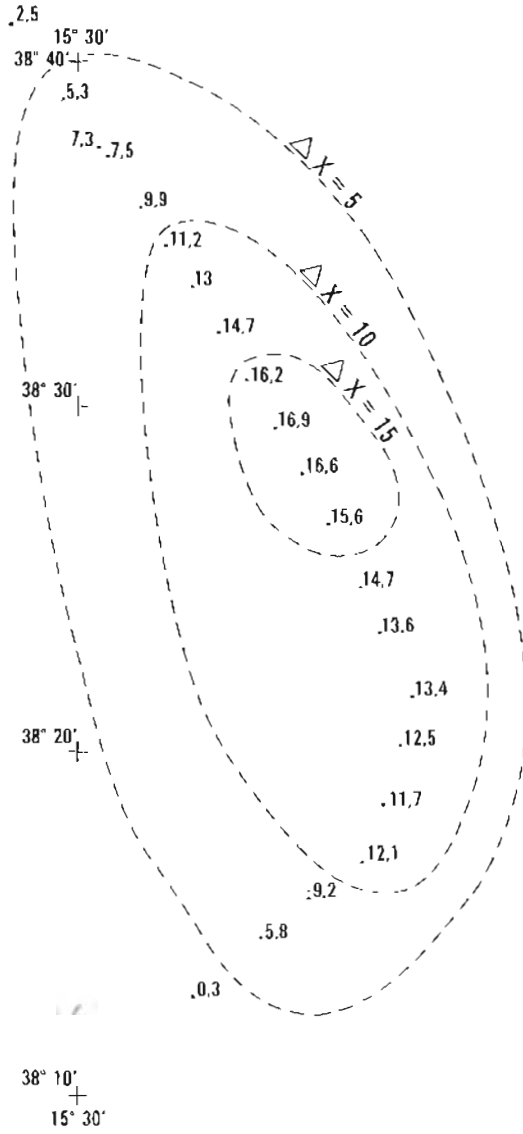
MOM 1978

Annexe technique n° 2

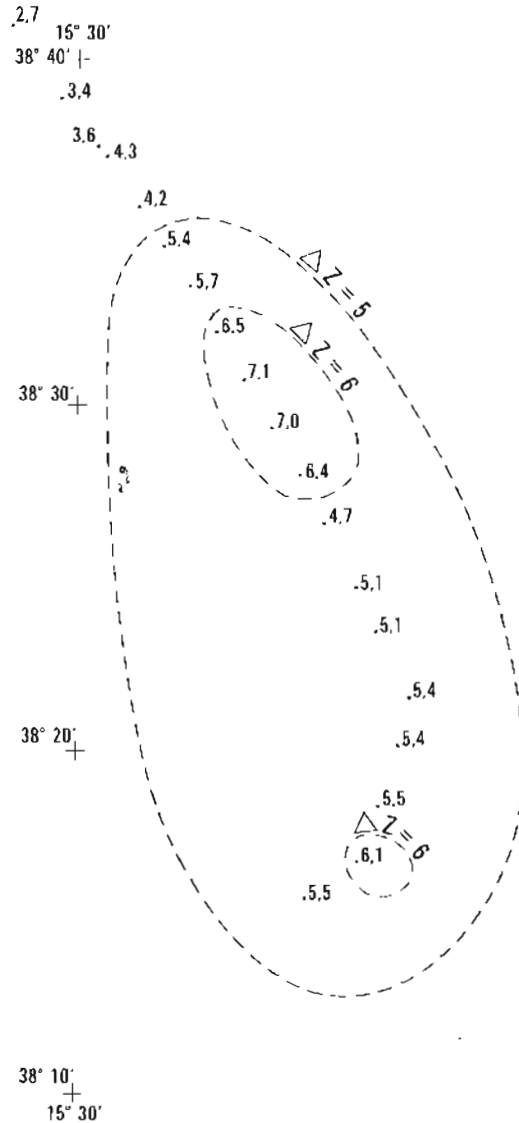
Travaux en Méditerranée orientale

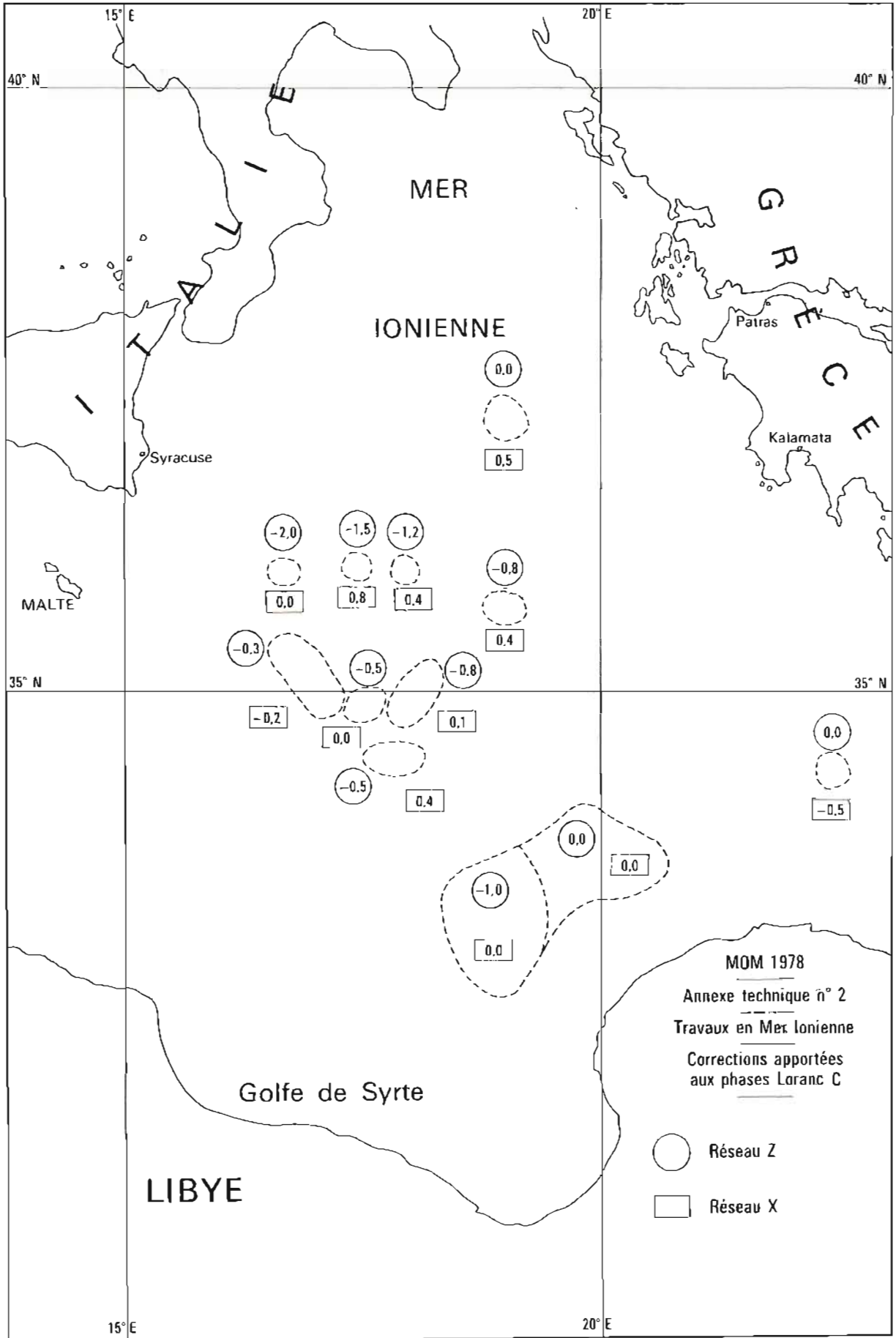
Corrections à apporter aux valeurs Loran C dans le voisinage du détroit de Messine

Réseau X



Réseau Z





IMPRIMERIE LOUIS-JEAN

Publications scientifiques et littéraires

TYPO - OFFSET

05002 GAP - Téléphone 51-35-23 -

Dépôt légal 609-1981

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

	Pages
PREMIERE PARTIE	
J.L. CARVIN, M. BUSSIERE et J.L. RIOU : Les hétéroéléments dans l'identification d'un résidu pétrolier	5
B. SIMON : Méthodes de prédiction de la marée en Gironde	25
B. SIMON : Prédiction de la marée au Havre	39
DEUXIEME PARTIE	
L. PIERETTI : Mission Océanographique de Méditerranée (novembre 1975- décembre 1978).	49