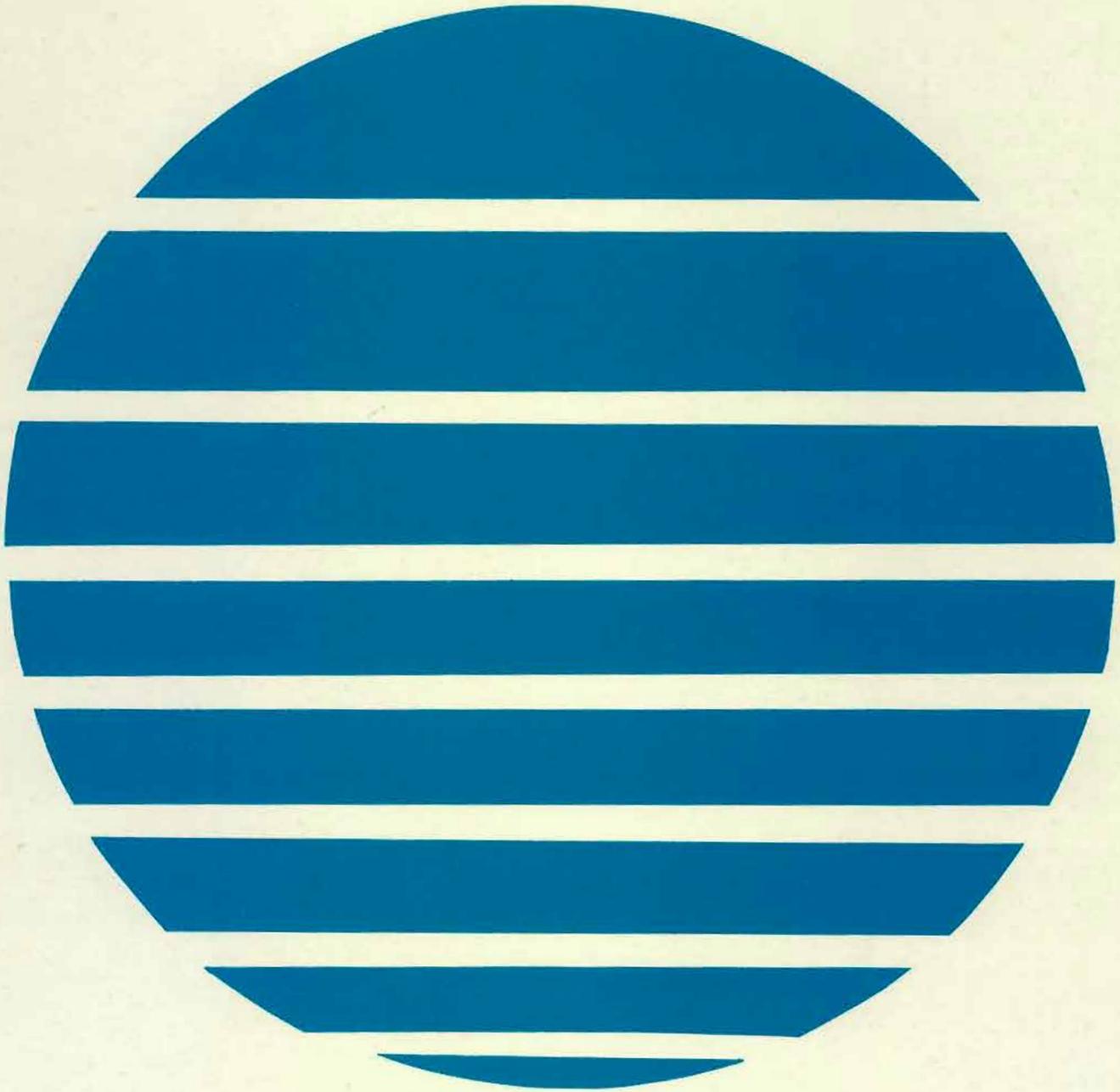


ANNALES HYDROGRAPHIQUES

5ème Série - Vol. 11, 1983

No 758



Service Hydrographique
et Océanographique de la Marine - Paris

758 - ZYL

- 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

Première partie

	Pages
Etude analytique d'un modèle des marées littorales à l'aide des multiplicités bicaractéristiques, par MM. Y. BIOLLAY, Ecole polytechnique Fédérale, Lausanne (Suisse) et J. KRAVTCHENKO, Université Scientifique et médicale, Grenoble	5
Méthode de calcul manuel de la marée à partir des principales constantes harmoniques, par M.M. B. SIMON, ingénieur civil sous contrat et F. GOUTORBE, ingénieur de l'Armement, Etablissement Principal du Service Hydrographique et Océanographique de la marine	17
Etude hydrologique du canal des Iles Loyauté, par M.D. GUEVEL, Ingénieur Principal de l'Armement, Mission Océanographique du Pacifique.	33

Deuxième partie

Compte rendu des travaux effectués par la Mission Hydrographique de l'Atlantique (février 1977 — mars 1980) sous la direction de M. M. LE GUEN, Ingénieur en chef de l'Armement (hydrographe)	43
Mission Océanographique de Méditerranée (janvier 1979 - mai 1981), par M. J.-P. THOUIN, Ingénieur en chef de l'Armement (hydrographe)	113



PREMIÈRE PARTIE

ETUDE ANALYTIQUE D'UN MODÈLE DES MARÉES LITTORALES A L'AIDE DES MULTIPLICITÉS BICARACTÉRISTIQUES

PREMIÈRE PARTIE *

EQUIVALENCE DU SYSTÈME EN VARIABLES PHYSIQUES ET DES SYSTÈMES EN « VARIABLES CARACTÉRISTIQUES »

par

Yves BIOLLAY, Ecole Polytechnique Fédérale, CH-1007 Lausanne (Suisse)
Julien KRAVTCHENKO, Université Scientifique et Médicale, F-38100 Grenoble (France)

RESUME

Ce travail est une étude analytique d'un modèle des marées littorales, explicité en (1.6) et noté (E). C'est un système aux dérivées partielles, quasi-linéaire, du premier ordre, à 3 inconnues de 3 variables indépendantes x, y, t . (E) est totalement hyperbolique et sera traité par la méthode des surfaces caractéristiques. On montre dans la première partie de cette étude que le système (e), déduit de (E) en introduisant les "variables caractéristiques α, β, γ ", est équivalent à (E), à l'exception de quelques cas spéciaux qui ne peuvent apparaître lorsqu'on part d'une triangulation régulière du plan $t = 0$.

Le système (e), formé de 6 équations aux dérivées partielles à 6 inconnues de 3 variables est moins simple que (E). Mais on montrera, dans la deuxième partie, que les solutions de (e) peuvent admettre des représentations paramétriques données par des fonctions régulières de leurs arguments, même si les solutions de (E) comportent des singularités dues aux conditions imposées *a priori* sur la frontière du domaine de définition des inconnues.

ABSTRACT

This paper is an analytical study of a model of the coastal tides, given explicitly by (1.6) and noted (E). It is a quasi-linear first order partial differential system of 3 unknown functions of 3 independent variables x, y, t , which will be treated by the method of the characteristic surfaces since (E) is completely hyperbolic. In the first part of this paper, we show that the system (e), obtained from (E) by introducing the "characteristic variables α, β, γ " is equivalent to (E), except some special cases which cannot appear if one starts from a regular triangulation of the plane $t = 0$.

The system (e), formed of 6 partial differential equations for 6 unknown functions of 3 variables, is less simple than (E). But it will be shown, in the second part, that the solutions of (e) may admit parametric representations given by regular functions of their arguments, even if the solutions of (E) possess singularities generated by *a priori* conditions imposed on the boundary of the domain of definition of the considered model.

1. INTRODUCTION

1.1. Objet du mémoire

Un modèle théorique usuel des marées littorales est fondé principalement sur l'approximation des ondes longues d'une part et l'évaluation empirique de frottement de fond d'autre part. Le phénomène est alors décrit au moyen d'un système (E) — explicité en (1.6) — de trois équations aux dérivées partielles du premier ordre, quasi-linéaires, dont les trois inconnues sont fonc-

tions de trois variables indépendantes x, y et t . On sait que (E) est "totalement" hyperbolique. Le but de ce travail est d'exploiter cette propriété et d'étendre à (E) quelques résultats classiques de la théorie des systèmes hyperboliques quasi-linéaires du premier ordre à nombre arbitraire d'inconnues ne dépendant que de deux variables seulement.

Dès lors, certaines de nos conclusions sont, qualitativement du moins, aisées à prévoir. Mais le passage de 2 à 3 variables indépendantes conduit à des situations analytiques nouvelles, dont l'étude exige des discussions moins immédiates que ce qu'on pouvait en penser a

* La suite de l'étude sera publiée dans le fascicule n° 759 des *Annales Hydrographiques*, à paraître.

priori. Quoi qu'il en soit, plusieurs auteurs ont déjà utilisé une partie des résultats exposés ci-après lors du traitement par ordinateur des problèmes mixtes aux limites qui se posent relativement à (E) ou à des systèmes analogues provenant de différents domaines de la Mécanique et de la Physique mathématique (voir, par exemple, [1], [2]). Mais la justification rigoureuse de plusieurs procédés de calculs par les spécialistes d'analyse numérique restait à faire, à notre connaissance du moins. La première partie de ce mémoire est destinée à combler ce qui nous a paru être encore des lacunes de la théorie.

Par ailleurs, de nombreux problèmes concrets aux limites, posés relativement à (E), sont du type mixte. Or, dans beaucoup de cas pratiques, les données initiales ne se raccordent pas continûment aux données frontières. Par conséquent la solution correspondante de (E) présente des singularités à l'instant $t = 0$ le long de la frontière du domaine de définition des inconnues. Il s'ensuit que dans le voisinage de cette zone de transition le calcul numérique de la solution se heurte nécessairement à des difficultés que les numériciens ne semblent pas avoir cherché à surmonter autrement qu'au moyen de procédés rustiques. Ceux-ci nous ont paru de nature à compromettre parfois la précision des résultats. C'est pourquoi nous avons consacré la deuxième partie de notre travail à l'étude *a priori* de la nature analytique des singularités que peut présenter, dans de telles situations, la solution de (E). Les résultats obtenus conduisent à la construction d'un algorithme sûr de calcul numérique des inconnues, ceci sous réserve que le problème posé admet *une solution et une seule du type fixé a priori*.

Dans toute la suite, nous admettrons ce point essentiel, laissant délibérément de côté les difficiles questions d'existence et d'unicité des solutions, supposées assez régulières, des problèmes aux limites mixtes posés relativement à (E). Notre objectif est donc d'étudier la structure analytique des inconnues de (E) et d'indiquer le parti qu'on peut en tirer pour accroître la précision du traitement par ordinateur de certains problèmes fondamentaux de l'Océanographie théorique.

1.2. Méthodes employées

La discussion, dans notre première partie, de la structure de la solution de (E) est fondée sur l'emploi systématique des multiplicités caractéristiques et bicaractéristiques attachées au système hyperbolique (E) d'une part et des représentations des inconnues au moyen des variables caractéristiques correspondantes, d'autre part. Ces notions introduites par Monge et Ampère, se sont révélées essentielles non seulement pour traiter numériquement de nombreux problèmes aux limites, mais aussi - et surtout - pour étudier d'une manière approfondie la structure analytique de leurs solutions. En particulier, citons les recherches de J. Drach [3], consacrées à la détermination des cas d'intégrabilité des équations hyperboliques (on en trouvera un exposé exhaustif dans les publications de G. Heilbronn [4], complété

par plusieurs résultats originaux). Mais ces travaux ne concernent que les cas où les fonctions inconnues ne dépendent que de 2 variables indépendantes.

Indiquons brièvement ici l'essentiel des raisonnements utilisés dans notre travail. Les variables x, y étant les coordonnées d'un point courant d'un domaine d de \mathbb{R}^2 , et t le temps, soit $u(x, y, t), v(x, y, t), \zeta(x, y, t)$ la solution de (E). (Nous en préciserons ultérieurement la signification physique). d étant le domaine de variation de x, y , considérons le repère $Oxyt$ (supposé orthonormé) et notons D le domaine de définition des inconnues : $x, y \in d, t \geq 0$ (demi-cylindre). Nous supposons, pour le moment, cette solution suffisamment régulière dans D . L'idée (d'ailleurs classique) consiste à utiliser une représentation paramétrique de la solution au moyen des *variables caractéristiques* α, β, γ attachées à (E).

Plus précisément, par un changement de variables, on peut représenter toute solution de (E) sous la forme

$$\begin{aligned} x &= x(\alpha, \beta, \gamma) \quad , \quad y = y(\alpha, \beta, \gamma) \quad , \quad t = t(\alpha, \beta, \gamma) \\ u &= u(\alpha, \beta, \gamma) \quad , \quad v = v(\alpha, \beta, \gamma) \quad , \quad \zeta = \zeta(\alpha, \beta, \gamma) \end{aligned} \quad (1.1)$$

les seconds membres de ces égalités étant des fonctions régulières de leurs arguments dans un domaine \mathcal{O} du repère, supposé orthonormé, $O\alpha\beta\gamma$. Les 3 premières fonctions de (1.1), arbitraires tout d'abord, sont astreintes à la seule condition

$$\frac{\partial(x, y, t)}{\partial(\alpha, \beta, \gamma)} \neq 0 \quad \forall (\alpha, \beta, \gamma) \in \mathcal{O}, \quad (1.2)$$

ce qui assure la biunivocité locale entre \mathcal{O} et D que nous supposons, de plus, globale par hypothèse.

Faisons maintenant, dans (1.1), $\alpha = \alpha_0 = \text{const.}$ et posons

$$x_0(\beta, \gamma) = : x(\alpha_0, \beta, \gamma) \text{ et de même pour } y \text{ et } t \quad (1.3)$$

$$u_0(\beta, \gamma) = : u(\alpha_0, \beta, \gamma) \text{ et de même pour } v \text{ et } \zeta \quad (1.4)$$

Les relations (1.3) définissent paramétriquement dans $Oxyt$ une surface $\Sigma(\alpha_0)$, et à chaque point $P \in \Sigma(\alpha_0)$, les formules (1.4) permettent d'attacher un système de valeurs de u, v, ζ . Nous dirons que $\Sigma(\alpha_0)$ porte les inconnues u_0, v_0, ζ_0 de (E) et que l'ensemble des $\Sigma(\alpha_0)$ et des 3 fonctions u_0, v_0, ζ_0 de β, γ forme une multiplicité.

Supposons maintenant que les 3 fonctions régulières x, y, t de α, β, γ soient connues : alors la surface $\Sigma(\alpha_0)$ est bien déterminée et il est possible de déduire de (E) (système en variables x, y, t) le système (E') (en variables α, β, γ), de solution u, v, ζ de (1.1). On sait que (E') est hyperbolique, à cause de (1.2).

Donnons-nous alors arbitrairement les 3 fonctions u_0, v_0, ζ_0 de (1.4), attachées à $\Sigma(\alpha_0)$ et posons, relativement à la multiplicité ainsi définie et à (E'), le problème de Cauchy suivant :

Déterminer la solution $u(\alpha, \beta, \gamma), v(\alpha, \beta, \gamma), \zeta(\alpha, \beta, \gamma)$ de (E') telle que ces 3 fonctions se réduisent respectivement à u_0, v_0, ζ_0 pour $\alpha = \alpha_0$. Puisque (E') est hyper-

bolique, trois cas peuvent se présenter :

(c₁) Le problème admet une solution et une seule - dans le voisinage de $\alpha = \alpha_0$ tout au moins ; alors la multiplicité donnée est dite normale relativement à (E').

(c₂) La solution du problème de Cauchy n'est pas régulière : en chaque point $P \in \Sigma$, l'une au moins des 9 dérivées premières de u, v, ξ par rapport à α, β, γ , est infinie. Dans ce cas, la multiplicité donnée est dite caractéristique de (E').

(c₃) Il existe une infinité de solutions régulières du problème de Cauchy. Nous dirons alors, - en nous écartant sur ce point de la terminologie classique - que la multiplicité donnée (1.3) et (1.4) est bicaractéristique relativement à (E').

[Remarquons que, lorsque le système (E) n'est pas analytique, ou que la multiplicité donnée ne le soit pas, d'autres éventualités sont possibles en dehors des cas (c₁), (c₂), (c₃). Par exemple, il peut se faire que la multiplicité donnée soit caractéristique ou bicaractéristique sur une portion de Σ et normale sur la portion complémentaire, chacune de ces portions pouvant se réduire à des lignes ou à des ensembles dénombrables de points. Nous écarterons ces cas de notre étude et nous nous limiterons toujours à des morceaux ouverts de surface en chaque point desquels l'une des propriétés (c_i) est satisfaite.]

Indiquons maintenant quelques avantages de la représentation paramétrique (1.1) des solutions de (E) (ou de systèmes analogues que l'on peut rencontrer en physique mathématique).

Soit $\Sigma(\alpha')$ la surface qui porte les données-frontières d'un problème aux limites posé relativement à (E) ; en général, dans le repère Oxyz, cette surface peut se définir par $t = t(x, y)$, $t(x, y)$ étant continue ainsi que ses dérivées partielles du premier ordre (au moins). Mais, il arrive souvent, en pratique, que $\Sigma(\alpha')$ soit un cylindre à génératrices parallèles à Ot, dont l'équation cartésienne ne vérifie pas les hypothèses de régularité précédentes.

En utilisant alors une représentation paramétrique appropriée du type (1.1) on peut définir - d'une infinité de manières - la surface considérée au moyen de fonctions régulières des variables α, β, γ . Il en est de même dans le cas où une ou deux au plus des familles de surfaces paramétrées par $\alpha = \text{const.}$, $\beta = \text{const.}$, $\gamma = \text{const.}$ sont constituées par des cylindres à génératrices parallèles à Ot.

Mais il y a plus : les solutions d'un problème aux limites, posé pour des systèmes tels que (E), présentent fréquemment des discontinuités à la frontière ∂D du domaine de définition D. En les points correspondants - qu'ils soient isolés ou répartis sur un arc - les valeurs prises par les inconnues (u, v, ξ ici) sont indéterminées, mais dépendent du chemin suivi pour atteindre un tel point. [Comme exemple le plus simple, la fonction

$$\varphi(x, y, t) = \text{Arctg} \frac{y}{x}$$

présente à l'origine une singularité de l'espèce indiquée]. On verra, dans la deuxième partie de ce mémoire, que le recours à une représenta-

tion paramétrique (1.1) appropriée permet, dans beaucoup de cas pratiques, de lever cette indétermination.

1.3. Définitions et théorèmes fondamentaux

Jusqu'ici, x, y, t de (1.1) étaient considérés comme des données. Supposons à présent que les multiplicités définies par (1.3) et (1.4) soient bicaractéristiques de (E'), $\forall \alpha_0$. Admettons, de plus, qu'il en soit de même des multiplicités définies par (1.1) quand on remplace $\alpha = \alpha_0$ par $\beta = \beta_0 = \text{const}$ et $\gamma = \gamma_0 = \text{const.}$, respectivement. Introduisons la *définition* : Les variables α, β, γ sont dites variables caractéristiques attachées à (E).

On démontrera alors les propositions suivantes :

Théorème I :

Toute solution de (E) admet une représentation paramétrique du type (1.1) où x, y, t, u, v, ξ vérifient alors un système de 6 équations aux dérivées partielles du premier ordre, quasi-linéaires en u, v, ξ , noté (e) et qu'on dit associé à (E).

Les 3 multiplicités bicaractéristiques, représentées par (1.1) et paramétrées respectivement par $\alpha = \text{const.}$, $\beta = \text{const.}$, $\gamma = \text{const.}$, sont distinctes.

Théorème II : (réciproque)

Toute solution du système (e) est une représentation paramétrique du système (E). D'où l'énoncé :

La condition nécessaire et suffisante pour que les seconds membres de (1.1) définissent paramétriquement une solution de (E) au moyen de variables caractéristiques est que ces 6 fonctions vérifient le système (e) associé de (E).

Ce résultat fournit en particulier un algorithme de calcul approché de la solution de (E) : tout revient à engendrer la solution au moyen de 3 familles distinctes de multiplicités caractéristiques. Ce procédé résolutif a déjà été utilisé (cf. [1], [2]). Par contre, l'exploitation systématique des représentations (1.1) en variables caractéristiques semble nouvelle.

1.4. Résultats obtenus

Après avoir explicité le système (e) associé à (E), nous avons étudié en détail la géométrie des multiplicités bicaractéristiques à partir des représentations paramétriques de celles-ci au moyen des variables caractéristiques α, β, γ . En particulier, nous avons tenté d'insister plus qu'on ne le fait d'habitude sur les points suivants.

Dans le cas de 2 variables indépendantes, la donnée d'une multiplicité normale définit univoquement les multiplicités bicaractéristiques qui engendrent la solution du problème de Cauchy correspondant. Au contraire, dans le cas de 3 variables indépendantes, il existe une infinité de multiplicités bicaractéristiques engen-

drant chaque solution du système totalement hyperbolique.

Mais il y a plus. Comme nous le verrons dans la seconde partie de ce mémoire, le recours systématique aux variables caractéristiques α, β, γ permet de régulariser plusieurs types de solutions singulières de (E) et, dès lors, d'en aborder le calcul approché au moyen d'algorithmes numériques réguliers.

Les résultats principaux de notre travail ont déjà fourni la matière de nombreux exposés oraux, tant en France et en Suisse qu'au Canada, en Italie et en Pologne. Parmi les nombreuses remarques qui nous ont été faites par nos auditeurs nous ne mentionnerons que celles de plusieurs numériciens - et cela en raison de leurs caractères critiques - . Nos Collègues estiment que les discussions analytiques que nous présentons ci-après sont de nature à les éclairer sur l'origine des propriétés qu'ils utilisent et des difficultés qu'ils rencontrent lors de la mise au point des programmes et de l'exploitation de ceux-ci par l'ordinateur. Mais ils expriment des craintes quant aux dépenses qu'entraîneraient le recours à nos méthodes.

En effet, les procédés usuels de calcul numérique des solutions des problèmes aux limites posés relativement aux systèmes tels que (E) - ou ses analogues - sont sélectionnés moins, semble-t-il, en raison de leur précision et de leur sécurité qu'en raison du temps-machine réduit qu'exige leur mise en œuvre et de la simplicité de la programmation. Enfin, il y a un avantage évident à ce que le programme à exploiter puisse être utilisé par un ordinateur à mémoire aussi faible que possible. Pour ces raisons, les numériciens sont amenés à choisir de préférence les maillages fixes, dont les noeuds ont les coordonnées de la forme $k_1 \Delta x_0, k_2 \Delta y_0, k_3 \Delta t_0$, où les pas d'intégration $\Delta x_0, \Delta y_0, \Delta t_0$ sont constants et $k_j \in \mathbb{Z}$. Au contraire, les algorithmes de calcul fondés sur l'emploi des multiplicités caractéristiques fournissent les valeurs de u, v, ζ en les noeuds d'un maillage à pas variables, qui sont d'ailleurs des inconnues supplémentaires du problème, et qu'on détermine progressivement. Selon les numériciens, ce procédé exige encore le recours à un ordinateur à mémoire puissante. Il est vrai qu'on peut combiner la méthode des caractéristiques avec l'emploi d'un maillage fixe. Pour cela, il faudrait déterminer les valeurs des inconnues par interpolation dans les plans $t = k_3 \Delta t_0$ et aux points $x = k_1 \Delta x_0$ et $y = k_2 \Delta y_0$. Mais un tel calcul intermédiaire exigerait aussi un gros ordinateur.

Compte tenu de ces impératifs d'ordre économique, nos méthodes devraient être utilisées pour tester la rapidité de la convergence et la précision qu'on peut atteindre au moyen des procédés usuels de calcul. On peut cependant utiliser un maillage fixe dans l'espace $O\alpha\beta\gamma$ [voir 2^{ème} partie] au prix d'une paramétrisation préalable des données frontières.

Notons enfin un aspect, paradoxal en apparence, de la méthode d'étude de (E), fondée sur l'emploi systématique de (e). Contrairement à ce qu'on fait d'habitude, on remplace ici un système de 3 équations à 3 inconnues par un système de 6 équations à 6 inconnues. Mais on verra que les multiplicités caractéristiques, géné-

ratrices des solutions de (e) ont des liens si intimes avec les solutions de (E) que les propriétés de celles-ci apparaissent beaucoup plus facilement sur (e) que sur (E).

Pour terminer, répétons que les théorèmes d'existence et d'unicité des solutions régulières des problèmes aux limites mixtes, posés relativement à (E), n'ont pas encore été établis. Nous souhaiterions inciter quelques analystes à s'intéresser à ces problèmes qui semblent difficiles, surtout lorsque les inconnues de (E) présentent des singularités. Peut-être, l'étude *a priori* de la nature analytique de celles-ci que nous développons ci-après facilitera-t-elle la tâche des spécialistes d'analyse.

1.5. Notations et données

Explicitons maintenant le système (E) que nous allons étudier. Il est fondé sur de nombreuses hypothèses simplificatrices, d'origine soit physique, soit analytique. C'est pourquoi nous reprendrons, dans un travail ultérieur, les bases physiques qui nous conduisent au modèle décrit par (E). Au reste, le lecteur intéressé par cet aspect de la question pourra se reporter à la bibliographie du sujet (cf. [5] p. ex.).

Pour l'heure, définissons les grandeurs et notations que nous utiliserons dans la suite.

u et v , fonctions de x, y, t représentent les composantes de la vitesse d'une particule et $\zeta(x, y, t)$ la cote de la surface libre de la mer.

Nous noterons la dérivée partielle de u par rapport à x (par exemple) $\frac{\partial u}{\partial x}$ ou u_x indifféremment.

Le système (E) s'exprime alors par :

$$\left. \begin{aligned} \zeta_t + (\zeta + h) u_x + (\zeta + h) v_y + \\ + u (\zeta + h)_x + v (\zeta + h)_y = 0 \\ u_t + uu_x + vv_y + g\zeta_x \\ - 2\Omega_n v + c \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{\zeta + h} u = 0 \\ v_t + uv_x + vv_y + g\zeta_y \\ + 2\Omega_n u + c \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{\zeta + h} v = 0 \end{aligned} \right\} (1.6)$$

La fonction connue $-h = -h(x, y)$ représente le fond marin ; par conséquent, $\zeta + h$ est le tirant d'eau et cette grandeur est, *par hypothèse*, toujours > 0 . Ω_n est la composante verticale du vecteur rotation instantanée de la Terre et c est une constante empirique liée au frottement.

Les équations (1.6) sont valables dans le domaine $D = d \times (0, \infty)$ où $d =$ domaine du plan xOy et $t \in (0, \infty)$. La frontière de d est formée d'une partie marine \bar{d}_1 et d'une partie terrestre \bar{d}_2 (elle s'exprimera donc par

$$\partial d = \bar{d} = \bar{d}_1 \cup \bar{d}_2).$$

2. SYSTEMES EN VARIABLES CARACTERISTIQUES

2.1. Système (E') déduit de (E)

Supposons que la transformation de coordonnées (1.1) $x = x(\alpha, \beta, \gamma), \dots$, soit régulière et que la condition (1.2) soit vérifiée. (Plus précisément, nous admettrons que l'application $\mathcal{O} \rightarrow D$ définie par (1.1) soit bijective et continûment différentiable).

Ainsi, lorsqu'on pose $\alpha = \alpha_0 = \text{const.}$, (respectivement $\beta = \beta_0$ et $\gamma = \gamma_0$), les 3 premières relations de (1.1) définissent une surface notée S_{α_0} (resp. S_{β_0} et S_{γ_0}). Alors par chaque point $P(x, y, t)$, il passe une seule surface de chaque famille S_α, S_β ou S_γ (que nous désignerons par 1^{ère}, 2^e ou 3^e famille). De plus, les plans tangents en P à ces 3 surfaces forment un véritable trièdre. Posons alors :

$$u(x, y, t) = u(x(\alpha, \beta, \gamma), y(\alpha, \beta, \gamma), t(\alpha, \beta, \gamma)) =: \\ =: \tilde{u}(\alpha, \beta, \gamma), \quad v = \tilde{v}, \quad \zeta = \tilde{\zeta};$$

Nous admettrons que les fonctions $\tilde{u}, \tilde{v}, \tilde{\zeta}$ sont continues sur \mathcal{O} , avec leurs dérivées partielles de premier ordre ; on a :

$$\tilde{u}_\alpha = u_x x_\alpha + u_y y_\alpha + u_t t_\alpha, \quad \tilde{u}_\beta = \dots, \tilde{u}_\gamma = \dots \quad (2.1)$$

d'où

$$u_x = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} \tilde{u}_\alpha & y_\alpha & t_\alpha \\ \tilde{u}_\beta & y_\beta & t_\beta \\ \tilde{u}_\gamma & y_\gamma & t_\gamma \end{vmatrix}, \quad \text{avec } \Delta =: \frac{\partial(x, y, t)}{\partial(\alpha, \beta, \gamma)} \neq 0.$$

Définissons encore :

$$D_{\mu\nu}^{fg} = \begin{vmatrix} \frac{\partial f}{\partial \mu} & \frac{\partial g}{\partial \mu} \\ \frac{\partial f}{\partial \nu} & \frac{\partial g}{\partial \nu} \end{vmatrix} \quad (2.2)$$

(D'après cela, $D_{\alpha\beta}^{xy}$, par exemple, est le mineur correspondant à l'élément t_γ dans Δ).

On trouve ainsi :

$$u_x = \frac{1}{\Delta} (\tilde{u}_\alpha D_{\beta\gamma}^{yt} - \tilde{u}_\beta D_{\alpha\gamma}^{yt} + \tilde{u}_\gamma D_{\alpha\beta}^{yt}) \quad (2.3)$$

et des expressions analogues pour $u_y, u_t, v_x, \dots, \zeta_t$.

Remplaçons dans (E) ces 9 dérivées partielles par les expressions précédentes

et posons

$$R = c \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{\zeta + h}, \quad h_1 = h_x(x, y), \quad h_2 = h_y(x, y);$$

on obtient le système (E') cherché où, pour simplifier

l'écriture, on a supprimé le signe \sim :

$$\left. \begin{aligned} & (\zeta + h) D_{\beta\gamma}^{yt} u_\alpha + (\zeta + h) D_{\gamma\alpha}^{yt} u_\beta + \\ & + (\zeta + h) D_{\alpha\beta}^{yt} u_\gamma + (\zeta + h) D_{\beta\gamma}^{tx} v_\alpha \\ & + (\zeta + h) D_{\gamma\alpha}^{tx} v_\beta + (\zeta + h) D_{\alpha\beta}^{tx} v_\gamma + (D_{\beta\gamma}^{xy} + D_{\beta\gamma}^{yt} u \\ & + D_{\beta\gamma}^{tx} v) \zeta_\alpha + (D_{\gamma\alpha}^{xy} + D_{\gamma\alpha}^{yt} u + D_{\gamma\alpha}^{tx} v) \zeta_\beta \\ & + (D_{\alpha\beta}^{xy} + D_{\alpha\beta}^{yt} u + D_{\alpha\beta}^{tx} v) \zeta_\gamma \\ & = - (uh_1 + vh_2) \Delta \\ & (D_{\beta\gamma}^{xy} + D_{\beta\gamma}^{yt} u + D_{\beta\gamma}^{tx} v) u_\alpha \\ & + (D_{\gamma\alpha}^{xy} + D_{\gamma\alpha}^{yt} u + D_{\gamma\alpha}^{tx} v) u_\beta \\ & + (D_{\alpha\beta}^{xy} + D_{\alpha\beta}^{yt} u + D_{\alpha\beta}^{tx} v) u_\gamma \\ & + g D_{\beta\gamma}^{yt} \zeta_\alpha + g D_{\gamma\alpha}^{yt} \zeta_\beta + g D_{\alpha\beta}^{yt} \zeta_\gamma \\ & = (2\Omega_n v - Ru) \Delta \\ & (D_{\beta\gamma}^{xy} + D_{\beta\gamma}^{yt} u + D_{\beta\gamma}^{tx} v) v_\alpha + \\ & + (D_{\gamma\alpha}^{xy} + D_{\gamma\alpha}^{yt} u + D_{\gamma\alpha}^{tx} v) v_\beta \\ & + (D_{\alpha\beta}^{xy} + D_{\alpha\beta}^{yt} u + D_{\alpha\beta}^{tx} v) v_\gamma + \\ & + g D_{\beta\gamma}^{tx} \zeta_\alpha + g D_{\gamma\alpha}^{tx} \zeta_\beta + g D_{\alpha\beta}^{tx} \zeta_\gamma \\ & = - (2\Omega_n u + Rv) \Delta \end{aligned} \right\} (2.4)$$

Dans ce système, pour le moment, les 3 fonctions $x, y, t(\alpha, \beta, \gamma)$ sont arbitraires.

2.2. Système associé (e)

Donnons-nous une surface $\Sigma(\alpha_0)$ définie dans Oxyt par (1.3) et un triplet $\bar{u}(\beta, \gamma), \bar{v}(\beta, \gamma), \bar{\zeta}(\beta, \gamma)$ (voir § 1.2 où on l'avait noté u_0, v_0, ζ_0). Cherchons alors les solutions de (2.4) astreintes à satisfaire les données de Cauchy

$$u(\alpha_0, \beta, \gamma) = \bar{u}(\beta, \gamma), \quad v(\alpha_0, \beta, \gamma) = \bar{v}, \dots (2.5)$$

sur la section de \mathcal{O} par le plan $\alpha = \alpha_0$ (c'est-à-dire sur la surface paramétrée par $x = x(\alpha_0, \beta, \gamma), y = y(\alpha_0, \beta, \gamma), \dots$). Nous écrivons $\bar{u}, \bar{v}, \bar{\zeta}$ afin de bien marquer que ces fonctions sont connues a priori

Autrement dit, $u(\alpha, \beta, \gamma)$ se réduit à $\bar{u}(\beta, \gamma)$ sur la surface $\Sigma(\alpha_0)$. Sur celle-ci, on a alors :

$$u_\beta = \bar{u}_\beta, \quad u_\gamma = \bar{u}_\gamma, \dots (2.6)$$

En introduisant (2.5) et (2.6) dans (2.4) et en ne gardant à gauche du signe égal que les dérivées partielles de u, v, ζ par rapport à α , on obtient le système linéaire (en $u_\alpha, v_\alpha, \zeta_\alpha$) suivant :

$$\left. \begin{aligned} & (\bar{\zeta} + h) D_{\beta\gamma}^{yt} u_\alpha + (\bar{\zeta} + h) D_{\beta\gamma}^{tx} v_\alpha + \\ & + (D_{\beta\gamma}^{xy} + D_{\beta\gamma}^{yt} \bar{u} + D_{\beta\gamma}^{tx} \bar{v}) \zeta_\alpha = \bar{A} \\ & (D_{\beta\gamma}^{xy} + D_{\beta\gamma}^{yt} \bar{u} + D_{\beta\gamma}^{tx} \bar{v}) u_\alpha + g D_{\beta\gamma}^{yt} \zeta_\alpha = \bar{B} \\ & (D_{\beta\gamma}^{xy} + D_{\beta\gamma}^{yt} \bar{u} + D_{\beta\gamma}^{tx} \bar{v}) v_\alpha + g D_{\beta\gamma}^{tx} \zeta_\alpha = \bar{C} \end{aligned} \right\} (2.7)$$

où $\bar{A}, \bar{B}, \bar{C}$ sont des expressions contenant les fonctions $\bar{u}, \bar{v}, \bar{\xi}$ et leurs dérivées partielles par rapport à β et γ . (Rappelons que dans le système (2.7), les déterminants $D_{\beta\gamma}^{\alpha\alpha}$ sont calculés en y supposant $\alpha = \alpha_0$).

Cherchons maintenant les conditions pour lesquelles la multiplicité donnée (2.5) soit bicaractéristique de (E') (au sens de (c_3) du § 1.2). A cet effet, écrivons que le système (2.7) possède une infinité de solutions en $u_\alpha, v_\alpha, \xi_\alpha$: il faut tout d'abord que son déterminant soit nul, donc que

$$(D_{\beta\gamma}^{xy} + D_{\beta\gamma}^{yt} \bar{u} + D_{\beta\gamma}^{tx} \bar{v}) [(D_{\beta\gamma}^{xy} + D_{\beta\gamma}^{yt} \bar{u} + D_{\beta\gamma}^{tx} \bar{v})^2 - g(\bar{\xi} + h) (D_{\beta\gamma}^{yt})^2 + (D_{\beta\gamma}^{tx})^2] = 0 \quad (2.8)$$

Supposons alors nul le premier facteur

$$D_{\beta\gamma}^{xy} + D_{\beta\gamma}^{yt} \bar{u} + D_{\beta\gamma}^{tx} \bar{v} = 0. \quad (2.9)$$

Sous cette condition, le système (2.7) est indéterminé si $D_{\beta\gamma}^{yt} \bar{C} - D_{\beta\gamma}^{tx} \bar{B} = 0$; explicitement, on obtient "l'équation bicaractéristique" associée à (2.9)

$$\begin{aligned} D_{\beta\gamma}^{yt} \left[\frac{1}{\Delta} (D_{\gamma\alpha}^{xy} \bar{v}_\beta + D_{\alpha\beta}^{xy} \bar{v}_\gamma) + \frac{1}{\Delta} (D_{\gamma\alpha}^{yt} \bar{v}_\beta + D_{\alpha\beta}^{yt} \bar{v}_\gamma) \bar{u} + \frac{1}{\Delta} (D_{\gamma\alpha}^{tx} \bar{v}_\beta + D_{\alpha\beta}^{tx} \bar{v}_\gamma) \bar{v} + \frac{1}{\Delta} g (D_{\gamma\alpha}^{tx} \bar{\xi}_\beta + D_{\alpha\beta}^{tx} \bar{\xi}_\gamma) + R\bar{v} \right] - \\ - D_{\beta\gamma}^{tx} \left[\frac{1}{\Delta} (D_{\gamma\alpha}^{xy} \bar{u}_\beta + D_{\alpha\beta}^{xy} \bar{u}_\gamma) + \frac{1}{\Delta} (D_{\gamma\alpha}^{yt} \bar{u}_\beta + D_{\alpha\beta}^{yt} \bar{u}_\gamma) \bar{u} + \frac{1}{\Delta} (D_{\gamma\alpha}^{tx} \bar{u}_\beta + D_{\alpha\beta}^{tx} \bar{u}_\gamma) \bar{v} + \frac{1}{\Delta} g (D_{\gamma\alpha}^{yt} \bar{\xi}_\beta + D_{\alpha\beta}^{yt} \bar{\xi}_\gamma) + R\bar{u} \right] \\ = -2\Omega_n (D_{\beta\gamma}^{yt} \bar{u} + D_{\beta\gamma}^{tx} \bar{v}) = 2\Omega_n D_{\beta\gamma}^{xy}. \quad (2.10) \end{aligned}$$

Le même calcul pour $\beta = \beta_0 = \text{const.}$ et $\gamma = \gamma_0 = \text{const.}$ donne tout d'abord deux équations qu'on déduit de (2.8) en y remplaçant β, γ par γ, α et α, β , et en posant cette fois

$$u(\alpha, \beta_0, \gamma) = \hat{u}(\alpha, \gamma), v(\alpha, \beta_0, \gamma) = \hat{v}, \dots \text{ et } u(\alpha, \beta, \gamma_0) = \check{u}(\alpha, \beta), \text{ etc.}$$

Ainsi, par exemple, la multiplicité définie par $\Sigma(\beta_0)$ et les données $\hat{u}, \hat{v}, \hat{\xi}$ qu'elle porte sera caractéristique relativement à (E') si les fonctions qui la déterminent sont solutions de l'analogue de (2.8) d'indices γ, α , c'est-à-dire de l'une des trois équations en laquelle cette dernière se décompose. (En particulier, le crochet, du genre $M^2 - N$, donne quand on l'annule les 2 équations $M - \sqrt{N} = 0$ et $M + \sqrt{N} = 0$).

Choisissons le signe $-$ devant le radical ; il vient :

$$\left. \begin{aligned} D_{\gamma\alpha}^{xy} + D_{\gamma\alpha}^{yt} \hat{u} + D_{\gamma\alpha}^{tx} \hat{v} - \\ - [g(\hat{\xi} + h) (D_{\gamma\alpha}^{yt})^2 + (D_{\gamma\alpha}^{tx})^2]^{1/2} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.11)$$

et

$$\left. \begin{aligned} D_{\alpha\beta}^{xy} + D_{\alpha\beta}^{yt} \check{u} + D_{\alpha\beta}^{tx} \check{v} - \\ - [g(\check{\xi} + h) (D_{\alpha\beta}^{yt})^2 + (D_{\alpha\beta}^{tx})^2]^{1/2} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.11)$$

Moyennant (2.11), les équations bicaractéristiques correspondantes seront

$$\left. \begin{aligned} (D_{\gamma\alpha}^{xy} + D_{\gamma\alpha}^{yt} \hat{u} + D_{\gamma\alpha}^{tx} \hat{v}) \left[\frac{1}{\Delta} (\hat{\xi} + h) D_{\beta\gamma}^{yt} \hat{u}_\alpha \right. \\ + \frac{1}{\Delta} (\hat{\xi} + h) D_{\alpha\beta}^{yt} \hat{u}_\gamma + \frac{1}{\Delta} (\hat{\xi} + h) D_{\beta\gamma}^{tx} \hat{v}_\alpha \\ + \frac{1}{\Delta} (\hat{\xi} + h) D_{\alpha\beta}^{tx} \hat{v}_\gamma + \frac{1}{\Delta} (D_{\beta\gamma}^{xy} + D_{\beta\gamma}^{yt} \hat{u} \\ + D_{\beta\gamma}^{tx} \hat{v}) \hat{\xi}_\alpha + \frac{1}{\Delta} (D_{\alpha\beta}^{xy} + D_{\alpha\beta}^{yt} \hat{u} + D_{\alpha\beta}^{tx} \hat{v}) \hat{\xi}_\gamma \\ \left. + h_1 \hat{u} + h_2 \hat{v} \right] - \\ - (\hat{\xi} + h) D_{\gamma\alpha}^{yt} \left[\frac{1}{\Delta} (D_{\beta\gamma}^{xy} + D_{\beta\gamma}^{yt} \hat{u} + D_{\beta\gamma}^{tx} \hat{v}) \hat{u}_\alpha \right. \\ + \frac{1}{\Delta} (D_{\alpha\beta}^{xy} + D_{\alpha\beta}^{yt} \hat{u} + D_{\alpha\beta}^{tx} \hat{v}) \hat{u}_\gamma \\ + \frac{1}{\Delta} g D_{\beta\gamma}^{yt} \hat{\xi}_\alpha + \frac{1}{\Delta} g D_{\alpha\beta}^{yt} \hat{\xi}_\gamma - 2\Omega_n \hat{v} + R\hat{u} \left. \right] - \\ - (\check{\xi} + h) D_{\gamma\alpha}^{tx} \left[\frac{1}{\Delta} (D_{\beta\gamma}^{xy} + D_{\beta\gamma}^{yt} \hat{u} + D_{\beta\gamma}^{tx} \hat{v}) \hat{v}_\alpha \right. \\ + \frac{1}{\Delta} (D_{\alpha\beta}^{xy} + D_{\alpha\beta}^{yt} \hat{u} + D_{\alpha\beta}^{tx} \hat{v}) \hat{v}_\gamma \\ + \frac{1}{\Delta} g D_{\beta\gamma}^{tx} \hat{\xi}_\alpha + \frac{1}{\Delta} g D_{\alpha\beta}^{tx} \hat{\xi}_\gamma + 2\Omega_n \hat{u} + R\hat{v} \left. \right] = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.12)$$

et la même relation avec, à la place de $\hat{\cdot}, \gamma, \alpha, \beta$, les symboles $\check{\cdot}, \alpha, \beta, \gamma$.

Remarques

(1) On voit qu'il y a au plus neuf (et au moins six — cf § 2.3.3. —) relations R_1, \dots, R_9 distinctes susceptibles de définir une multiplicité caractéristique. Nous allons montrer que le choix des équations (2.9), (2.11) auxquelles on adjoint (2.10), (2.12) définit un système de six équations aux dérivées partielles que vérifient les 6 fonctions (1.1) et qui est équivalent à (E).

Mais, comme nous le verrons dans la deuxième partie de ce travail, on peut former d'autres systèmes équivalents en choisissant convenablement parmi les R_i trois relations autres que (2.9), (2.11) et en adjoignant à ce groupe les équations bicaractéristiques correspondantes.

Pour le moment, nous nous arrêtons au système (2.9), (2.10), (2.11), (2.12) dans lequel nous supprimerons désormais les signes $\hat{\cdot}, \check{\cdot}$ et $\bar{\cdot}$.

Ce système de 6 équations sera noté (e) et dit associé à (E). Nous appellerons α, β, γ les variables caractéristiques attachées à (E) ; (e) définit 3 multiplicités bicaractéristiques $M_\alpha, M_\beta, M_\gamma$. On dira aussi, par exemple,

que la surface correspondant à M_α , de représentation paramétrique $\vec{r} = (x(\alpha, \beta, \gamma), y, t)$ où β, γ sont variables, est une surface bicaractéristique S_α de la première famille.

[L'emploi de ce vocabulaire n'est légitime que pour les systèmes (e) totalement hyperboliques où les multiplicités génératrices $M_\alpha, M_\beta, M_\gamma$ sont réelles. Mais ce point est bien connu dans la théorie des marées et s'applique au modèle (1.6)].

(II) Une surface (bi)caractéristique S_{α_0} , par exemple, ne peut être donnée par

$$x = x(\alpha_0, \beta, \gamma) \quad , \quad y = y(\alpha_0, \beta, \gamma) \quad ,$$

$$t = t(\alpha_0, \beta, \gamma) \equiv \text{const.}$$

En effet, on aurait alors, d'après (2.8),

$$(D_{\beta\gamma}^{xy})^3 = 0 \quad \text{ou} \quad \frac{\partial(x, y)}{\partial(\beta, \gamma)} \Big|_{\alpha=\alpha_0} = 0$$

$$\Rightarrow y(\alpha_0, \beta, \gamma) = F[x(\alpha_0, \beta, \gamma)].$$

Donc, l'image dans D de la section du domaine \mathcal{D} par $\alpha = \alpha_0$ serait une courbe plane, ce qui, en vertu de (1.2), est impossible ; une telle circonstance ne peut se produire qu'à la frontière de \mathcal{D} : voir, dans la deuxième partie, l'étude des problèmes aux limites posés relativement à (E).

2.3. Equivalence de (E) et du système (e) choisi.

2.3.1. Condition d'équivalence.

A l'aide d'un raisonnement basé sur des considérations de géométrie différentielle élémentaire, on arrive à la conclusion suivante : toute solution régulière de (E) admet une représentation paramétrique (1.1) en variables caractéristiques α, β, γ .

Ce point sera repris dans la deuxième partie de ce travail. Il s'agit d'une adaptation de quelques propriétés classiques des équations aux dérivées partielles, appliquée aux systèmes quasi-linéaires hyperboliques à 3 inconnues de 3 variables (cf, entre autres, pour une seule inconnue, E. Goursat [6] ; pour deux variables indépendantes, voir par exemple dans [7], l'étude analytique et numérique de quelques problèmes concrets en mécanique des sols).

Inversément, nous allons montrer maintenant que toute solution de (e) donnée par les équations (2.9) à (2.12) est solution de (E) mise sous forme (1.1). Autrement dit, nous avons le théorème :

la condition nécessaire et suffisante pour que $u(x, y, t), v, \xi$ supposées régulières dans \mathcal{D} soient, dans ce domaine, solutions de (E) est qu'on puisse les engendrer par un triplet de multiplicités bicaractéristiques distinctes.

Avant d'aborder la démonstration de cette réciproque, mettons les équations définissant (e) sous une

autre forme dont on verra, ci-après l'intérêt. En utilisant les identités

$$D_{\beta\gamma}^{xy} D_{\alpha\beta}^{tx} - D_{\alpha\beta}^{xy} D_{\beta\gamma}^{tx} = x_\beta \Delta$$

(et cycliquement en x, y, t et α, β, γ) l'équation (2.10) peut s'écrire

$$D_{\beta\gamma}^{yv} + D_{\beta\gamma}^{xu} - D_{\beta\gamma}^{tu} u - D_{\beta\gamma}^{tv} v + R(-D_{\beta\gamma}^{tx} u + D_{\beta\gamma}^{yt} v) - g D_{\beta\gamma}^{t\xi} = 2\Omega_n D_{\beta\gamma}^{xy}.$$

Ensuite, en observant que

$$-D_{\mu\nu}^{xy} D_{\mu\nu}^{tq} = D_{\mu\nu}^{yt} D_{\mu\nu}^{xq} + D_{\mu\nu}^{tx} D_{\mu\nu}^{yq}, \quad \text{avec}$$

$$q = u, v \quad \text{ou} \quad \xi \quad , \quad \mu \neq \nu \quad , \quad \mu, \nu = \alpha, \beta \quad \text{ou} \quad \gamma,$$

on met (2.10) sous la forme suivante :

$$\begin{aligned} & (-D_{\beta\gamma}^{yv} u + D_{\beta\gamma}^{xv} v + R D_{\beta\gamma}^{xy} v + g D_{\beta\gamma}^{x\xi} D_{\beta\gamma}^{yt} + \\ & + (D_{\beta\gamma}^{yu} u - R D_{\beta\gamma}^{xy} u - D_{\beta\gamma}^{xu} v + g D_{\beta\gamma}^{y\xi}) D_{\beta\gamma}^{tx} \\ & = 2\Omega_n (D_{\beta\gamma}^{xy})^2. \end{aligned} \tag{2.13}$$

[Notons ici que si

$$f(x, y) = f(x(\alpha, \beta, \gamma), y(\alpha, \beta, \gamma)) = \varphi(\alpha, \beta, \gamma), \quad (\alpha \text{ fixe}),$$

alors

$$\begin{aligned} f_x &= \frac{\begin{vmatrix} \varphi_\beta & \varphi_\gamma \\ \varphi_\gamma & \varphi_\gamma \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \varphi_\beta & \varphi_\gamma \\ \varphi_\gamma & \varphi_\gamma \end{vmatrix}} = \\ &= -D_{\beta\gamma}^{y\varphi} / D_{\beta\gamma}^{xy} \quad \text{et} \quad f_y = D_{\beta\gamma}^{x\varphi} / D_{\beta\gamma}^{xy}. \end{aligned}$$

En utilisant les relations précédentes, on peut écrire, après quelques transformations, l'équation (2.12) ainsi :

$$\left. \begin{aligned} & \{ (D_{\gamma\alpha}^{yt} - h_1 D_{\gamma\alpha}^{xy}) u^2 - (D_{\gamma\alpha}^{t\xi} + h_2 D_{\gamma\alpha}^{xy}) uv \\ & - g D_{\gamma\alpha}^{t\xi} (\xi + h) - D_{\gamma\alpha}^{xu} u (\xi + h) + \\ & + D_{\gamma\alpha}^{xv} v (\xi + h) + D_{\gamma\alpha}^{xy} u (\xi + h) R \\ & - 2\Omega_n D_{\gamma\alpha}^{xy} v (\xi + h) \} D_{\gamma\alpha}^{yt} + \\ & + [(D_{\gamma\alpha}^{yt} - h_1 D_{\gamma\alpha}^{xy}) uv - (D_{\gamma\alpha}^{t\xi} + h_2 D_{\gamma\alpha}^{xy}) v^2 \\ & + g D_{\gamma\alpha}^{t\xi} (\xi + h) - D_{\gamma\alpha}^{yv} u (\xi + h) \\ & + D_{\gamma\alpha}^{yu} v (\xi + h) + D_{\gamma\alpha}^{xy} v (\xi + h) R \\ & + 2\Omega_n D_{\gamma\alpha}^{xy} u (\xi + h)] D_{\gamma\alpha}^{tx} \\ & + [(D_{\gamma\alpha}^{yt} - h_1 D_{\gamma\alpha}^{xy}) u - (D_{\gamma\alpha}^{t\xi} + h_2 D_{\gamma\alpha}^{xy}) v \\ & + (D_{\gamma\alpha}^{yu} - D_{\gamma\alpha}^{xv}) (\xi + h)] D_{\gamma\alpha}^{xy} = 0 \end{aligned} \right\} \tag{2.14}$$

L'équation analogue obtenue en remplaçant $\gamma\alpha$ par $\alpha\beta$ sera notée

$$(2.15)$$

L'avantage de ces expressions est que (2.14), par exemple, ne fait intervenir que des dérivées en γ et α .

Ainsi, (e) est maintenant déterminé par (2.13), (2.14), (2.15) et les équations (2.9) et (2.11) reproduites

ci-après :

$$D_{\beta\gamma}^{xy} + D_{\beta\gamma}^{yt} u + D_{\beta\gamma}^{tx} v = 0 \tag{2.16}$$

$$D_{\gamma\alpha}^{xy} + D_{\gamma\alpha}^{yt} u + D_{\gamma\alpha}^{tx} v = [g(\zeta + h) \{ (D_{\gamma\alpha}^{yt})^2 + (D_{\gamma\alpha}^{tx})^2 \}]^{1/2} \tag{2.17}$$

et la même équation avec $\alpha\beta$ au lieu de $\gamma\alpha$ notée (2.18)

Supposons maintenant que l'on connaisse une solution x, y, t, u, v, ζ de (e). Puisque le déterminant fonctionnel Δ est $\neq 0$, on peut inverser (1.1) et écrire $\alpha = \alpha(x, y, t)$, $\beta = \beta(x, y, t)$, $\gamma = \gamma(x, y, t)$. Posons alors

$$u(\alpha, \beta, \gamma) = U(x, y, t), \quad v = V, \quad \zeta = Z,$$

d'où $u_\alpha = U_x x_\alpha + U_y y_\alpha + U_t t_\alpha$, etc.

Introduisons ces expressions dans (2.13); on obtient, après simplification par $D_{\beta\gamma}^{xy}$ et en utilisant (2.16)

$$-D_{\beta\gamma}^{tx} (U_t + U U_x + V U_y + g Z_x - 2\Omega_n V + R U) + D_{\beta\gamma}^{yt} (V_t + U V_x + V V_y + g Z_y + 2\Omega_n U + R V) = 0$$

De même, à partir de (2.14) et compte tenu de (2.17), un très long calcul élémentaire nous conduit, après simplification par $D_{\gamma\alpha}^{xy}$, à

$$-(Z + h) D_{\gamma\alpha}^{yt} (U_t + U U_x + V U_y + g Z_x - 2\Omega_n V + R U) - (Z + h) D_{\gamma\alpha}^{tx} (V_t + U V_x + V V_y + g Z_y + 2\Omega_n U + R V) + P_{\gamma\alpha} [Z_t + (Z + h) (U_x + V_y) + U (Z + h)_x + V (Z + h)_y] = 0$$

où l'on a posé $P_{\gamma\alpha} = \sqrt{g(Z + h) [(D_{\gamma\alpha}^{yt})^2 + (D_{\gamma\alpha}^{tx})^2]}$.

On obtient une équation de la même forme en partant de (2.15) et (2.18); on trouve ainsi le système

$$\left. \begin{aligned} -D_{\beta\gamma}^{tx} [II] + D_{\beta\gamma}^{yt} [III] &= 0 \\ -(Z + h) D_{\gamma\alpha}^{yt} [II] - (Z + h) D_{\gamma\alpha}^{tx} [III] + P_{\gamma\alpha} [I] &= 0 \\ (Z + h) D_{\alpha\beta}^{yt} [II] + (Z + h) D_{\alpha\beta}^{tx} [III] - P_{\alpha\beta} [I] &= 0 \end{aligned} \right\} \tag{2.19}$$

où [I], [II] et [III] sont les membres de gauche des 1^{ère}, 2^e et 3^e équation de (1.6) respectivement, avec U, V, Z à la place de u, v, ζ . Par commodité, nous reprendrons, dans ce qui suit, les lettres u, v, ζ . Remarquons tout d'abord que (2.19) a été obtenu après simplification par $D_{\beta\gamma}^{xy}, D_{\gamma\alpha}^{xy}, D_{\alpha\beta}^{xy}$, c.-à-d. que l'on suppose ces 3 facteurs $\neq 0$. Or, par exemple, $D_{\beta\gamma}^{xy} = 3^e$ composante de $(x_\beta, y_\beta, t_\beta) \times (x_\gamma, y_\gamma, t_\gamma) = 3^e$ composante des vecteurs normaux aux surfaces de la première famille ($\alpha = \text{const.}$, $\beta, \gamma = \text{paramètres}$). La restriction ci-dessus implique que les surfaces caractéristiques n'ont pas de plans tangents parallèles à $0t$.

Pour que le système (2.19) ne possède que la solution triviale, il faut et il suffit que le déterminant

$$\begin{vmatrix} -D_{\beta\gamma}^{tx} & D_{\beta\gamma}^{yt} & 0 \\ -(\zeta + h) D_{\gamma\alpha}^{yt} & -(\zeta + h) D_{\gamma\alpha}^{tx} & P_{\gamma\alpha} \\ (\zeta + h) D_{\alpha\beta}^{yt} & (\zeta + h) D_{\alpha\beta}^{tx} & -P_{\alpha\beta} \end{vmatrix} = (\zeta + h) \begin{vmatrix} -D_{\beta\gamma}^{tx} & D_{\beta\gamma}^{yt} & 0 \\ -D_{\beta\gamma}^{yt} & -D_{\gamma\alpha}^{tx} & P_{\gamma\alpha} \\ D_{\alpha\beta}^{yt} & D_{\alpha\beta}^{tx} & -P_{\alpha\beta} \end{vmatrix} \tag{2.20}$$

soit $\neq 0$. Dans ce cas le triplet $([I], [II], [III]) = (0, 0, 0)$ est solution unique et il y a équivalence entre (e) et (E).

2.3.2. Validité de la condition d'équivalence. Interprétation géométrique

Etudions maintenant l'éventualité d'une solution de (2.19) autre que la solution triviale, c'est-à-dire traitons le cas où le déterminant (2.20) est nul. Comme nous le verrons, la discussion correspondante sera rendue plus aisée grâce à une interprétation géométrique. D'ailleurs, on peut montrer, à l'aide de raisonnements géométriques uniquement, que ce cas ne peut apparaître quand on décompose d en un domaine "triangulé" (c.-à-d. formé de triangles curvilignes).

Avant d'aborder la question soulevée ci-dessus, indiquons quelques propriétés géométriques des multiplicités caractéristiques. A cet effet, il est commode de revenir au système (E) écrit sous la forme (1.6), et d'en déduire directement les équations bicaractéristiques comme l'ont fait A. Daubert et O. Graffe [1]. Rappelons cependant que cette méthode écarte a priori les solutions singulières. Résumons ci-après leurs résultats, en les complétant sur quelques points.

Considérons le problème de Cauchy posé relativement à (E): soit Σ la surface, définie dans $Oxyt$ par l'équation $t = \underline{t}(x, y)$, qui porte les données $u = \underline{u}(x, y)$, $v = \underline{v}(x, y)$, $\zeta = \underline{\zeta}(x, y)$, $x, y \in d$. Ainsi, les inconnues de (1.6) sont astreintes à vérifier les conditions $\underline{u} = u(x, y, \underline{t}(x, y))$, ... et satisfont sur Σ les 6 relations $\underline{u}_x = u_x + u_t \cdot \underline{t}_x, \dots, \underline{\zeta}_y = \zeta_y + \zeta_t \cdot \underline{t}_y$. En introduisant les valeurs $u_x = \underline{u}_x - u_t \cdot \underline{t}_x$, etc. dans (1.6), on obtient un système linéaire en u_t, v_t, ζ_t possédant une solution unique si le produit $(1 - \underline{u}_t \underline{t}_x - \underline{v}_t \underline{t}_y) \cdot [(1 - \underline{u}_t \underline{t}_x - \underline{v}_t \underline{t}_y)^2 - g(\zeta + h)(\underline{t}_x^2 + \underline{t}_y^2)]$ n'est pas nul. Par suite, les multiplicités caractéristiques vérifient les équations (cf. § 2.3.3)

$$\left. \begin{aligned} \underline{u}_t \underline{t}_x + \underline{v}_t \underline{t}_y - 1 &= k_i \sqrt{\underline{t}_x^2 + \underline{t}_y^2}, \quad i = 1, 2, 3 \\ k_1 &= 0, \quad k_2 = \sqrt{g(\zeta + h)} =: \underline{k}, \quad k_3 = -\underline{k} \end{aligned} \right\} \tag{2.21}$$

On voit immédiatement que $\underline{t}(x, y) = \text{const}$ n'est solution d'aucune de ces équations. Donc, la multiplicité $\underline{t} = \text{const}$, $\underline{u}, \underline{v}, \underline{\zeta}$ est toujours normale, c.-à-d. que pour ces données le problème de Cauchy posé relativement à (E) n'admet qu'une solution (ce qui, physiquement,

est naturel puisque le système décrit un phénomène de propagation d'ondes dont l'évolution doit être uniquement déterminée par les conditions initiales seules dans un voisinage de $t = 0$.

On déduit sans peine de (2.21) qu'en chaque élément $x_0, y_0, \underline{t}_0, \underline{u}_0, \underline{v}_0, \underline{\zeta}_0$ fixé d'une multiplicité, l'enveloppe des surfaces caractéristiques passant par $P_0(x_0, y_0, \underline{t}_0)$ est, pour $i = 1$, une droite δ_0 donnée vectoriellement par $(x_0, y_0, \underline{t}_0) + \lambda(\underline{u}_0, \underline{v}_0, 1)$, et pour $i = 2$ ou 3, un cône d'équation

$$[X - x_0 - \underline{u}_0(T - \underline{t}_0)]^2 + [Y - y_0 - \underline{v}_0(T - \underline{t}_0)]^2 = g(\underline{\zeta}_0 + h)(T - \underline{t}_0)^2 \quad (2.22)$$

où X, Y, T sont les coordonnées courantes.

Ce cône est réel (par hyp., $\zeta + h$ est > 0 , cf § 1.5), de sommet P_0 . Les sections, par les plans $T = \tau = \text{const}$, sont des cercles de centres $(x_0 + \underline{u}_0(\tau - \underline{t}_0), y_0 + \underline{v}_0(\tau - \underline{t}_0), \tau)$ situés sur δ_0 . On voit que le cône n'a pas de plan tangent parallèle à Ot puisque la normale en un point $P(X, Y, T)$ de la surface peut être exprimée par $(X - x_0 - \underline{u}_0(T - \underline{t}_0), Y - y_0 - \underline{v}_0(T - \underline{t}_0), -g(\underline{\zeta}_0 + h)(T - \underline{t}_0))$: $\forall P$ autre que le sommet $(x_0, y_0, \underline{t}_0)$, la 3^e composante est $\neq 0$, et les 2 premières restent bornées.

Enfin, si l'on pose $\underline{t}_x = \rho \cos \varphi, \underline{t}_y = \rho \sin \varphi$, on tire de (2.21) — pour $i = 2$ par exemple — l'équation $\rho^{-1} = \underline{u} \cos \varphi + \underline{v} \sin \varphi - k$. Par suite, le vecteur normal \vec{n} à la surface $t = \underline{t}(x, y)$, qui est parallèle à $(\underline{t}_x, \underline{t}_y, -1)$, aura pour composantes

$$(\cos \varphi, \sin \varphi, -\underline{u} \cos \varphi - \underline{v} \sin \varphi + k) \quad (2.23)$$

On reconnaît aisément, compte tenu de la remarque qui suit (2.13), que l'équation (2.21)₁ correspond aux équations du type (2.9), et les équations (2.21)_{2,3} à celles du type (2.11).

Ceci dit, cherchons maintenant sous quelles conditions (2.20) s'annule :

$$\begin{aligned} 0 &= -(D_{\beta\gamma}^{tx} D_{\gamma\alpha}^{tx} + D_{\beta\gamma}^{y\tau} D_{\gamma\alpha}^{y\tau}) P_{\alpha\beta} \\ &+ (D_{\beta\gamma}^{y\tau} D_{\alpha\beta}^{y\tau} + D_{\beta\gamma}^{tx} D_{\alpha\beta}^{tx}) P_{\gamma\alpha} \\ &= -(D_{\beta\gamma}^{tx} D_{\gamma\alpha}^{tx} + D_{\beta\gamma}^{y\tau} D_{\gamma\alpha}^{y\tau}) (D_{\alpha\beta}^{xy} + D_{\alpha\beta}^{y\tau} u + D_{\alpha\beta}^{tx} v) + \\ &+ (D_{\beta\gamma}^{y\tau} D_{\alpha\beta}^{y\tau} + D_{\beta\gamma}^{tx} D_{\alpha\beta}^{tx}) (D_{\gamma\alpha}^{xy} + D_{\gamma\alpha}^{y\tau} u + D_{\gamma\alpha}^{tx} v) \\ &= (D_{\gamma\alpha}^{tx} D_{\alpha\beta}^{y\tau} - D_{\alpha\beta}^{tx} D_{\gamma\alpha}^{y\tau}) (-D_{\beta\gamma}^{tx} u + D_{\beta\gamma}^{y\tau} v) + \\ &+ (D_{\alpha\beta}^{tx} D_{\gamma\alpha}^{xy} - D_{\gamma\alpha}^{tx} D_{\alpha\beta}^{xy}) D_{\beta\gamma}^{tx} + \\ &+ (-D_{\gamma\alpha}^{y\tau} D_{\alpha\beta}^{xy} + D_{\alpha\beta}^{y\tau} D_{\gamma\alpha}^{xy}) D_{\beta\gamma}^{y\tau} \\ &= (-t_\alpha \Delta) (-D_{\beta\gamma}^{tx} u + D_{\beta\gamma}^{y\tau} v) + (-x_\alpha \Delta) D_{\beta\gamma}^{tx} + \\ &+ (y_\alpha \Delta) D_{\beta\gamma}^{y\tau} \\ &= [-x_\alpha D_{\beta\gamma}^{tx} + y_\alpha D_{\beta\gamma}^{y\tau} - t_\alpha (-D_{\beta\gamma}^{tx} u + D_{\beta\gamma}^{y\tau} v)] \Delta. \end{aligned}$$

Par conséquent, (2.20) est nul si le vecteur de composantes $(x_\alpha, y_\alpha, t_\alpha)$ est orthogonal au vecteur

$$(-D_{\beta\gamma}^{tx}, D_{\beta\gamma}^{y\tau}, D_{\beta\gamma}^{tx} u - D_{\beta\gamma}^{y\tau} v) = (u, v, 1) \times (D_{\beta\gamma}^{y\tau}, D_{\beta\gamma}^{tx}, 0).$$

D'autre part, la normale \vec{n}_{S_α} au plan tangent à la surface caractéristique S_α (correspondant à $\alpha = \text{const.}$) a ses composantes $n_{S_\alpha}^{(i)}$ proportionnelles à celle du vecteur

$$(x_\beta, y_\beta, t_\beta) \times (x_\gamma, y_\gamma, t_\gamma) = (D_{\beta\gamma}^{y\tau}, D_{\beta\gamma}^{tx}, D_{\beta\gamma}^{xy})$$

Donc, si le produit mixte des vecteurs $(x_\alpha, y_\alpha, t_\alpha), (u, v, 1)$ et $(n_{S_\alpha}^{(1)}, n_{S_\alpha}^{(2)}, 0)$ est nul, le déterminant (2.20) l'est aussi, et inversement.

Considérons enfin un plan "horizontal" $t = \text{const} = a$ (où u, v, ζ sont supposés connus; rappelons que $t = \text{const}$ ne peut être une surface caractéristique). Les "données" sont ainsi définies en chaque point de $t = a$. Déterminons les surfaces S_α, S_β et S_γ astreintes à couper le plan $t = a$ selon des arcs formant un triangle curviligne Ψ , choisi suffisamment petit. L'intersection de ces 3 surfaces est un point P et les plans tangents aux 3 surfaces en P déterminent sur $t = a$ un triangle ABC (voir figure 1).

P est le sommet du cône caractéristique dont les sections par des plans perpendiculaires à Ot sont des cercles de centres situés sur la droite δ_P donnée par

$$(x_P, y_P, t_P) + \lambda(u_P, v_P, 1)$$

Appelons Γ le cercle dans $t = a$ et O son centre. Nous désignerons, comme auparavant, par S_α les surfaces tangentes en P à la droite δ_P ; par conséquent, PBC est le plan qui contient δ_P , et les plans PAB, PAC sont tangents au cône le long des génératrices PT'' et PT' . Il s'ensuit d'autre part que les arêtes PA, PB, PC , intersections des plans tangents aux surfaces ont pour paramètres directeurs $(x_\alpha, y_\alpha, t_\alpha), (x_\beta, y_\beta, t_\beta), (x_\gamma, y_\gamma, t_\gamma)$ respectivement. Choisissons O comme origine et la droite OBC comme axe Ox . Alors, le vecteur ON , projection de la normale \vec{n}_{S_α} sur le plan ABC a pour composantes $(n_{S_\alpha}^{(1)}, n_{S_\alpha}^{(2)}, 0)$, et est parallèle au vecteur $(0, 1, 0)$. Par conséquent, (2.20) est nul si

$$\begin{vmatrix} x_\alpha & y_\alpha & t_\alpha \\ u & v & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{vmatrix} = ut_\alpha - x_\alpha = 0 \quad (2.24)$$

Or, en posant $\widehat{T''OB} = \varphi_1, \widehat{T'''OB} = 2\pi - \varphi_2$, on a en utilisant (2.23) et le symbole $//$ ("parallèle à"),

$$\begin{aligned} (x_\alpha, y_\alpha, t_\alpha) // \vec{n}_{S_\beta} \times \vec{n}_{S_\gamma} // \\ (\cos \varphi_1, \sin \varphi_1, -u \cos \varphi_1 - v \sin \varphi_1 + k) \times \\ \times (\cos \varphi_2, -\sin \varphi_2, -u \cos \varphi_2 + v \sin \varphi_2 - k) \\ = (-u \sin(\varphi_1 + \varphi_2) - k(\sin \varphi_1 - \sin \varphi_2), \\ -v \sin(\varphi_1 + \varphi_2) + k(\cos \varphi_1 + \cos \varphi_2), \\ -\sin(\varphi_1 + \varphi_2)). \end{aligned}$$

Donc, (2.24) s'écrit

$$\begin{aligned} k(\sin \varphi_1 - \sin \varphi_2) &= 0 \\ \Rightarrow \varphi_2 = \varphi_1 \quad \text{ou} \quad \varphi_2 = \pi - \varphi_1. \end{aligned}$$

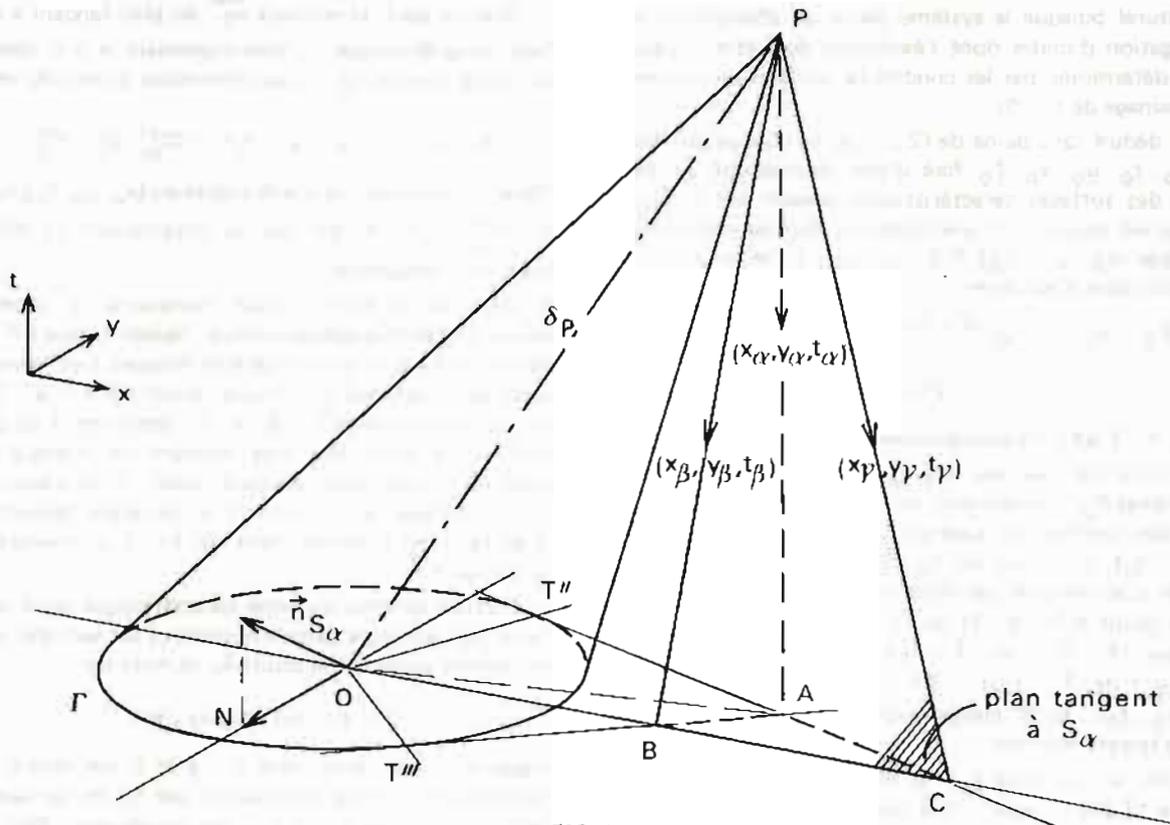


FIG. 1.

Quand $\varphi_2 = \pi - \varphi_1$, $T''C$ est // à $T'''B$: le triangle ABC dégénère en une demi-bande infinie.

Quand $\varphi_2 = \varphi_1$, ou bien $T''C$ et $T'''B$ se coupent sur Ox en A et le triangle dégénère en un point ; ou alors ABC est un triangle isocèle de base BC . Mais dans ce cas, O est rejeté à l'infini (puisque AO , bissectrice de $T''AT'''$ est // à BC).

On en conclut, qu'à l'exception des cas singuliers cités, 2.3.1. entraîne que les systèmes (e) et (E) sont équivalents. Mais rappelons que les éventualités traitées ci-dessus ne peuvent se produire à partir d'une triangulation régulière, ainsi que nous l'avons noté au début de ce paragraphe.

2.3.3. Remarque sur la décomposition de l'équation définissant les surfaces caractéristiques

On peut écrire les équations (2.21), pour $i = 2, 3$, sous la forme

$$u t_x + v t_y - 1 = \pm \sqrt{g(\xi + h)} (\xi_x^2 + \xi_y^2)$$

Pour simplifier, supprimons partout la barre, notons $H = \sqrt{g(\xi + h)}$ et posons, selon l'usage $p = t_x, q = t_y$. Ainsi, l'équation (sous forme tangentielle) du cône caractéristique de sommet O est

$$up + vq - 1 = \pm H(p^2 + q^2)^{1/2} \tag{2.25}$$

Cherchons sous quelle condition le signe \pm peut figurer dans le second membre. Coupons le cône par le plan $t = a > 0$. La section Γ est un cercle dont le

centre I est sur la droite $\frac{x}{u} = \frac{y}{v} = t$, et dont le rayon

vaut $R = Ha$ [cf (2.22)]. Soient G un point de Γ et φ l'angle entre les directions Ox et IG ; les composantes du vecteur \vec{OG} sont alors $(au + R \cos \varphi, av + R \sin \varphi, a)$ et celles du vecteur \vec{w} tangent à Γ en G données par $(-R \sin \varphi, R \cos \varphi, 0)$. Ainsi, le vecteur normal au cône en G est parallèle à $\vec{OG} \times \vec{w} = aR(-\cos \varphi, -\sin \varphi, u \cos \varphi + v \sin \varphi + H)$. D'autre part, si l'on met l'équation du cône sous la forme $t = \sigma(x, y)$, la normale a pour composantes $(p, q, -1)$; d'où l'on tire

$$p = \frac{\cos \varphi}{u \cos \varphi + v \sin \varphi + H}, \quad q = \frac{\sin \varphi}{u \cos \varphi + v \sin \varphi + H}$$

et

$$up + vq - 1 = \frac{-H}{u \cos \varphi + v \sin \varphi + H} \tag{2.26}$$

Pour que l'on puisse écrire (2.25), il faut donc que le second membre de (2.26) change de signe lorsque φ varie de 0 à 2π . Posons encore :

$$u = V \cos \theta, \quad v = V \sin \theta, \quad V = \sqrt{u^2 + v^2}$$

(V et θ sont fixes, car u et v sont les composantes de la vitesse en O) ; il s'ensuit que

$$u \cos \varphi + v \sin \varphi + H = V \cos(\theta - \varphi) + H = V \left[\cos(\theta - \varphi) + \frac{H}{V} \right]$$

ce qui implique que (2.26) change de signe seulement si $\frac{H}{V} < 1$.

Or, dans le cas de la Manche, V ne dépasse pas 3 m/s ; en prenant $g \approx 9,806 \text{ m/s}^2$, on devrait donc avoir

$$\frac{H}{V} = \frac{\sqrt{g}}{V} \sqrt{\zeta + h} \approx 1,044 \sqrt{\zeta + h} < 1 \Rightarrow \zeta + h < 0,90 \text{ m.}$$

Cette condition n'est jamais vérifiée en pratique puisque $h \approx 100 \text{ m}$ (sauf peut-être dans le voisinage des côtes, par petits fonds).

Géométriquement, le fait que $u \cos \varphi + v \sin \varphi + H$ ne s'annule pas a pour conséquence que p et q restent bornés, c-à-d. que la normale au cône caractéristique n'est jamais parallèle à xOy : il n'y a pas de plan "vertical" tangent au cône. Autrement dit, l'axe Ot coupe le plan $t = a$ à l'intérieur de Γ .

(Le cas $\frac{H}{V} < 1$ correspond donc à l'existence de

2 plans verticaux passant par Ot tangents au cône, et $\frac{H}{V} = 1$ implique que Ot est une génératrice du cône).

Ainsi, la décomposition (2.21) n'est possible que moyennant des conditions appropriées. Cette constatation justifie la remarque (1) du § 2.2. On verra cependant, dans la 2^e partie, qu'on peut toujours associer à (E) un système (e) qui ne comporte pas de telle restriction. La discussion d'équivalence entre les systèmes est, à quelques détails de calcul près, analogue à celle du § 2.3.1.

3. CONCLUSION DE LA PREMIERE PARTIE

On a vu que, sous certaines conditions de régularité, il y a équivalence entre (E) et (e). Cependant, on peut s'interroger sur l'intérêt que présente le passage de l'un à l'autre, puisque (E) est un système quasilinear par rapport aux 3 inconnues u, v, ζ , alors que (e) n'est quasilinear que par rapport aux 3 dernières des 6 inconnues x, y, t, u, v, ζ .

Cet intérêt réside d'abord en ce que l'équivalence permet de justifier rigoureusement les procédés usuels

de calcul numérique au moyen des bicaractéristiques. De plus, comme on le verra dans la 2^e partie, le système (e) est plus général que (E) en ce sens que les solutions de (E) comportant des singularités — que l'on rencontre en physique mathématique — peuvent admettre des représentations paramétriques (1.1) dont les seconds membres sont des fonctions régulières de leurs arguments.

Soulignons d'autre part que la transformation de (2.10) et (2.12) en (2.13) et (2.14) simplifie beaucoup les calculs (dans (2.10) par exemple, on trouve des dérivées partielles par rapport aux 3 variables α, β, γ , alors que dans (2.13) n'apparaissent que des dérivées en β et γ). Mais cette transformation permet aussi de mieux dégager une propriété des systèmes hyperboliques, déjà systématiquement exploitée dans le cas de deux variables indépendantes (voir, en particulier, [7]).

Considérons la transformation $\mathcal{O} \rightarrow \mathcal{O}_1$ définie par $\alpha = a(\alpha_1), \beta = b(\beta_1), \gamma = c(\gamma_1)$. Cette correspondance sera réversible et continûment différentiable si les fonctions a, b, c sont continûment dérivables et si

$$\frac{da}{d\alpha_1} \cdot \frac{db}{d\beta_1} \cdot \frac{dc}{d\gamma_1} \neq 0 \quad \forall (\alpha_1, \beta_1, \gamma_1) \in \mathcal{O}_1 \quad (2.27)$$

Comme on a, par exemple, $\frac{\partial u}{\partial \gamma_1} = \frac{\partial u}{\partial \gamma} \cdot \frac{\partial \gamma}{\partial \gamma_1} = c' \cdot \frac{\partial u}{\partial \gamma}$,

$$D_{\alpha_1 \beta_1}^{xy} = \frac{\partial(x, y)}{\partial(\alpha, \beta)} \cdot \frac{\partial(\alpha, \beta)}{\partial(\alpha_1, \beta_1)} = a' \cdot b' \cdot D_{\alpha \beta}^{xy}, \text{ etc.}$$

on obtient le système (e₁) en variables $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$ en multipliant les équations de (e) par les facteurs a', b' ou c' . Puisque les mêmes produits apparaissent devant chaque terme, on peut les supprimer, compte tenu de (2.27). D'où le théorème : le système (e) est invariant par les transformations $(\alpha, \beta, \gamma) \Leftrightarrow (\alpha_1, \beta_1, \gamma_1)$ qui constituent un groupe en vertu des hypothèses ci-dessus. On ne peut donc parler d'unicité d'une solution de (e) qu'à une transformation de ce groupe près.

Terminons enfin par une comparaison relative aux systèmes hyperboliques quasilinear à 2 inconnues de 2 variables ; nous désignerons par $(E_{(2)})$ l'un de ces systèmes et soit une solution régulière de $(E_{(2)})$ définie dans un domaine $D_{(2)}$ du plan Oxt . α, β seront les variables caractéristiques attachées à $(E_{(2)})$; m_α, m_β les multiplicités bicaractéristiques paramétrées par β et α respectivement ; s_α et s_β les courbes-traces de m_α et m_β sur le plan Oxt .

Système à 2 inconnues de 2 variables	Système à 3 inconnues de 3 variables
<p>A) Dans $D_{(2)}$, les courbes s_α, s_β n'ont pas de points singuliers. Chaque famille de courbes n'admet d'enveloppe que si cette dernière fait partie de $\partial D_{(2)}$, frontière de $D_{(2)}$.</p> <p>B) La solution régulière du problème de Cauchy posé relativement à $(E_{(2)})$ et aux données portées par le segment $t=0, x \in [x_1, x_2]$ est déterminée dans $t \geq 0$ et $t \leq 0$ au moyen du réseau des multiplicités m_α, m_β dont les courbes supports s_α, s_β ont des tangentes variant continûment lorsqu'on traverse l'axe Ox. Les données de Cauchy ci-dessus définissent univoquement le réseau des s_α et s_β et les multiplicités m_α et m_β correspondantes.</p>	<p>A) Dans D, les surfaces $S_\alpha, S_\beta, S_\gamma$ peuvent présenter des points singuliers (du type conique) ou des lignes singulières (arêtes, lignes de discontinuités des plans tangents).</p> <p>Dans D, une famille de surfaces bicaractéristiques peut y admettre une enveloppe qui définit encore, avec les données qu'elle porte, une bicaractéristique de (E). La surface-enveloppe ne peut définir (avec les données qu'elle porte) une caractéristique de (E) que si elle fait partie de ∂D.</p> <p>B) La solution régulière du problème de Cauchy posé relativement à (E) et aux données portées par le domaine $t=0, x, y \in d$ est déterminée au voisinage de $t > 0$ et $t < 0$ au moyen des multiplicités $M_\alpha, M_\beta, M_\gamma$ dont les surfaces supports $S_\alpha, S_\beta, S_\gamma$ changent lorsqu'on traverse le plan Oxy. Il y a une infinité de surfaces $S_\alpha, S_\beta, S_\gamma$ et de multiplicités $M_\alpha, M_\beta, M_\gamma$ qui les portent, correspondant aux données de Cauchy ci-dessus.</p>

Dans la deuxième partie de ce travail, on donnera, d'une part, une brève description du modèle numérique correspondant au système (e) le plus simple, équivalent à (E). D'autre part, on précisera la nature des singularités que les solutions de (E) peuvent présenter en raison des conditions imposées *a priori* sur la frontière du domaine de définition des inconnues (problème des discontinuités dues aux données-frontières).

REFERENCES

- [1] A. DAUBERT et O. GRAFFE, 1967. — "Quelques aspects des écoulements presque horizontaux à deux dimensions en plan et non permanents. Application aux estuaires". *La Houille blanche*, 8, 847-859.
- [2] J.M. TOWNSON, 1974. — "An application of the method of characteristics to tidal calculations in (x-y-t) space". *Journal of Hydraulic Research*, 12, 499-523.
- [3] J. DRACH, 1928. — "Sur la transformation et l'intégration des équations aux dérivées partielles du second ordre à deux variables indépendantes, par l'usage explicite des caractéristiques d'Ampère". *Atti del congresso internazionale dei matematici, Bologna (Zanichelli)*, Vol. III, 11-25.
- [4] G. HEILBRONN, 1955. — "Intégration des équations aux dérivées partielles du 2^e ordre par la méthode de Drach". *Mémorial des Sciences math.* 129, Gauthier-Villars, (cf. aussi vol. 133, 1956).
- [5] J. KRAVTCHENKO, C. Le PROVOST, 1977. — "Sur la théorie spectrale des marées littorales". *Annales hydrographiques*, n° 746, p. 23-46.
- [6] E. GOURSAT, 1929. — "Cours d'Analyse mathématique", Vol. II, Gauthier-Villars, p. 616 et suivantes.
- [7] J.L. AURIAULT, J. KRAVTCHENKO, R. NEGRE, R. SIBILLE. — "Etude des singularités du champ statique en plasticité coulombienne et leurs applications". *Symposium franco-polonais Nice 1974, Problèmes de rhéologie et de mécanique des sols, Institut de problèmes fondamentaux de la Technique, série mécanique, Varsovie 1977*, p. 17-67.

MÉTHODE DE CALCUL MANUEL DE LA MARÉE À PARTIR DES PRINCIPALES CONSTANTES HARMONIQUES

par

MM. Bernard SIMON
Ingénieur civil sous contrat
et François GOUTORBE

Ingénieur de l'Armement (hydrographe)

Etablissement principal du service hydrographique et océanographique de la Marine

RESUME

La marée est représentée à l'aide des ondes O_1 , K_1 , M_2 et S_2 auxquelles, à l'aide d'abaques et de tables, sont appliquées des corrections pour tenir compte des autres ondes importantes.

La méthode est adaptée au calcul manuel à partir des constantes harmoniques fournies pour quelques 850 ports par l'ouvrage n° 540 du SHOM : la Table des marées des grands ports du monde.

ABSTRACT

The tide is shown with the help of the waves O_1 , K_1 , M_2 and S_2 to which corrections are applied by means of diagrams and tables in order to take account of the other important waves.

The method is well suited to manual reckoning from those harmonic constituents supplied by SHOM publication n° 540 for some 850 ports : The World's Major Ports General Tide Table.

1. INTRODUCTION

La Table des marées des grands ports du monde, Ouvrage n° 540 permet, pour plus de 800 ports et à condition de posséder une calculatrice programmable, d'effectuer en quelques minutes les principaux calculs de marée :

- heures et hauteurs des pleines et basses mers,
- hauteur d'eau à une heure donnée,
- heures auxquelles la marée atteint une hauteur donnée.

Pour une précision équivalente, les annuaires de marée ne fournissent généralement que les heures et hauteurs des pleines et basses mers, les autres valeurs étant obtenues avec une précision souvent médiocre à l'aide de méthodes telles que courbes types, abaques ou règles empiriques.

De plus, les annuaires sont des ouvrages essentiellement annuels alors que la Table présente un caractère pratiquement permanent, puisqu'elle couvre la période du 15 octobre 1582 au 28 février 2100.

Elle permet ainsi de calculer des marées historiques ou, puisque les ports principaux de tous les annuaires existants y figurent, de calculer la marée dans un port

secondaire à l'aide d'une édition périmée d'un annuaire dans lequel figure ce port.

Cependant, les calculatrices programmables, bien que très fiables, n'ont pas un taux de panne nul. La Table ne pouvait donc remplacer complètement les annuaires que si elle présentait une méthode "de secours" entièrement manuelle.

Depuis l'avènement de la méthode harmonique, divers procédés de calcul expéditif de la marée à partir des constantes des ondes principales ont été proposés. Citons, en nous limitant aux méthodes publiées dans la Revue Hydrographique Internationale : Phaff (1926), Marmer (1931), Benker (1937, 1939, 1940) et la méthode de l'Amirauté britannique. Cette dernière semble être la seule utilisée, probablement parce qu'elle réalise un heureux compromis entre la précision du résultat et la facilité de calcul. Elle présente cependant l'inconvénient d'utiliser des tables annuelles, ce que nous avons tenu à éviter.

La méthode proposée dans la Table des marées des grands ports du monde s'inspire des méthodes précédentes et de la méthode proposée par Rollet de l'Isle pour le calcul des pleines et basses mers(*). Elle est utilisable de 1982 à l'an 2000.

(*) *Annales Hydrographiques* 2^e série - tome 18 (1896) p.196.

ZONE I

2

NOM DU PORT Position géographique Temps en usage Contrôle	Z ₀ (cm)	Constantes harmoniques										Amplitude en mm Situation en degré	
		S ₁	Q ₁	O ₁	K ₁	N ₂	M ₂	S ₂	MN ₃	M ₃	MS ₃		
CADIZ L=36°32' N G=006°17' W U.T. + 1 h 1,01	183	0	14	70	66	200	995	374	0	25	12		
		0	273	320	53	73	87	110	0	202	276		
CAGLIARI L=39°12' N G=009°06' E U.T. + 1 h	16	MARNAGE < 50 cm											
CALAIS * L=50°58' N G=001°51' E U.T. + 1 h 2,08	400	81	25	50	26	441	2459	779	90	254	150		
		219	100	160	81	352	15	69	283	309	6		
CARDIFF L=51°27' N G=003°10' W U.T. 9,10	645	0	0	67	94	442	4090	1420	21	107	98		
		0	0	9	147	161	197	245	295	14	31		
CASCAIS L=38°41' N G=009°25' W U.T. + 1 h 1,25	208	40	16	60	69	209	980	349	0	9	10		
		91	270	327	69	76	95	121	0	259	348		
CEUTA L=35°53' N G=005°16' W U.T. 0,26	57	38	3	14	39	61	301	113	0	23	18		
		143	76	96	135	33	49	75	0	165	224		
CHATHAM * L=51°24' N G=000°33' E U.T. 2,26	295	48	45	136	112	367	2148	626	43	140	52		
		189	159	188	15	336	357	54	11	21	90		
CHERBOURG L=49°39' N G=001°38' W U.T. + 1 h 5,67	383	61	19	59	91	368	1870	699	47	138	84		
		243	330	13	120	238	257	301	24	50	100		
CHIPIONA L=36°45' N G=006°26' W U.T. 1,03	188	0	13	66	79	201	1018	409	0	26	16		
		0	273	319	52	49	54	82	0	141	241		
CIVITAVECCHIA L=42°06' N G=011°47' E U.T. + 1 h	20	MARNAGE < 50 cm											
COBH L=51°50' N G=008°18' W U.T. 2,02	226	99	13	34	21	255	1381	432	19	59	21		
		181	335	46	156	129	150	194	214	242	315		
CORTA DE LOS JERONIMOS L=37°08' N G=006°06' W U.T. 1,12	155	0	21	107	71	173	820	243	0	84	57		
		0	313	5	110	120	131	164	0	201	230		
CUXHAVEN * L=53°52' N G=008°43' E U.T. + 1 h 0,62	150	126	29	93	65	211	1344	344	38	114	73		
		286	204	268	58	346	13	83	247	271	337		
DIEPPE L=49°56' N G=001°05' E U.T. + 1 h 4,34	484	41	13	46	96	575	3126	1031	96	270	185		
		282	31	49	128	318	340	31	218	243	298		
DOVER * L=51°07' N G=001°19' E U.T. 3,86	370	149	15	53	45	410	2280	714	86	259	168		
		211	156	169	29	313	333	24	197	222	273		

FIG. 1. — Page de la table des constantes harmoniques extraite de la Table des marées des grands ports du monde.

2. PRINCIPE DE LA METHODE

La Table donne pour chaque port les constantes harmoniques des ondes $Q_1, O_1, K_1, N_2, M_2, S_2, MN_4, M_4$ et MS_4 . (Fig. 1) Une bonne précision requiert généralement la prise en compte d'autres ondes. Dans la méthode mise au point pour les calculatrices programmables, elles sont déduites des ondes principales de fréquences voisines en faisant l'hypothèse que leur réponse à la force génératrice est identique : même déphasage et même rapport d'amplitude.

Cette même hypothèse est à la base de la méthode de calcul expéditif, mais, suivant en cela la méthode des Admiralty Tide Tables (ATT), ne sont conservées cette fois que quatre ondes :

- une onde lunaire semi-diurne \mathcal{L}_2 (onde principale M_2) ;
- une onde lunaire diurne \mathcal{L}_1 (onde principale O_1) ;
- une onde solaire semi-diurne \mathcal{S}_2 (onde principale S_2) ;
- une onde solaire diurne \mathcal{S}_1 (onde principale K_1).

Les ondes quart-diurnes interviennent comme termes correctifs.

Dans ce qui suit, conformément aux notations habituelles ;

- s est la longitude moyenne de la Lune,
- h est la longitude moyenne du soleil,
- p est la longitude du périégée lunaires,
- N est la longitude du noeud ascendant de l'orbite lunaire,
- p_1 est la longitude du périégée solaire.

2.1. Onde lunaire semi-diurne \mathcal{L}_2

On appelle \mathcal{L}_2 l'onde résultant de la somme des ondes semi-diurnes d'origine lunaire M_2, N_2, ν_2, μ_2 ,

Table I

Année	Ta	F _{M2}	U _{M2}	F _{O1}	U _{O1}
1982	81	1,009	2,1	0,979	+ 10,9
1983	284	0,997	2,1	1,041	+ 10,5
1984	649	0,984	2,0	1,096	+ 9,0
1985	1 015	0,974	1,6	1,140	+ 6,8
1986	1 380	0,967	1,0	1,168	+ 4,1
1987	1 745	0,964	0,3	1,182	+ 1,1
1988	2 110	0,964	+ 0,5	1,180	2,0
1989	2 476	0,969	+ 1,2	1,161	4,9
1990	2 841	0,977	+ 1,7	1,128	7,5
1991	3 206	0,988	+ 2,0	1,081	9,5
1992	3 571	1,000	+ 2,1	1,024	10,7
1993	3 937	1,013	+ 2,0	0,960	10,7
1994	4 302	1,024	+ 1,6	0,897	9,5
1995	4 667	1,032	+ 1,1	0,844	6,8
1996	5 032	1,037	+ 0,5	0,812	2,9
1997	5 398	1,038	0,2	0,808	+ 1,5
1998	5 763	1,034	0,9	0,832	+ 5,6
1999	6 128	1,027	1,5	0,879	+ 8,8
2000	6 493	1,017	1,9	0,935	+ 10,5

FIG. 2. —

L_2 et $2N_2$. Chacune de ces ondes peut être représentée par un nombre complexe de la forme :

$$f A e^{i(30t + V - G + u)}$$

- A et G sont l'amplitude et la situation de l'onde,
- f et u sont les corrections nodales,
- V est l'argument astronomique, combinaison linéaire à coefficients entiers des éléments astronomiques s, h, p, N et p_1 , fonctions du temps,
- t est compté en heures à partir d'une origine des temps arbitraire.

Toutes les ondes lunaires semi-diurnes prises en compte ont les mêmes corrections nodales, que nous appellerons F_{M2} et U_{M2} . Ces éléments, fonctions de la longitude du noeud ascendant de l'orbite lunaire N, ont une période de 18,6 ans. On peut donc adopter leur valeur au 1^{er} juillet pour l'année entière. Ces valeurs sont données dans la table I jusqu'à l'an 2000 (Fig. 2).

Si on appelle L_2 et L_2^0 l'amplitude et la situation de l'onde résultante \mathcal{L}_2 à l'instant t, on a :

$$L_2 e^{i(30t + L_2^0)} = \sum_k f_k A_k e^{i(30t + V_k - G_k + u_k)} \quad (1)$$

la somme portant sur les ondes $M_2, N_2, \nu_2, \mu_2, L_2$ et $2N_2$.

On se propose de calculer l'onde \mathcal{L}_2 en $t = 24 T$, c'est-à-dire T jours exactement après l'origine des temps. En tenant compte de l'égalité des corrections nodales, il reste :

$$L_2 e^{i L_2^0} = F_{M2} e^{i U_{M2}} \sum_k A_k e^{i(V_k - G_k)}$$

où V_k est la valeur de l'argument astronomique à l'instant t.

On pose :

$$L_2 e^{i L_2^0} = F_{M2} A_{M2} e^{i U_{M2}} e^{i(V_{M2} - G_{M2})} . C_{L2}$$

Table II

mois	Tm	
	année normale	année bissextile
Janvier	0	0
Février	31	31
Mars	59	60
Avril	90	91
Mai	120	121
Juin	151	152
Juillet	181	182
Août	212	213
Septembre	243	244
Octobre	273	274
Novembre	304	305
Décembre	334	335

FIG. 3.

avec

$$C_{L2} = 1 + \sum_k \frac{A_k}{A_{M2}} e^{i(V_k - V_{M2} - (G_k - G_{M2}))} \quad (2)$$

Comme il a été annoncé plus haut, nous faisons les hypothèses suivantes :

— les rapports des amplitudes sont égaux aux rapports des coefficients correspondants du potentiel :

$$\frac{A_{N2}}{A_{M2}} = 0,191 \frac{A_{\mu 2}}{A_{M2}} = 0,036 \frac{A_{\mu 2}}{A_{M2}} = 0,031 \frac{A_{L2}}{A_{M2}} = -0,028$$

$$\frac{A_{2N2}}{A_{M2}} = 0,025.$$

— les différences des situations sont égales aux différences des vitesses angulaires multipliées par l'âge de la marée lunaire semi-diurne T_2 :

$$G_k - G_{M2} = (O_k - O_{M2}) \cdot T_2$$

En un port où les situations des ondes M_2 et N_2 sont G_{M2} et G_{N2} , on a :

$$T_2 = \frac{G_{M2} - G_{N2}}{0,544}.$$

On trouve en moyenne, pour les ports de la table : $T_2 \cong 39$ h.

En fait on adopte $T_2 = 36$ h, valeur qui sera également prise pour l'âge de la marée diurne lunaire (voir § 2.2).

Pour un port donné, T_2 peut être très différent de cette valeur, mais l'erreur introduite par cette simplification n'est jamais supérieure à 25 cm et ne dépasse 10 cm que pour 2 % des ports de la Table, dont tous les ports de l'Argentine(*).

La phase du terme issu de l'onde k dans l'expression (2) devient :

$$\begin{aligned} V_k - V_{M2} - (G_k - G_{M2}) &= V_k - V_{M2} - (O_k - O_{M2}) \cdot 36 \\ &= V_k^* - V_{M2}^* \end{aligned}$$

où V_k^* représente la valeur de l'argument astronomique à l'instant $t - 36$ h.

Si on exprime les arguments astronomiques en fonction de s , h et p , et en posant :

$$A(t) = 2(s - h)_{(t-36)}$$

et $B(t) = (s - p)_{(t-36)}$, on obtient :

$$V_{N2}^* - V_{M2}^* = (p - s)_{(t-36)} = -B$$

$$V_2^* - V_{M2}^* = (2h - s - p)_{(t-36)} = -A + B$$

$$V_2^* - V_{M2}^* = (2h - 2s)_{(t-36)} = -A$$

$$V_{L2}^* - V_{M2}^* = (s - p)_{(t-36)} = B$$

$$V_{2N2}^* - V_{M2}^* = (2p - 2s)_{(t-36)} = -2B.$$

(*) La méthode des ATT utilise $T_2 = 0$, ce qui provoque une erreur supérieure à 10 cm pour 15 % des ports de la Table, et supérieure à 25 cm dans 2 % des cas.

C_{L2} n'est donc fonction que des deux paramètres A et B . Pour une date T donnée, son module et son argument pourront être obtenus à l'aide d'un abaque.

A et B sont, en première approximation, proportionnels au temps :

$$A = A_0 + 24,381498 T$$

$$B = B_0 + 13,064993 T$$

ou T est compté en jours.

Les valeurs de A_0 et B_0 dépendent de l'origine des temps choisie. L'origine adoptée est le 22 mars 1982 à 12 h 00. Cet instant est proche de l'équinoxe de printemps ($h = 0$), ce qui permet, comme nous le verrons plus loin, d'utiliser la même abaque pour les ondes lunaires diurnes.

On obtient alors :

$$A_0 = 265,7^\circ$$

$$B_0 = 231,3^\circ,$$

valeurs de $2(s - h)$ et de $(s - p)$ le 21 mars 1982 à 00 h (soit 36 heures avant l'origine des temps).

On pose :

$$X = \frac{A - 265,7}{3,6} = 6,77264 T$$

$$Y = \frac{B - 231,3}{3,6} = 3,62916 T.$$

Cette transformation permet de remplacer la congruence modulo 360, que nécessiterait l'utilisation directe de A et B , par une congruence modulo 100 qui s'obtient simplement en ne gardant que les chiffres des unités et des dizaines.

L'abaque A1 (fig. 4) représente les courbes d'égales valeurs du module F'_{M2} de C_{L2} (courbes rouges) et de l'argument U'_{M2} de C_{L2} (courbes bleues) en fonction de X et Y .

Il est alors possible de calculer L_2 et L_2^0 :

$$L_2 = F_{M2} \times F'_{M2} \times A_{M2}$$

L_2 est l'amplitude de l'onde lunaire semi-diurne à midi de la date considérée T . On fait l'hypothèse que cette valeur peut être adoptée de 0 à 24 heures.

$$L_2^0(12) = U_{M2} + U'_{M2} + V_{M2} - G_{M2}$$

$L_2^0(12)$ est l'argument de l'onde lunaire semi-diurne à midi.

V_{M2} est l'argument de M_2 à midi, que l'on peut exprimer en fonction de X :

$$\begin{aligned} V_{M2} &= -2(s - h)_{(12)} \cong -2(s - h)_{(12-36)} + \\ &+ 36 \frac{d(s - h)}{dt} \\ &= -A - 36,6^\circ \end{aligned}$$

$$= -(3,6X + 265,7) - 36,6^\circ$$

$$V_{M2} = -3,6X + 57,7^\circ$$

ABAUQUE A1

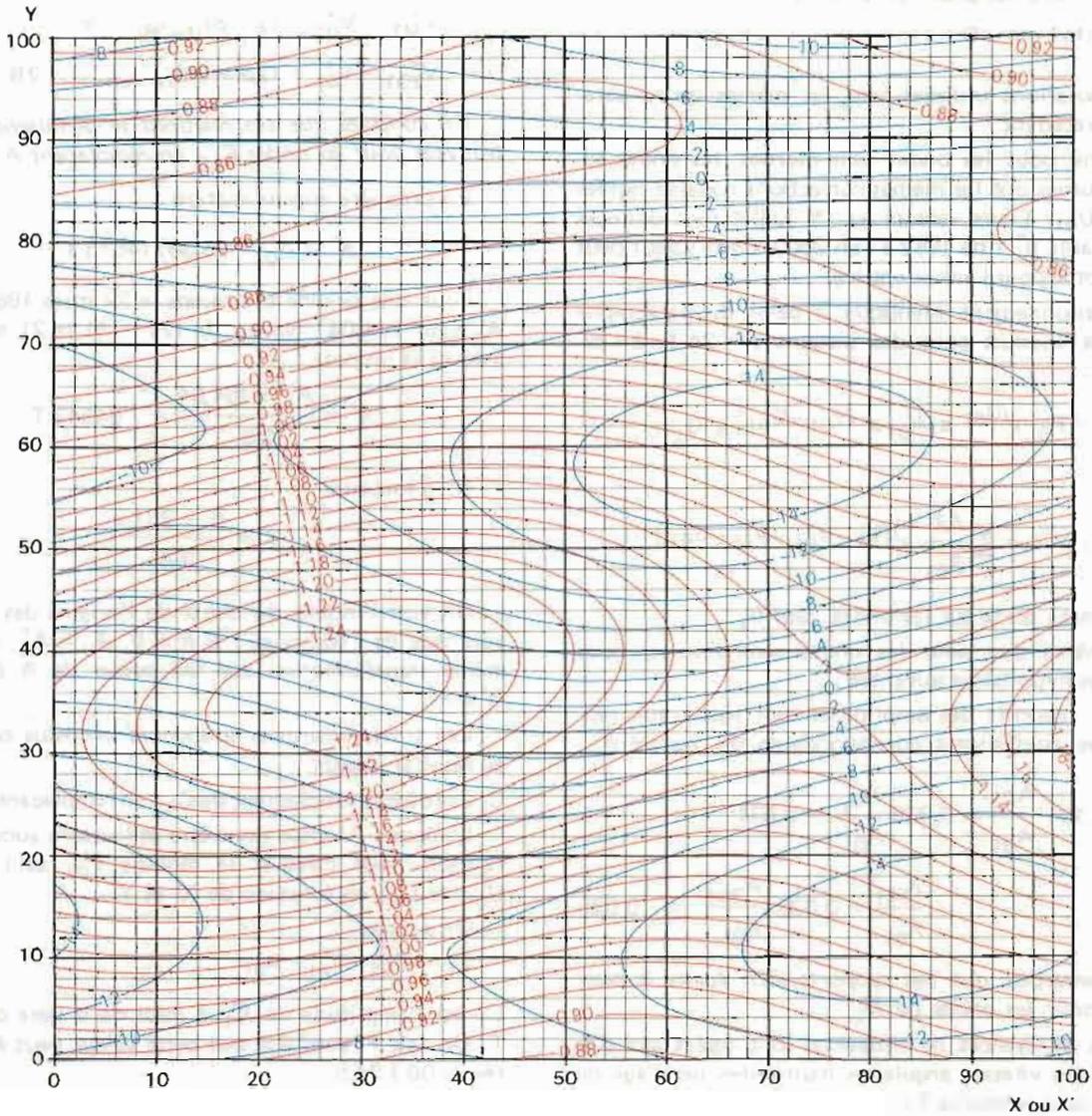


FIG. 4.

On calcule l'argument de L_2^0 à 00 h en adoptant $29^\circ/h$ comme vitesse moyenne de l'onde lunaire semi-diurne :

$$L_2^0 = L_2^0(12) - 12 \times 29 = L_2^0(12) + 12^\circ$$

Finalement

$$L_2^0 = U_{M2} + U'_{M2} - 3,6X + 57,7^\circ - G_{M2} + 12^\circ$$

On ajoute 360° pour éviter les angles négatifs :

$$L_2^0 = U_{M2} + U'_{M2} - G_{M2} - 3,6X + 430^\circ$$

Pour une date et une heure données, la suite des opérations est donc la suivante :

- calculer T : $T = T_a + T_m + \text{jour}$
 T_a et T_m , fonctions respectivement de l'année et du mois, sont donnés par les tables I et II (Fig. 2, Fig. 3)
- lire F_{M2} et U_{M2} en fonction de l'année dans la table I.
- calculer X et Y : $X = 6,77264 T \text{ modulo } 100$
 $Y = 3,62916 T \text{ modulo } 100.$

- lire F'_{M2} et U'_{M2} en fonction de X et Y sur l'abaque A_1 .

- Calculer l'amplitude de L_2 :

$$L_2 = F_{M2} \times F'_{M2} \times A_{M2}$$

- calculer la phase de L_2 à l'instant t (en heures) :

$$A_2 = L_2^0 + 29 t$$

$$A_2 = U_{M2} + U'_{M2} - G_{M2} - 3,6X + 430 + 29 t$$

La contribution de L_2 à la hauteur d'eau à l'instant t est par suite :

$$H_{L2} = L_2 \cos A_2.$$

2.2. Onde lunaire diurne L_1 .

On appelle L_1 l'onde résultant de la somme des ondes diurnes d'origine lunaire $O_1, Q_1, \rho_1, \sigma_1, M_1$ (*)

(*) Nombre argument : 155 455.

et $2Q_1$. Chacune de ces ondes peut être représentée par un nombre complexe de la forme :

$$f A e^{i(15t + V - G + u)}$$

Les notations utilisées sont les mêmes qu'au paragraphe précédent.

Comme pour les ondes semi-diurnes, les ondes lunaires diurnes ont les mêmes corrections nodales, notées F_{01} et U_{01} . Leurs valeurs au 1^{er} juillet sont données dans la table n° 1 de 1982 à l'an 2000. Cette valeur peut être adoptée pour l'année entière.

Un raisonnement identique à celui du paragraphe précédent conduit pour des instants $t = 24 T$, à l'expression :

$$L_1 e^{iL_1^0} = F_{01} e^{iU_{01}} \times A_{01} e^{i(V_{01} - G_{01})} \times G_{L1}$$

avec

$$C_{L1} = 1 + \sum_k \frac{A_k}{A_{01}} e^{i(V_k - V_{01} - (G_k - G_{01}))}$$

où la somme porte sur les ondes, sauf Q_1 .

De même que pour les ondes semi-diurnes, nous faisons les hypothèses suivantes :

— Les rapports des amplitudes sont égaux aux rapports des coefficients correspondants du potentiel :

$$\frac{A_{Q1}}{A_{01}} = 0,191 \frac{A_{\rho 1}}{A_{01}} = 0,036 \frac{A_{\sigma 1}}{A_{01}} = 0,031$$

$$\frac{A_{M1}}{A_{01}} = 0,028 \frac{A_{2Q1}}{A_{01}} = 0,025$$

On remarque que ces rapports sont égaux à ceux trouvés pour les ondes de \mathcal{L}_2 .

— Les différences de situations sont égales aux différences des vitesses angulaires multipliées par l'âge de la marée lunaire diurne T_1 :

$$G_k - G_{01} = (Q_k - Q_{01}) \times T_1$$

Pour un port donné, on a :

$$T_1 = \frac{G_{01} - G_{Q1}}{0,544}$$

On trouve en moyenne, pour tous les ports de la Table :

$$T_1 \approx 36 \text{ h.}$$

D'où

$$\begin{aligned} V_k - V_{01} - (G_k - G_{01}) &= V_k - V_{01} - (Q_k - Q_{01}) \times 36 \\ &= V_k^* - V_{01}^* \end{aligned}$$

avec les notations du paragraphe 2.1. .

En posant $A' = (2s - h)_{(t-36)}$, on obtient :

$$V_{01}^* - V_{01}^* = (\rho - s)_{(t-36)} = -B$$

$$V_1^* - V_{01}^* = (h - s - \rho)_{(t-36)} = -A' + B$$

$$V_1^* - V_{01}^* = (h - 2s)_{(t-36)} = -A'$$

$$V_{M1}^* - V_{01}^* = (s - \rho)_{(t-36)} = B$$

$$V_{2Q1}^* - V_{01}^* = (2\rho - 2s)_{(t-36)} = -2B.$$

On constate que ces relations se déduisent de celles trouvées pour les ondes C_{L2} en remplaçant A par A' (*).

En première approximation :

$$A' = A'_0 + 25,36714613 T.$$

Pour une origine des temps le 22 mars 1982 à midi, A'_0 vaut $264,04^\circ$ (valeur de $(2s - h)$ le 21 mars 1982 à 00 h) et on pose :

$$X' = \frac{A' - 264,04}{3,6} = 7,04643 T$$

On a toujours

$$Y = \frac{B - 231,3}{3,6}$$

On voit l'intérêt du choix de l'origine des temps au voisinage de l'équinoxe : si $h \approx 0$, $A_0 \approx A'_0$, et c'est la même transformation qui fait passer de A à X et de A' à X' .

Les trois remarques soulignées ci-dessus conduisent au résultat suivant :

C_{L1} se déduit simplement de C_{L2} en remplaçant X par X' .

L'abaque A1 peut donc être utilisé sans aucune modification pour calculer le module F'_{01} et l'argument U'_{01} de C_{L1} en fonction de X' et Y .

On a donc :

$$L_1 = F_{01} \cdot F'_{01} \cdot A_{01}$$

L_1 est l'amplitude de \mathcal{L}_1 à midi de la date considérée T . On fait l'hypothèse que cette valeur peut être adoptée de 00 à 24 h.

$$L_1^0(12) = U_{01} + U'_{01} + V_{01} - G_{01}.$$

$L_1^0(12)$ est l'argument de \mathcal{L}_1 à midi. V_{01} est l'argument de l'onde Q_1 à midi, que l'on peut exprimer en fonction de X' :

$$\begin{aligned} V_{01} &= (-2s + h)_{(12)} + 90^\circ \\ &= -A' - 36 \frac{d(-2s + h)}{dt} + 90^\circ \end{aligned}$$

$$V_{01} = -3,6 X' + 147,9^\circ$$

On calcule l'argument de L_1^0 à 00 h en adoptant $14^\circ/\text{h}$ comme vitesse moyenne de \mathcal{L}_1 :

$$L_1^0 = L_1^0(12) - 14 \times 12$$

Finalement, pour un instant t quelconque, la phase A_1 de l'onde \mathcal{L}_1 vaut :

$$A_1 = U_{01} + U'_{01} - G_{01} - 3,6 X' + 340^\circ$$

(*) Ce qui n'aurait pas été le cas si on n'avait pas adopté $T_2 = T_1 = 36 \text{ h.}$

La contribution de ρ_1 à la hauteur d'eau à l'instant t est par suite :

$$H_{L1} = L_1 \cos A_1$$

2.3. Onde solaire semi-diurne \mathfrak{S}_2 .

On appelle \mathfrak{S}_2 l'onde résultant de la somme des ondes semi-diurnes d'origine solaire S_2 , K_2 (*) et T_2 . Soit S_2 et S_2^0 l'amplitude et la phase de \mathfrak{S}_2 à l'instant $t = 24 T$. Comme seule l'onde K_2 possède des corrections nodales, on a :

$$S_2 e^{iS_2^0} = A_{S2} e^{i(V_{S2} - G_{S2})} + f_{K2} A_{K2} e^{i(V_{K2} - G_{K2} + \nu_{K2})} + A_{T2} e^{i(V_{T2} - G_{T2})}$$

Les corrections nodales de K_2 traduisent principalement l'existence d'une onde, que nous appellerons k_2 (**), dont l'argument est :

$$V_{k2} = V_{K2} - N$$

On a donc :

$$f_{K2} A_{K2} e^{i(V_{K2} - G_{K2} + \nu_{K2})} = A_{K2} e^{i(V_{K2} - G_{K2})} + A_{k2} e^{i(V_{k2} - G_{k2})}$$

On pose :

$$S_2 e^{iS_2^0} = A_{S2} e^{i(V_{S2} - G_{S2})} \times C_{S2}$$

avec

$$C_{S2} = 1 + \sum_k \frac{A_k}{A_{S2}} e^{i(V_k - V_{S2} - (G_k - G_{S2}))}$$

où la somme porte sur les ondes K_2 , k_2 et T_2 .

Comme pour les ondes lunaires, nous faisons l'hypothèse que les rapports des amplitudes sont égaux aux rapports des coefficients :

$$\frac{A_{K2}}{A_{S2}} = 0,272 \quad \frac{A_{k2}}{A_{S2}} = 0,081 \quad \frac{A_{T2}}{A_{S2}} = 0,059$$

Par contre la différence des arguments est traitée de façon différente car l'âge de la marée solaire est mal déterminé. On a :

$$V_{K2} - V_{S2} = 2h$$

$$V_{k2} - V_{S2} = 2h - N$$

$$V_{T2} - V_{S2} = -h + p_1$$

p_1 longitude du périégée solaire ne varie que de $1,7^\circ$ par siècle. Il a donc été considéré comme constant de 1982 à 2000, et égal à sa valeur de 1990 :

$$V_{T2} - V_{S2} = -h + 283^\circ$$

(*) En fait K_2 est d'origine luni-solaire mais, étant proche de S_2 , elle est traitée avec cette dernière par commodité.

(**) Nombre argument : 275 565.

C_{S2} n'est donc fonction que des deux variables h et N . Son module F_{S2} et son argument V_{S2} pourront être obtenus à l'aide d'un abaque. En pratique on évite le calcul de h et N grâce aux considérations suivantes :

- à une date donnée correspond, quelle que soit l'année, une valeur h (longitude moyenne du soleil) à peu près constante (l'erreur maximum ne dépasse pas 1° et peut être négligée). L'axe vertical sera donc gradué en "date dans l'année".

- N ne varie que de $19,34^\circ$ par an. On peut donc graduer les abscisses en années à condition de représenter la variation annuelle de N par une légère inclinaison des axes verticaux.

L'abaque A2 (Fig. 5) peut donc être utilisé à partir de la date uniquement. On lit F_{S2} sur les courbes rouges et U_{S2} sur les courbes bleues :

- $S_2 = A_{S2} \times F_{S2}$: on fait l'hypothèse que cette valeur, vraie à midi du jour T , peut être adoptée de 00 à 24 h.

- $S_2^0(12) = V_{S2} - G_{S2} + U_{S2}$: cette valeur étant prise à midi, on a : $V_{S2} = 0$ et il reste : $S_2^0(12) = U_{S2} - G_{S2} + 360^\circ$

On calcule l'argument S_2^0 à 00 h en adoptant $30^\circ/h$ comme vitesse moyenne de \mathfrak{S}_2 :

$$S_2^0 = S_2^0(12) - 12 \times 30 = S_2^0(12)$$

A un instant t quelconque, la phase B_2 de l'onde \mathfrak{S}_2 vaut :

$$B_2 = U_{S2} - G_{S2} + 30t + 360^\circ$$

La contribution de \mathfrak{S}_2 à la hauteur d'eau à l'instant t est par suite :

$$H_{S2} = S_2 \cos B_2$$

2.4. Onde solaire diurne \mathfrak{S}_1 .

On appelle \mathfrak{S}_1 l'onde résultant de la somme des ondes diurnes d'origine solaire K_1 , P_1 et π_1 (*). Soit S_1 et S_1^0 l'amplitude et la phase de \mathfrak{S}_1 à l'instant $t = 24 T$.

Seule l'onde K_1 possède des corrections nodales, qui traduisent principalement l'existence d'une onde, que nous appellerons k_1 (**), dont l'argument est $V_{k1} = V_{K1} - N$.

Un raisonnement identique à celui développé pour \mathfrak{S}_2 conduit à :

$$S_1 e^{iS_1^0} = A_{K1} e^{i(V_{K1} - G_{K1})} \times C_{S1}$$

avec

$$C_{S1} = 1 + \sum_k \frac{A_k}{A_{K1}} e^{i(V_k - V_{K1} - (G_k - G_{K1}))}$$

(*) En fait K_1 est d'origine luni-solaire ; elle est traitée avec les ondes proches de P_1 et π_1 par commodité.

(**) Nombre argument : 165 565.

ABAQUE A2

ABAQUE A3

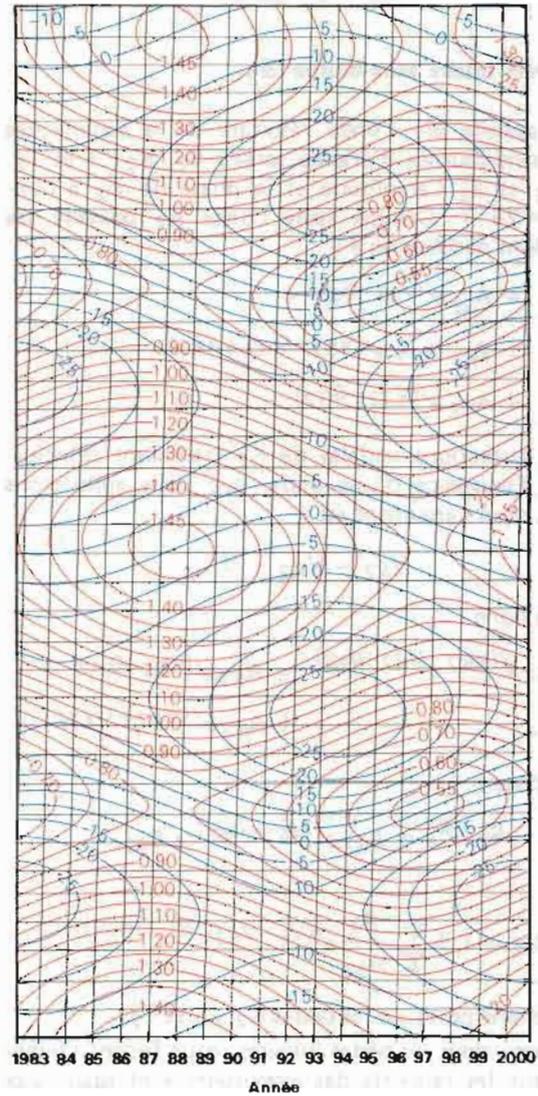
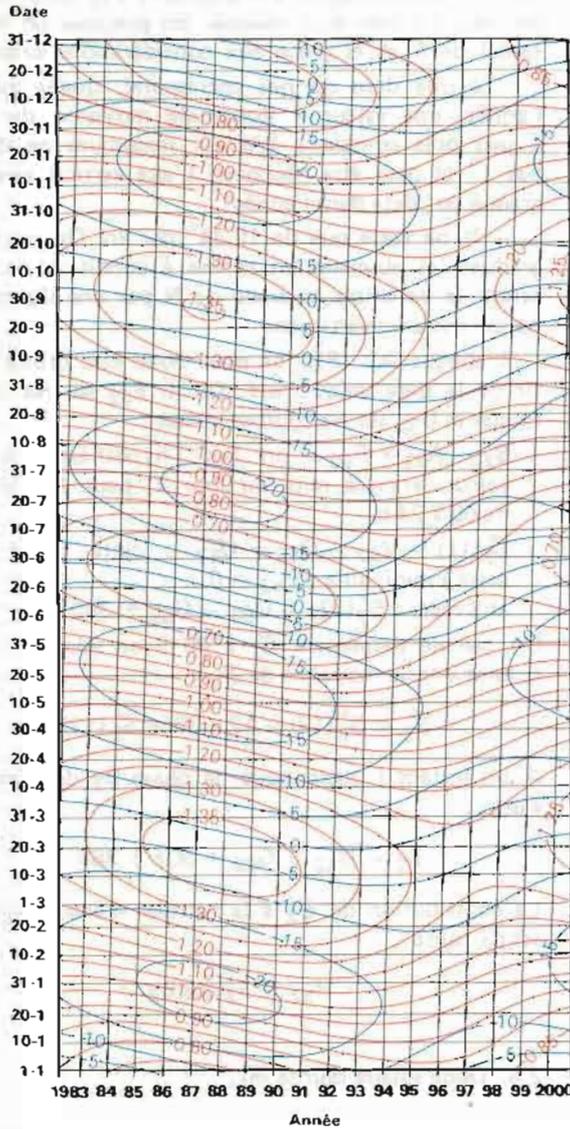


FIG. 5.

où la somme porte sur k_1, P_1 et π_1 . Suivant les hypothèses habituelles, on a :

$$\frac{A_{k1}}{A_{K1}} = 0,135 \quad \frac{A_{P1}}{A_{K1}} = -0,331 \quad \frac{A_1}{A_{K1}} = -0,019.$$

$$V_{k1} - V_{K1} = -N$$

$$V_{P1} - V_{K1} = -2h$$

$$V_1 - V_{K1} = -3h + p_1 = -3h + 283^\circ$$

C_{S1} est donc également une fonction de h et N . Son module F_{K1} et son argument U_{K1} peuvent être obtenus à l'aide de l'abaque A3 (fig. 5) utilisable, comme A2 ; à partir de la date uniquement. On obtient donc :

$$S_1 = A_{K1} \times F_{K1}$$

on fait l'hypothèse que cette valeur est utilisable toute la journée

$$S_1^0(12) = V_{K1} - G_{K1} = U_{K1}$$

cette valeur étant prise à midi du jour T.

On a :

$$V_{K1} = h_{(24T)} - 90^\circ = h_{(0)} + 0,9856T - 90^\circ.$$

Or à l'instant origine $h \approx 0$, il reste donc :

$$S_1^0(12) = 0,9856 T - 90^\circ - G_{K1} + U_{K1}.$$

En adoptant $15^\circ/h$ comme vitesse moyenne de S_1 , il vient

$$S_1^0 = S_1^0(12) - 12 \times 15 = 0,9856 T - G_{K1} + U_{K1} + 90^\circ.$$

A un instant t quelconque, la phase B_1 de l'onde S_1 vaut :

$$B_1 = 0,9856 T - G_{K1} + U_{K1} + 15t + 90.$$

La contribution de \mathcal{S}_1 à la hauteur d'eau est par suite :

$$H_{S1} = S_1 \cos B_1.$$

3. HAUTEUR D'EAU A L'INSTANT t. CORRECTIONS QUART-DIURNES

3.1. La hauteur d'eau à l'instant t est la somme algébrique du niveau moyen et des contributions des ondes \mathcal{L}_2 , \mathcal{L}_1 , \mathcal{S}_2 , et \mathcal{S}_1 :

$$H(t) = NM + H_{L2} + H_{L1} + H_{S2} + H_{S1}.$$

3.2. Corrections quart-diurnes

Les ondes quart-diurnes prises en compte sont M_4 et MS_4 .

3.2.1. M_4

La phase de \mathcal{L}_2 à l'instant t vaut :

$$A_2 = 29t + V_{M2} - G_{M2} + U_{M2} + U'_{M2}$$

La phase de M_4 à l'instant t vaut :

$$A_4 = 58t + V_{M4} - G_{M4} + U_{M4}$$

Or $V_{M4} = 2V_{M2}$, et on fait l'hypothèse classique suivante :

$$U_{M4} = 2(U_{M2} + U'_{M2}),$$

il reste : $A_4 = 2A_2 + 2G_{M2} - G_{M4}$.

L'amplitude de \mathcal{L}_2 vaut : $L_2 = F_{M2} \times F'_{M2} \times A_{M2}$.

L'amplitude de M_4 vaut : $L_4 = F_{M4} \times A_{M4}$.

On fait habituellement l'hypothèse suivante :

$$F_{M4} = (F_{M2} \cdot F'_{M2})^2 = \left(\frac{L_2}{A_{M2}}\right)^2$$

d'où : $L_4 = \left(\frac{L_2}{A_{M2}}\right)^2 \cdot A_{M4}$.

En fait, $\frac{L_2}{A_{M2}}$ est voisin de 1 ; afin de simplifier les calculs on pose : $L_4 = A_{M4}$.

L'erreur commise, qui ne dépasse jamais quelques centimètres, est de l'ordre de grandeur de MN_4 .

3.2.2. MS_4

Des raisonnements analogues conduisent à adopter pour MS_4 :

la phase $B_4 = A_2 + B_2 + G_{M2} + G_{S2} - G_{MS4}$,

où B_2 est la phase de \mathcal{S}_2 .

l'amplitude A_{MS4} .

3.3. Enchaînement des calculs

Les calculs sont effectués sur une "planchette", (Fig. 6), (calcul de la hauteur d'eau à une heure donnée) sur laquelle tous les calculs à effectuer sont décrits et s'enchaînent case après case. Ils conduisent à la détermination de huit constantes journalières, indépendantes de l'heure :

- L_2 et L_2^0 : amplitude et phase à 00 h de \mathcal{L}_2
- L_1 et L_1^0 : amplitude et phase à 00 h de \mathcal{L}_1
- S_2 et S_2^0 : amplitude et phase à 00 h de \mathcal{S}_2
- S_1 et S_1^0 : amplitude et phase à 00 h de \mathcal{S}_1 .

Pour une heure donnée t, on calcule successivement les phases A_2, A_1, B_2, B_1 des quatre ondes, puis leur contribution à la hauteur d'eau. Le calcul de la correction quart-diurne utilise les valeurs de A_2 et B_2 . La hauteur d'eau est finalement égale à la somme du niveau moyen, des contributions des quatre ondes et de la correction quart-diurne.

Remarque :

Dans la Table, les amplitudes sont exprimées en millimètres et le niveau moyen en centimètres. Il convient d'y prendre garde en calculant la hauteur d'eau.

4. CALCUL DES PLEINES ET BASSES MERS

En négligeant les ondes quart-diurnes, la hauteur d'eau à l'instant t est donné par la relation suivante :

$$H(t) = NM + L_2 \cos(29t + L_2^0) + S_2 \cos(30t + S_2^0) + L_1 \cos(14t + L_1^0) + S_1 \cos(15t + S_1^0)$$

4.1. Pleine mer diurne

Soit y_1 la composante diurne de la marée :

$$y_1(t) = L_1 \cos(14t + L_1^0) + S_1 \cos(15t + S_1^0).$$

Soient T_{L1} et T_{S1} les instants des premières pleines mers de \mathcal{L}_1 et \mathcal{S}_1 , et T_1 l'heure de la pleine mer de y_1 . On pose

$$\frac{y_1}{L_1} = f_1, \quad T_1 = T_{L1} + dT_1, \quad q_1 = \frac{S_1}{L_1}$$

et $\Delta_1 = T_{S1} - T_{L1} = \frac{L_1^0}{14} - \frac{S_1^0}{15}$

Au moment de la pleine mer diurne on a :

$$f_1 = \cos(14 dT_1) + q_1 \cos 15 \left(T_{L1} + dT_1 + \frac{S_1^0}{15} \right)$$

$$f_1 = \cos(14 dT_1) + q_1 \cos 15 (dT_1 - \Delta_1) \quad \text{et}$$

$$0 = \frac{14}{15} \sin(14 dT_1) + q_1 \sin 15 (dT_1 - \Delta_1)$$

Calcul de la hauteur d'eau à une heure donnée

M₁₀₀ : congruence modulo 100.

Effectuer le produit entre parenthèses et supprimer les chiffres situés à gauche du chiffre des centaines.

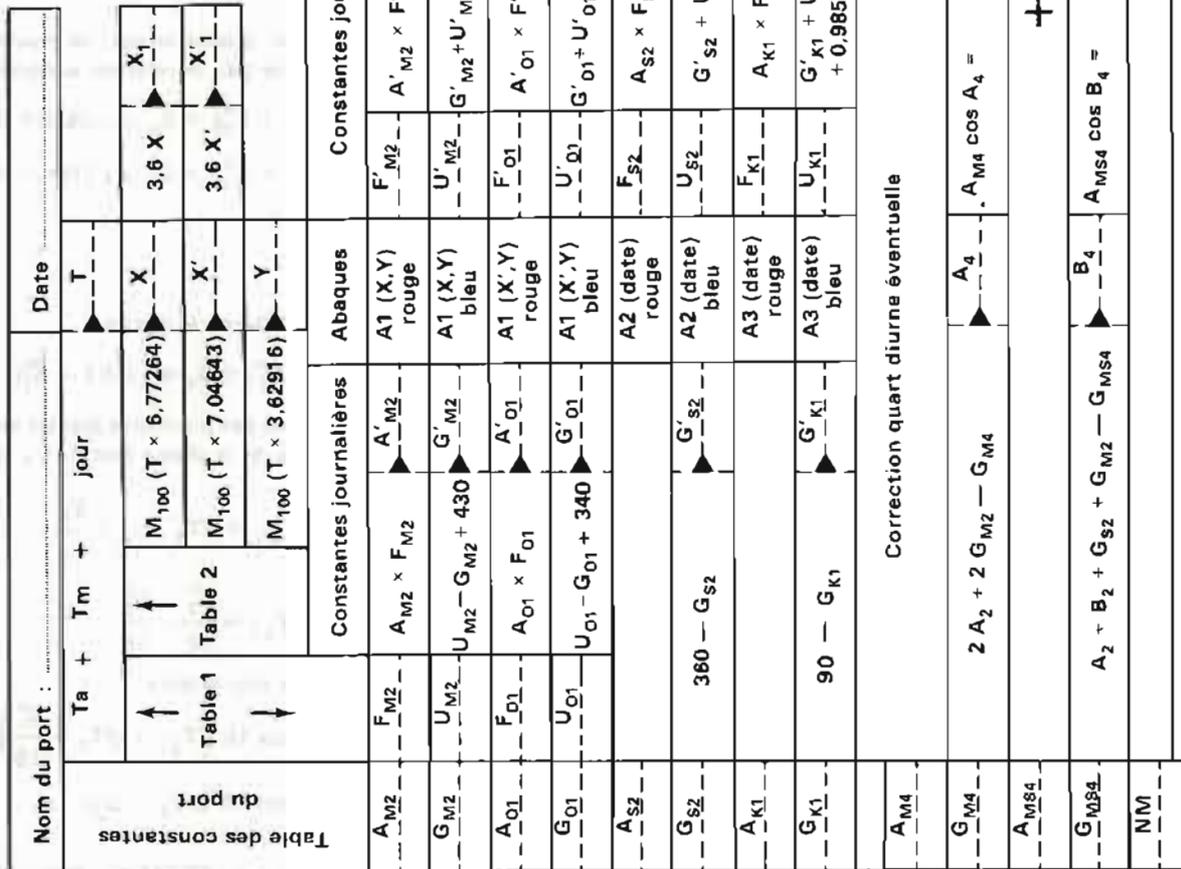


FIG. 6.

En séparant q_1 et Δ_1 , il vient :

$$\begin{cases} q_1 = \sqrt{0,871 \sin^2 (14 dT_1) + (f_1 - \cos (14 dT_1))^2} \\ \qquad \qquad \qquad = F_1 (dT_1, f_1) \\ \Delta_1 = dT_1 + \frac{1}{15} \operatorname{Arctg} \frac{0,933 \sin (14 dT_1)}{f_1 - \cos (14 dT_1)} \\ \qquad \qquad \qquad = G_1 (dT_1, f_1) \end{cases} \quad (3)$$

q_1 et Δ_1 étant connus, ces relations fournissent implicitement dT_1 et f_1 comme fonctions de deux variables :

$$dT_1 = \mathfrak{F}_1 (q_1, \Delta_1) \quad \text{et} \quad f_1 = \mathcal{G}_1 (q_1, \Delta_1).$$

Un abaque portant les courbes $\mathfrak{F}_1 = \text{cste}$ et $\mathcal{G}_1 = \text{cste}$ permet donc de résoudre le problème.

4.2. Pleine mer semi-diurne

On appelle y_2 la composante semi-diurne :

$$y_2(t) = L_2 \cos (29t + L_2^0) + S_2 \cos (30t + S_2^0)$$

On adopte pour T_{S2} , T_{L2} , T_2 , dT_2 , f_2 , q_2 et Δ_2 des définitions analogues à celles des éléments correspondants au § 4.1. .

Le même raisonnement donne :

$$\begin{cases} q_2 = \sqrt{0,934 \sin^2 (29 dT_2) + (f_2 - \cos (29 dT_2))^2} \\ \qquad \qquad \qquad = F_2 (dT_2, f_2) \\ \Delta_2 = dT_2 + \frac{1}{30} \operatorname{arctg} \frac{0,966 \sin (29 dT_2)}{f_2 - \cos (29 dT_2)} \\ \qquad \qquad \qquad = G_2 (dT_2, f_2). \end{cases} \quad (4)$$

On obtient des relations implicites analogues :

$$dT_2 = \mathfrak{F}_2 (q_2, \Delta_2) \quad \text{et} \quad f_2 = \mathcal{G}_2 (q_2, \Delta_2).$$

4.3. Abaque A4 (Fig. 7)

Si on superpose les deux abaques calculés à l'aide des relations (3) et (4), on s'aperçoit qu'ils sont très semblables, compte tenu d'un facteur 2 en temps. On remarque en effet que :

$$\begin{aligned} q_2 &\approx F_1 (2dT_2, f_2) \\ \Delta_2 &\approx \frac{1}{2} G_1 (2dT_2, f_2). \end{aligned}$$

L'écart entre les deux tracés est maximum au voisinage des "points d'accumulation" des courbes bleues ($q \approx 1$, $\Delta \approx \pm 6$). Or dans ces régions la précision du résultat est la moins bonne car :

- les courbes bleues sont très serrées ;
- le facteur f est faible (inférieur à 0,3), ce qui signifie que la marée est de faible amplitude.

Ces régions caractérisent donc les cas où les extrêmes de la marée sont de toutes façons mal déterminés. On peut donc se ramener à un seul abaque, tout en conservant une précision suffisante, à condition d'introduire un facteur 2 dans l'échelle des temps pour les ondes semi-diurnes. Finalement, on utilise les formules suivantes, qui réalisent un compromis entre les formules (3) et (4) :

$$\begin{aligned} q &= \sqrt{0,9025 \sin^2 (28,5 dT) + (f - \cos (28,5 dT))^2} \\ &= F (dT, f) \end{aligned}$$

$$\Delta = dT + \frac{1}{30} \operatorname{Arctg} \frac{0,95 \sin (28,5 dT)}{f - \cos (28,5 dT)} = G (dT, f)$$

L'abaque A4 porte les courbes :

$$dT = \mathfrak{F} (q, \Delta) = \text{cste} \quad (\text{en bleu})$$

$$f = \mathcal{G} (q, \Delta) = \text{cste} \quad (\text{en rouge}).$$

Si $f > 0,3$, la simplification effectuée conduit à une erreur sur dT qui reste inférieure à 5 mn pour les ondes semi-diurnes et à 10 mn pour les ondes diurnes.

Si $f < 0,3$, l'erreur sur dT peut être très importante (jusqu'à 12 heures pour les ondes diurnes et 6 heures pour les semi-diurnes), mais les ondes concernées sont alors de faible amplitude.

Pour les ondes semi-diurnes, les cas les plus défavorables sont les ports de Balikpapan (côte Est de Bornéo) et de Port Augusta (côte Sud d'Australie).

Quand $f = 0,3$ l'amplitude de l'onde semi-diurne est voisine de 20 cm dans chacun de ces ports.

Pour les ondes diurnes, les cas les plus défavorables sont les ports de Cam Pha, Do son (Viet Nam) et Air Musi (Sumatra). Des écarts supérieurs à 10 mn peuvent se produire, pour des amplitudes inférieures à 20 cm.

4.4. Calcul de la première pleine mer

Après avoir calculé T_1 , T_2 , f_1 et f_2 , posons :

$$y(t) = f_1 L_1 \cos 14,5 (t - T_1) + f_2 L_2 \cos 29 (t - T_2) .$$

$$q = \frac{f_1 L_1}{f_2 L_2} \quad \text{et} \quad \Delta = T_1 - T_2.$$

Au moment de la pleine mer, $t = T = T_2 + dT$, et on a

$$f = \frac{y}{f_2 L_2} = \cos (29 dT) + q \cos 14,5 (dT - \Delta)$$

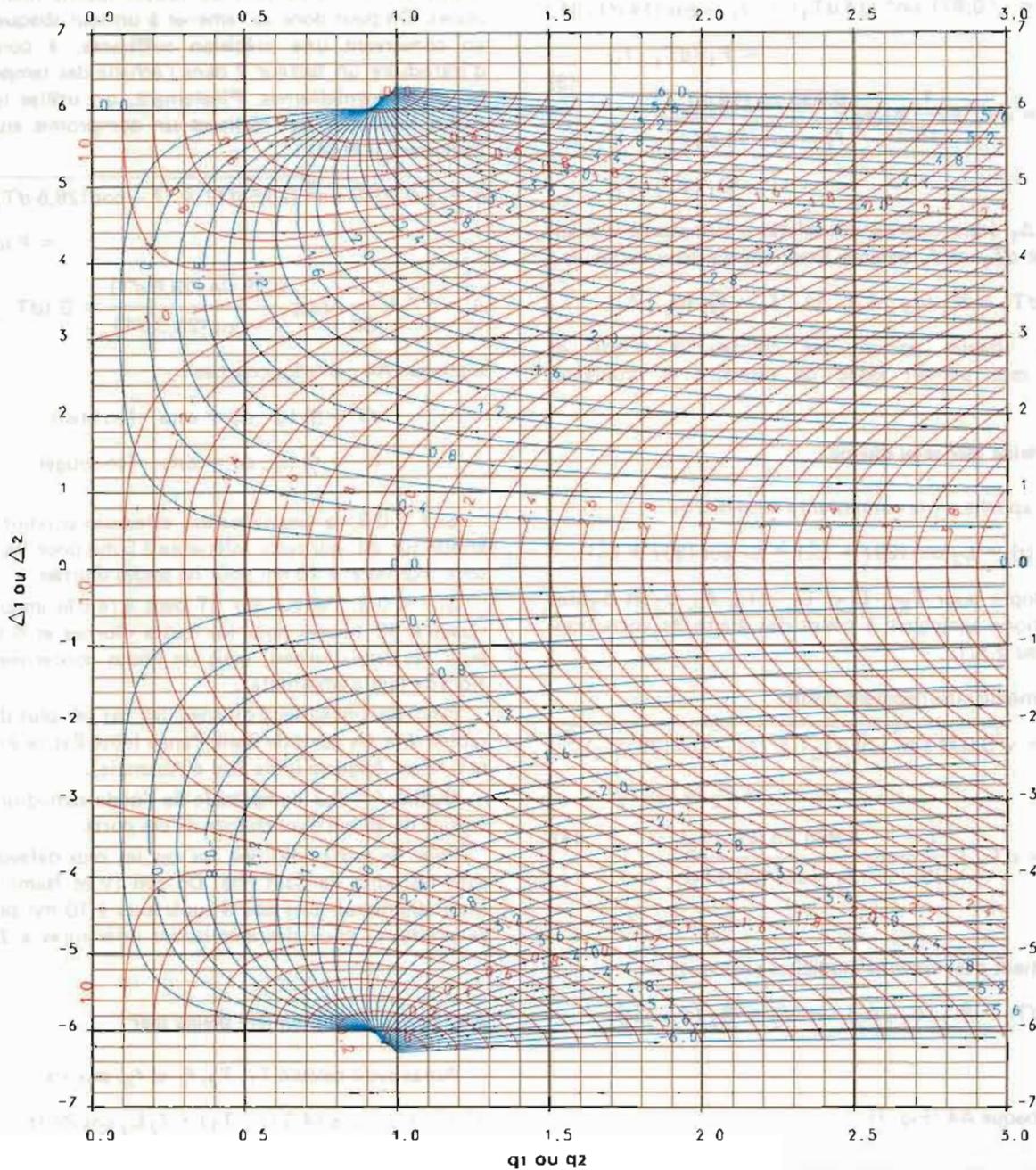
$$\text{et} \quad 0 = 2 \sin (29 dT) + q \sin 14,5 (dT - \Delta).$$

On sépare q et Δ , comme précédemment :

$$q = \sqrt{4 \sin^2 (29 dT) + (f - \cos (29 dT))^2}$$

$$\Delta = dT + \frac{1}{14,5} \operatorname{Arctg} \frac{2 \sin (29 dT)}{f - \cos (29 dT)}$$

ABAQUE A4



Si $\Delta_1 > 6$ et $q_1 < 1$, retrancher 12 à Δ_1

Si $\Delta_2 < -6$ et $q_2 < 1$, ajouter 12 à Δ_2

Si $\Delta_1 > 6,2$ et $q_1 > 1$, retrancher 12,4 à Δ_1

Si $\Delta_2 < -6,2$ et $q_2 > 1$, ajouter 12,4 à Δ_2

FIG. 7.

L'abaque A5, (Fig. 8), calculé à l'aide de ces relations, permet d'obtenir dT (courbes bleues) et f (courbes rouges) connaissant q et Δ. On en déduit l'heure et la hauteur de la première pleine mer :

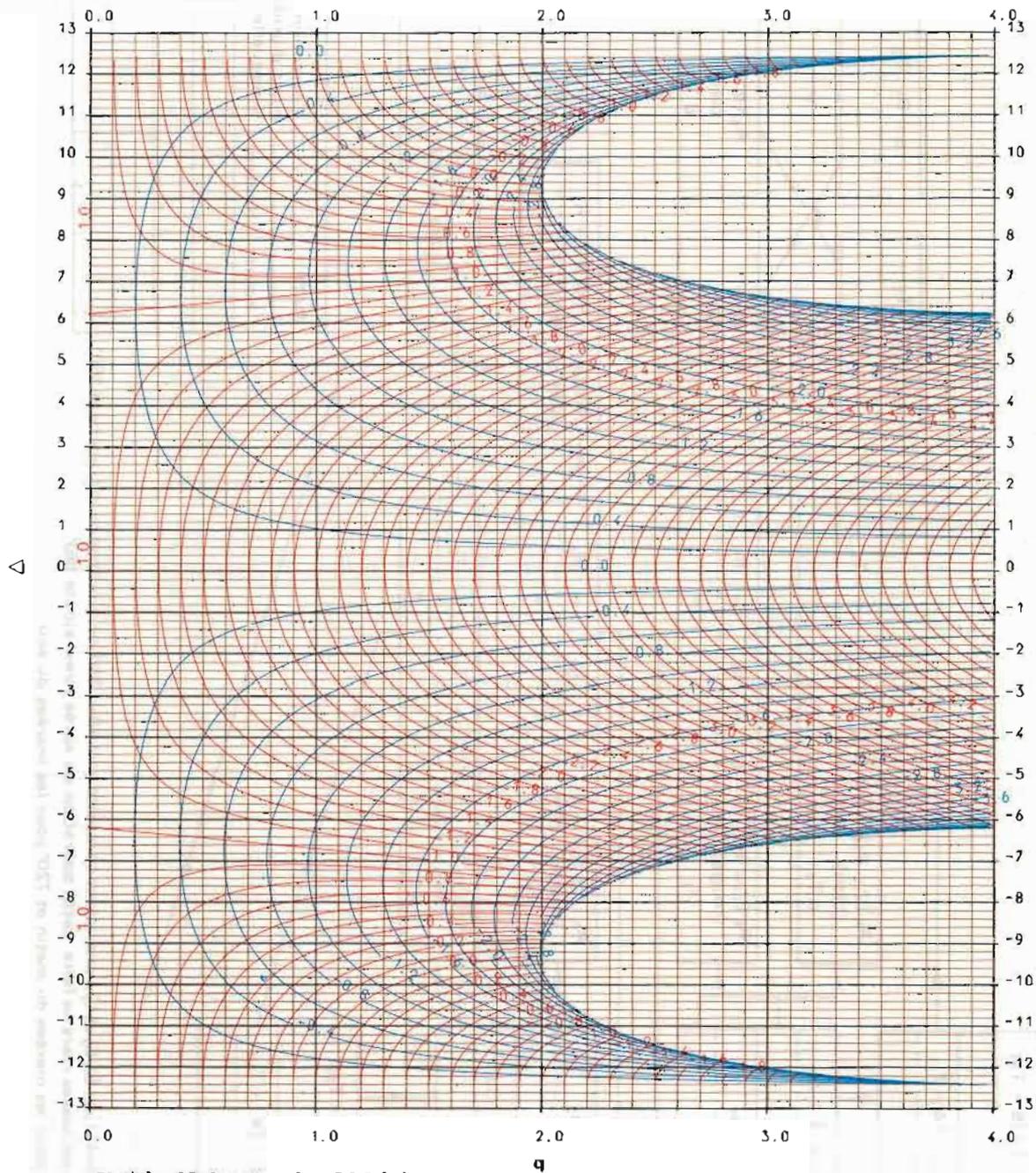
$$T = T_2 + dT$$

$$H = NM + f f_2 L_2.$$

4.5. Calcul des autres extremums de la journée

4.5.1. La pleine mer suivante s'obtient en ajoutant 12 h 24 à T_{L2} et 12 h à T_{S2} ou, ce qui revient au même, en ajoutant 360° à L_2 et S_2 . Les éléments diurnes sont inchangés

ABaque A5



Si $\Delta > 12,4$, retrancher 24,8 à Δ
 Si $\Delta < -12,4$, ajouter 24,8 à Δ

FIG. 8

4.5.2. Les basses mers s'obtiennent

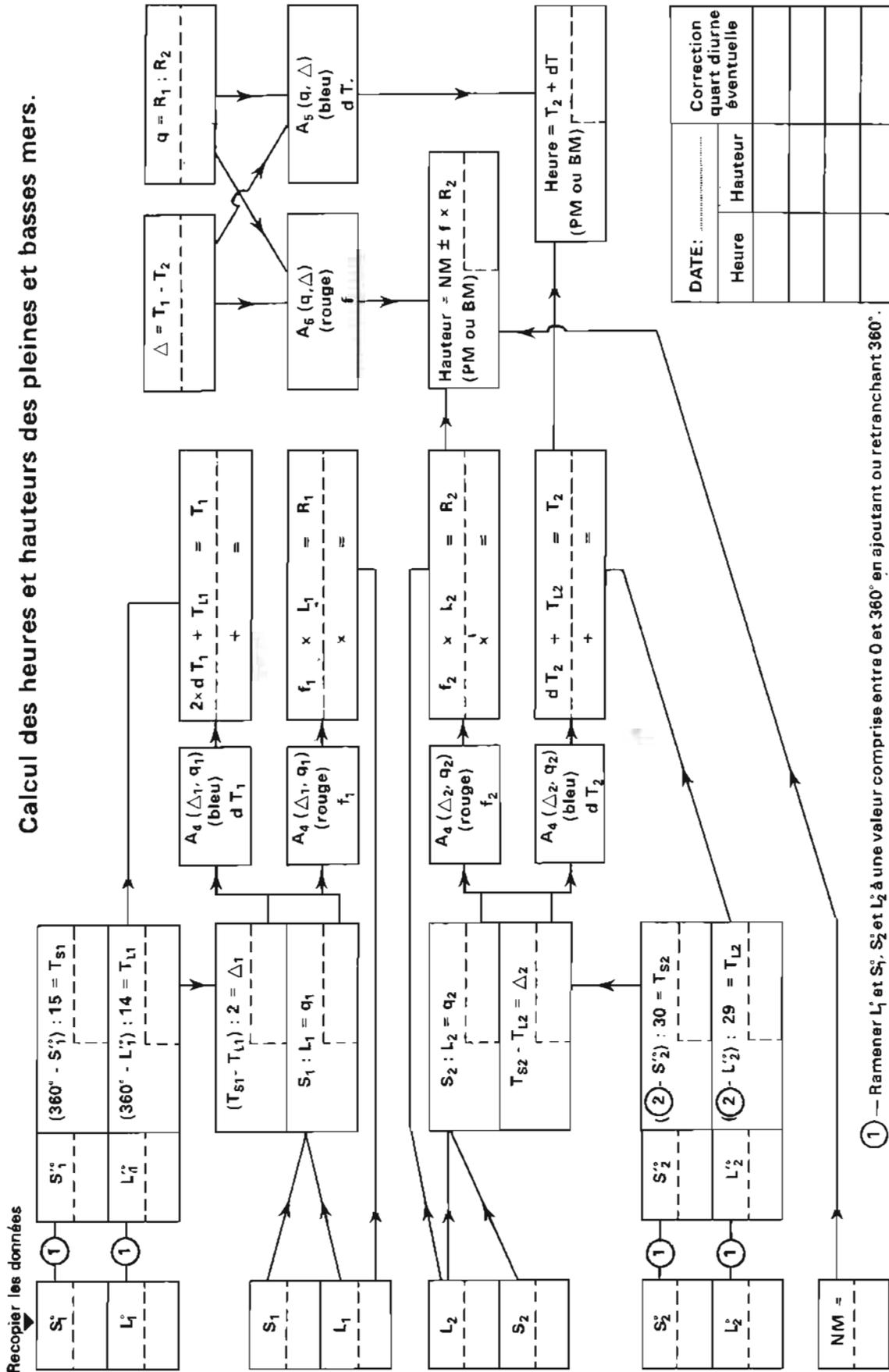
- en ajoutant ou retranchant 06 h 12 à T_{L2} et 06 h de T_{S2} ou, ce qui revient au même, en ajoutant ou retranchant 180° de L_2^o et S_2^o .

- en ajoutant ou retranchant 12 h 51 de T_{L1} et 12 h de T_{S1} (ou 180° de L_1^o et S_1^o).

4.6. Enchaînement des calculs

Les calculs sont effectués à l'aide de la "planchette", (Fi. 9) (calcul des heures et hauteurs des pleines et basses mers), sur laquelle ils s'enchaînent naturellement. Ils utilisent les huit constantes journalières déterminées précédemment (voir § 3.3.).

Calcul des heures et hauteurs des pleines et basses mers.



- ① — Ramener L_1' et S_1' , S_2' et L_2' à une valeur comprise entre 0 et 360° en ajoutant ou retranchant 360° .
Pour les basses mers ne faire cette opération qu'après avoir ajouté 180°.
- ② — 360° pour les marées du matin et 720° pour les marées du soir.

FIG. 9.

Le calcul de la correction quart-diurne à l'instant de la pleine ou basse mer s'effectue en retournant à la planchette "calcul de la hauteur d'eau à une heure donnée", sur laquelle il faut commencer par calculer les phases A_2 et B_2 de M_2 et S_2 à l'instant de la pleine ou basse mer.

5. CONCLUSION

» Cette méthode présente avec celle de l'ouvrage NP 159 de l'Amirauté britannique quelques points communs.

Dans l'une et l'autre, la marée est représentée à l'aide des ondes fondamentales O_1 , K_1 , M_2 et S_2 , auxquelles sont appliquées des corrections pour tenir compte des autres ondes importantes.

Cependant la nouvelle méthode présente, sur la méthode britannique, les avantages suivants :

- elle ne nécessite pas l'utilisation d'un annuaire. En

effet, la table VII des ATT est remplacée par un abaque et par une table utilisable jusqu'à l'an 2000.

- elle est généralement plus précise, grâce à la prise en compte de l'âge de la marée lunaire.
- elle permet le calcul des pleines mers et basses mers.

Bien qu'aucun test n'ait été effectué auprès de personnes exercées, il ne semble pas qu'elle soit moins rapide.

Ses inconvénients sont les suivants :

- les composantes sixième-diurnes ne sont pas prises en compte.
- elle nécessite un plus grand nombre d'opérations et la détermination de quatre cosinus (à l'aide d'une table, d'une règle à calcul ou d'une calculatrice).

En ce qui concerne le temps de calcul, cela est compensé par le fait que l'on évite le recours à une construction graphique.

Cette méthode paraît particulièrement convenir aux utilisateurs d'une calculatrice possédant les fonctions trigonométriques.

ÉTUDE HYDROLOGIQUE DU CANAL DES ILES LOYAUTÉ

par

M. Daniel GUEVEL
Ingénieur Principal de l'Armement (hydrographe)
Mission Océanographique du Pacifique

RESUME

Des données hydrologiques ont été collectées en juillet 1981 au cours de la mission "Loyauté 81" entre la grande terre et les îles Loyauté. Ces données montrent une zone frontale superficielle, à l'Ouest de Maré, qui sépare les eaux d'origine équatoriale des eaux à caractère subtropical et qui donne naissance à un courant de densité portant au Sud. Les observations directes de courant faites par ailleurs confirment cette structure malgré une forte dérive d'Ekman.

Le noyau d'eau antarctique intermédiaire se situe vers 900 mètres et donne lieu à une circulation dirigée vers le Nord. Les caractéristiques physiques de cette eau présentent une variabilité spatiale importante.

ABSTRACT

During the July 1981 "Loyauté 81" cruise, hydrological data were collected between the main island and the Loyauté islands. These data show a superficial frontal zone West of Maré island separating equatorial waters from subtropical waters and by which a south current is created. Direct other current measurements show the same structure.

The antarctic intermediate water core is laying by about 900 meters and is accompanied by a general northern flow. The physical characteristics of this water exhibits an important spatial variability.

Situé à l'est de la Grande Terre de Nouvelle Calédonie et limité à l'est par l'arc des îles Loyauté, le canal des Loyauté s'étend sur 100 kms de large. Il longe la Grande Terre depuis le sud jusqu'au nord si l'on inclut le récif de l'Astrolabe dans l'arc des îles Loyauté. Sa profondeur maximale est de 2500 m au nord et 2000 m au sud.

La campagne "Loyauté 81" a été exécutée par la Mission Océanographique du Pacifique en juillet 1981 dans le cadre de ses campagnes d'hydrologie autour de la Nouvelle Calédonie.

La figure 1 donne la position des 17 stations d'hydrologie réalisées avec des bouteilles à renversement disposées aux immersions standard.

STRUCTURE THERMOHALINE

On retrouve dans ces données la structure classique des mers de Corail et de Tasman décrite en particulier par Donguy (réf. a) et Pickard (réf. b).

En surface, au nord du canal on observe une couche relativement homogène en salinité qui disparaît dans le sud de la zone (Fig. 2). Cette couche provient du courant sud équatorial entrant en mer de Corail par le nord-est et s'étalant jusqu'à 20°S environ. Au sud par contre on observe des eaux à caractère subtropical et présentant

une salinité élevée, avec un noyau de salinité superficielle maximale entre la Nouvelle Calédonie et la Nouvelle Zélande (réf. a).

Entre 100 et 200 mètres existe un maximum de salinité bien visible sur la coupe de la figure 2 ou sur le pointé TS de la figure 3. La masse d'eau associée appelée subtropicale sud présente en fait plusieurs composantes distinctes à travers la mer de Corail. Wyrtky en a distingué 2 principales, la première au Nord du 20°S, proviendrait essentiellement des passes entre le Vanuatu et les Salomon, la seconde au sud du 20°S a une origine mal connue (réf. a). Cette dualité explique peut-être la différence entre les valeurs et les immersions du maximum de salinité de part et d'autre du front.

Enfin, vers 900 mètres de profondeur, apparaît le minimum de salinité de l'eau antarctique intermédiaire dont les caractéristiques moyennes sur la zone sont (34,50 ‰, 5°C). Wyrtky distingue deux composantes d'eau antarctique intermédiaire comme dans le cas de l'eau subtropicale Sud.

FRONT SUPERFICIEL DANS LE CANAL DES LOYAUTE

Les distributions superficielles de température et de salinité révèlent un écart assez important dans la valeur

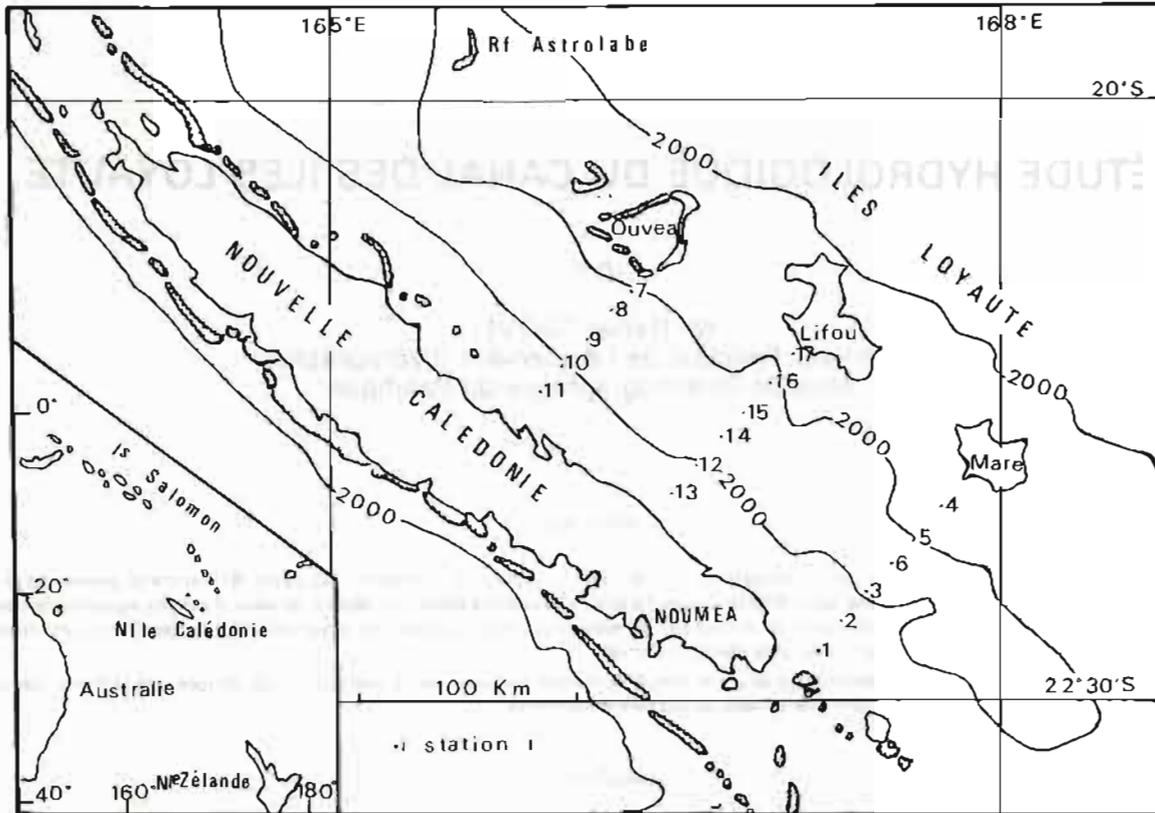


FIG. 1. — Bathymétrie du canal des îles Loyauté et implantations des stations.

de ces paramètres du nord au sud d'une zone frontale située à l'ouest de Maré (Fig. 4). Au nord de ce front on observe des eaux plus chaudes et moins salées (24.5°C , 35,3 ‰, 23.75) qu'au sud de cette ligne (23.2°C , 35,55 ‰, 24.30).

Dans le plan vertical passant par les stations 3-14-8 figure 2, on retrouve évidemment cette opposition entre les eaux superficielles d'origine équatoriale, donc peu salées, au nord et le noyau d'eau à maximum de salinité superficielle situé entre la Nouvelle Calédonie et la Nouvelle Zélande (réf. a). On constate également que cette zone frontale intéresse au plus les 150 premiers mètres.

LES COURANTS DE PENTE MOTEURS DE LA CIRCULATION SUPERFICIELLE

La figure 5 représente la circulation moyenne entre 0 et 200 mètres correspondant au courant géostrophique calculé avec un niveau de référence à 400 mètres. Il faut ajouter à ce courant une dérive vers le nord-ouest engendrée par les alizés (> 20 nœuds pendant les mesures). Dans le canal proprement dit, on peut considérer que le courant de marée est négligeable devant les deux courants précédents sauf au voisinage de certaines passes (Havannah par exemple).

Cette opposition entre deux courants forts, l'un vers le sud et l'autre vers le nord est une particularité intéressante du canal des Loyauté. Elle explique peut être le renforcement des contre courants vers le nord au voisinage de la côte, et également une variabilité temporelle également importante (réf. d).

L'observation directe du courant confirme que le courant réel de surface est d'une façon générale dirigé vers le sud au centre du canal et vers le nord le long des Loyauté, autrement dit que le courant géostrophique est généralement supérieur au courant de dérive. On se reportera par exemple aux mesures GEK et profiteur réalisées par l'ORSTOM (réf. d, e, f). On se reportera également aux indications des nombreux navigateurs de plaisance qui ont observé cette dérive vers le Sud même par temps d'alizé.

Sous la couche de mélange (50-100 m), le noyau d'eau subtropicale Sud à maximum de salinité présente une circulation analogue à la circulation superficielle.

VARIABILITE DE L'EAU ANTARCTIQUE INTER-MEDIAIRE

L'examen du diagramme T-S de la figure 3 met en évidence une variabilité importante au niveau de l'eau antarctique intermédiaire. L'enveloppe des points TS

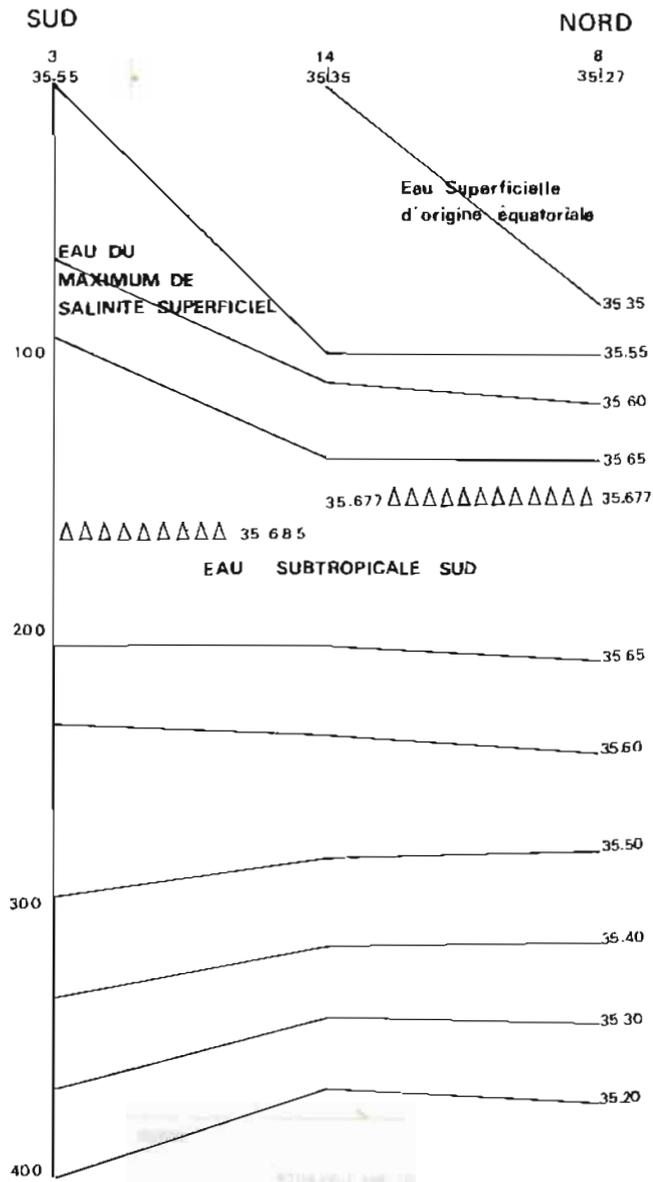


Figure 2 Coupe de salinité suivant l'axe du canal
 Δ maximum de salinité

FIG. 2. — Coupe de salinité suivant l'axe du canal. Δ : maximum de salinité.

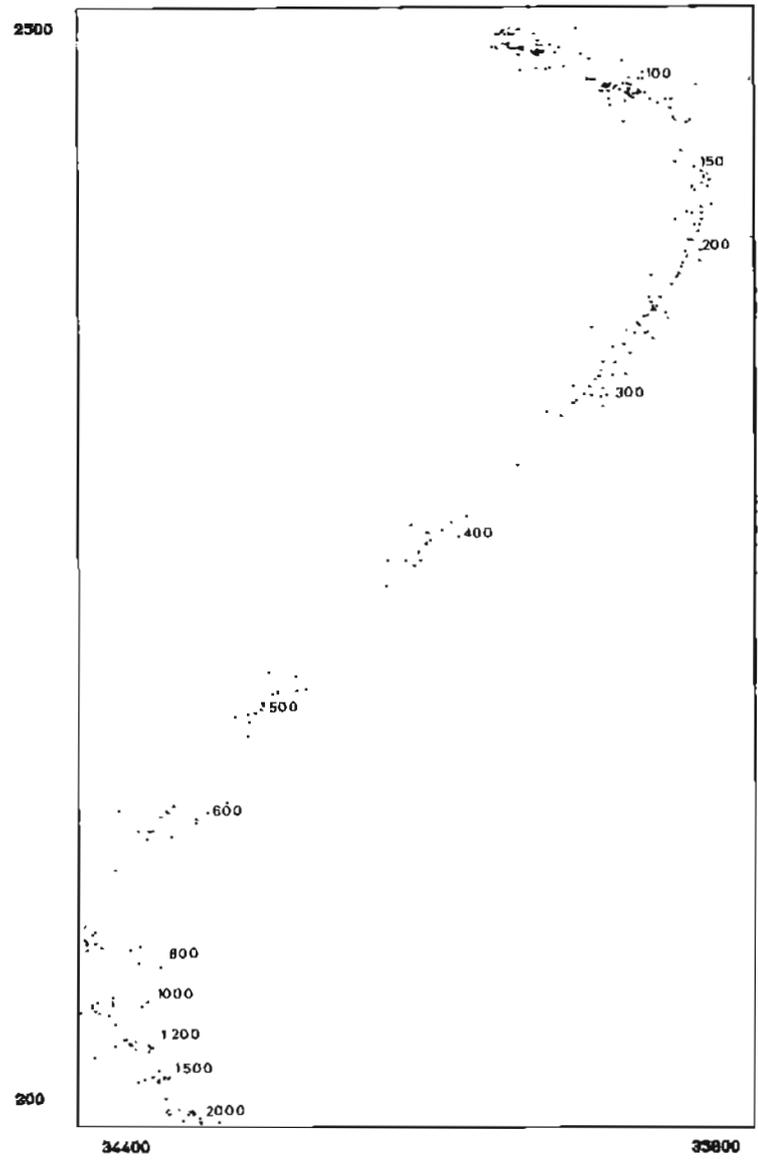


FIG. 3. — Pointé Global TS Canal des Loyauté

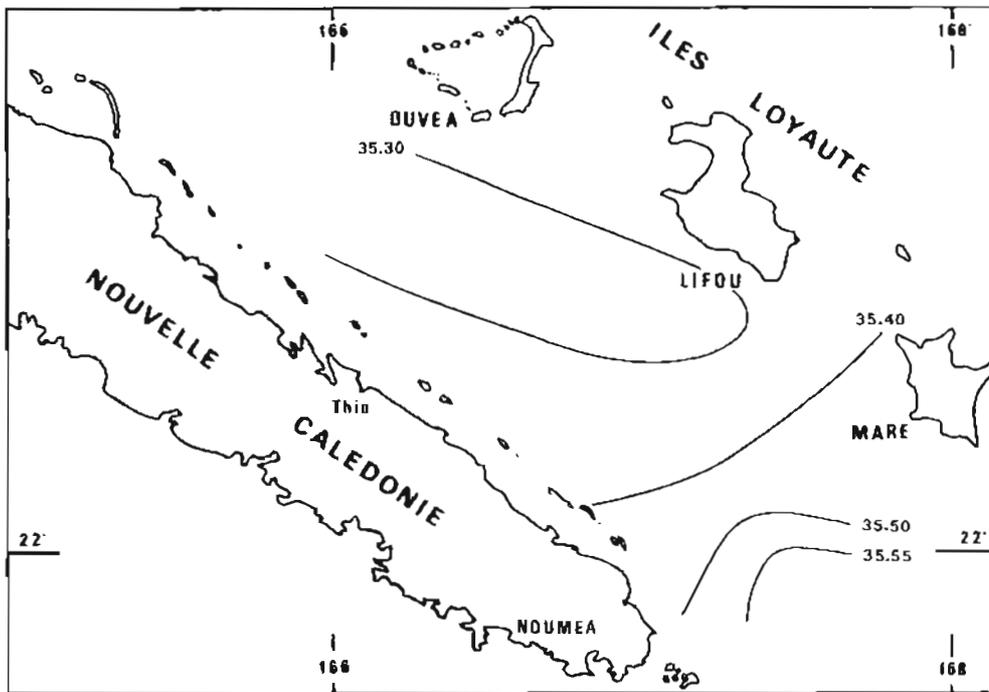


FIG. 4a. — Isothermes de surface en juillet 1981.

700 m
(8) up
at 100
meters

1. NO. 1000000. 100000
2. 1000000. 100000
3. 1000000. 100000
4. 1000000. 100000

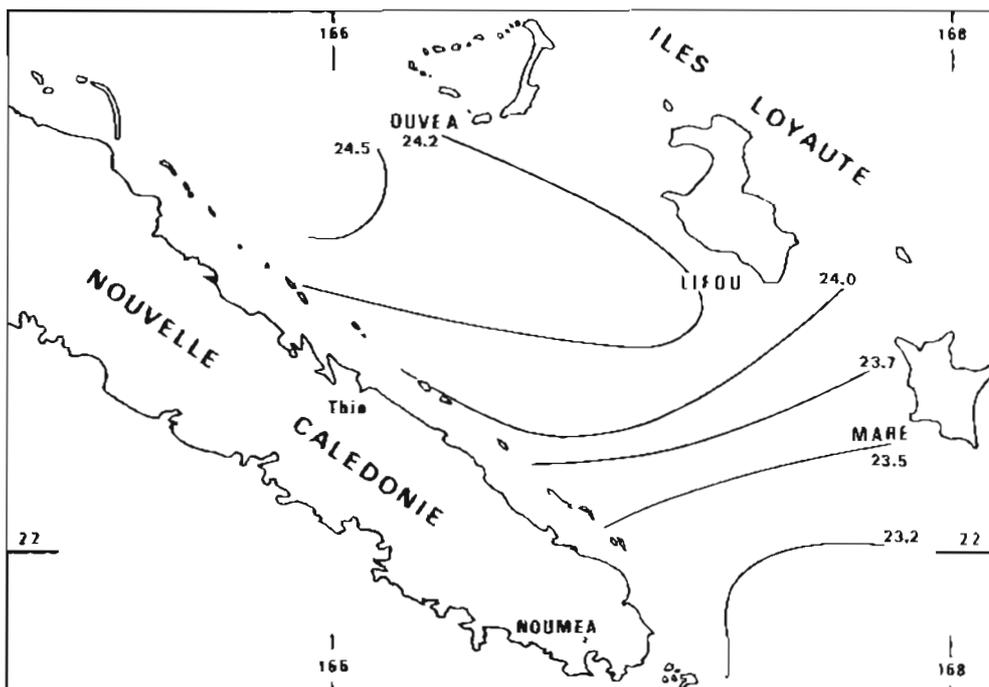


FIG. 4b. — Isohalines de surface en juillet 1981.

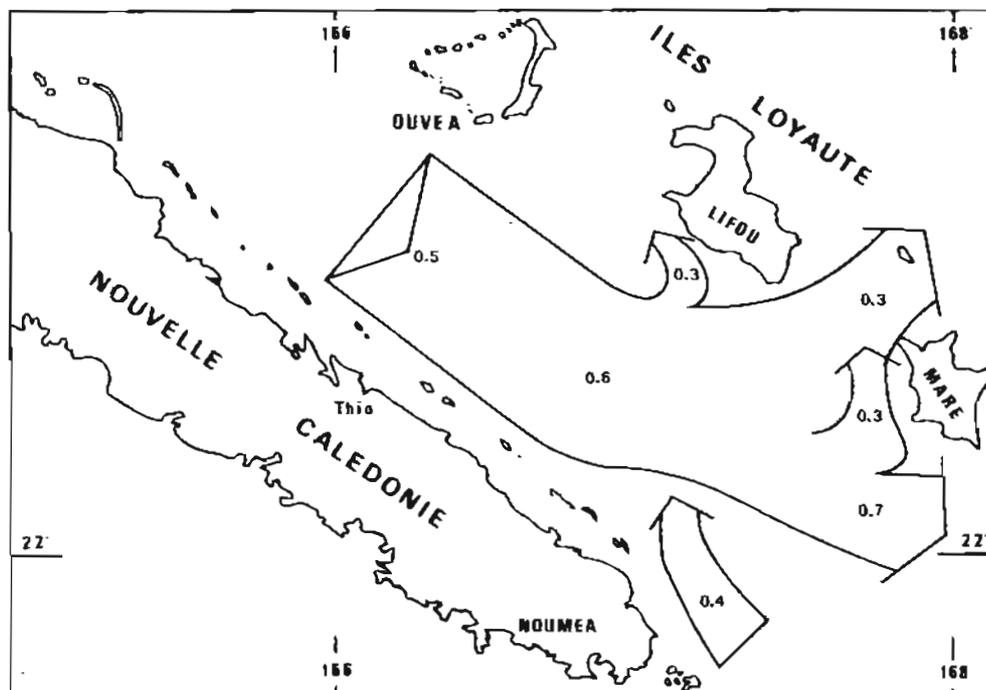


FIG. 5. — Circulation géostrophique superficielle du Canal des Loyauté.

s'écarte de la courbe moyenne de $\pm 0.07\text{‰}$. Et les nuages de points associés aux immersions standard ne sont plus allongés le long du diagramme moyen comme c'est le cas aux niveaux supérieurs pour lesquels la dispersion est due à des écarts entre l'immersion de mesure et l'immersion standard.

Tout ceci suggère une variabilité horizontale qui est confirmée par la carte de salinité à 1 000 mètres (Fig. 6) mettant en évidence une entrée d'eau plus salée par le Sud. C'est une des raisons pour laquelle nous avons choisi un niveau de référence à 400 mètres.

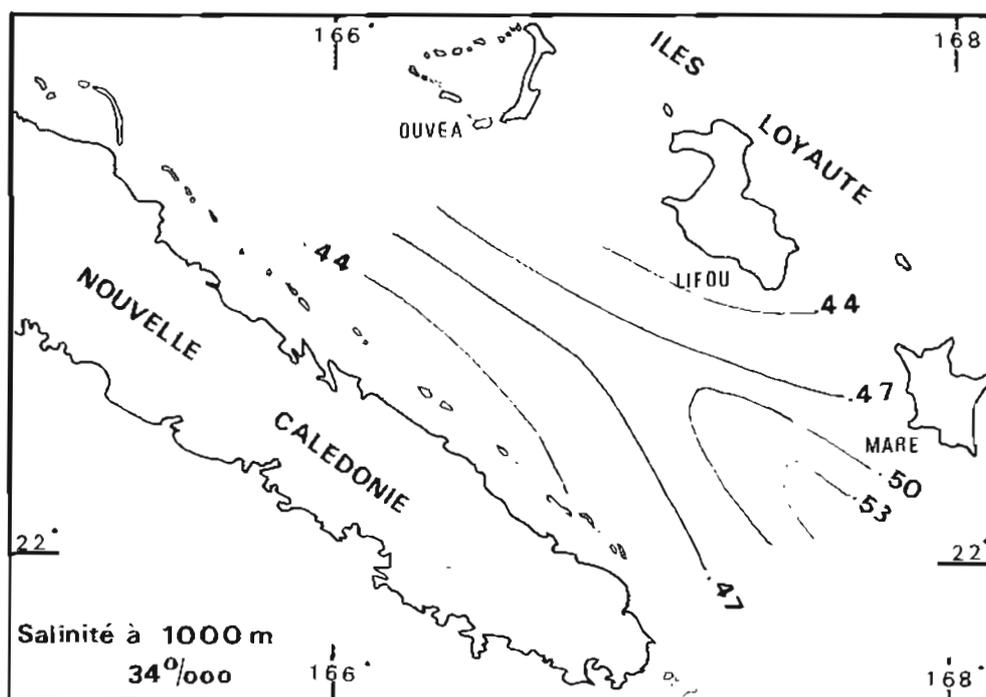


FIG. 6a. — Carte de salinité à 1 000 mètres.

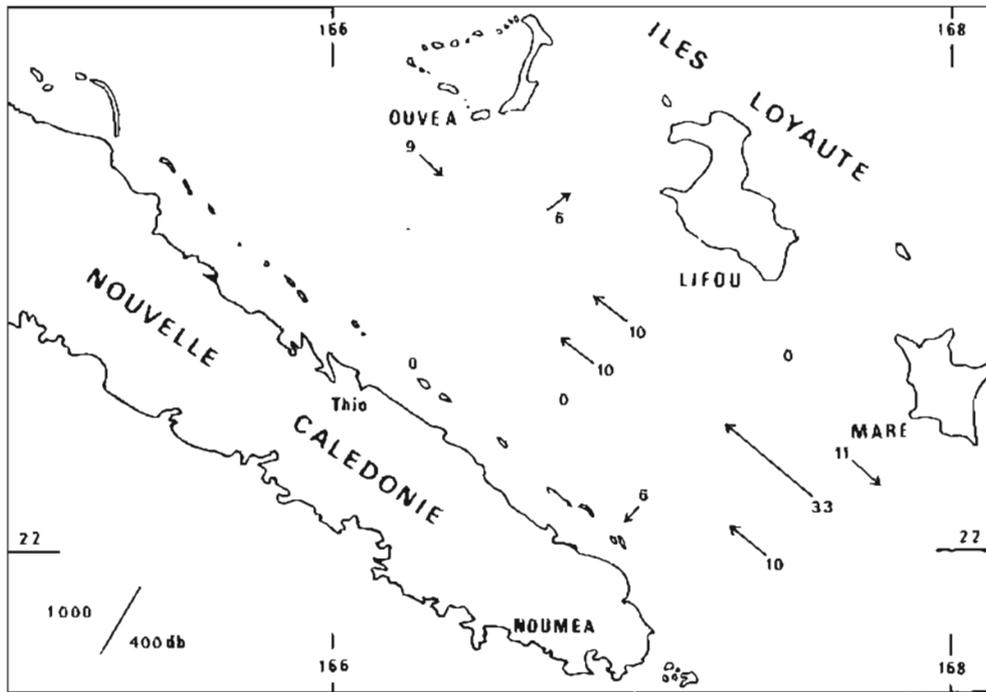


FIG. 6b. — Courant géostrophique à 1 000 mètres.

Le courant géostrophique reflète la structure thermo-haline de la figure 6a. La circulation est plutôt dirigée vers le nord dans l'axe du chenal, elle est pratiquement nulle au voisinage des parois sauf au nord du canal des Loyauté où ce courant est dirigé vers le sud.

Il est possible que cette variabilité hydrologique et les courants de directions opposées soient dus au fait que la Nouvelle Calédonie est, comme pour l'eau subtropicale une zone de rencontre des deux composantes d'eau intermédiaire antarctique découvertes par Wyrtky.

CONCLUSION

En hiver on a observé un front dans le canal des Loyauté accompagné d'un fort courant géostrophique vers le sud. Des observations indépendantes montrent que le courant réel est généralement dirigé vers le sud et que par conséquent la dérive due au vent est dominée par le courant ou pente.

Près des îles Loyauté on a calculé un contre-courant vers le nord, les mesures réalisées ne permettent pas de savoir s'il s'agit d'un phénomène d'upwelling lié aux îles ou d'un affaiblissement du courant géostrophique par frottement sur la paroi.

Des mesures plus complètes et plus diversifiées seraient utiles pour vérifier ces hypothèses ainsi que l'influence de la saison.

REFERENCES

- (a) DONGUY et HENIN. — Origin of the surface tropical water in the Coral and Tasman seas. *Aust. J. Mar. freshwater res.*, 1977, 28, 321-32.
- (b) PICKARD, DONGUY, HENIN, ROUGERIE. — A review of the physical oceanography of the great barrier reef and western Coral sea. Australian Institute of marine science. *Monograph series*, Vol. 2 1977.
- (c) ROUGERIE, HENIN. — Les mers de Corail et de Salomon en mousson d'été austral. *Cahier ORSTOM série océan.*, Vol. XV, n° 3 1977, 261-278.
- (d) HENIN, CHARBERT, GUILLERM. — Observations de surface à bord du N.O. Vauban de 1978 à 1980. *Rapport scientifique et technique*, n° 25, océanographie 1982 ORSTOM Centre de Nouméa.
- (e) HENRI *et al.* — Rapport de la Campagne hydrothon 04 à bord du N.O. Coriolis 31/1/82-12/2/82. *Rapport scientifique et technique*, n° 18, océanographie, ORSTOM, Centre de Nouméa.
- (f) DANDONNEAU *et al.* — Résultat de la campagne hydrothon 5 à bord de N.O. Coriolis 2-12/6/82. *Rapport scientifique et technique*, n° 23, ORSTOM Nouméa.

DEUXIÈME PARTIE

Compte rendu des travaux effectués par la MISSION HYDROGRAPHIQUE DE L'ATLANTIQUE du 1^{er} février 1977 au 3 mars 1980

sous la direction de M. Marcel LE GUEN
Ingénieur en chef de l'Armement (hydrographe)

SOMMAIRE

Première partie

Généralités

Deuxième partie

Travaux effectués

Chapitre I

- 1 – Levé de l'embouchure de la Vilaine.
- 2 – Recherches aux abords de Bénodet.
- 3 – Levé du cap d'Alprech au Touquet.
- 4 – Vérification des accès à Boulogne.
- 5 – Vérification du chenal d'accès à l'Herbaudière.
- 6 – Vérification des chenaux d'accès à Dunkerque.
- 7 – Vérification du chenal d'accès à Calais.
- 8 – Vérification du chenal d'accès à Port-Joinville.
- 9 – Vérification du chenal d'accès à Cherbourg.
- 10 – Vérification des fonds sur le banc de Breedt.

Chapitre II

- Levé intermédiaire en Baie de Seine.

Chapitre III

- Levé sur le talus continental dans le golfe de Gascogne.

Chapitre IV

- 1 – Courantométrie en rade de Brest.
- 2 – Essais de matériel et concours apportés aux organismes locaux de la Défense.

Première partie

GÉNÉRALITÉS

1. PERSONNEL

Le Directeur de Mission a été assisté par des Ingénieurs de l'Armement (Hydrographes) :

- M. Giordano jusqu'en octobre 1978.
- M. Le Gouic à partir de septembre 1978.

par M. Fichant, Ingénieur des Etudes et Techniques d'Armement (branche Hydrographie) de septembre 1977 à juin 1979, ainsi que par les Officiers de réserve de la branche "Recherche Scientifique", effectuant leur service national.

Ce dernier personnel s'est vu confier la maintenance de certains matériels spécifiques et le contrôle des dossiers informatiques de courantométrie et de radiocalisation. Ils ont, d'autre part, participé à quelques missions embarquées ou à terre.

De plus, la Mission a disposé de l'Ingénieur des Etudes et Techniques d'Armement Lebreton qui a été affecté à partir de septembre 1977 en tant qu'Ingénieur chargé du matériel électronique et en particulier de la radiocalisation longue portée.

MOYENS FLOTTANTS

Durant la période considérée, la Mission a disposé des deux bâtiments *l'Espérance* et *l'Astrolabe*. Pour en améliorer les capacités opérationnelles, diverses mesures ont été prises quant au personnel et au matériel. L'objectif visé a été de porter à 160 le nombre de jours d'activité annuelle. A cet effet, l'attribution d'un supplément de personnel (environ un tiers de l'effectif) a été décidée en 1978 dans le but d'accroître sensiblement l'activité de la Mission en supprimant en particulier la période de permission — gardiennage d'été. Les nouveaux plans d'armement des B.H. sont les suivants :

Espérance : 43 dont 3 officiers (11 équipage en supplément).

Astrolabe : 44 dont 2 officiers (11 équipage en supplément).

2.1. L'espérance

Les caractéristiques de ce B.H.1 ont été longuement détaillées dans le rapport de mission de l'ICA Pasquay (*).

Le bâtiment fut commandé successivement par :

MM. Ferry jusqu'au 20.06.77, Revest jusqu'au 24.08.78, Saugrain jusqu'au 24.08.79 et Mangin d'Ouinca.

Le bâtiment est bien adapté aux travaux de moyenne et grande sonde. Depuis les réparations effectuées sur les anciennes vedettes pendant l'hiver 1977-1978, *l'Espérance* est apte à sonder par petits fonds. Ces vedettes rénovées ont été remplacées à la fin 1979 par des vedettes neuves de 9 mètres.

2. L'astrolabe

Ce bâtiment fut commandé successivement par :

MM. Benoist jusqu'au 02.09.77, Cavarec jusqu'au 28.06.79 et Champeau.

Le principal défaut de ce bâtiment réside dans sa capacité de logement insuffisante, alors que le plan d'armement est aussi étoffé que celui de *l'Espérance*.

Pour pouvoir loger les élèves officiers marinières hydrographes en stage embarqué à la mission et résoudre partiellement ce problème de logement, il a été nécessaire de transformer en dortoir une partie de la salle de dessin et d'y installer trois couchettes rabattables. Cette transformation qui conservait l'intégralité de la table à dessin fut réalisée au cours de l'IPER 1978-1979.

La centrale hydraulique et le treuil destinés à la manoeuvre du Sonal IFP n'ayant jamais été utilisés, le treuil a été débarqué en 1978. Un treuil électrique Klein à contacteur tournant a été installé fin 1979 sur la plage arrière du bâtiment pour la manipulation du sondeur latéral Edgerton. Ce système très souple permet par télécommande depuis le PC hydrographique de régler la longueur du câble de remorque du poisson suivant les informations émanant du sondeur vertical.

(*) *Annales Hydrographiques* (1978) n° 748 p. 117.

Deuxième partie

TRAVAUX EFFECTUÉS

Les principaux travaux effectués du 1^{er} février 1977 au 3 mars 1980 se répartissent entre des tâches d'hydrographie générale (60 %), éventuellement demandées par des administrations civiles et la satisfaction de besoins spécifiquement militaires (40 %). La part de ces derniers travaux dans l'activité de la Mission a été en progression constante.

Les travaux d'hydrographie générale ont porté essentiellement sur la vérification des voies recommandées aux abords des principaux ports de la Manche. Lors de ces levés, le sondeur latéral a été mis en œuvre de façon systématique pour la recherche d'éventuelles obstructions.

CHAPITRE I

I.1. LEVE DE L'EMBOUCHURE DE LA VILAINE

1. GENERALITES

A la suite de la construction du barrage d'Arzal près de la Roche-Bernard, le régime hydrodynamique de la Vilaine a été modifié.

Ce levé côtier effectué à l'échelle de 1/5 000, avait pour but :

- d'une part de vérifier les profondeurs sur les alignements recommandés dans les Instructions Nautiques pour l'accès à Tréhiguier.
- d'autre part de recueillir des données permettant de suivre l'évolution du lit de la rivière en aval de Tréhiguier.

La zone de travail est indiquée sur la planche 1.

Les travaux prescrits ont été réalisés par les vedettes de l'*Astrolabe* du 02 au 24.03.77. Une revue d'amers a été effectuée dans les limites de la carte 2381. Les amers répertoriés et classés figurent dans l'annexe jointe au présent chapitre.

2. CARACTERISTIQUES ET DEROULEMENT DES TRAVAUX

2.1. Localisation

La localisation des embarcations était assurée par guidage optique complété de distances obtenues par le radiolocalisateur Trident II. Les balises répondeuses à terre et les stations de radioguidage ont été placées

suivant les besoins aux points suivants :

Balises Trident

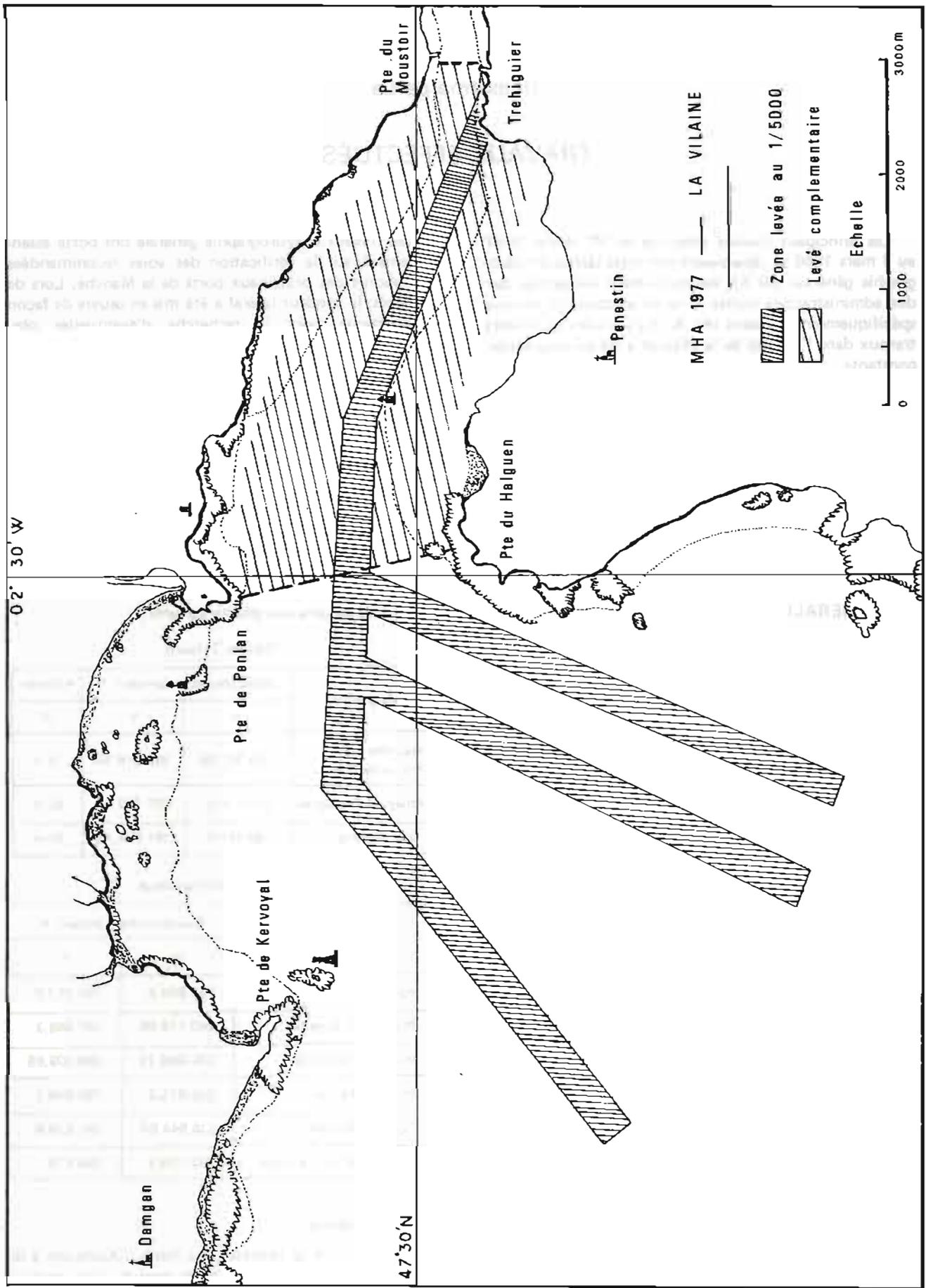
Désignation	Coordonnées Lambert II		Altitude
	X	Y	
Haut-Pénestin Pointe de l'Île	235 782,05	288 216,55	5 m
Phare de Tréhiguier	240 176,6	287 967,4	32 m
Tour des Prières	236 945,8	291 628,45	25 m

Stations de radioguidage

Désignation	Coordonnées Lambert II	
	X	Y
Pointe du Scal	236 604,5	290 917,0
Phare de Tréhiguier	240 176,85	287 968,3
Pointe du Moustoir	239 898,75	289 009,55
Phare de Penlan	235 815,9	290 848,1
Tour des Prières	236 944,65	291 624,8
Blockhaus de Kervoyal	232 126,8	290 476,1

2.2. Bathymétrie

En raison de la faiblesse des fonds, l'*Astrolabe* a dû rester au mouillage au large de la zone du levé ; ce qui a



entraîné des transits importants pour les vedettes, Les conditions météorologiques sont restées médiocres et ont même interdit tout travail hydrographique et toute mise à l'eau de vedette pendant plusieurs jours.

Les embarcations ont suivi des profils longitudinaux par rapport aux différents alignements et espacés de 50 mètres. Ces sondages ont été complétés d'un réseau de profils espacés de 250 mètres et perpendiculaires au lit de la Vilaine.

2.3. Recherche d'obstructions

Une exploration complète de la zone a été réalisée à l'aide du sondeur latéral Edgerton, la vedette suivant des profils espacés de 100 mètres et parallèles aux alignements. Le poisson du sondeur était remorqué à l'extrémité d'un câble court de 25 mètres.

La zone explorée recouvre entièrement la zone sondée figurant sur la planche 1.

Aucune épave ni obstruction n'a été découverte dans l'estuaire dont l'envasement a rendu le relief particulièrement uniforme.

Etant donné l'opacité de l'eau et la présence de nombreux pieux en bois mis en place par les mytiliculteurs en bordure du lit de la rivière, des mesures de

sécurité avaient dû être prises pendant le levé sonal. Un filin en nylon avait été fixé sur le poisson et relié à une bouée en plastique disposée sur le tableau arrière de la vedette.

3. MAREE – NIVELLEMENT

La marée a été observée à Peneuf et Tréhiguier sur deux observatoires mis en place par la Mission.

3.1. Marée à Peneuf

Un marégraphe OTT R16 installé sur la cale de Peneuf, a enregistré la marée du 25.02.77 au 11.03.77. Le marégraphe a été rattaché à la borne N.G.F. OKK₃ n° 15 à Saint Guérin par un cheminement de 2 km. La borne OKK₃ n° 14, sur la cale de Peneuf, a disparu.

Une concordance en hauteurs avec la marée observée à St Gildas où se trouve un observatoire permanent entretenu par le service de l'Équipement de Nantes, a situé le zéro de réduction des sondes à Peneuf à 0,13 mètre au dessous de celui de St Gildas. Le zéro traditionnel à Peneuf a été conservé. Ce dernier se situe à la côte 3,21 m au dessous de zéro N.G.F.

Ce niveau a été matérialisé par quatre repères :

Désignation des repères	Description	Côte par rapport au zéro N.C.F.	Côte par rapport au zéro de réduction des sondes
A	Repère N.G.F. n° 15 maille OKK ₃ scellé dans le mur de soutènement bordant la mer à Saint Guérin	4,91 m	8,12 m
B	Repère SH scellé dans le mur de la chapelle désaffectée à Peneuf	5,0 m	8,21 m
C	Piquet en fer scellé dans le mur de soutènement à l'enracinement de la cale à Peneuf	4,26 m	7,47 m
D	Extrémité de la cale de Peneuf	- 0,72 m	2,49 m

La planche n° 2 fournit le schéma d'implantation des différents repères et de l'observatoire de marée.

3.2. Marée à Tréhiguier

Un marégraphe OTT R16 installé à l'extrémité de la cale de Tréhiguier a enregistré la marée du 25.02.77 au 23.03.77.

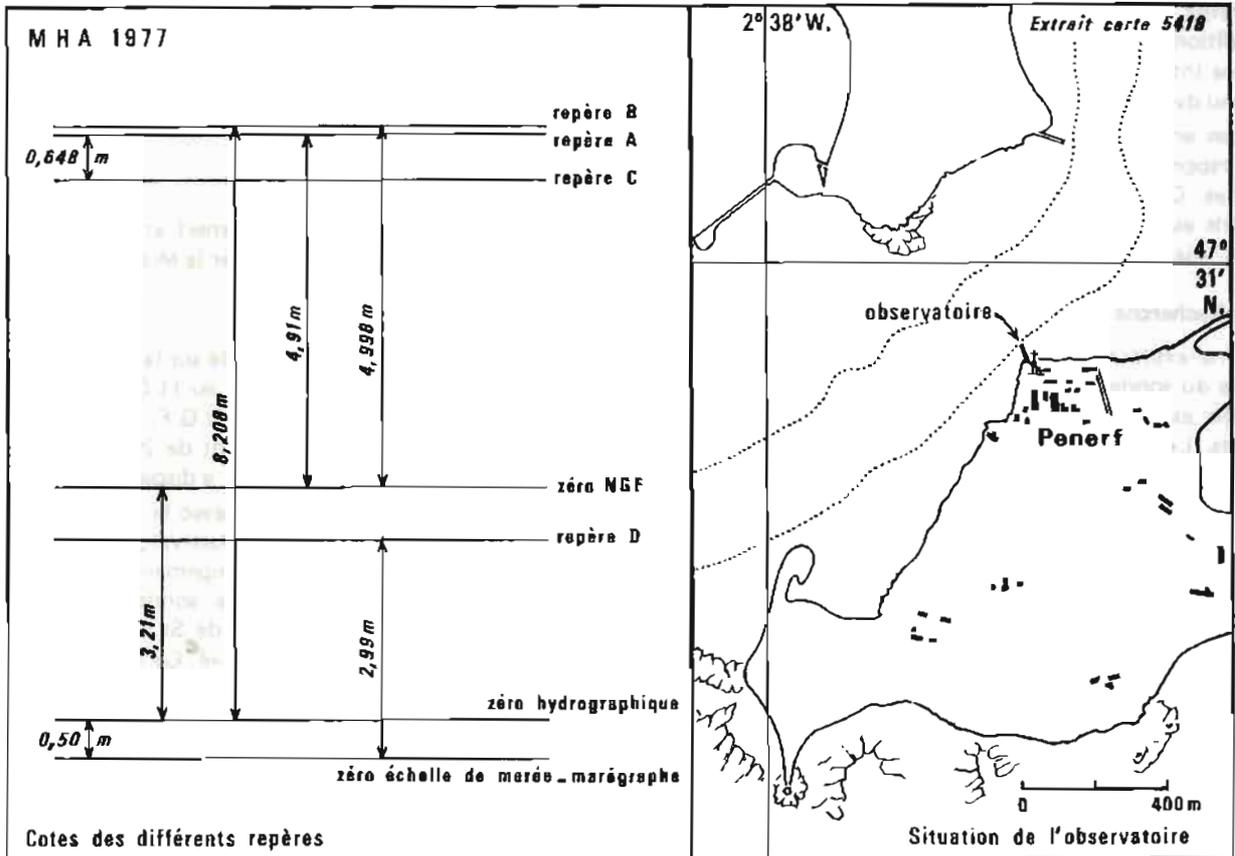
Le marégraphe a été rattaché à la borne OKK₃ O₃

n° 11 fixée sur les fondations de l'ancienne chapelle de Tréhiguier.

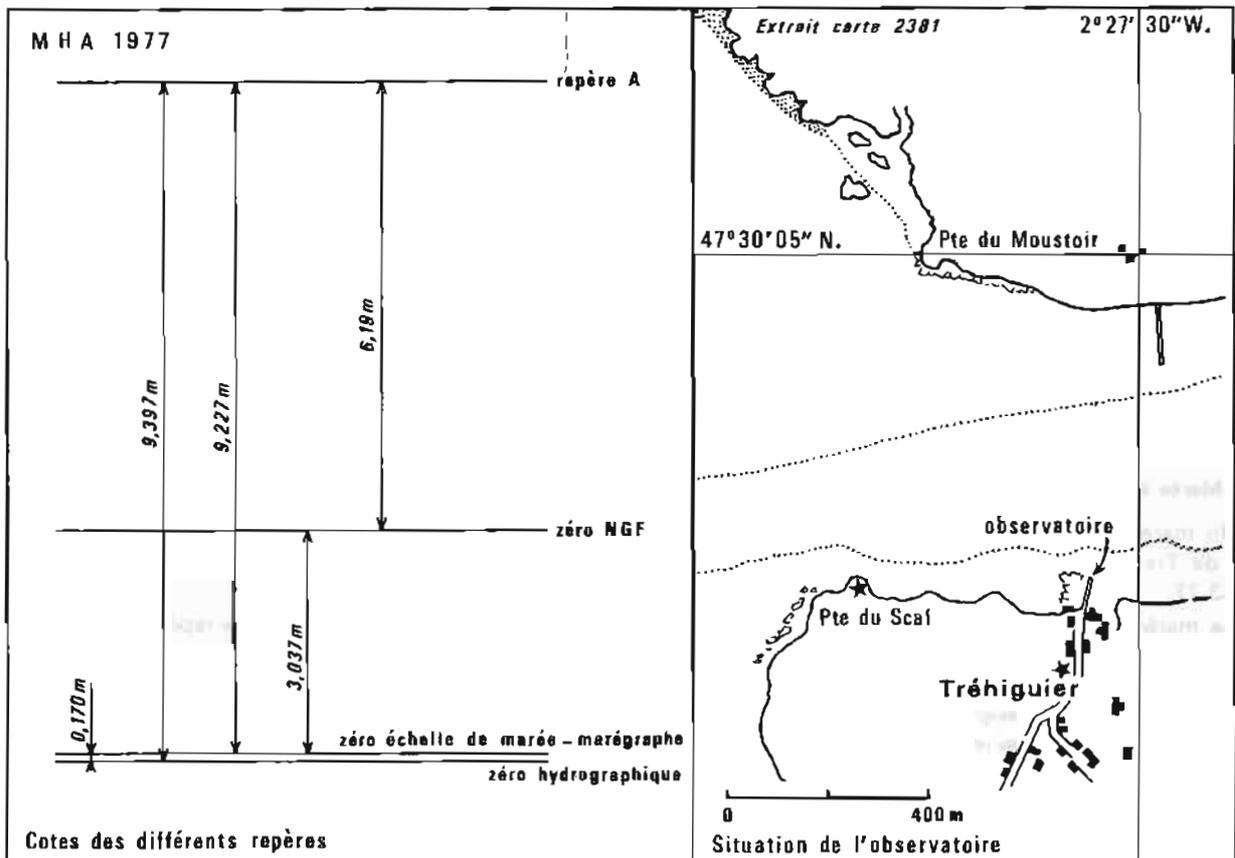
Une concordance en hauteurs avec la marée observée à Peneuf a révélé que les zéros hydrographiques aux deux observatoires étaient identiques. Le zéro de réduction des sondes à Tréhiguier se situe à 3,21 m au dessous du zéro N.G.F.

Le niveau est matérialisé par le repère suivant :

Désignation des repères	Description	Côte par rapport au zéro N.G.F.	Côte par rapport au zéro de réduction des sondes
A	Repère N.G.F. n° 11 scellé dans le mur d'une chapelle, près de la cale de Tréhiguier	6,19 m	9,40 m



PL. 2



PL. 3

La planche 3 fournit le plan d'implantation de l'observatoire et du repère.

4. INFORMATION NAUTIQUE

De nombreux amers représentés sur la carte marine n° 2 381 n'existent plus ou ne sont plus visibles ; par contre de nouveaux amers remarquables ont pu être répertoriés.

Il faut souligner que le moulin de pointe du Bile près de Saint-Guérin matérialisant l'alignement orienté est-ouest a été détruit. Aucun autre amer n'a pu être défini sur cette pointe qui elle-même, étant vue de face, ne peut être identifiée par un navigateur.

D'autre part la lanterne du phare de Tréguier se trouve masquée par un rideau d'arbres lorsqu'on s'approche à une distance d'environ 600 mètres de la côte sur l'alignement d'entrée du port de Tréguier.

5. DOCUMENTS REDIGES

La rédaction des travaux a donné lieu à l'établissement des documents suivants :

- 3 minutes de bathymétrie au 1/5 000.
- 19 fiches géodésiques.
- 2 fiches d'observatoire de marée.

ANNEXE AU CHAPITRE I.1

Amers de l'embouchure de la Vilaine repérés et fichés par la MHA en 1977

Désignation	Repères	Coordonnées Lambert II		Classification amers	Observations
		X	Y		
Balise de la pointe de Penlan	Sommet	235 472,5	291 235,4	1	Balise inclinée
Chateau d'eau de Kerrouault	Antenne axiale	246 246,5	285 847,2	4	Amer nouveau
Phare de la pointe du Scal	Axe	239 791,7	288 156,9	2	
Blockhaus de Kervoyal	Croix gravée	232 126,8	290 476,1	0	
Chateau d'eau de Muzillac	Axe	236 318,1	296 282,6	4	Amer nouveau
Chateau d'eau de Lantierne	Axe	242 971,3	292 794,2	4	Amer nouveau
Chateau d'eau de Damgan	Axe	229 983,1	291 582,5	3	Amer nouveau
Moulin de Penestin	Axe	237 338,2	287 136,3	2	Amer nouveau
Tourelle rouge et blanche de Kervoyal	Axe	232 607,1	289 918,3	2	
Balise des Mats Pointe du Bile	Sommet de la balise	229 170,1	288 434,7	1	Balise inclinée
Balise noire et jaune Anse de Betahon	Sommet de la balise	233 870,1	290 869,5	1	Balise inclinée
Balise noire et jaune Anse de Betahon	Sommet de la balise	233 379,0	291 412,2	1	
Balise noire et jaune Anse de Betahon	Sommet de la balise	234 449,8	290 904,6	0	
Phare de Penlan	Centre de la boule	235 815,16	290 849,4	3	Point IGN
Phare de Tréguier	Sommet	240 178,5	287 967,4	3	
Mur d'Alignement de Penlan	Milieu du Mur vu du large	236 606,2	290 951,8	2	
Tour des Prières	Paratonnerre	236 945,8	291 628,45	3	
Le Moustoir pointe	Douille en bronze	239 898,7	289 009,55	0	

I.2. RECHERCHES AUX ABORDS DE BENODET

1. GENERALITES

L'anse de Benodet avait été sondée en 1970 par la Mission Hydrographique de Dragage (*); Des échos douteux avaient été obtenus sur des têtes de roches situées dans l'est de la balise Men Audierne figurant sur la carte 6 649. Il convenait de lever le doute quant à

(*) Cf. Rapport de l'ICA Pieretti-MHD (1969-1972), *Annales Hydrographiques* (1977) n° 747 p. 65.

l'existence des quatre obstructions suivantes :

- 0,1 dans l'azimut 110 et à 2 080 m de la balise de Men Audierne
- 0,2 dans l'azimut 086 et à 1 600 m de la balise de Men Audierne
- 0,7 dans l'azimut 087 et à 1 850 m de la balise de Men Audierne
- 1,1 dans l'azimut 093 et à 1 700 m de la balise de Men Audierne.

47°51'N

MHA 1977

ANSE DE BENDEDET

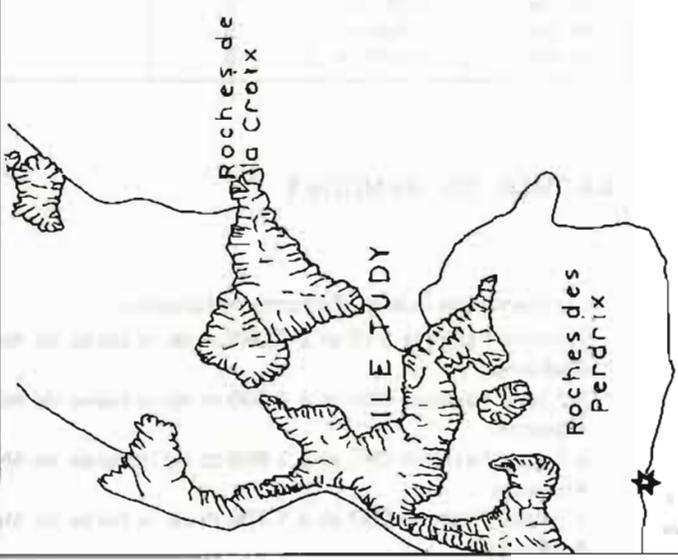
Zone levée au 1/10 000

Echelle



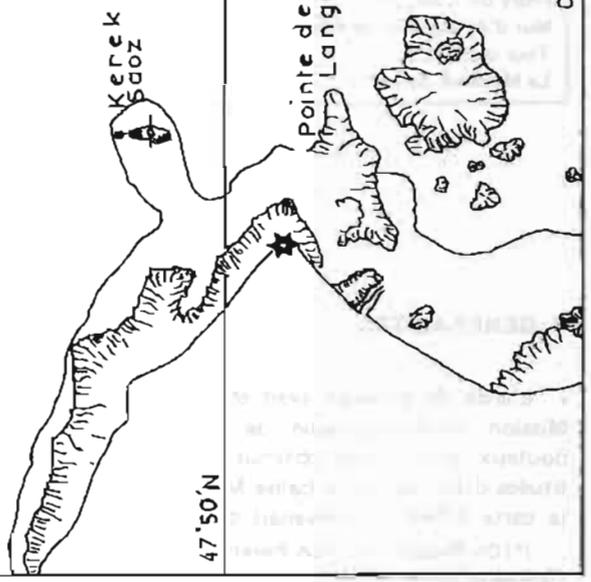
Roche Margodie

Men Audierne



Kerek 500Z

Pointe de Langoz



47°50'N

47°50'

004° 08'W

004° 09'W

2. CARACTERISTIQUES DES TRAVAUX

Les travaux prescrits ont été effectués par les vedettes de l'*Astrolabe* du 18 au 22 avril 1977.

La localisation était assurée par deux angles pris au cercle hydrographique et par le Trident dont les balises occupaient les positions suivantes :

Désignation	Coordonnées Lambert II		Altitude
	X	Y	
Château d'eau de Fouesnant	125 361,27	340 652,83	94 m
Château d'eau de Pont Labbé	109 750,12	340 244,94	92 m

Ces recherches ont comporté trois phases :

— Levé préliminaire effectué au sondeur vertical sur les têtes dont l'existence était à contrôler. L'espacement des profils était de 10 m de manière à obtenir une reconnaissance fine du fond. La zone levée est indiquée sur la planche 4 et a donné lieu à l'établissement d'une minute de recherche au 1/10 000.

— Exploration au sondeur latéral Edgerton. Les profils espacés de 50 mètres ont été suivis uniquement au voisinage de la pleine-mer. La zone explorée recouvre la zone sondée figurant sur la planche 4.

— Dragage Hydrographique. Deux passes de drague ont été effectuées sur la première obstruction citée dans les généralités, et deux autres sur les trois suivantes.

Les deux vedettes du BH2 *Astrolabe* remorquaient la drague tandis que le Zodiac servait d'embarcation test.

Les opérations de dragage ont été rendues délicates à cause de la vitesse élevée du courant et de la nécessité de draguer très près du fond.

3. MAREE

Les sondes ont été réduites de la marée observée au marégraphe permanent du Port Tudy à l'île de Groix.

La planche 5 fournit les caractéristiques de cet observatoire qui sont extraites de la fiche établie en 1975 par la MOA. Les différents repères ne sont pas rattachés au N.G.F.

Désignation des repères	Description des repères	Côte par rapport au zéro de réduction des sondes
A	Repère S.H. à proximité du mur est de l'observatoire Repère fondamental de l'observatoire.	7,168 m
B	Repère S.H. à l'enracinement du quai est près de la façade nord de la station Fina.	6,857 m
C	Repère S.H. sur le quai ouest en face de la route venant du bourg.	8,560 m
D	Sommet du piton d'un organeau scellé dans le quai de la jetée inférieure près de la dernière bitte en pierre.	6,461 m

4. INFORMATION NAUTIQUE

Il a été procédé à une revue des amers et du balisage. Les changements intervenus dans la situation du balisage figurant sur la carte 6 649 sont répertoriés dans l'annexe jointe au présent chapitre.

5. RESULTATS

Les deux hauts-fonds découvrant recherchés n'existent pas. Les levés aux sondeurs vertical et latéral n'ont mis en évidence que deux têtes caractéristiques cotées 2,1 m et 2,0 m.

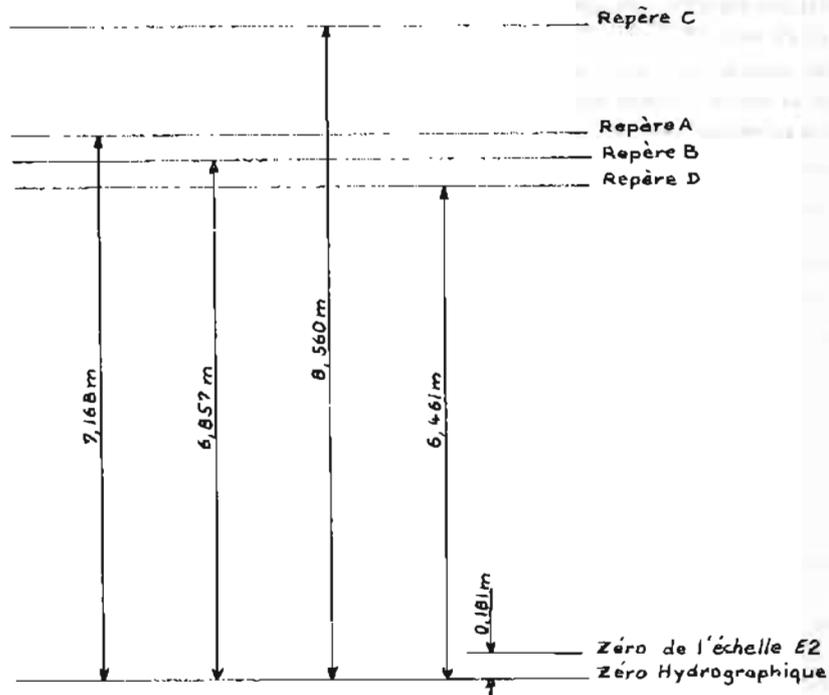
Les passages de drague permettent d'assurer un plafond de 2,5 m dans la zone sud-est et un plafond de 1,3 m dans la zone nord-ouest.

Une recherche effectuée par plongeurs a révélé que les quatre obstructions recherchées correspondent à des roches recouvertes de laminaires de trois mètres de haut environ, donnant des échos diffus au sondeur vertical. En période de flot ou de jusant, les algues sont couchées par le courant. En période d'étales, elles sont verticales et affleurent la surface, constituant une gêne certaine pour les petites embarcations.

6. DOCUMENTS REDIGES

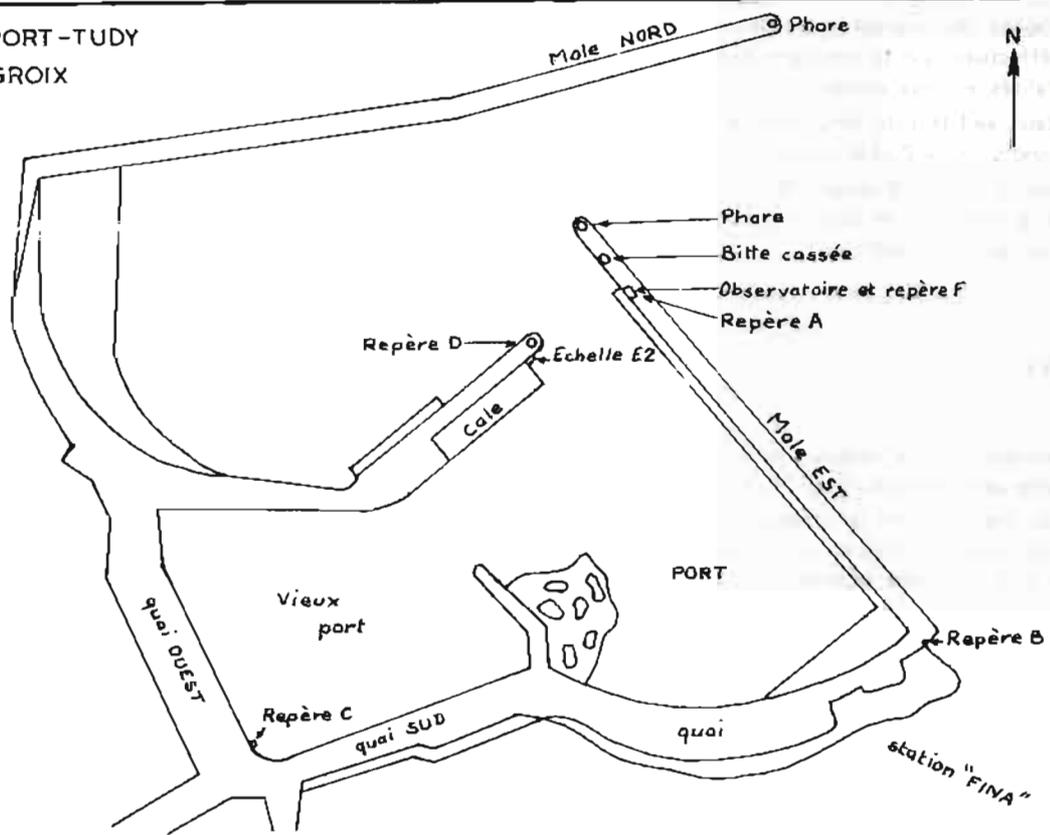
- Une minute de recherche au 1/10 000.
- Une minute de dragage au 1/10 000.
- 5 fiches géodésiques.

OBSERVATOIRE DE MAREE A PORT-TUDY



Cotes des différents repères

Port de PORT-TUDY
ILE de GROIX



Situation de l'observatoire

ANNEXE AU CHAPITRE I.2

Modifications du balisage de la région de Benodet

Désignation	Coordonnées Lambert II		Observations
	X	Y	
Balise noire n° 1 Pointe de Moustierlin Balise noire n° 2 Pointe de Moustierlin Balise noire n° 3 Pointe de Moustierlin	122 557,54 122 674,68 122 653,10	335 077,55 335 303,09 335 400,77	Pointe de Moustierlin Les deux balises noires qui figurent sur la carte aux positions : L = 47°50', 9 N L = 47°50', 3 N G = 04°03', 0 W et G = 04°02', 6 W n'existent plus. Elles sont remplacées par les balises noires n° 1-2-3 mentionnées ci-contre.
Balise rouge et blanche extrémité de la cale de Moustierlin	123 002,40	335 593,10	
Feu rouge, Pointe de Toulgoat à Benodet	117 926,64	338 928,18	

I.3. LEVE DU CAP D'ALPRECH AU TOUQUET

Ce chapitre est relatif aux travaux entrepris par mes prédécesseurs, les ICA Dars et Ribet, et vient en complément des rapports de Mission établis par ceux-ci (*).

1. GENERALITES

Ce levé côtier au 1/10 000 avait pour limites :

- Au nord une droite orientée au 303° issue du phare du Cap Gris-nez.
- A l'est, la côte du Boulonnais.
- A l'ouest, le levé M.H.A. 1973.
- Au sud, une droite orientée au 280° issue du phare du Touquet.

Les travaux s'échelonnèrent de Mai à Septembre 1977. La bande côtière fut levée en vedette. La zone du large y compris les ridins de la Bassure de Baas par le BH2 *Astrolabe*.

2. CARACTERISTIQUES ET DEROULEMENT DES TRAVAUX

Au 01.02.77, l'état d'avancement des travaux était le suivant : les travaux dans la zone située au nord d'une droite orientée au 280° du phare d'Alprech étaient achevés.

Au sud de cette limite, il restait à lever :

- Au nord une zone de deux milles de large pour assurer la continuité avec le levé effectué en 1975 au Trident.
- De nombreux secteurs sur la Bassure de Baas.
- La bande côtière d'environ deux milles de large en totalité entre Alprech et le Touquet.

En fait, pour plus d'homogénéité, le levé effectué au Toran en 1976 a été repris dans sa presque totalité à l'exception d'une bande parallèle à la côte où le gradient du fond était très faible. L'ensemble de la zone levée figure sur la planche 6.

2.1. Localisation

Le levé bathymétrique a été effectué, le bâtiment suivant des profils circulaires Trident centrés sur les stations du Cap d'Alprech, du Mont Saint Frieux, du club nautique d'Étaples et des phares du Touquet et de Berck. Les positions des balises sont répertoriées dans le tableau suivant :

Les positions des balises sont repertoriées dans le

(*) *Annales Hydrographiques* (1979), n° 753, p. 100.
Annales hydrographiques (1980), n° 754, p. 139.

Désignation	Coordonnées Lambert I		Altitude Z	Observations
	X	Y		
Blockhaus du Cap d'Alprech	545 283,15	333 542,35	55 m	L'émission de la balise n'est pas reçue au voisinage de la côte.
Mont St Frioux	548 370,6	323 702,2	145 m	Pas d'alimentation secteur. Site excellent.
Club Nautique d'Étapes	549 582,1	313 775,5	5 m	Pas d'alimentation secteur.
Phare du Touquet	544 211,1	314 119,4	59 m	Site excellent. Alimentation secteur.
Phare de Berck	544 844,3	300 204,0	52 m	Site excellent. Alimentation secteur.

A proximité immédiate de la côte, la mesure des distances Trident a été mauvaise en raison de réflexions parasites en particulier sur les falaises du Cap d'Alprech. Chaque fois que le Trident a présenté des anomalies de fonctionnement, il a été nécessaire de recourir à des lieux optiques complémentaires.

2.2. Sondages effectués

Le levé a été exécuté à l'échelle de 1/10 000, l'espacement des profils étant de 100 m. Le long de la côte du Boulonnais, la direction privilégiée des vents se situe de l'ouest au nord-ouest. Les fonds étant relativement peu importants, la mer se lève très rapidement. La côte rocheuse sous le Cap d'Alprech est très dangereuse et la mer brise en permanence. Le travail de l'*Astrolabe* et de ses vedettes a de la sorte été rendu délicat.

L'embouchure de la Canche est formée de bancs de sable sur lesquels la houle déferle et qui n'est franchissable en vedette que par très beau temps et faible courant. L'estuaire a été levé jusqu'à la limite du méridien du Club Nautique du Touquet.

Sur la Bassure de Baas, zone de ridins s'étendant parallèlement à la côte, des intercalaires de sonde ont été effectués réduisant l'espacement entre deux profils à 50 mètres au maximum. Ces profils supplémentaires ont été arrêtés à l'isobathe des 20 mètres.

Les ressauts de fond décelés lors du levé bathymétrique ont donné lieu ultérieurement à des sondages serrés.

Les épaves archivées au fichier "Epaves" de l'EPSHOM ou reconnues lors du levé régulier ont fait l'objet de recherches fines aux sondeurs latéral et vertical.

3. TOPOGRAPHIE

La topographie du trait de côte a été levée simultanément avec l'exécution du levé bathymétrique. Ces travaux ont été effectués par cheminement classique au théodolite T2 et à la stadia, la restitution de photographies aériennes étant impossible compte tenu de la morphologie de la côte constituée essentiellement de plages de sables rectilignes.

Entre Sangatte et Gris Nez, une bande littorale de 4,5 km située à l'ouest de Sangatte a été levée.

La côte est formée à cet endroit de hautes falaises infranchissables, excepté à de très rares endroits. La laisse de pleine-mer épouse le pied des falaises. La mer montant très rapidement, les équipes ont du travailler exclusivement au voisinage de la basse-mer pour ne pas être bloquées. Les plateaux rocheux portés sur la carte en service existent toujours mais arrivent maintenant au niveau du sable de la plage.

D'Alprech au Touquet, la côte est rectiligne jusqu'à l'embouchure de la Canche. D'Equihen à la plage de St Gabriel, le rivage est constitué d'une succession ininterrompue de dunes. Les riverains estiment que le mer gagne environ 1 mètre tous les six ans. Les Blockhaus, vestiges du mur de l'Atlantique, sont maintenant pour la plupart sur la plage.

Quatre épaves découvrantes, situées au sud d'Hardelot et sur la plage de St Gabriel ont été reconnues lors du levé topographique. Ces épaves, enfouies dans le sable, sont les restes de chalutiers en bois. Les sommets des membrures sont recouverts à marée haute et représentent des dangers pour les petites embarcations.

4. INFORMATION NAUTIQUE

Une révision des amers et du balisage a été effectuée de Calais au Touquet à partir des observations de l'*Astrolabe* et des exemplaires des cartes marines n° 4862, 5094, 5513, 5519, 5525, 5526, 6468, 6500, 6501, 6436, 6474, ont été mis à jour.

Les amers sélectionnés ont été placés avec la précision requise par une mission à terre.

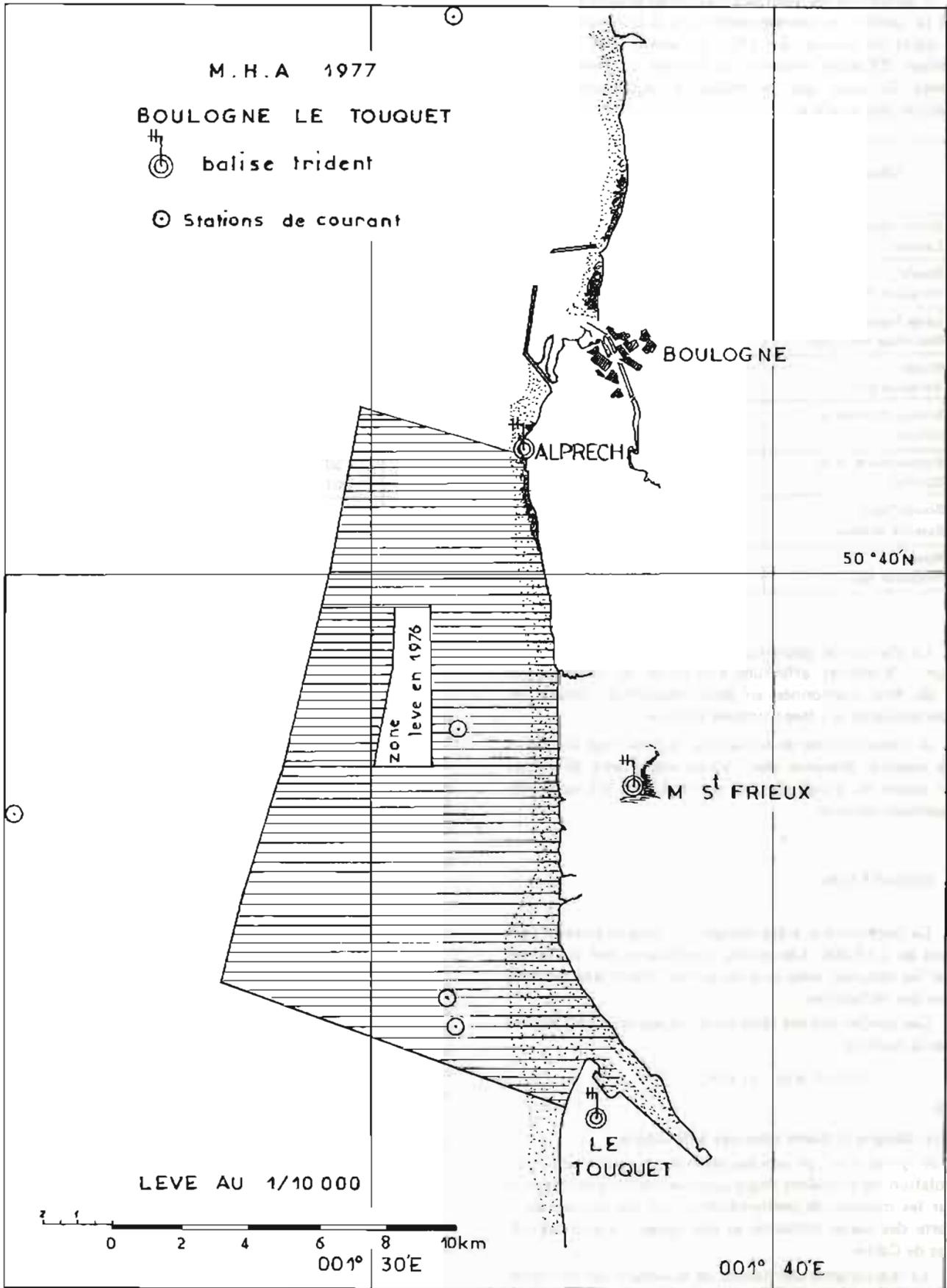
La liste des amers répertoriés et classés est donnée en annexe jointe au présent chapitre. D'autre part, le balisage fixe et flottant de la rivière La Canche a été positionné.

Les balises portées sur la carte en :

$$L = 50^{\circ} 51' 30'' \text{ N} - G = 001^{\circ} 34' 48'' \text{ E}$$

$$L = 50^{\circ} 51' 12'' \text{ N} - G = 001^{\circ} 34' 18'' \text{ E}$$

n'existent plus.



Il arrive que les positions réelles des bouées du chenal de la Canche ne correspondent pas à celles portées sur la carte en service. En effet, le service des phares et Balises d'Étaples mouille les bouées en fonction des bancs de sable qui se déplacent régulièrement sous l'action des courants

5. COURANTS

Des mesures de courte et de longue durée ont été réalisées à l'aide de courantographes Mécaboliér à enregistrement photographique aux emplacements et époques repertoriés dans le tableau suivant :

Désignation	N° d'identité du fichier EPSHOM	Immersion (mètre)	Position Latitude Longitude	Période d'observation
Embouchure de la Canche	SH 917	5	50° 32' 18" N 001° 32' 24" E	28.06.77 au 30.06.77
Bouée Vergoyer Est	918	5	50° 35' 50" N 001° 19' 45" E	20.06.77 au 07.07.77
Large Hardelot Mouillage Astrolabe	920	5	50° 37' 35" N 001° 32' 15" E	14.09.77 au 16.09.77
Bouée Vergoyer Est	922	16	50° 35' 50" N 001° 19' 45" E	20.06.77 au 07.07.77
Embouchure de la Canche	925	5	50° 32' 45" N 001° 32' 15" E	05.09.77 au 06.09.77
Embouchure de la Canche	928	5	50° 33' 12" N 001° 31' 53" E	07.09.77 au 09.09.77
Bouée Nord Bassure de Baas	929	5	50° 48' 42" N 001° 33' 06" E	05.09.77 au 07.09.77
Bouée Vergoyer Est	930	5	50° 35' 50" N 001° 19' 45" E	05.09.77 au 21.09.77

La station de courantométrie de 15 jours à l'immersion - 5 mètres, effectuée à la bouée de Vergoyer Est a dû être fractionnée en deux séquences, l'hélice du courantographe s'étant trouvée bloquée.

À l'embouchure de la Canche, le mouillage des lignes de mesures présente des risques importants de pertes en raison du grand nombre de chalutiers d'Étaples fréquentant les lieux.

6. REDACTION

La bathymétrie a été rédigée sur cinq minutes d'écriture au 1/10 000. Les profils intercalaires ont été portés sur les minutes, ainsi que les sondes minimales trouvées lors des recherches.

Les sondes ont été réduites de la quantité $h(t)$ définie par la formule :

$$h(t) = k(x, y) \times H[t + \theta(x, y)]$$

où :

$H(t)$ désigne la marée observée à Boulogne,

$K(x, y)$ et $\theta(x, y)$ représentent des polynômes d'interpolation du troisième degré dont les coefficients figurent sur les minutes de bathymétrie et ont été extraits de la carte des lignes cotidales et des lignes d'isomarnage du Pas de Calais.

Le marégraphe permanent de Boulogne est entretenu par le service des Phares et Balises. L'échelle de marée du port a été changée au mois de septembre 1977.

7. RESULTATS DES SONDAGES

La configuration générale des fonds tels qu'ils figurent sur la carte est globalement conforme à la réalité. Toutefois, le levé a fait apparaître un déplacement vers le nord de la Bassure de Baas et un ensablement important au nord de la Jetée de la pointe de la Crèche (jetée Nord de Boulogne).

La Bassure de Baas culmine à 4,9 m aux points de coordonnées Lambert I :

$$X = 539\ 830 \quad \text{et} \quad X = 539\ 900$$

$$Y = 324\ 230 \quad \text{et} \quad Y = 324\ 420$$

L'allure des isobathes est très complexe. Dans cette zone de ridins, les fonds sont en constante évolution sous l'action des courants. En dehors de ce banc, aucune obstruction isolée importante n'a été découverte. La laisse de basse-mer n'a pas subi de modifications notables par rapport à la position figurant sur la carte marine.

Les épaves ont fait l'objet de recherches fines au magnétomètre et au sondeur latéral.

Celles figurant sur la carte aux points de coordonnées :

$$L = 50^\circ 53' 38'' \text{ N} \quad \text{et} \quad L = 50^\circ 53' 25'' \text{ N}$$

$$G = 001^\circ 39' 45'' \text{ E} \quad \quad G = 001^\circ 39' 34'' \text{ E}$$

n'existent plus.

L'épave de l'ancien cargo *Merida* situé à l'embouchure de la Canche au point de coordonnées rectangulaires ; $x = 544\ 920 - y = 316\ 855$ s'est disloquée. Il

n'en reste que des fragments de hauteur maximum 0,8 m.
L'épave du bâtiment *Rhea* répertoriée sous le numéro

21601 – 100 au fichier EPSHOM a été retrouvée. Ses caractéristiques sont les suivantes.

Coordonnées géographiques		Coordonnées Lambert I		Brassiage	Hauteur au-dessus du fond
L	G	X	Y		
50° 32',298 N	001° 30',034 E	540 925	315 820	12,4 m	5 m

8. DOCUMENTS REDIGES

5 minutes de Bathymétrie au 1/10 000
5 minutes de Recherche au 1/10 000

5 minutes de Topographie au 1/10 000
51 fiches d'amers
12 fiches d'Epaves
2 fiches d'obstrutions
8 dossiers de Courantométrie.

ANNEXE AU CHAPITRE I.3

Reconnaissance d'Amers de Calais au Touquet

Designation	Repère	Coordonnées Lambert I		Classification amers	Observations
		X	Y		
Calais • Beffroi	Axe de la Tour	565 776,2	362 399,75	4	
Calais Cheminée					
– la plus fine	Axe	565 634,8	359 237,5	1	
– la moins élevée	Axe	565 722,9	359 175,9	1	
– la plus grosse	Axe	565 817,05	359 019,55	1	
Blockhaus à Sangatte	Croix gravée	557 997,5	360 545,2	0	
Blockhaus à Sangatte	Croix gravée	560 555,2	361 801,1	0	
Moulin d'Escales	Axe du moulin	556 951,7	357 660,3	1	
Moulin de Coquelles	Paratonnerre du moulin	561 999,05	358,890,85	2	
Calvaire de Haringzelles à Audinghen	Piquet en fer	547 198,7	349 374,8	0	
Réservoir d'Onclevert	Croix peinte	550 396,2	349 010,4	0	
Clocher de Tardinghen	Axe du clocher	550 325,9	352 303,2	1	
Mont Mallasis Tardinghen	Piquet en acier	549 716,6	352 210,0	0	
Pointe de la Rochette	Croix peinte sur blockhaus	548 437,5	342 299,7	0	
Pointe aux Oies Wimereux	Croix peinte sur blockhaus	548 279,0	343 288,5	0	
Château d'eau de Wimereux	Axe du château d'eau	549 490,25	342 461,6	4	
Grand Hôtel de Wimereux	Sommet de la tour Sud	548 477,6	341 115,3	3	
Fort-Mahon à Ambleteuse	Croix gravée	548 103,0	345 454,3	2	
Clocheton d'une maison à Ambleteuse	Sommet du clocheton	548 104,8	345 819,0	1	
Eglise St Vincent de Paul à Boulogne	Axe du clocher	547 612,05	335 272,45	2	
Blockhaus digue Nord de Boulogne	Croix gravée blockhaus Sud	547 784,3	339 324,6	0	
	Croix gravée blockhaus Nord	547 792,2	339 380,1	0	
Sémaphore de Boulogne	Axe du mat	547 944,0	337 357,8	1	
Fort de la Crèche à Boulogne	Embase du mat	548 081,6	339 161,4	1	Mat incliné
Radiophare directionnel à Boulogne	Mat du radiophare	547 687,8	338 111,0	1	
	douille sur blockhaus	547 647,5	338 140,7	0	
Tour de dispatching de Boulogne	Axe de la tour	547 183,5	337 003,8	1	Construction récente
Cimenterie port de Boulogne	Axe de la tour	546 050,8	336 777,8	4	
Fort du Mont couple à Boulogne	Tige en fer dans l'axe de la coupole centrale du blockhaus	546 057,2	335 079,4	1	
	Douille en bronze	546 056,6	335 073,6	0	
Feu vert jetée sud-ouest	Axe de la lanterne	546 956,4	337 264,4	1	

Désignation	Repère	Coordonnées Lambert I		Classification amers	Observations
		X	Y		
Calvaire du mont Pont à Boulogne	Axe de la croix	547 817,4	337 222,3	1	
Clocher église St Pierre à Boulogne	Axe de la croix	548 126,8	336 807,4	1	
Blockhaus au sud-ouest du phare d'Alprech	Croix gravée	545 283,15	333 542,35	0	
Station Anesse à Alprech	Piquet en fer	545 278,05	233 669,15	0	
Syndicat d'initiative d'Hardelot	Axe du mat	546 229,9	326 547,0	0	
Mont St Frioux	Douille en bronze	546 229,2	326 539,8	0	
	Douille en bronze	548 373,3	323 703,0	0	
Cheminée Cuviller à Dannes	Axe de la cheminée	549 173,9	321 152,5	3	
Cheminée Roy à Dannes	Axe de la cheminée	549 001,3	320 432,6	2	Tombe en ruine
Pylone de télévision à Dannes	Axe de l'antenne	549 872,1	321 019,2	2	
Blockhaus club nautique du Touquet	Repère bronze	547 203,95	315 688,2	0	
Blockhaus Plage du Touquet	Douille	547 229,8	315 692,3	0	
Clocheton PTT Le Touquet	Sommet du clocheton	546 614,9	313 960,4	1	
Phare de Berck	Axe de la lanterne	544 846,57	300 203,14	4	
Phare du Touquet	Axe de la lanterne	547 213,85	314 119,39	4	

I.4. VERIFICATION DES ACCES AU PORT DE BOULOGNE

1. CARACTERISTIQUES ET DEROULEMENT DES TRAVAUX

Ces travaux venaient en complément du levé régulier effectué par la M.H.A. en 1976 (rapport de l'ICA Ribet (*)).

Ils avaient pour objectif de rechercher de manière systématique à l'aide du sondeur latéral les obstructions éventuelles se trouvant dans le chenal d'accès à Boulogne, le sondeur vertical étant maintenu en fonction.

La zone explorée est indiquée sur la planche 7 et se trouve limitée vers le large par l'isobathe des 20 mètres.

Ce levé a été réalisé entre le 16 et 19 octobre 1977, le bâtiment ayant bénéficié d'un temps exceptionnellement beau. Etant donné la densité du trafic qui règne aux abords de Boulogne et la présence presque permanente de chalutiers dans le chenal, les sondages ont été effectués uniquement en vedettes, ces dernières étant beaucoup plus manœuvrantes que l'*Astrolabe*.

Les obstructions découvertes ont été visitées par des plongeurs. Le brassage des épaves a été déterminé à l'aide d'un bathygraphe placé sur les points les plus hauts.

2. LOCALISATION

Le levé a été divisé en deux secteurs distincts :

- abords des jetées
- partie ouest du chenal

La localisation a été assurée :

- dans le premier secteur par radioguidage optique et deux distances Trident.
- dans le second secteur au Trident plus un angle pris au cercle hydrographique, les profils servant de guide étant des cercles centrés sur le sémaphore de Boulogne.

Les stations sont répertoriées dans le tableau suivant :

Désignation	Coordonnées Lambert I		Observations
	X	Y	
Radiophare directionnel de Boulogne	547 682,5	338 112,5	Station de radioguidage
Sémaphore de Boulogne	547 938,56	337 357,82	Balise Trident
Cap d'Alprech	545 283,15	333 542,35	Balise Trident

(*) *Annales Hydrographiques* (1980) n° 754 p. 139.

L'espacement des profils suivis a été de 100 mètres au maximum.

001° 30' E

001° 35' E

MHA 1977

Exploration du chenal de BOULOGNE

50° 47' N

Rade
d'Ambleteuse

101° 5

50° 45' N

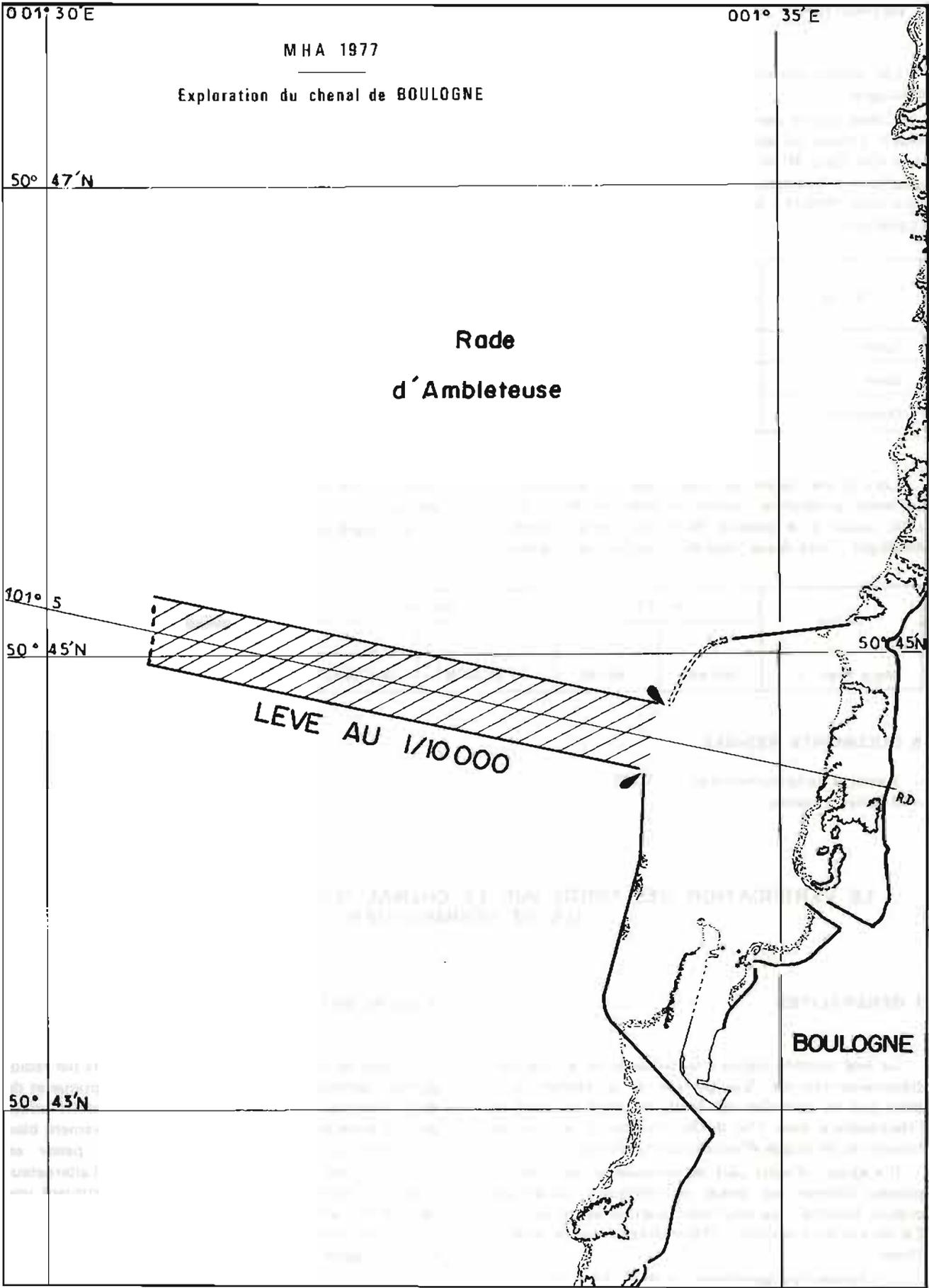
50° 45' N

LEVE AU 1/10000

R.D.

BOULOGNE

50° 43' N



3. REDACTION

Les sondes ont été réduites de la marée observée à Boulogne.

L'observatoire permanent situé près de l'écluse du Bassin Loubet est décrit sur la planche n° 8 du rapport de l'ICA Dars MHA (1974-1976) (*). Le zéro hydrographique à Boulogne est situé à 4,388 m au dessous du zéro IGN 1969 et à 5,020 m au dessous du zéro N.G.F. (Lallemand).

La rédaction de ces travaux a donné lieu à l'établissement d'une minute d'écriture B10³³.

4. RESULTATS

Deux épaves et une obstruction nouvelles reconnues au cours du levé sonal ont fait l'objet de recherches fines. Les données sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

Nature	Lambert I		Europe 50		Brassage en mètres	Hauteur au dessus du fond
	X	Y	L	G		
Epave	545 668	338 485	50°44'36"N	001°34'05"E	8,7	2,3
Epave	544 132	338 885	50°44'49"N	001°32'47"E	13,7	2,2
Obstruction	545 202	338 660	50°44'42"N	001°33'42"E	11,7	0,8

Lors d'une escale de l'*Astrolabe* à Boulogne, le bâtiment a reconnu l'épave du chalutier *Marie Ange Loïc* coulé à la bordure Nord du chenal d'accès à Boulogne. Cette épave, repérée en surface par une bouée

fuseau, a été détectée au magnétomètre et au sondeur vertical.

Ses caractéristiques sont les suivantes :

Nature	Lambert I		Europe 50		Brassage	Hauteur au dessus du fond
	X	Y	L	G		
Marie Ange	545 449	340 265	50°45'34"N	001°33'53"E	8,7	4,3 m

5. DOCUMENTS REDIGES

- 1 minute de bathymétrie au 1/10 000
- 3 fiches d'épaves.

1.5 VERIFICATION DES FONDS SUR LE CHENAL D'ACCES A L'HERBAUDIÈRE, ILE DE NOIRMOUTIER

1. GENERALITES

Le levé prescrit, réalisé à la demande de la Direction Départementale de l'Équipement de la Vendée, avait pour but de contrôler les fonds au nord du port de l'Herbaudière dans l'île de Noirmoutier à la suite de travaux de déroctage effectués dans le chenal.

Il s'agissait d'autre part de retrouver et de coter un plateau rocheux sur lequel de nombreux plaisanciers avaient talonné, ce haut-fond étant situé en bordure Est du chenal à environ 1 250 mètres du feu de la jetée Ouest.

(*) *Annales Hydrographiques*, (1979) n° 753, p. 102.

2. LOCALISATION

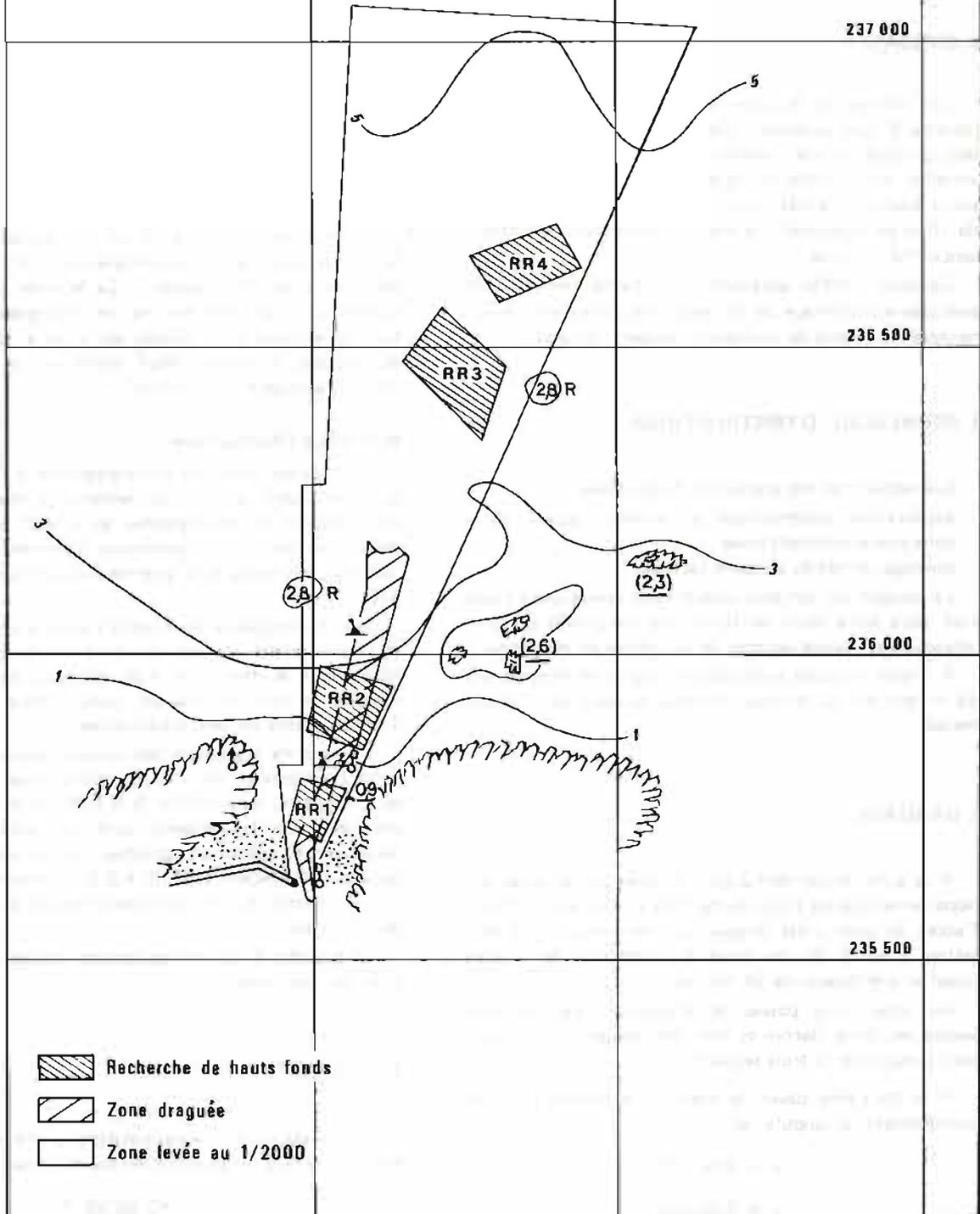
Le positionnement des vedettes a été assuré par radioguidage optique complété d'un traversier optique et de deux distances Trident. Le matériel Trident III utilisé pour la première fois en vedette, s'est relativement bien comporté. L'interrogateur a toléré sans passer en "Alarme" les surtensions débitées par l'alternateur couplé au moteur de propulsion, ceci constituant une nette amélioration par rapport au Trident II.

La liste des points utilisés est répertoriée dans le tableau ci-après :

M H A 1978

L'HERBAUDIÈRE - ILE DE NOIRMOUTIER

Echelle 1/10000



Désignation des stations	Repère	Coordonnées Lambert II		Observations
		X	Y	
Ursula	Douille	247 983,1	235 570,9	Station Guide
Julia	Douille	247 264,8	235 394,3	Station Trident
Claudia	Douille	249 118,9	235 527,2	Station Trident

3. SONDAGES

Les limites de la zone levée sont indiquées sur la planche 8. Les sondages réguliers ont été effectués par radioguidage d'une vedette à partir d'une station installée sur le môle du canot de sauvetage. Les profils suivis étaient orientés suivant l'axe de la passe et espacés de 10 m au maximum de manière à obtenir une connaissance fine du fond.

Certains profils adjacents au chenal ont dû être exécutés au voisinage de la pleine-mer, la vedette devant naviguer au dessus de nombreux dangers rocheux

4. RECHERCHE D'OBSTRUCTIONS

Ces recherches ont comporté deux phases :

- exploration systématique au sondeur latéral de la zone précédemment levée.
- sondages serrés au sondeur vertical.

Le poisson du sondeur latéral était remorqué à l'aide d'un câble armé court de 15 mètres. Les profils suivis en radioguidage étaient espacés de 50 mètres en moyenne.

A l'issue de cette exploration, quatre recherches ont été effectuées au sondeur vertical suivant des réseaux croisés.

5. DRAGAGE

A la suite d'une demande formulée par la Direction Départementale de l'Équipement de la Vendée, le chenal d'accès au port a été dragué sur une longueur de 400 mètres à partir du feu situé à l'extrémité de la jetée Ouest et une largeur de 25 mètres.

Au total, cinq passes de drague ont été réalisées. Seules les deux dernières ont été rédigées. La drague était constituée de trois sections.

A la troisième passe, la drague a croché au point de coordonnées rectangulaires :

$$x = 248\ 037$$

$$y = 235\ 876$$

et cassé.

6. MAREE

La marée a été observée simultanément à St Gildas et à l'Herbaudière du 23.03 au 05.04.1978 et du 18.05 au 25.05.1978.

a) Marée à la pointe de St Gildas

Un marégraphe implanté sur la jetée de la Pointe de St Gildas fonctionne en permanence sous la surveillance du Service de l'Équipement. La Mission a effectué un nivellement de contrôle de ce marégraphe. Le zéro hydrographique à St Gildas est situé à 13,660 mètres au dessous du repère NGF scellé sur le bâtiment de l'ancien sémaphore, face Sud.

b) Marée à l'Herbaudière

La Mission a installé un marégraphe à l'extrémité de la digue Ouest, le zéro de l'échelle de marée (fixée au bâti support du marégraphe) se situant à 0,482 m au dessus du zéro hydrographique traditionnel. En cette position, le marégraphe assèche par coefficient supérieur à 92.

Une concordance en hauteurs établie entre St Gildas et l'Herbaudière n'a pas mis en évidence de différence nécessitant la définition d'un nouveau zéro hydrographique, le zéro obtenu par concordance se situant à 2 cm au dessus du zéro traditionnel.

Le zéro de réduction des sondes retenu est donc le zéro traditionnel de l'Herbaudière situé à 10,635 m au dessous du repère NGF 0i K3 36 scellé dans un mur jouxtant une boulangerie près du port. Ce repère recouvert de plusieurs couches de peinture n'est pas apparent. Le repère NGF 0i K3 37 (Boulon) scellé dans la jetée Ouest du port a disparu lors de la construction du terre-plein.

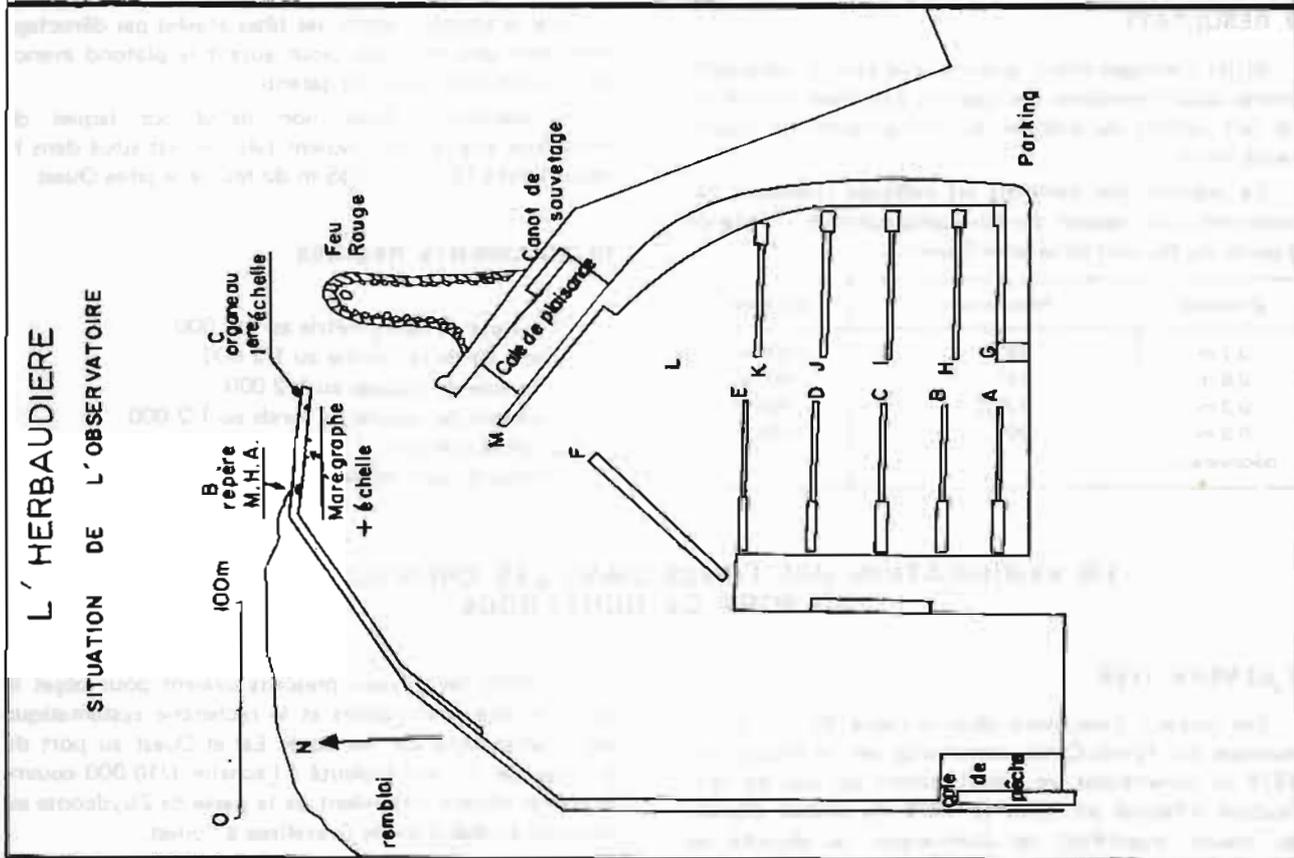
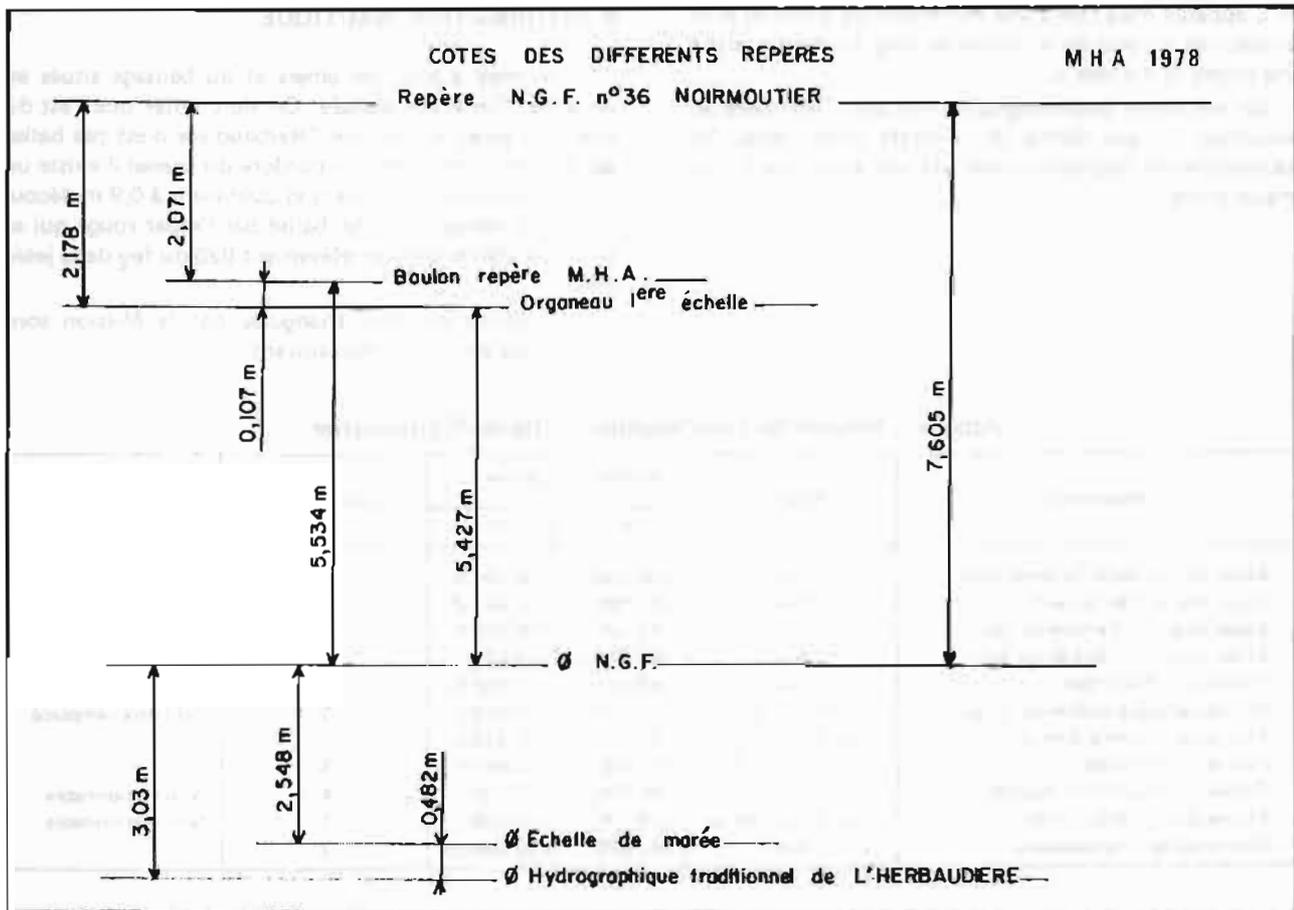
La planche 9 fournit les caractéristiques de l'observatoire de l'Herbaudière.

7. COURANTS

Une station de courantométrie a été effectuée du 19.05 au 23.05.78 au point de coordonnées :

$$L = 47^{\circ}02'48''N$$

$$G = 002^{\circ}17'30''N$$



Pl. 9

L'appareil était fixé à une immersion de 5 mètres sous un cabrion en bois de 6 mètres de long, lui-même relié à une bouée de surface.

Un deuxième courantographe fixé sous l'*Astrolabe* au mouillage n'a pas donné de résultats exploitables, les oscillations du bâtiment autour de son ancre étant trop importantes.

8. INFORMATION NAUTIQUE

Une mise à jour des amers et du balisage situés au nord de l'île a été réalisée. On doit noter que l'est du chenal d'accès au port de l'Herbaudière n'est pas balisé de manière cohérente. En bordure du chenal il existe un plateau rocheux découvrant et culminant à 0,9 m découvrant. Ce danger est mal balisé par l'espar rouge qui se trouve à 200 m dans le relèvement 028 du feu de la jetée Ouest.

Les amers durables triangulés par la Mission sont récapitulés dans le tableau suivant :

Amers – Région de l'Herbaudière – Ile de Noirmoutier

Désignation	Repères	Coordonnées Lambert II		Classification Amer	Observations
		X	Y		
Espar noir et blanc Cardinal Ouest	Axe	246 853,1	235 761,6	1	
Espar noir entrée du port	Axe	247 899,6	235 801,8	1	
Espar rouge n° 1 entrée du port	Axe	248 086,0	235 819,6	1	Incliné
Espar rouge n° 2 entrée du port	Axe	248 010,2	235 635,1	1	Incliné
Tourelle du Martroger	Axe	249 017,0	237 405,5	3	
Feu rouge digue intérieure du port	Axe du feu	247 974,2	235 584,5	0	Doit être remplacé
Feu rouge nouvelle jetée Est	Axe de la lanterne	248 017,4	235 615,6	1	
Feu vert jetée Ouest	Axe du feu	247 980,0	235 647,4	3	
Château d'eau de Noirmoutier	Axe et sommet	250 024,7	233 754,3	4	Non stationnable
Feu de la pointe du Devin	Axe de la lanterne	248 034,1	231 038,1	2	Non stationnable
Cheminée de l'Herbaudière	Axe	247 679,1	235 095,65	3	

9. RESULTATS

Si les sondages n'ont apporté que peu de renseignements supplémentaires par rapport aux levés antérieurs, ils ont permis de préciser la configuration de quatre hauts-fonds.

La position des sommets est indiquée ci-dessous par relèvement par rapport au Nord géographique – distance à partir du feu vert de la jetée Ouest :

Brassage	Relèvement	Distance
0,7 m	18°	1 035 m
0,6 m	14°	860 m
0,3 m	17°30'	300 m
0,9 m découvrant	29°	150 m

Dans le chenal d'accès, les têtes arasées par déroctage n'existent plus sans que pour autant le plafond avancé d'un mètre cinquante soit garanti.

Le plateau rocheux non balisé sur lequel de nombreux plaisanciers avaient talonné, est situé dans le relèvement 018° et à 1 035 m du feu de la jetée Ouest.

10. DOCUMENTS REDIGES

- 1 minute de bathymétrie au 1/2 000
- 1 minute de recherche au 1/2 000
- 1 minute de dragage au 1/2 000
- 1 minute de natures de fonds au 1/2 000
- 13 fiches d'amers
- 1 fiche d'observatoire de marée.

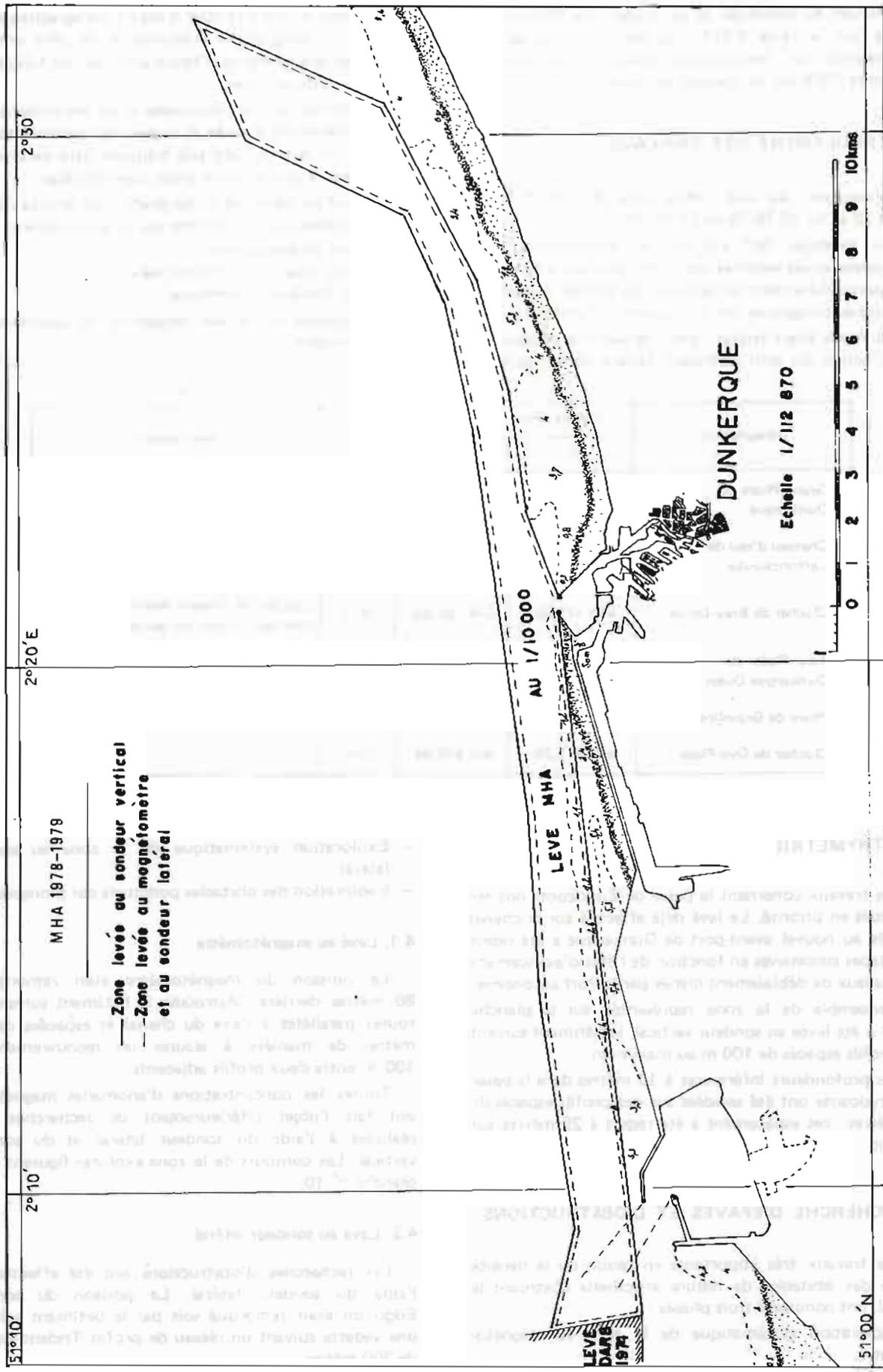
I.6. VERIFICATION DES FONDS DANS LES CHENAUX D'ACCES AU PORT DE DUNKERQUE

1. GENERALITES

Ces travaux s'inscrivent dans le cadre du levé systématique du Pas-de-Calais commencé par la Mission en 1974 et constituent un prolongement du levé de vérification effectué en 1975 et 1976 du chenal d'accès au nouvel avant-Port de Dunkerque, la sécurité de navigation devant être assurée pour des superpétroliers dont le tirant d'eau peut atteindre 21 mètres.

En 1978 les travaux prescrits avaient pour objet le contrôle des profondeurs et la recherche systématique des obstructions sur les accès Est et Ouest au port de Dunkerque. Le levé exécuté à l'échelle 1/10 000 couvre la frange côtière s'étendant de la passe de Zuydcoote au nord-est au méridien de Gravelines à l'ouest.

Les contours de la zone levée par la M.H.A. figurent sur la planche 10. D'autre part, trois épaves ont été



PL. 10

recherchées au voisinage de la bouée "Out Ruytingen" portée sur la carte 6 651, ces recherches venant en complément de l'exploration effectuée au mois de décembre 1976 par le chasseur de mines "Clio".

2. DEROULEMENT DES TRAVAUX

L'exécution du levé s'échelonna du 05.06.78 au 23.10.78 et du 15.10.79 au 27.10.79.

Les sondages ont été réalisés exclusivement par l'*Astrolabe* et ses vedettes ces dernières étant intervenues plus particulièrement en bordure du chenal. Les conditions météorologiques ont été souvent défavorables.

Les fonds étant faibles, la mer se lève très rapidement sous l'action du vent dominant venant de l'ouest-nord

ouest jusqu'à interdire tout travail hydrographique. De ce fait, le programme d'activité a du être aménagé journellement et même d'heure en heure en fonction de la météo et de la marée.

La localisation de l'*Astrolabe* et de ses embarcations a été entièrement assurée au moyen de radiolocalisateurs Trident III, le brouillard très fréquent dans cette région interdisant le plus souvent toute visée optique.

Les balises ayant servi de guide pour le levé régulier ont été placées successivement sur les sites suivants :

- Clocher de Bray-Dunes
- Chateau d'eau de Leffrinckouke
- Grand Phare de Dunkerque

Le tableau ci-dessous récapitule les positions des balises Trident.

Désignation	Coordonnées Lambert I		Z	Observations
	X	Y		
Grand Phare de Dunkerque	601 956,93	372 300,30	64 m	Les cinq stations sont facilement accessibles en véhicule. Les balises Trident étaient toutes alimentées à partir du courant secteur.
Chateau d'eau de Leffrinckouke	608 011,35	372 806,50	45 m	
Clocher de Bray-Dunes	613 173,28	374 797,83	35 m	
Tour Radar de Dunkerque Ouest	589 602,58	369 625,67	48 m	
Phare de Gravelines	584 038,73	367 312,01	28 m	
Clocher de Oye-Plage	579 371,29	364 416,04	22 m	

3 BATHYMETRIE

Les travaux concernant la passe de Zuydcoote ont été effectués en priorité. Le levé déjà effectué sur le chenal d'accès au nouvel avant-port de Dunkerque a été repris par étapes successives en fonction de l'état d'avancement des travaux de déblaiement menés par le Port autonome.

L'ensemble de la zone représentée sur la planche n° 10 a été levée au sondeur vertical, le bâtiment suivant des profils espacés de 100 m au maximum.

Les profondeurs inférieures à 10 mètres dans la passe de Zuydcoote ont été sondées sur des profils espacés de 50 mètres : cet espacement a été réduit à 25 mètres sur le seuil.

4. RECHERCHE D'EPAVES ET D'OBSTRUCTIONS

Ces travaux très importants en raison de la densité élevée des obstacles de nature artificielle obstruant le chenal, ont comporté trois phases :

- Exploration systématique de la zone au magnéto-

- Exploration systématique de la zone au sondeur latéral.
- Exploration des obstacles ponctuels par plongeurs.

4.1. Levé au magnétomètre

Le poisson du magnétomètre était remorqué à 80 mètres derrière l'*Astrolabe* le bâtiment suivant des routes parallèles à l'axe du chenal et espacées de 100 mètres de manière à assurer un recouvrement de 100 % entre deux profils adjacents.

Toutes les concentrations d'anomalies magnétiques ont fait l'objet ultérieurement de recherches fines réalisées à l'aide du sondeur latéral et du sondeur vertical. Les contours de la zone explorée figurent sur la planche n° 10.

4.2. Levé au sondeur latéral

Les recherches d'obstructions ont été effectuées à l'aide du sondeur latéral. Le poisson du sondeur Edgerton était remorqué soit par le bâtiment soit par une vedette suivant un réseau de profils Trident espacés de 200 mètres.

Pendant l'exploration du sondeur latéral, le sondeur vertical a été maintenu en fonction et les sondages correspondants ont été rédigés. Le rendement a été diminué du fait des conditions météorologiques souvent défavorables et de plusieurs avaries survenues sur le sondeur latéral, imputables en partie à l'inexistence de moyens de manipulation adaptés.

4.3. Plongeurs

Devant les difficultés rencontrées par la Mission en 1975 et 1976, il a été jugé préférable de déterminer le brassage des obstructions par plongeurs plutôt que par dragage hydrographique.

Les premier et deuxième groupes de plongeurs démineurs ont mis à la disposition de la Mission deux plongeurs. Ces derniers sont intervenus de façon systématique sur les épaves qui avaient été préalablement détectées au sondeur vertical et balisées. La violence des courants dans les chenaux a limité dans le temps leurs interventions, les plongées devant être exécutées au voisinage de l'étalement de courant.

En moyenne, les plongeurs ont pu visiter deux épaves par jour et déterminer les dimensions horizontales et verticales des dangers. La visibilité par profondeur de 30 m était le plus souvent réduite à moins de 5 m.

5. MAREE

La marée est enregistrée en permanence à Dunkerque Port, à l'extrémité nord-ouest du quai des Monitors.

Le calage de ce marégraphe a été contrôlé. Il se

produit parfois un décalage entre les enregistrements "dégrossissage" et "précision" de la marée. Le zéro hydrographique à Dunkerque est situé à 9,504 m au-dessous du repère N.G.F. scellé à la base du grand phare, soit à la côte - 3,30 N.G.F. (Lallemand).

La marée, à chaque top de localisation, a été calculée par la Mission sur calculatrice programmable par une formule de type :

$$h(t) = K(x, y) \times H[t + \theta(x, y)]$$

$K(x, y)$ et $\theta(x, y)$ étant considérés comme constants à l'intérieur de mailles de petites dimensions.

6. COURANTS

Des mesures de courant de longue durée ont été effectuées à cinq mètres d'immersion au voisinage des bouées "E1", "E4", "E10", "DW16", et "DW24". Les stations de quinze jours d'observations prévues aux bouées "E4" et "DW24" ont été fractionnées en deux séquences, l'*Astrolabe* ayant dû quitter la zone pour participer au festival "Jeunesse et mer" à Dinard.

Un trafic maritime intense règne en permanence dans les chenaux d'accès au port. Pour éviter les pertes de matériel, un accord a été recherché et obtenu auprès du Service local des phares et balises pour fixer les courantomètres sous des cabriens en bois, eux-mêmes reliés aux bouées du balisage. Malgré ces précautions, un appareil a été perdu ; le câble support en acier de 6,3 mm ayant été retrouvé sectionné.

Les stations de courantométrie sont répertoriées dans le tableau ci-dessous :

Baptême du dossier	Désignation	Position Latitude Longitude	Immersion en Mètres	Période d'Observation
78 DUN 1	Bouée E1	51° 04' 10" N 002° 23' 08" E	5	05.06.78 au 20.06.78
78 DUN 2	Bouée E10	51° 06' 42" N 002° 29' 30" E	5	05.07.78 au 19.07.78
78 DUN 3	Bouée DW16	51° 03' 22" N 002° 08' 52" E	5	05.07.78 au 19.07.78
78 DUN 4	Bouée E4	51° 04' 37" N 002° 24' 36" E	5	21.08.78 au 30.08.78
78 DUN 5	Bouée E4	51° 04' 37" N 002° 24' 36" E	5	13.09.78 au 22.09.78
78 DUN 6	Bouée DW24	51° 03' 50" N 002° 15' 15" E	5	21.08.78 au 30.08.78
78 DUN 7	Bouée DW24	51° 03' 50" N 002° 15' 15" E	5	13.09.78 au 22.09.78

7. INFORMATION NAUTIQUE

Une révision complète des amers et du balisage fixe a été réalisée de la frontière belge au port de Dunkerque Ouest. Des fiches d'amers ont été établies pour tous les points. Le balisage flottant des chenaux d'accès Est et Ouest à Dunkerque a été positionné par une vedette qui a accosté les bouées des phares et balises et relevé pour chacune d'elle trois distances Trident. La liste des amers triangulés par la Mission est répertoriée dans l'annexe I au présent chapitre.

8. RESULTATS

8.1. Bathymétrie

Les sondages ont permis de préciser la configuration de la passe de Zuydcoote. Ce levé a mis en évidence une évolution notable des fonds et en particulier une modification de l'isobathe des 5 mètres portée au milieu de la passe sur la carte marine n° 6500. L'isobathe des 5 mètres entourant le banc Trapegeer s'étend maintenant vers le sud-ouest sans discontinuité et délimite un seuil coupant la passe en deux.

Ce seuil est orienté suivant la direction N.E.—S.W. Il culmine à 4,5 m au milieu de la passe et, en bordure N.E. du chenal, il existe des fonds inférieurs : 3,9 et 4,0 mètres. Les renseignements initiaux transmis par les pilotes du port de Dunkerque ont été confirmés.

D'autre part, l'isobathe des dix mètres située au sud de la passe de Zuydcoote n'a pas évolué de façon sensible. Mais à proximité de cette isobathe, à 150 mètres plus au sud, se trouve un secteur de ridins dangereux et culminant à 3,1 m au point de coordonnées :

$L = 51^{\circ} 05' 25'',6 N$

$G = 02^{\circ} 29' 13'',0 E$ système géodésique Europe 50.

Ce banc de sable de près de 200 m de long est orienté suivant la direction est-ouest.

8.2. Obstructions

Une reconnaissance par voie terrestre a été effectuée au voisinage de Dunkerque lors d'une basse-mer de vive-eau pour repérer les épaves découvrantes visibles sur l'estran. Les épaves repérées au fichier EPSHOM sous les n° 110-111-115 et 134 existent. Elles sont complètement disloquées. On n'aperçoit que des membrures et des plaques de tôles émergeant du sable.

D'autre part les épaves signalées sur les fiches n° 051-074-179-193-221-222-223-229 de l'EPSHOM n'ont pas été retrouvées dans la zone explorée au magnétomètre et au sondeur latéral. Si ces dangers existent, ils sont complètement ensablés ou à des positions très différentes de celles mentionnées sur les fiches et certainement en dehors du chenal.

La liste des épaves retrouvées et visitées fait l'objet de l'annexe II au présent chapitre.

Deux épaves nouvelles ont été reconnues. L'une d'elle est située à la limite nord-ouest de la passe de Zuydcoote. Elle a été détectée lors d'un retournement du bateau en limite de zone. Il s'agissait d'un mouilleur de mines allemand datant de la guerre 1940-45. Le bâtiment qui contenait des mines, des grenades et des torpilles a été pétardé par des plongeurs démineurs du premier GPD embarqués sur le dragueur *Liseron*.

Sous l'effet de l'explosion, l'épave s'est trouvée déplacée de près de cent mètres. Une nouvelle détermination de sa position a été effectuée.

En bordure Ouest de la passe de Zuydcoote, les plongeurs ont découvert des tronçons de câble de gros diamètre reposant sur le fond. Ces câbles aboutissent à des souilles détectées au sondeur vertical. Ils provoquent des anomalies magnétiques assez importantes.

8.3. Epaves d'Out-Ruytingen

Les trois épaves portées sur la carte 6651 à l'emplacement du banc d'Out-Ruytingen ont été recherchées au sondeur latéral. Les zones levées ont été étendues à des cercles d'un mille de rayon centrés sur les positions présumées suivantes :

$L = 51^{\circ} 11',5 N$ $G = 002^{\circ} 07' E$ (Position approchée)

$L = 51^{\circ} 11',5 N$ $G = 002^{\circ} 08' E$ (Position approchée)

$L = 51^{\circ} 10',9 N$ $G = 002^{\circ} 07',5 E$ (15,7 EP)

La zone explorée au sondeur latéral figure sur la planche 11. Deux d'entre elles ont été retrouvées et visitées par plongeurs ; la troisième n'existe pas. Les caractéristiques des deux épaves sont les suivantes :

a) Cargo de longueur 80 m, posé à plat sur le fond et partiellement ensablé

coordonnées :

$L = 51^{\circ} 11' 04'' N$ Système géodésique Europe 50

$G = 002^{\circ} 07' 43'' E$

b) Carcasse métallique de longueur 20 m fortement ensablée,

coordonnées :

$L = 51^{\circ} 11' 42'' N$ Système géodésique Europe 50

$G = 002^{\circ} 09' 52'' E$

Les épaves ont été positionnées à l'aide du Trident.

Les deux positions figurant sur la carte en (PA) correspondent vraisemblablement à une épave unique qui se situe à 1 mille plus à l'est des positions approchées qui avaient été déterminées par deux chasseurs de mines.

9. DOCUMENTS ETABLIS

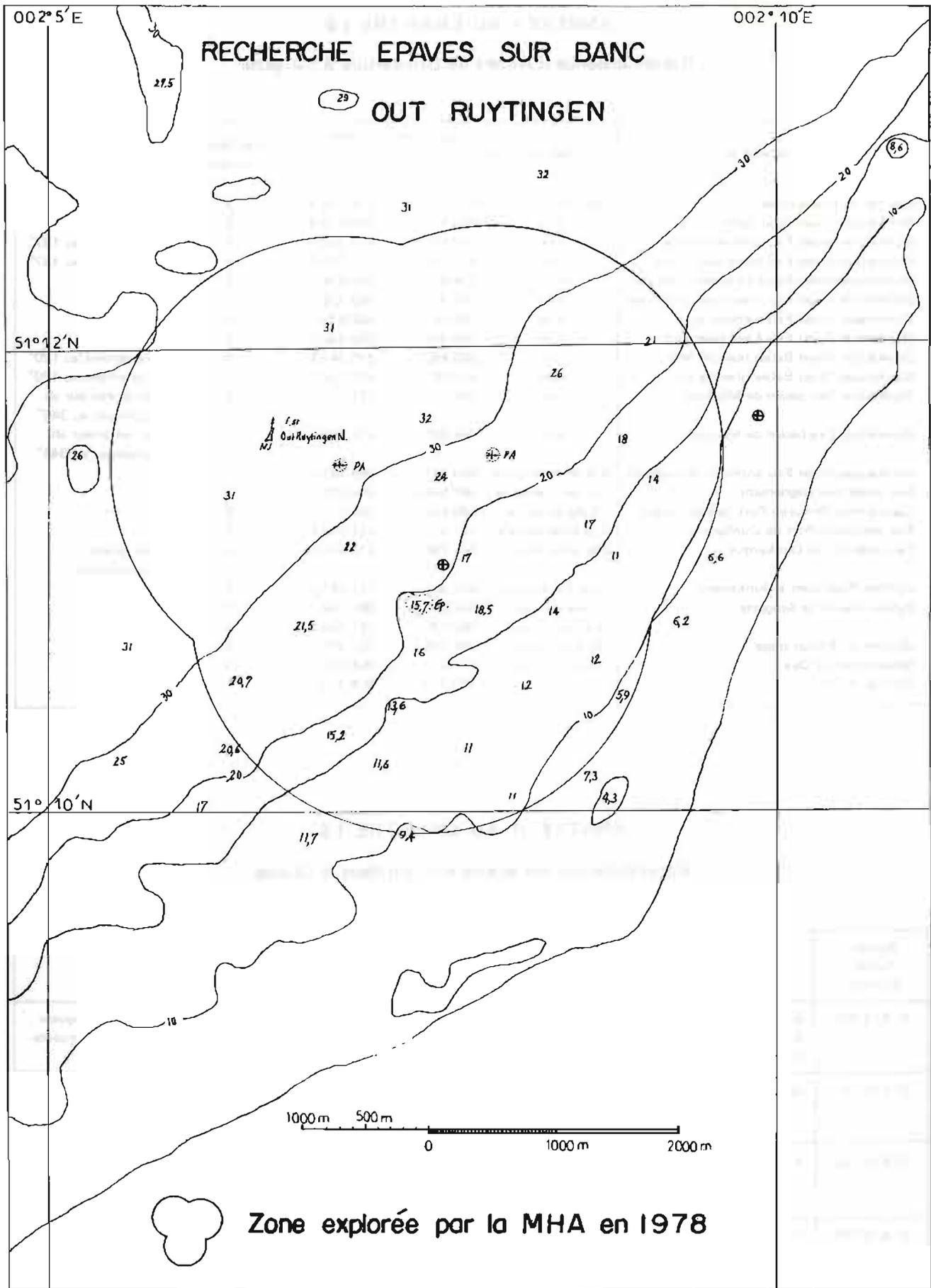
4 minutes de bathymétrie au 1/10 000 : B10¹ à B10⁴ ;

4 minutes de recherche au 1/10 000 : R10¹ à R10⁴ ;

12 fiches d'amers ;

36 fiches d'épaves ;

7 dossiers de courantométrie.



ANNEXE I AU CHAPITRE I-6
Reconnaissance d'Amers de Dunkerque à Sangatte

Désignations	Repère	Coordonnées Lambert I		Classification Amers	Observations
		X	Y		
Clocher de Bray-Dunes	Mât de pavillon	613 175,15	374 798,49	2	
Dunkerque Ouest Tour radar	Axe	589 603,9	369 624,4	2	
Dunkerque Ouest Feu antérieur rouge	Axe	602 181,4	372 383,0	1	Alignement au 137°
Dunkerque Ouest Feu postérieur rouge	Axe	602 258,6	372 299,1	1	Alignement au 137°
Dunkerque Ouest Feu fixe violet antérieur	Axe	588 878,1	369 438,1	1	
Dunkerque Ouest Feu fixe violet postérieur	Axe	588 913,8	369 328,3	1	
Dunkerque Ouest Feu à éclats rouge	Axe	588 649,2	369 430,4	1	
Dunkerque Ouest Feu à isophase vert	Axe	588 282,9	369 330,8	1	
Dunkerque Ouest Balise blanche NW	Axe	589 682,7	370 342,6	1	Alignement au 120°
Dunkerque Ouest Balise blanche SE	Axe	590 003,8	370 154,8	1	Alignement au 120°
Dunkerque Feu bassin de Mardyck	Axe	594 878,6	371 784,05	1	Feu postérieur alignement au 346°
Dunkerque Feu bassin de Mardyck	Axe	594 888,0	371 746,5	1	Feu antérieur alignement au 346°
Dunkerque Ouest Feu antérieur alignement	Axe de la lanterne	590 331,5	369 963,1	1	
Feu postérieur alignement	Axe de la lanterne	590 849,5	369 660,2	1	
Capitainerie Nouveau Port de Dunkerque	Tube en fonte	589 655,2	369 679,15	0	
Feu vert avant Port de Dunkerque	Axe de la colonne	587 818,1	371 068,55	1	
Feu jetée Est de Dunkerque	Axe de la lanterne	601 186,2	373 509,1	2	Feu récent reconstruit
Clocher Rosendael à Dunkerque	Axe de la croix	604 864,6	371 548,2	1	
Pylone Racon de Sangatte	Axe du mat	560 537,6	361 794,2	1	
	Axe du feu vert	560 536,8	361 794,9	1	
Clocher de Blériot plage	Axe de la croix	564 104,5	362 335,9	2	
Moulin blanc d'Oye	Axe du moulin	577 623,3	364 906,3	1	
Clocher d'Oye	Axe	579 373,2	364 413,2	1	

ANNEXE II AU CHAPITRE I.6

Récapitulation des épaves existant dans le Chenal

Numéo fichier Epsom	Nature de l'épave	Coordonnées Lambert I du point haut	Coordonnées Europe 50 L et G	Brassage m	Côte au dessus du fond	Observations
21 612 099	S/S Ganko ou Gourko Cargo	x = 600 108 y = 373 884	51°03'50" N 2°20'22" E	8,7 m	10 m	Orientée E - W Longueur : 20 mètres Epave complètement disloquée
21 612 101	Cargo	x = 600 040 y = 373 822	51°03'48" N 2°20'18" E	12,3 m	8 m	Orientés N - S Longueur : 50 mètres. Repose couchée sur le flanc
21 612 100	Patrouilleur	x = 597 955 y = 373 756	51°03'46" N 2°18'31" E	7,7 m	7 m	Orientée N - S Longueur : 55 mètres. Repose couchée sur babord
21 612 089	Cargo	x = 595 582 y = 374 242	51°04'02" N 2°16'29" E	3,5 m	13 m	Longueur : 80 m Orientée E-S-E. Epave brisée en deux tronçons

Numéro fichier Epsom	Nature de l'épave	Coordonnées Lambert I du point haut	Coordonnées Europe 50 L et G	Brassage m	Côte au dessus du fond	Observations
21 612 090	Bâtiment armé	x = 593 586 y = 373 890	51°03'50" N 2°14'47" E	8,9 m	6,5 m	Longueur : 30 m Orientée NW-SE. Epave cassée en deux
21 612 091	Cargo Normannia	x = 593 250 y = 373 982	51°03'53" N 2°14'30" E	6,3 m	11 m	Longueur : 120 m Epave orien- tée NE-SW. Repose sur le fond couchée sur tribord
21 612 038	Inconnue	x = 587 869 y = 588 480	51°11'42" N 2°09'52" E	5,3 m	4 m	Longueur : 20 mètres, Orientée E-W. Il ne reste que quelques membrures. Epave ensablée
21 612 237	Petit Cargo	x = 585 369 y = 387 295	51°11'04" N 2°07'43" E	17,1 m	6 m	Longueur : 80 mètres, Orientée NE-SW Epave reposant à plat sur fond et cassée en deux
21 612 107	Partie arrière d'un remorqueur	x = 590 325 y = 373 210	51°03'28" N 2°11'59" E	13,0 m	4,5 m	Longueur : 40 mètres, Orientée N-S. Amas de tôles
21 612 096	Malle Princess Astrid	x = 591 250 y = 373 767	51°03'46" N 2°12'47" E	6,2 m	7 m	Longueur : 100 m, Orientée au 240°. Partie avant disloquée
21 612 127	Vapeur anglais Brighton	x = 588 812 y = 372 581	51°03'08" N 2°10'42" E	6,9 m	8,5 m	Longueur : 150 mètres. Epave en partie disloquée
21 612 183	Petit Bâtiment	x = 588 051 y = 372 883	51°03'18" N 2°10'03" E	16,9 m	1,5 m	Longueur : 10 mètres
21 612 185	Inconnue	x = 586 558 y = 373 735	51°03'46" N 2°08'46" E	19,2 m	2,5 m	
21 612 106	Chalutier Estafette	x = 589 283 y = 373 254	51°03'30" N 2°11'06" E	13,9 m	3,5 m	Epave désintégrée
21 612 117	Cargo	x = 593 074 y = 373 218	51°03'29" N 2°14'21" E	10,1 m	2 m	Cassée en trois morceaux
21 612 049	Petit bâtiment de guerre	x = 611 827 y = 379 851	51°07'03" N 2°30'24" E	6,2 m	4,5 m	Longueur : 70 mètres, Orientée E-W Epave cassée en deux parties
21 612 234	Mouilleur de mines allemand	x = 611 341 y = 380 619	51°07'28" N 2°29'59" E	10,1 m	7 m	Longueur 90 mètres
21 612 056	Bateau feu Ruytingen	x = 609 626 y = 376 689	51°05'20" N 2°28'31" E	6,5 m	9,7 m	Longueur : 60 m, Orientée WNW-ESE Cassée en plusieurs morceaux
21 612 058	Grand Cargo	x = 609 799 y = 376 448	51°05'13" N 2°28'39" E	2,75 m	7,5 m	Longueur : 140 mètres, Orien- tée ENE-WSW Repose droite sur le fond
21 612 060	Petit Cargo	x = 608 540 y = 375 961	51°04'57" N 2°27'35" E	6,2 m	8,5 m	Longueur : 45 mètres, Orientée E-W. Partie AV intacte Partie arrière disloquée
Epave Nouvelle	Grosse chaudière de bâtiment	x = 610 783 y = 378 938	51°06'34" N 2°29'30" E	5,2 m	1,5 m	Longueur : 35 mètres Epave complètement disloquée. Chau- dière intacte
21 612 065	Cargo	x = 608 243 y = 375 418	51°04'40" N 2°27'19" E	5,8 m	11 m	Longueur : 100 m, Orientée NS Epave posée droite sur le fond

Numéro fichier Epsom	Nature de l'épave	Coordonnées Lambert 1 du point haut	Coordonnées Europe 50 L et G	Brassage m	Côte au dessus du fond	Observations
21 612 062	Torpilleur anglais	x = 607 620 y = 375 617	51°04'46" N 2°26'47" E	9,2 m	8 m	Longueur : 100 m, Orientée E-W . Fractionnée en plusieurs tronçons
21 612 075	Remorqueur	x = 604 908 y = 374 737	51°04'18" N 2°24'28" E	8,5 m	10 m	Longueur : 35 m, Orientée N-S. Cassée en deux
21 612 071	Débris de plusieurs Epaves	x = 605 752 y = 374 668	51°04'16" N 2°25'11" E	5,2 m	5 m	Longueur : 40 m, Orientée W-S. Fragments d'une péniche et d'un bâtiment de guerre
21 612 178	Arrière d'un petit bâtiment	x = 611 845 y = 378 123	51°06'07" N 2°30'25" E	7,5 m	3 m	Longueur : 10 mètres. Epave ensablée
21 612 079	Cargo Floride	x = 603 635 y = 374 360	51°04'06" N 2°23'23" E	3,1 m	14 m	Longueur : 100 m, Orientation Générale N-NE, Epave brisée en plusieurs tronçons
21 612 237	Petit cargo	x = 585 369 y = 387 295	51°11'04" N 2°07'43" E	17,1 m	6 m	Longueur : 80 m, Repose droite sur le fond, Cassée en deux par le milieu

1.7 – VERIFICATION DES FONDS DANS LE CHENAL D'ACCES A CALAIS

1. GENERALITES

Les vérifications venaient en complément du levé côtier au 1/10 000 exécuté sous la direction des ICA Dars et Ribet en 1975 et 1976. Il était prescrit à la Mission de rechercher de façon systématique les obstructions existant sur les accès au port de Calais dans les limites de la carte n° 5519, les travaux devant s'étendre vers le large jusqu'à l'isobathe des 20 mètres lissée.

Ce levé en trois étapes occupa l'*Astrolabe* aux époques suivantes :

du 28.10.78 au 05.11.78

du 28.03.79 au 05.04.79

du 08.10.79 au 12.10.79

Suite à une demande formulée par le Service Maritime du Port de Calais qui étudie la possibilité de déplacer la jetée Est les limites initiales du levé ont été étendues vers l'est.

La planche 12 indique les limites de la zone explorée.

Les travaux se sont déroulés dans des conditions souvent difficiles, en raison principalement du trafic

incessant de malles transitant vers l'Angleterre (50 à 60 rotations par jour) et accessoirement des mauvaises conditions météorologiques.

2. LOCALISATION

La zone a été divisée en deux secteurs :

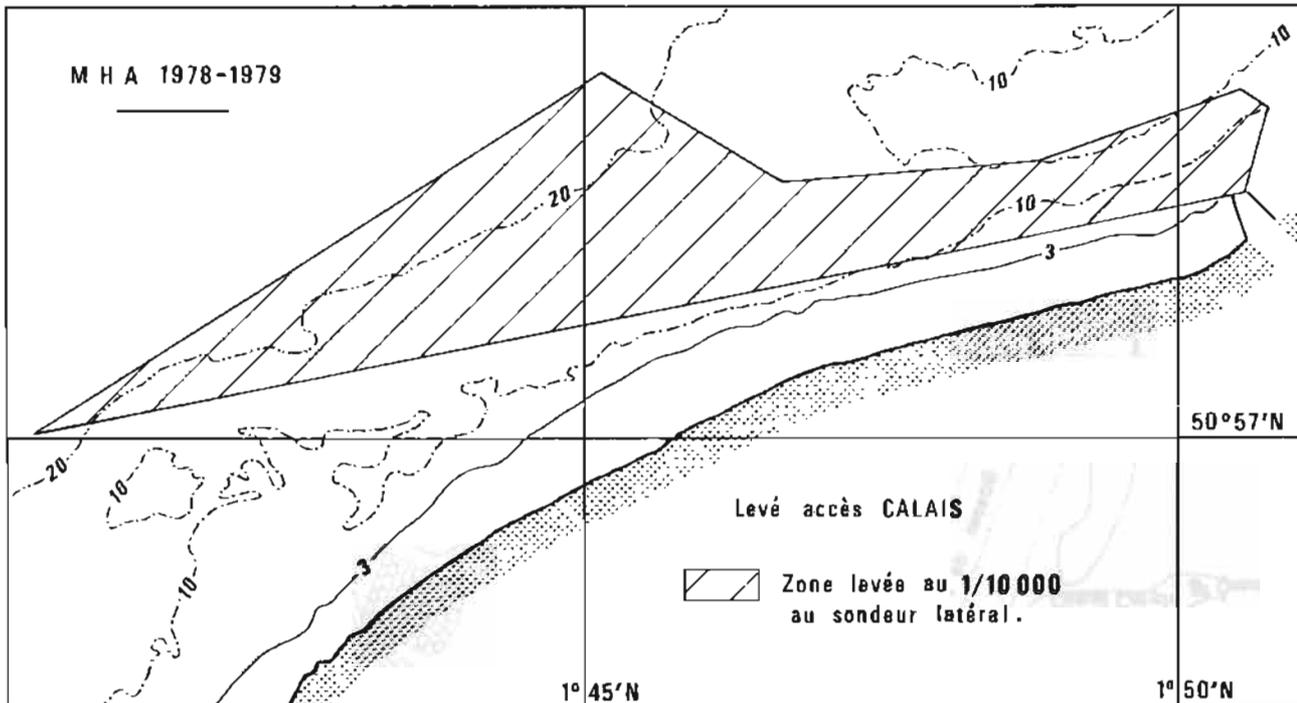
- Abord du port
- Partie Ouest du chenal.

Au voisinage des jetées, la localisation a été assurée par radioguidage optique complété de deux distances Trident.

Dans le chenal, le positionnement a été réalisé exclusivement à l'aide du Trident. Un écart de 20 mètres ayant été observé sur la distance de la balise installée près du pylone Racon de Sangatte, il fut nécessaire de recourir dans cette zone à un traversier optique.

Les coordonnées des stations utilisées sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

Désignation	Coordonnées Lambert I		Altitude Z	Observations
	X	Y		
Jetée Ouest Calais	565 120,92	363 723,29		Station de radioguidage
Blockhaus de Sangatte	560 555,21	361 801,12		Station traversière optique
Phare de Calais	566 067,14	362 662,01	59 m	Balise Trident
Mont d'Hubert, Pylone Radio	566 771,51	358 389,03	149 m	Balise Trident
Blockhaus de Sangatte	560 555,21	361 801,12	09 m	Balise Trident



PL. 12

La zone a été entièrement explorée au sondeur latéral, le sondeur vertical étant maintenu en fonction. Les profils de sonde suivis au théodolite ou au Trident, étaient espacés au maximum de 100 mètres.

3. REDACTION

Les sondages ont été réduits de la marée observée dans les mêmes conditions que pendant le levé bathymétrique régulier.

Les sondes ont été corrigées de la quantité :

$$h(t) = k(x, y) \times H[t + \theta(x, y)]$$

K et θ étant supposés constants par sous-zone.

H étant la marée observée au port de Calais.

La Mission a mis en place un nouveau repère en laiton scellé dans le béton à l'extrémité N.E du quai de marée.

4. RESULTATS

A l'ouest du chenal, dans des fonds supérieurs à 20 mètres, il a été reconnu une remontée du fond culminant à 12,9 m au point de coordonnées Lambert :

$$X = 554\ 770$$

$$Y = 362\ 490$$

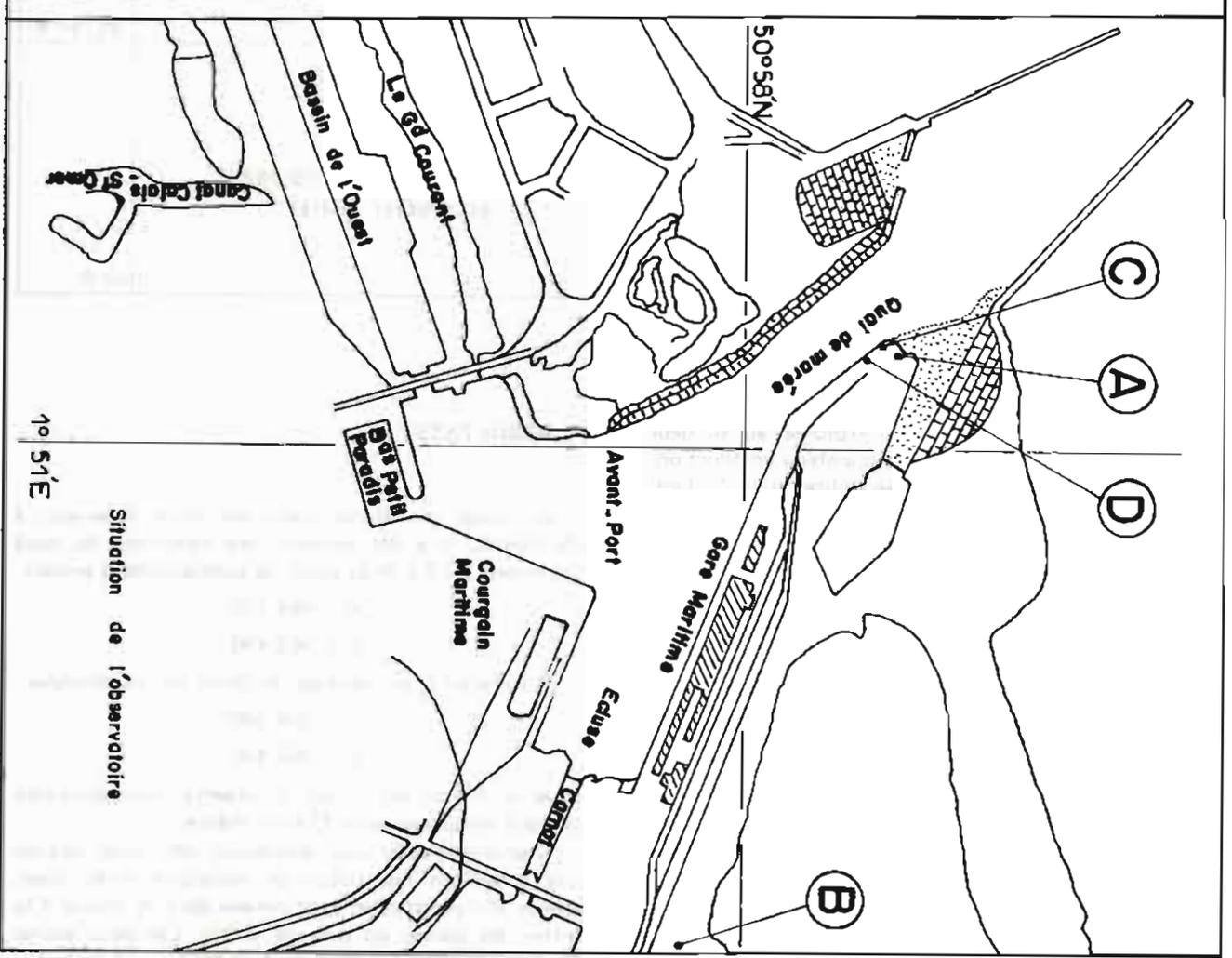
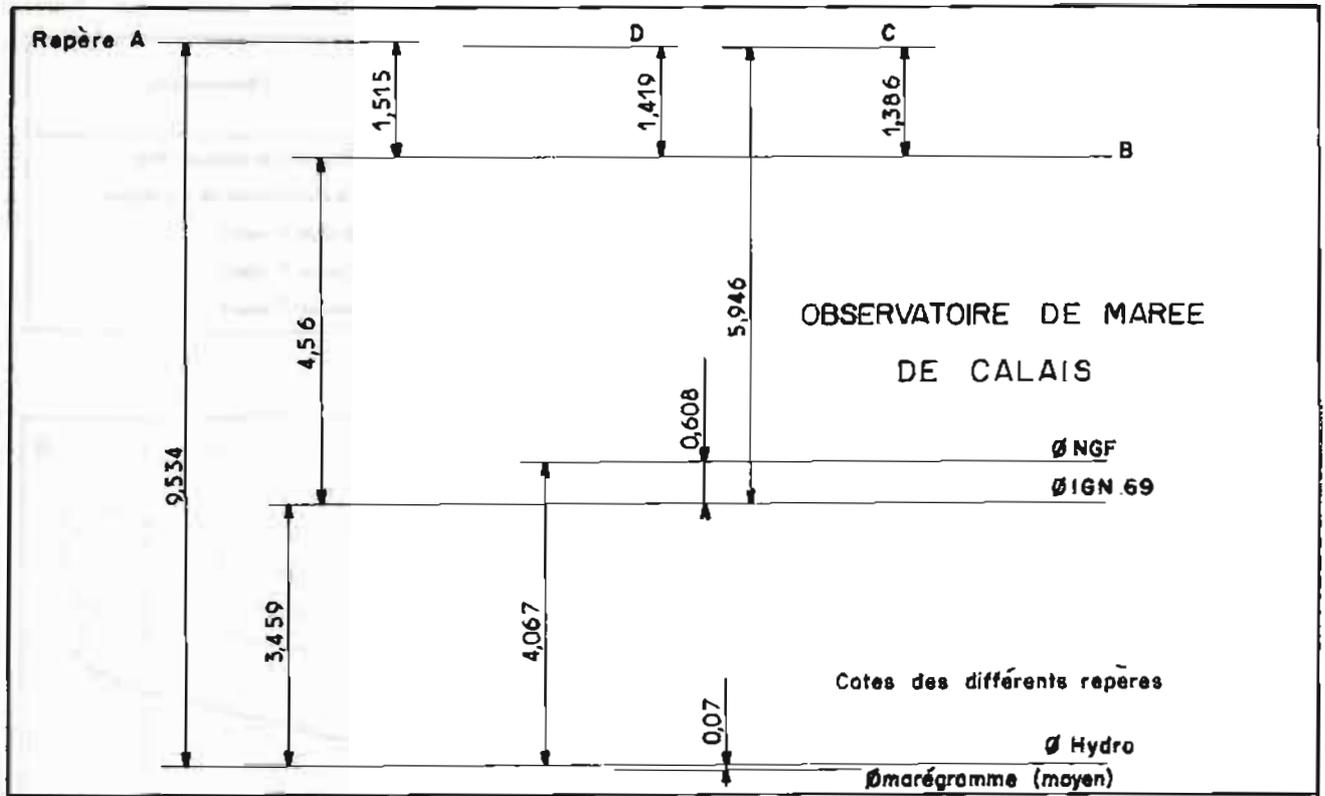
D'autre part, au voisinage du point de coordonnées :

$$X = 559\ 300$$

$$Y = 363\ 400$$

situé au milieu du chenal, on observe trois remontées de fond comprises entre 13 et 15 mètres.

Quatre épaves et une obstruction reconnues lors du levé sonal ont fait l'objet de recherches fines. Deux épaves et l'obstruction sont situées dans le chenal à la sortie des passes du port de Calais. Les deux autres épaves sont situées en bordure de la limite nord du levé.



Désignation	Coordonnées Lambert I		Coordonnées géographiques		Brassage	Hauteur au-dessus du fond
	X	Y	L	G		
Fuselage d'avion Epave nouvelle	565 295	363 972	50° 58' 26" N	001° 50' 38" E	5,30 m	1,20 m
Amas de pierres de taille 21 601-252	564 654	363 844	50° 58' 22" N	001° 50' 05" E	3,90 m	3,40 m
Drague "Cap de la Hague" Long 80 m Larg 15 m 21 601-163	559 905	364 748	50° 58' 50" N	001° 46' 01" E	7,00 m	7,40 m
Vieux Bateau de Pêche Long 40 m 21 601-27	564 310	363 960	50° 58' 25" N	001° 49' 47" E	5,70 m	3,80 m
Bâtiment Long 40 m Larg 10 m 21 601-238	558 150	364 434	50° 58' 39" N	001° 44' 31" E	17,30 m	6,00 m

5. DOCUMENTS ETABLIS

La rédaction a donné lieu à l'établissement des documents suivants :

- 2 minutes de bathymétrie au 1/10 000 ;
- 2 minutes de recherche au 1/10 000 ;
- 5 fiches d'Epaves.

I.8. VERIFICATION DES FONDS DANS LE CHENAL D'ACCES A PORT-JOINVILLE ILE D'YEU

1. GENERALITES

En application d'une convention passée entre le SHOM et la Chambre de Commerce et d'Industrie de la Vendée, la Mission a réalisé en 1979 la vérification des profondeurs devant Port-Joinville.

Les travaux exécutés en vue de la prolongation vers le large du brise-lames actuel ont comporté le sondage et l'exploration au sondeur latéral d'une bande de 150 mètres de large centrée sur l'alignement d'entrée au port et délimitée :

- au nord par l'isobathe des dix mètres,
- au sud par l'extrémité du chenal dragué dans le port.

A la demande de l'Administration des Affaires Maritimes et du Service de l'Equiperment de l'île d'Yeu, le levé à l'intérieur du port a été étendu jusqu'au môle de la Gare Maritime.

2. DEROULEMENT DES TRAVAUX

2.1. Triangulation

Les travaux de géodésie réalisés s'appuient sur les points déterminés soit par l'Institut Géographique National en 1947, soit par la Mission Hydrographique de Dragage en 1967-1969.

On été déterminées :

- a) les stations ayant servi à la localisation des vedettes de sonde.
- b) les positions du balisage des Phares et Balises.

Les calculs ont été effectués dans le système de projection Lambert II. Les coordonnées des points bornés et des amers durables déterminés par la Mission figurent dans les tableaux suivants :

Stations utilisées pour le levé

Désignation	Repère	Coordonnées Lambert II		Observations
		X	Y	
Feu Postérieur d'Alignement	Croix gravée	241 994,36	202 257,03	Station de Radioguidage
Blockhaus "Cirque"	Angle S.E.	243 597,12	201 762,93	Station traversière optique
Feu Postérieur d'Alignement	Barreau en fer	241 996,88	202 256,05	Balise Trident Site excellent
Station "Vendée"	Douille scellée	240 229,64	203 415,82	Station traversière optique

Balisage

Désignation	Repère	Coordonnées Lambert II		Observations
		X	Y	
Feu Postérieur Alignement d'entrée à Port-Joinville	Axe	241 995,4	202 256,15	
Feu Antérieur Alignement d'entrée à Port-Joinville	Axe	242 117,0	202 504,0	
Feu Vert du môle Ouest	Axe	242 195,4	202 775,6	
Bouée La Galiote	Voyant	242 432,4	202 783,3	Remplace définitivement l'espar.
Coffre noir dans dans l'avant-port de Port-Joinville		242 102	202 653	
Bouée La Sablaise	Voyant	243 958	202 550	
Boué Mayenca	Voyant	244 478	204 146	

D'autre part, on a mis à profit le passage de la Mission dans l'île pour rechercher un site favorable à l'implantation d'une caravane shelter du Toran P 100 devant être utilisée lors d'un levé ultérieur de grande sonde dans le Golfe de Gascogne. Un terrain situé au N-W de l'île entre la pointe du But et le lieu-dit "Caillou Blanc" a été retenu

Les points d'appui repérés étant en nombre insuffisant dans cette partie de l'île, la position de l'antenne Toran a été déterminée par un cheminement aller-retour de 5 km à partir d'une borne IGN située près du phare de la Petite-Foule.

2.2. Travaux de sondage

Le levé côtier a été effectué du 13 au 22 mars par les vedettes de l'*Astrolabe*. Un fort coup de vent du Nord a obligé le bâtiment à appareiller pour se mettre à l'abri sur la côte Sud de l'île les 15 et 16 mars.

Les vedettes ont été positionnées par radioguidage optique depuis le feu postérieur de l'alignement d'entrée à Port-Joinville.

Les profils étaient espacés :

- de 10 mètres entre la limite terre et l'isobathe des 5 mètres.
- de 20 mètres entre les isobathes de 5 et 10 mètres.

La planche 14 indique les limites de la zone sondée.

Limite Nord
Fonds de 10 m 46°45'N

Point de mouillage
du courantographe
⊕

M.H.A. 1979
LEVE PORT JOINVILLE
ECHELLE : 1/10000

 Zone levée au 1/2000
 Zone levée au 1/1000

46°44' N

002° 20' W

La Sablaire

2.3 Recherche d'obstructions

L'ensemble de la zone a été exploré à l'aide du sondeur latéral dont le poisson était remorqué par une vedette hydrographique. L'espacement des profils était de 80 mètres, le fond étant ainsi éclairé deux fois sous des angles différents. Le sondeur vertical a été maintenu en fonction pendant l'exploration.

A l'issue du levé sonal, quatre recherches ont été effectuées :

- deux à l'extérieur du port,
- deux à l'intérieur de l'avant-port.

Des sondages serrés et espacés tous les dix mètres ont été effectués pour préciser la côte et la position des deux hauts-fonds situés au large du môle.

L'interprétation des enregistrements obtenus au sondeur vertical sur les têtes a posé quelques difficultés, des échos flous s'étant superposés à des échos bien nets (algues, poissons...?). Pour lever le doute, il a été nécessaire de faire appel à des plongeurs, en particulier sur le haut-fond coté 0,4 m.

Les deux obstructions reconnues au sondeur latéral, dans l'avant port ont également été reconnues par plongeurs.

3. MAREE

Les sondes ont été réduites de la marée observée à Port-Joinville sur une échelle fixée à l'extrémité du nouveau quai de la Régie construit en 1978. Le zéro de réduction des sondes à Port-Joinville est situé à 9,83 mètres au-dessous du repère SH par la M.H.D. en 1967 dans le mur d'enceinte du bâtiment de l'Équipement. Le zéro est rattaché à trois autres repères de nivellement en bon état de conservation.

Numéro	Description	Côte par rapport au zéro de réduction des sondes
A 1	Sommet de la patte de fixation du 1 ^{er} anneau d'amarrage sur le quai du nouvel épi, coté Ouest.	+ 6,29 m
A 2	Sommet de la patte de fixation du 3 ^e anneau d'amarrage sur le quai du nouvel épi.	+ 6,37 m
A 3	Sommet du canon servant de bitte à l'enracinement du quai du nouvel épi.	+ 7,21 m
A 4	Repère S.H.	+ 9,83 m

La planche 15 récapitule les caractéristiques de l'observatoire.

4. COURANTS

Des mesures de courant au point fixe ont été réalisées pendant l'exécution du levé.

A cet effet, une ligne de courantométrie a été mouillée à proximité du chenal dans le relèvement 011° du feu vert du brise-lames à 2 200 mètres. Deux courantographes ont été fixés :

- l'un directement sur la ligne de mouillage,
- l'autre sous un cabrion en bois, lui-même relié à la bouée de surface.

Les données caractéristiques des stations sont résumées dans le tableau ci-dessous :

N° Fichier EPSHOM	Immersion en mètres	Dates	Coordonnées géographiques
SH 1 019	5	13-03-79 au 22-03-79	L = 46° 44' 38" N G = 02° 20' 29" W
SH 1 020	5	13-03-79 au 22-03-79	L = 46° 44' 38" N G = 02° 20' 29" W

Le courant observé est nettement plus important en jusant qu'en période de flût.

5. INFORMATION NAUTIQUE

Une revue d'amers a été réalisée par l'*Astrolabe*. Une partie importante de l'île est recouverte de pins de taille très élevée qui masquent la visibilité dans plusieurs secteurs.

Sur la carte marine n° 147, les modifications suivantes sont à apporter au balisage : la balise "La Galiote" qui a été détruite ne sera pas reconstruite. Elle a été remplacée par une bouée.

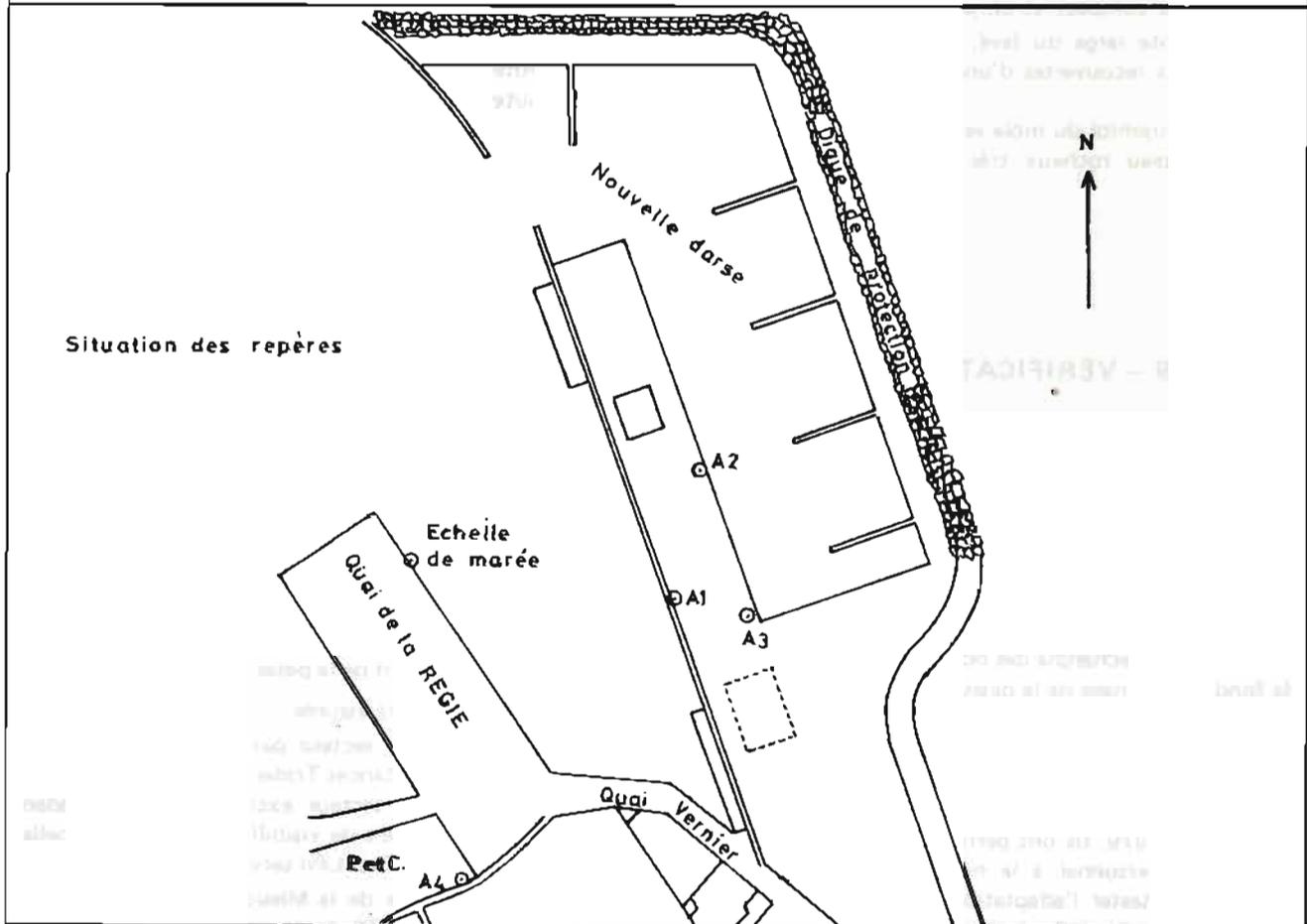
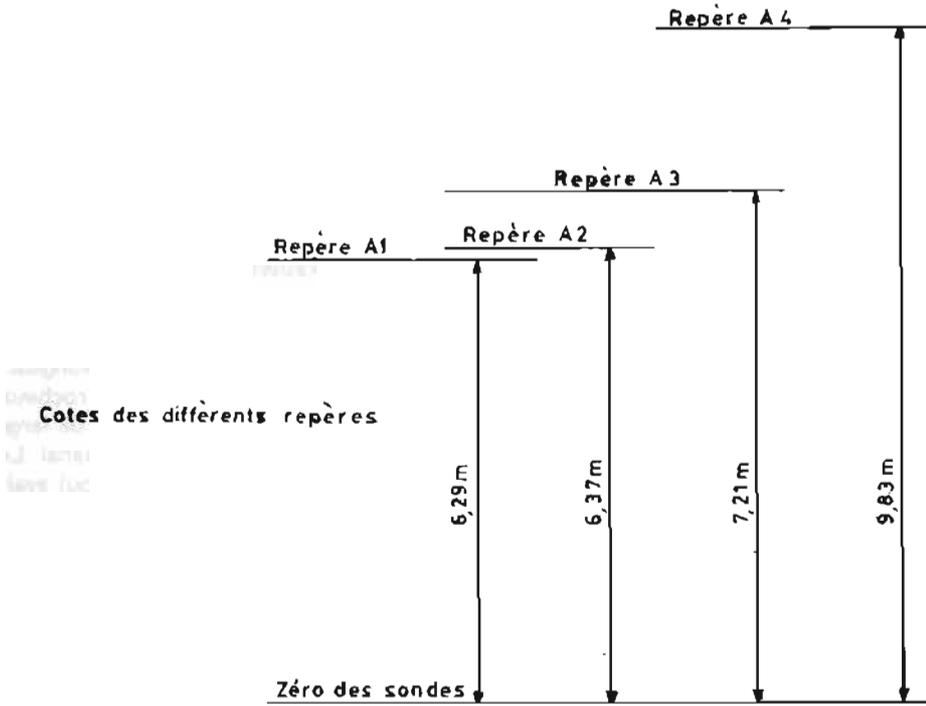
Les espars suivants ont disparu :

- 2 espars de la pointe de la Conche au S.E. de l'île.
- 2 espars "Les Trupailles" dans l'Ouest du port de la Meule.
- l'espars l'Évêque.

L'alignement au 313° matérialisant l'entrée au mouillage de l'Anse des Vieilles situé dans l'ouest de la Pointe

M.H.A. 1979 — PORT-JOINVILLE — ILE D'YEU

OBSERVATOIRE DE MAREE



des Corbeaux n'est plus visible depuis le large, le clocher de St. Sauveur étant complètement masqué par les arbres.

A Port-Joinville, d'importants travaux portuaires ont été réalisés en 1978. Une partie du port ayant été isolée par des batardeaux, les fonds des bassins ont été nivelés au bulldozer et ramenés à la cote - 1,50 m au-dessous du zéro hydrographique à l'exception du nouveau bassin réservé à la plaisance qui lui a été creusé à la cote - 2,50 mètres.

6. GEOLOGIE

Les enregistrements obtenus au sondeur Edgerton ont permis de répertorier les natures de fond superficielles existant dans la zone du levé. L'interprétation a donné lieu à la rédaction d'une minute au 1/2 000 faisant apparaître la morphologie de l'interface. Des échantillons de fond prélevés ponctuellement à l'aide d'une benne preneuse à griffes ont permis de caractériser les différents enregistrements analogiques obtenus.

7. RESULTATS

7.1. La zone située à 500 mètres au-delà de l'extrémité du brise-lames Ouest présente des fonds réguliers de sable gris compact et en pente douce vers le large.

A la limite large du levé, il existe de nombreuses roches plates recouvertes d'une mince couche de sable.

7.2. L'extrémité du môle est prolongée vers le N-N.E. par un plateau rocheux très tourmenté culminant à

0,4 m à la position où figure sur la carte n° 6613 (Plan de Port-Joinville) une sonde cotée 0,8 m. Cette zone dangereuse pour la navigation est facilement identifiable par le fait qu'on y observe un ressac pratiquement permanent. Les roches sont couvertes de laminaires donnant des échos flous au sondeur. En basse mer de V.E. les algues très denses apparaissent en surface.

7.3. Dans la partie du chenal d'accès située entre le feu vert du brise-lames et l'endroit où avait été construit le batardeau, le plafond d'un mètre cinquante n'est pas garanti. Il existe de nombreuses têtes isolées et cotées 1.1, 1.2, 1.3, 1.4.

7.4. Les deux obstructions visitées par plongeurs dans l'avant-port, constituent en fait un socle rocheux d'une quinzaine de mètres de long, d'un mètre de large et orienté obliquement par rapport à l'axe du chenal. Le sommet du bloc est situé au-dessous du fond qui avait été arasé à la cote - 1,5 mètre. La mise à nu de ce roc qui était enfoui lors des travaux réalisés dans le chenal, révèle que les courants chassent les sédiments vers l'extérieur du port.

8. DOCUMENTS REDIGES

- 2 minutes de bathymétrie au 1/2 000.
- 2 minutes de recherche au 1/2 000.
- 2 minutes de nature de fond au 1/2 000.
- 1 fiche d'observatoire de marée.
- 2 dossiers de courantométrie.

I.9 – VERIFICATION DES FONDS SUR LE CHENAL D'ACCES A CHERBOURG

1. GENERALITES

Les travaux prescrits comportaient la vérification hydrographique des accès au port de Cherbourg et notamment la recherche des obstructions ou relèvements de fond au voisinage de la passe de l'Ouest.

Le levé fut effectué par le BH2 *Astrolabe* et la vedette hydrographique prototype 882 CH (VH8 MP) construite par la DCAN de Cherbourg et destinée à la *Boussole*. Les travaux se sont échelonnés du 17 septembre au 1^{er} octobre 1979. Ils ont permis de développer l'entraînement du personnel à la manœuvre de cette embarcation et de tester l'adaptation de ce nouvel outil aux diverses opérations hydro-océanographiques côtières.

2. LOCALISATION

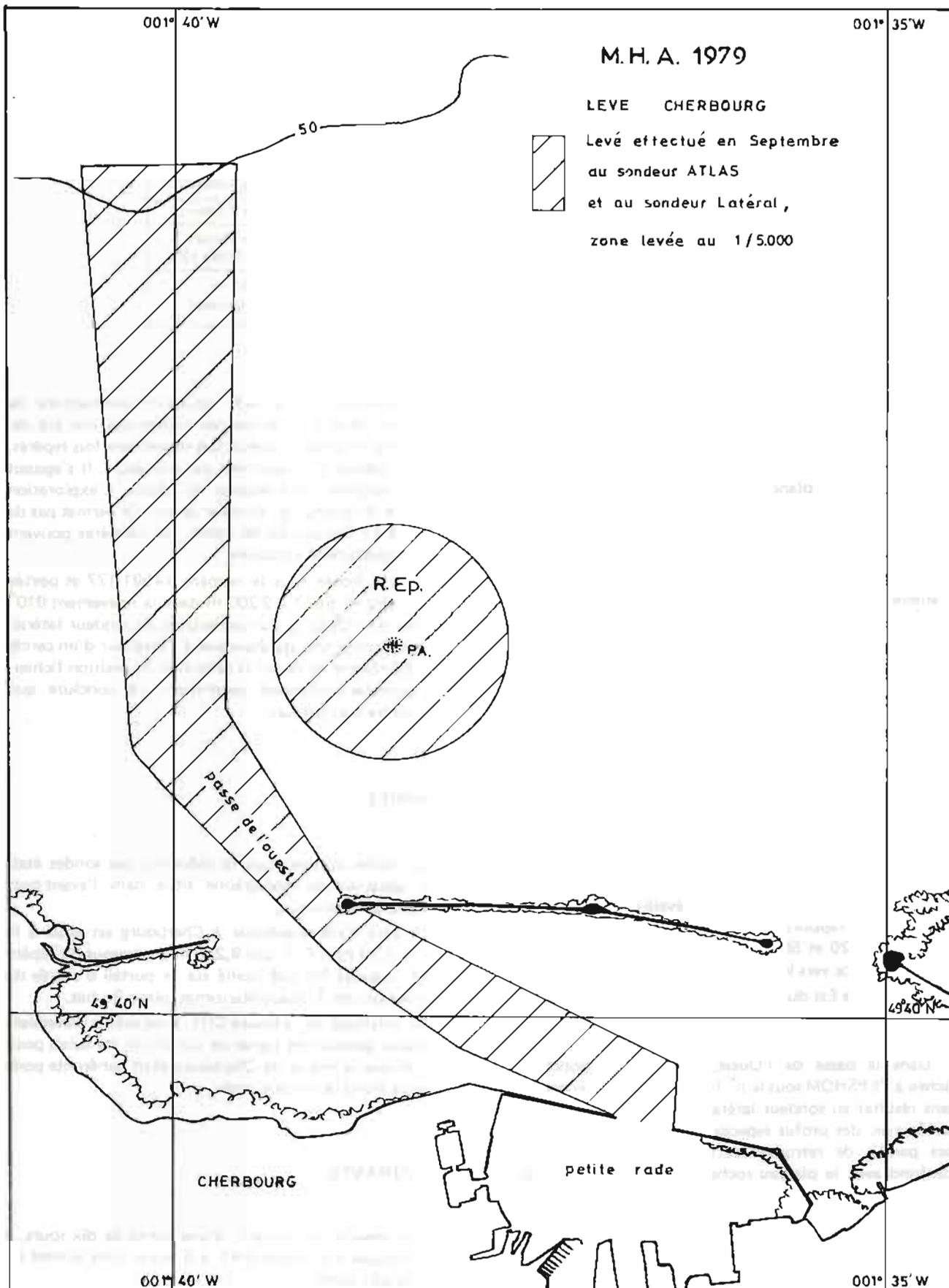
Le levé a été divisé en deux secteurs :

- a) grande rade ;
- b) zone située au Nord de la passe de l'Ouest.

La localisation a été assurée :

- dans le premier secteur par radioguidage optique complété de deux distances Trident,
- dans le second secteur exclusivement au Trident par suite de conditions de visibilité médiocres, la balise installée au phare du Cap Lévi servant de guide.

Grâce aux travaux de la Mission Hydrographique de Dragage réalisés en 1970, les travaux de géodésie ont été



limités. Les stations utilisées sont répertoriées dans le tableau ci-après. Des fiches géodésiques ont été établies pour ces points.

Désignation	Coordonnées Lambert I		Altitude en mètres	Observations
	X	Y		
Phare du Cap Lévi	325 288,31	228 737,08	40	Balise Trident
Fort des Flamands	316 228,24	224 347,37	11	Balise Trident
Blockhaus Anfreville	308 183,5	226 090,7	75	Balise Trident Point MHD 1970
Fort des Flamands	316 235,84	224 351,28	10	Station de Radioguidage

3. SONDAGES ET RECHERCHES D'OBSTRUCTIONS

Les limites de la zone sondée à l'échelle 1/5 000 sont indiquées sur la planche 16. L'espacement des profils était de 100 mètres dans les profondeurs supérieures à 20 mètres et resserré à 50 mètres dans les profondeurs inférieures.

Les recherches d'obstructions ont été exécutées de manière systématique à l'aide du sondeur latéral, l'espacement des profils étant de 100 mètres. Les routes suivies pour la partie du levé située au Nord de la passe de l'Ouest, ont été des cercles sensiblement perpendiculaires à la côte. A l'intérieur de la grande rade, il fut nécessaire de recourir au radioguidage.

La zone ainsi explorée recouvre la zone sondée indiquée sur la planche 16.

4. RESULTATS

Les sondages effectués n'ont révélé que peu de changements par rapport aux levés plus anciens. Entre les isobathes de 20 et 50 mètres, les fonds sont réguliers et en pente douce vers le large.

En bordure Est du chenal, dans le relèvement 318° et à 600 mètres du feu du Fort de l'Ouest, il a été découvert une tête de roche cotée 11,4 m.

Dans la passe de l'Ouest, l'obstruction ponctuelle fichée à l'EPSHOM sous le n° 14591-032 a été recherchée sans résultat au sondeur latéral et vertical. Des sondages serrés avec des profils espacés tous les 20 mètres, n'ont pas permis de retrouver cette obstruction. L'écho se confond avec le plateau rocheux situé au même emplacement.

Ce plateau culmine à 9,8 m au point de coordonnées Lambert I :

$$X = 312\ 123$$

$$Y = 227\ 002$$

A l'intérieur de la rade, plusieurs obstructions de nature artificielle et de petites dimensions ont été détectées par le sondeur latéral. Ces objets, une fois repérés, ont été balisés puis reconnus par plongeurs. Il s'agissait le plus souvent de tronçons de câbles. L'exploration complète du chenal au sondeur latéral ne permet pas de conclure à l'inexistence de mines, ces dernières pouvant être complètement ensablées.

L'épave fichée sous le numéro 14591-177 et portée sur la carte n° 5627 à 2 200 m dans le relèvement 010° du fort de l'Ouest a été recherchée au sondeur latéral. Les recherches ont été étendues à l'intérieur d'un cercle de 1 000 mètres de rayon et centré sur la position fichier. Les données recueillies permettent de conclure que cette épave n'existe pas.

5. MAREE

La marée utilisée pour la réduction des sondes était celle observée au marégraphe situé dans l'avant-port militaire de Cherbourg.

Le zéro hydrographique à Cherbourg est situé à la côte - 3,70 m N.G.F. soit 9,225 m au-dessous du repère N.G.F. baptisé NPQ.35 scellé sur le portail d'entrée de la Direction des Travaux Maritimes, place Bruhat.

Au voisinage de la bouée CH1, trois profils traversiers au réseau général des lignes de sonde ont été suivis pour vérifier que la marée de Cherbourg était cohérente pour la partie Nord de la zone levée.

6. COURANTS

Une mesure de courant, d'une durée de dix jours, a été effectuée à la bouée CH1, à 3 milles dans le nord de la passe de l'ouest.

N° Fichier EPSHOM	Position	Dates	Immersion	Observations
SH 1040	L = 49° 43' 12" N G = 001° 39' 17" W	21-09-79 au 01-10-79	5 m	Film exploitable

7. DOCUMENTS RÉDIGES

A la suite du levé, les documents suivants ont été rédigés :

- 3 minutes de bathymétrie au 1/5 000,
- 1 minute de recherche au 1/5 000,

- 1 minute de nature de fonds au 1/5 000 à partir des enregistrements du sondeur latéral.
- 1 dossier de courantométrie.

I.10 – VERIFICATION DES FONDS SUR LE BANC DE BREEDT DANS LE PAS DE CALAIS

1. GENERALITES

Sur l'ancienne carte n° 5513 figurait sur le Banc de Breedt une sonde découvriante de 0,1 m dans le relèvement 354° et à 5 150 m du feu de la jetée Ouest de l'Avant-Port de Dunkerque. La carte n° 6 500, dérivée de levés belges dans cette zone, ne représentait plus de sonde découvriante sur ce banc.

La définition de la ligne de partage franco-britannique en Mer du Nord dépend notamment de l'existence éventuelle de fonds découvriants sur le Banc de Breedt. Il fut donc prescrit à la Mission d'effectuer un contrôle des profondeurs sur le banc et de conclure à l'existence ou à la non-existence de cette sonde 0. 1. Ces vérifications furent effectuées par l'*Astrolabe* au cours du levé du chenal d'accès à Dunkerque réalisé en octobre 1979.

2. LOCALISATION

La localisation a été entièrement assurée par une chaîne de radiolocalisation Trident dont les balises étaient implantées aux emplacements ci-après :

3. BATHYMETRIE

Les sondages ont été réalisés par une vedette du 16 au 18 octobre 1979. Le banc a été levé suivant des profils espacés de 50 mètres. Des profils supplémentaires et resserrés à 25 mètres ont en outre été effectués dans les profondeurs inférieures à 0,5 m.

La zone levée figure sur la planche 17.

Le sommet du banc a été recherché suivant deux réseaux de profils serrés perpendiculaires.

4. RESULTATS

La marée adoptée pour la réduction des sondes était celle de Dunkerque où se trouve un observatoire permanent.

Le zéro hydrographique à Dunkerque est situé à 9,504 m au-dessous du repère N.G.F. scellé à la base du grand phare, côté Est.

Le levé a permis de retrouver la configuration générale du haut-fond porté sur la carte mais l'ensemble du

Désignation	Coordonnées Lambert I		Altitude en mètres	Observations
	X	Y		
Château d'eau de Leffrinckouke	608 011,35	372 806,50	44	Ces trois sites sont alimentés par le courant secteur.
Grand Phare de Dunkerque	601 956,93	372 300,30	64	
Tour Radar de Dunkerque Ouest	589 602,58	369 625,57	48	

banc s'est déplacé vers l'E.S.E. Cinq sondes découvrantes et cotées 0.1 existent au voisinage du point de coordonnées :

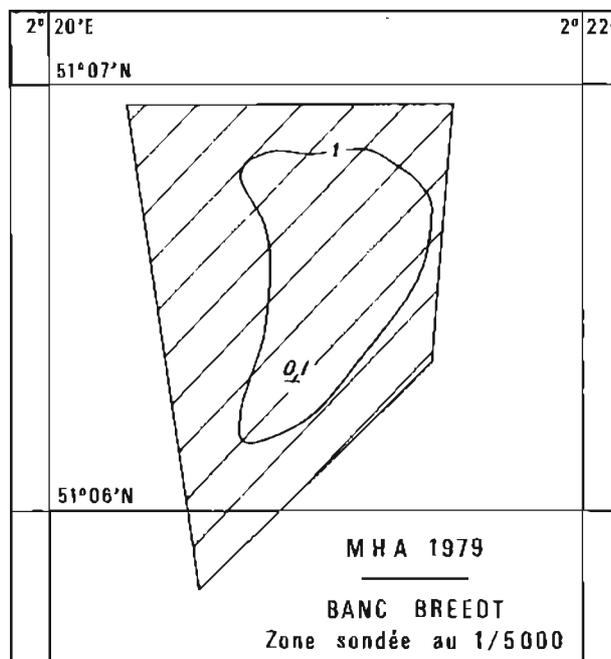
L = 51° 06' 20",8 N

G = 02° 20' 55",3 E Système géodésique : Europe 50.

5. DOCUMENT REDIGE

– 1 minute de bathymétrie à l'échelle 1/5 000 – B⁵.

PL. 17



CHAPITRE II

LEVE INTERMEDIAIRE EN BAIE DE SEINE

1. GENERALITES

Ce levé commencé en 1976 par mon prédécesseur, M. Ribet, était prescrit dans les limites suivantes :

- au Nord la droite joignant les points F ($50^{\circ} 08' N - 01^{\circ} 16' W$) et G ($50^{\circ} 20' N - 00^{\circ} 36',5 E$), partie de la ligne de séparation des levés français et britanniques en Manche.
- à l'Est la droite orientée au 350° issue du phare d'Antifer.
- au Sud l'isobathe des 20 mètres lissée.
- à l'Ouest le méridien des Casquets.

Ces travaux ont comporté :

- un levé bathymétrique régulier à l'échelle de 1/20 000.
- des recherches d'obstructions menées en priorité dans le sud-est de la zone pour permettre la préparation

des cartes au 1/45 000 Antifer-Le Havre et Antifer-Fécamp.

- des opérations annexes (revue d'amers, natures de fond, mesures de courant).

2. LOCALISATION

En 1976, la localisation a été exclusivement assurée au moyen de la chaîne Decca-Hi-Fix "Eastern Channel". Ce réseau ayant été démonté par les britanniques, la Mission a implanté une chaîne de radiolocalisation Trident II en 1977 puis Trident III en 1979. Les balises ont occupé simultanément en fonction de l'avancement des travaux, trois et souvent quatre des points suivants :

Désignation	Coordonnées Lambert I		Altitude en mètres	Observations
	X	Y		
Phare d'Antifer	443 357,23	222 669,93	132	Alimentation par secteur
Sémaphore de La Hève	435 975,89	203 490,18	110	Alimentation secteur Utilisé deux stations
	435 955,15	203 552,90	106	
Démaphore de Longues	378 604,41	187 399,71	76	Sémaphore désaffecté Alimentation secteur
Mont Canisy	433 011,67	184 674,90	115	Site excellent Branchement électrique chez un particulier situé à 200 mètres
Château d'eau de Louvières	363 049,34	190 467,00	125	Site excellent Branchement électrique chez un particulier situé à 150 mètres.

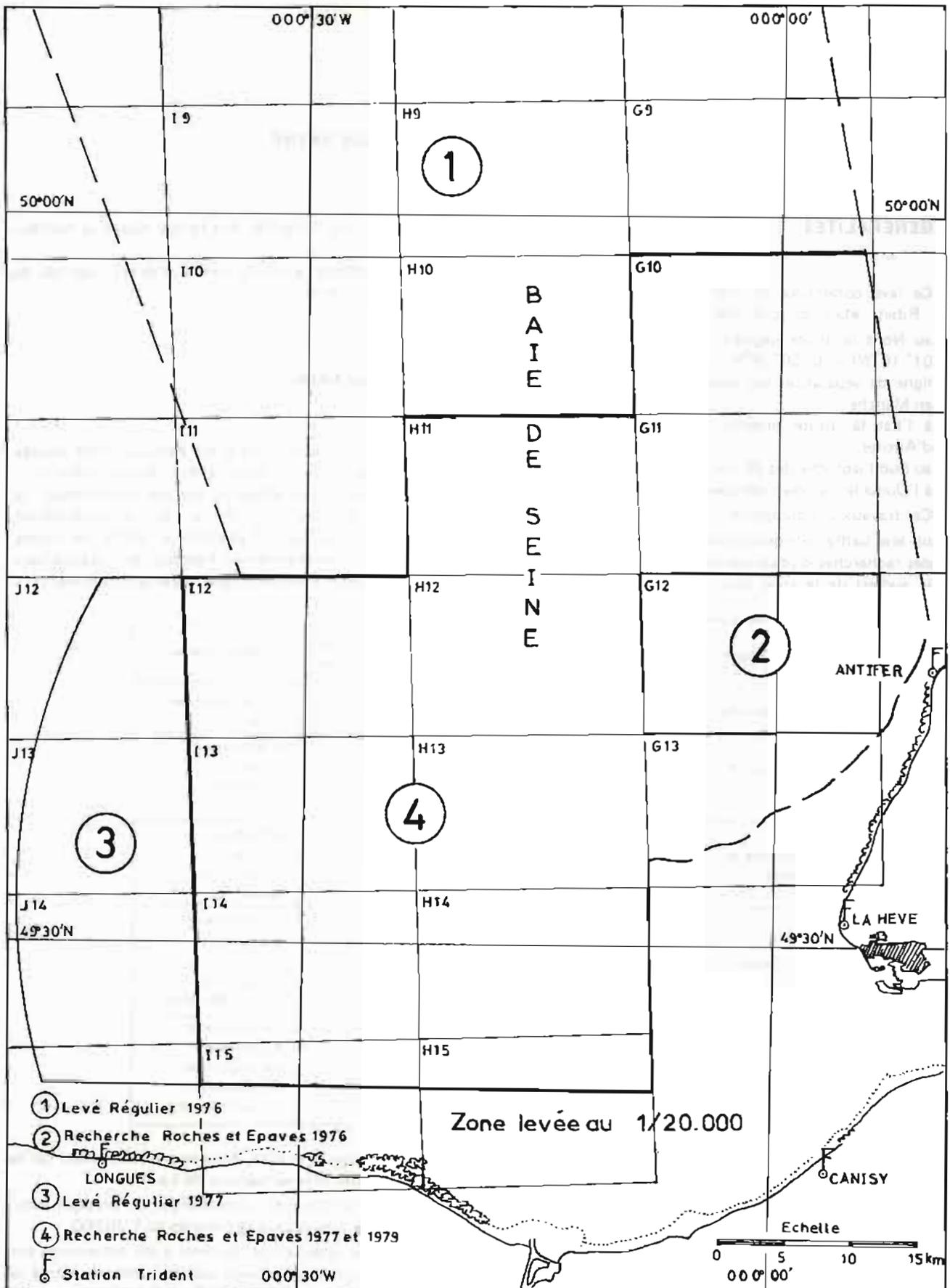
3. SONDAGES

Ce levé, à l'échelle de 1/20 000, a été exécuté presque exclusivement par le BH1 l'Espérance. Les profils suivis, espacés de 200 mètres, ont été des cercles de distance

perpendiculaires à la côte, centrés successivement sur le phare d'Antifer et le sémaphore de La Hève.

La construction a été exécutée par un procédé automatique. Elle couvre quinze minutes au 1/20 000.

La nature superficielle du fond a été déterminée sur l'ensemble de la zone levée par des prélèvements à la benne preneuse à griffes, suivant des mailles carrées de deux milles de côté.



OBSERVATOIRE DE MARÉE D'ANTIFER

REPÈRE F

6.237 m

Ø NGF

4.72 m

COTES DES DIFFERENTS REPÈRES

Ø HYDRO

SITUATION DE L'OBSERVATOIRE

49°40'N

PORT D'ANTIFER



ECHELLE

0 500 1000 m

0° 08'E

F: RIVET LAITON

E: ECHELLE MAREE

M: OBSERVATOIRE

La zone sondée en 1977 et 1979 est indiquée sur la planche 18. En 1977, la Mission a poursuivi le levé commencé par mon prédécesseur et exécuté des recherches d'obstructions. Le levé n'a pas été poursuivi en 1978, du fait que l'*Espérance* s'est trouvée engagée toute l'année sur le levé prioritaire de la chute du plateau continental dans le Golfe de Gascogne. L'année 1979 (mois de juin et juillet) a été consacrée uniquement à des recherches. Le levé sera normalement poursuivi en 1980.

4. RECHERCHES

Les recherches d'épaves et d'obstructions dans une telle zone constituent une activité bien plus importante que l'exécution du levé régulier. La densité d'épaves est très élevée du fait du débarquement des alliés en Normandie pendant la dernière guerre. Toutes les épaves fichées ont fait l'objet de recherches fines. Les explorations ont le plus souvent été étendues à des cercles d'un mille de rayon et centrés sur les positions présumées. Ces recherches ne présentent pas un caractère exhaustif. De nombreuses épaves nouvelles ont été détectées ; inversement, les vérifications ont permis de conclure à l'inexistence d'épaves répertoriées au fichier.

Le sondeur latéral a été utilisé de façon systématique au cours de ces travaux. D'un emploi relativement aisé par petits fonds, ce système est un moyen indispensable de détection d'épaves.

Dans une deuxième phase, des recherches fines ont été effectuées au Trident et au sondeur vertical pour obtenir la position et la cote de l'obstacle avec la précision hydrographique. Le Trident permet, avec des barreurs entraînés, de suivre des routes espacées de dix mètres sans aucune difficulté.

Au total, 95 épaves ou obstructions existantes ont été répertoriées.

5. MAREE

La marée a été observée au port d'Antifer. Le zéro de réduction des sondes à Antifer est situé à la côte - 4,72 m N.G.F.

La planche 19 décrit les caractéristiques de l'observatoire.

Par continuité avec la méthode employée par mon prédécesseur, les sondes ont été réduites de la quantité $h(t)$

$$h(t) = K(x, y) \times H[t + \theta(x, y)]$$

dans laquelle

$K(x, y)$ représente le rapport des amplitudes au point de coordonnées x, y et au port de référence.

$\theta(x, y)$ le déphasage en temps entre ces deux points. Ces deux quantités K et θ ont été déterminées à l'aide de polynômes d'interpolation de degré 3 à partir de la carte des lignes cotidales et d'isomarnage en Manche.

Ce modèle de calcul a donné des résultats non cohérents pour la partie Sud de la Baie de Seine. Un deuxième modèle a donc été utilisé pour cette zone. Les hauteurs de marée ont été calculées à l'EPSHOM par une méthode harmonique utilisant des constantes déduites des études de l'Institut de Mécanique de Grenoble sur le modèle tournant de la Manche.

Ce laboratoire a déterminé à l'aide d'un modèle réduit de la Manche et pour des points irrégulièrement répartis, les constantes harmoniques de 11 ondes fondamentales. La valeur de ces constantes en un point quelconque de la Baie de Seine est obtenue par interpolation dans le plan (Spline à 2 dimensions) à partir des huit points du modèle de Grenoble les plus proches de la station de sonde. La marée a été calculée par cette méthode à chaque station de sonde ainsi qu'au port d'Antifer. Les hauteurs de marée prédites ont été corrigées des écarts entre la marée théorique et la marée observée à Antifer.

L'utilisation par la Mission des hauteurs ainsi calculées a entraîné une diminution très sensible voire même la disparition complète des anomalies que l'on peut donc attribuer aux imperfections du premier modèle de marée utilisé.

6. COURANTS

Devant l'importance du trafic maritime en Baie de Seine et les risques importants de perte de matériel, un accord permanent fut recherché pour fixer les courantographes aux bouées des Phares et Balises.

6.1. Campagne 1977

Des observations d'une durée de 50 heures ont été effectuées en vive-eau et en morte-eau sur le chenal d'accès à Antifer. D'autre part, des observations à deux niveaux et d'une durée de 15 jours ont eu lieu près de la bouée A0 située au nord de la Baie de Seine. Cette dernière ligne de courantométrie comportait une bouée de sub-surface et un largeur acoustique.

Les points d'observation sont indiqués sur la planche 20. Les données qui ont été introduites dans le fichier de l'EPSHOM après validation sont récapitulées dans le tableau suivant.

6.2 Campagne 1979

Une vaste campagne de mesures de courant s'est déroulée, en collaboration avec le CNEXO, dans le cadre d'une convention. Pour étudier le devenir des polluants apportés par la Seine. Il s'agissait de déterminer la

N° Fichier EPSHOM	Bouée Ph, et Balises	Position		Immersion	Période d'observation
		Lat. N	Long. W		
SH 910	A 3	49°49'48"	00°25'48"	5	22-06-77 au 24-06-77
SH 911	A 5	49°45'54"	00°17'30"	5	22-06-77 au 24-06-77
SH 912	A 9	49°44'24"	00°06'12"	5	24-06-77 au 28-06-77
SH 913	A 9	49°44'24"	00°06'12"	5	28-06-77 au 05-07-77
SH 914	A 16	49°43'06"	00°00'24"	5	24-06-77 au 28-06-77
SH 915	A 16	49°43'06"	00°00'24"	5	28-06-77 au 05-07-77
SH 916	A 22	49°40'42"	00°04'48"	5	09-07-77 au 11-07-77
SH 927	A 1	49°55'24"	00°41'36"	23	07-09-77 au 23-09-77
SH 923	A 1	49°55'24"	00°41'48"	5	07-09-77 au 23-09-77
SH 924	A 22	49°40'42"	00°04'48"	5	30-08-77 au 03-09-77
SH 926	A 5	49°45'54"	00°17'30"	5	30-08-77 au 03-09-77

circulation qui vient se superposer au mouvement alternatif des marées.

Les observations effectuées simultanément en onze points, étaient destinées à tester un modèle de circu-

lation résiduelle en Baie de Seine limitée au Nord par la ligne Barfleur-Antifer.

Les coordonnées des stations de courantométrie S1 à S5 de la Mission C1 à C6 du CNEXO figurent dans le tableau ci-dessous :

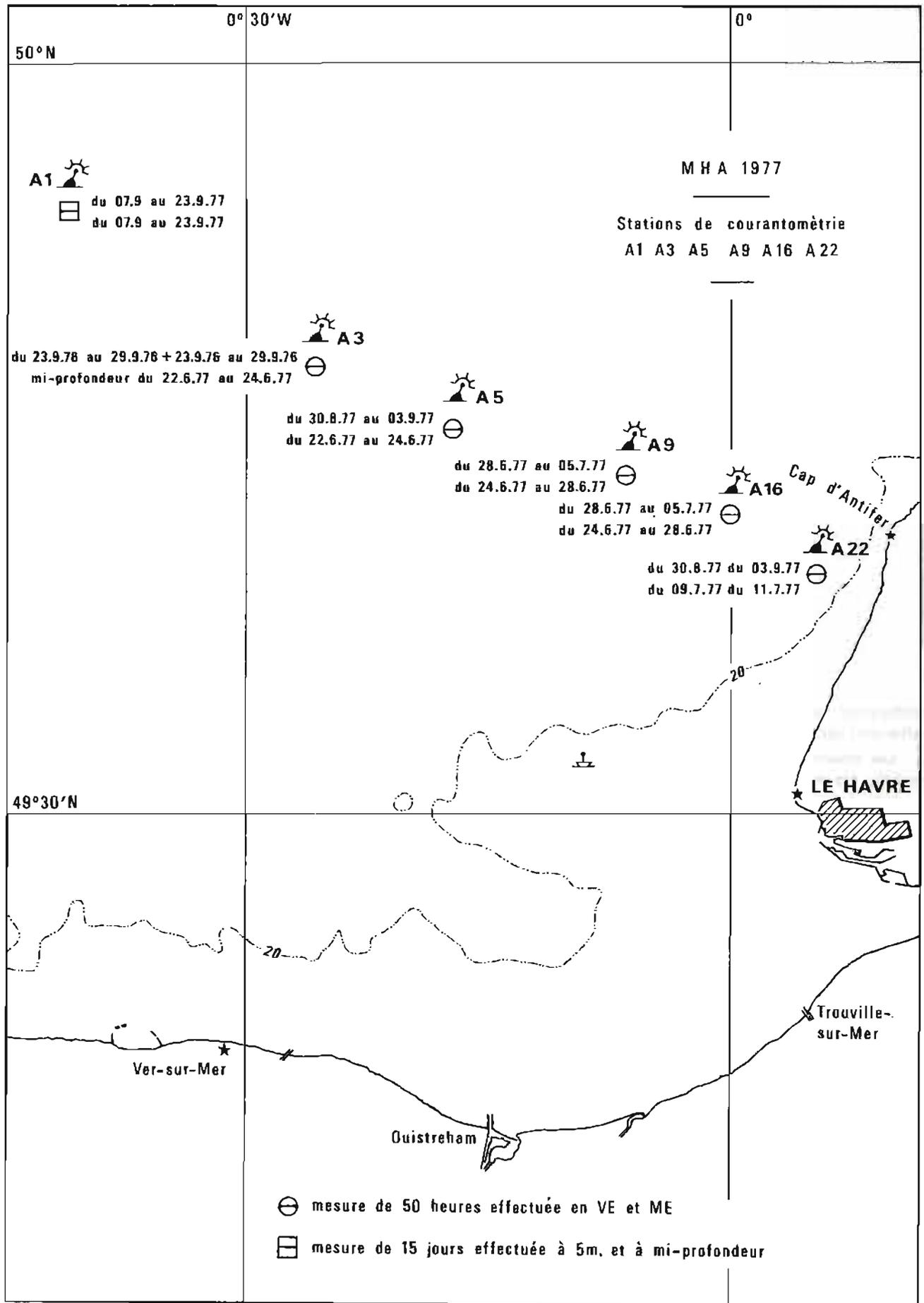
Point	Lambert I		Europe 50		
	X	Y	L	G	
C N E X O	C1	413 077	223 580	49°41'02" 4 N	000°15'11" 3 W
	C2	371 376	224 936	49°40'54" 7 N	000°49'52" 7 W
	C3	432 910	223 032	49°41'05" 6 N	000°01'18" 5 E
	C4	435 267	210 492	49°34'22" 1 N	000°03'35" E
	C5	346 698	220 579	49°37'58" 4 N	001°10'12" 4 W
	C6	395 022	209 253	49°32'57" 8 N	000°29'44" 6 W
S H O M	S1	410 726	232 492	49°45'48" N	000°17'24" W
	S2	413 611	203 830	49°30'24" N	000°14'12" W
	S3	411 047	186 115	49°20'48" N	000°15'48" W
	S4	378 778	203 277	49°29'24" N	000°43'00" W
	S5	354 257	203 585	49°29'00" N	001°03'18" W

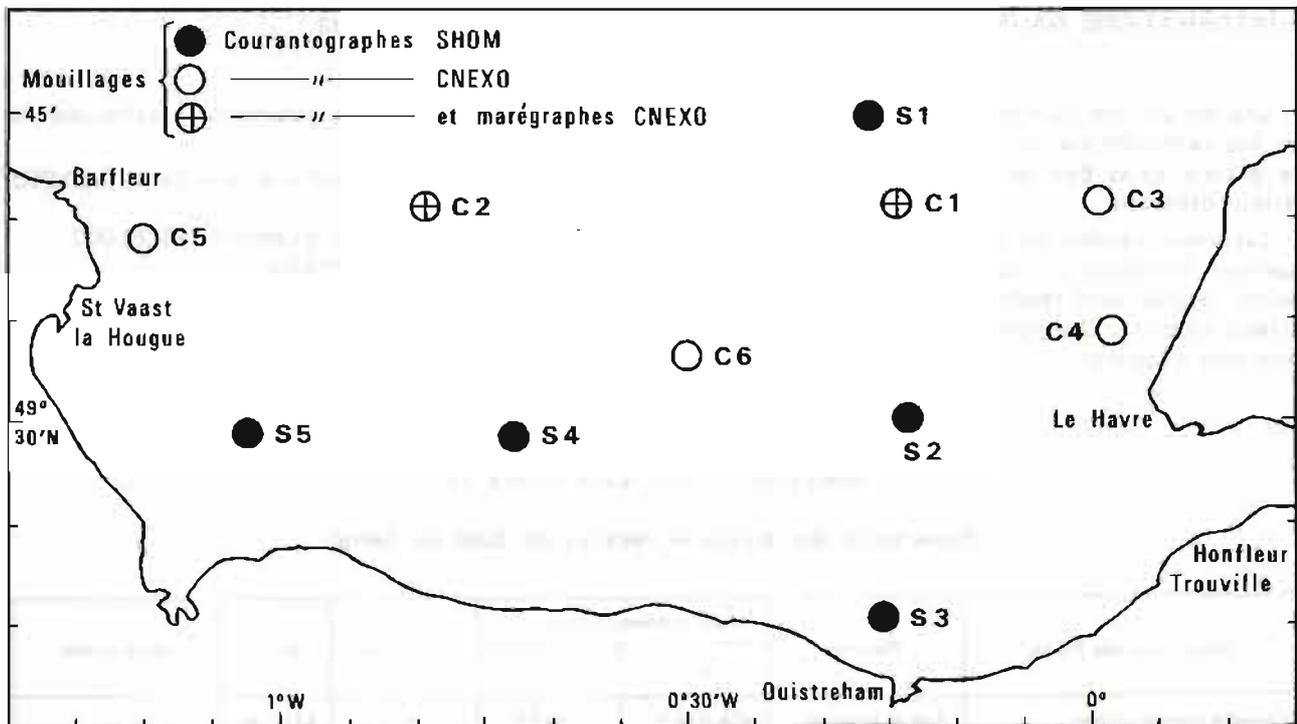
Tous ces points sont répertoriés sur la planche 21.

Les lignes de mouillage ont été mises en place par l'*Espérance* les 19 et 20 juin et relevées du 17 au 20 juillet à l'exception des stations C1 et C2 qui ont été remontées le 20 septembre par le bâtiment *La Thalia*

du CNEXO. En ces deux derniers points étaient mouillés un courantomètre et un marégraphe *in situ* type Anderaa.

La visite des lignes de courantométrie était régulièrement effectuée par les plongeurs du deuxième groupe





PL. 21

de plongeurs démineurs. La campagne de mesures a été favorisée par le beau temps. Malheureusement, le bilan des mesures a été affecté de façon sensible par l'action

conjuguée des pêcheurs et des plaisanciers. Seules les stations suivantes furent intégrées au fichier de l'EPSHOM.

N° Fichier EPSHOM	Position		Immersion en mètres	Période d'observations	Bouée de mouillage
	Lat. N	Long. W			
SH 1 031	49° 29' 00"	001° 03' 36"	5	22-06-79 au 06-07-79	Epave Norfolk
SH 1 032	49° 29' 00"	001° 03' 36"	5	06-07-79 au 17-07-79	Epave Norfolk
SH 1 033	49° 29' 24"	000° 43' 00"	5	22-06-79 au 05-07-79	Epave de Port en Bessin
SH 1 034	49° 29' 34"	000° 43' 00"	5	05-07-79 au 17-07-79	Epave de Port en Bessin
SH 1 035	49° 45' 48"	000° 17' 24"	5	05-07-79 au 18-07-79	A5 Chenal d'Antifer
SH 1 036	49° 20' 48"	000° 15' 48"	5	22-06-79 au 05-07-79	Epave Lion
SH 1 037	49° 30' 24"	000° 14' 12"	5	22-06-79 au 06-07-79	Epave North Gate

7. INFORMATIONS NAUTIQUES

Une des activités permanentes de la Mission au cours du levé bathymétrique fut de procéder à la mise à jour de la carte de la Baie de Seine et en particulier à la révision des amers.

Les amers naturels ou artificiels ont été systématiquement triangulés et classés. Les coordonnées des points repérés sont répertoriées Annexe I jointe au présent chapitre. Des fiches d'amers ont été rédigées pour tous ces points.

8. DOCUMENTS ETABLIS

A l'issue du levé, les documents suivants ont été établis :

- 15 minutes de bathymétrie à l'échelle de 1/20 000. B 10¹ à B 10¹⁶.
- 12 minutes de recherche à l'échelle de 1/20 000.
- 18 dossiers de courantométrie.
- 95 fiches d'épaves.

ANNEXE I AU CHAPITRE II

Répertoire des amers et repères en Baie de Seine

Désignation des Points	Repère	Coordonnées Lambert I		Classement	ALT	Observations
		x	y			
Cauville Château d'eau	Axe et sommet	439 824,9	211 970,0	4	131 m	
Heugueville Blockhaus	Croix gravée	440 913,1	215 186,2	0	102 m	
St Jouin Bruneval clocher	Axe de la croix	442 962,1	218 246,5	1	138 m	
Antifer Port pétrolier mât et vigie	Axe et sommet	442 333,7	219 141,1	2	41 m	Tour de contrôle du trafic
Antifer Port Feu rouge digue N	Axe et sommet	439 870,9	220 418,6	2	28 m	
Antifer Port Feu vert Port de service	Axe et sommet	442 081,6	219 015,0	2	18 m	
Antifer Port Feu rouge port de service	Axe et sommet	441 879,3	218 936,2	2	18 m	
Antifer Port Feu de guidage	Axe et sommet	440 646,3	221 264,6	2	28 m	
Antifer Port Feu de guidage	Axe et sommet	441 096,8	221 257,7	2	28 m	
Antifer Port Feu de guidage	Axe et sommet	442 408,9	219 952,0	2	32 m	
Antifer Port Feu de digue violet	Axe et sommet	441 243,3	221 257,4	1	18 m	
Antifer Port Feu de digue violet	Axe et sommet	440 296,6	221 254,4	1	18 m	
Antifer Pylone Radio	Axe et sommet	442 769,4	218 951,6	4	153 m	
Antifer Belvédère	Croix gravée	442 650,9	218 850,95	1	107 m	
Antifer Phare	Axe	443 362,1	222 671,0	4	130 m	
Antifer Phare	Croix gravée	443 360,1	222 668,6		128 m	
Antifer Antenne Trident	Axe	443 357,23	222 669,93		132 m	Courant Secteur-Site excellent
Le Havre Vigie sémaphore	Axe et sommet	438 195,6	200 660,3	3	65 m	
Le Havre Mat	Axe	438 196,3	200 661,5		66 m	
Le Havre Feu rouge	Axe et sommet	438 707,1	200 591,3	1	17 m	
Terre plein Marine Nationale						
Le Havre Feu rouge antérieur alignement d'entrée	Axe et sommet	437 760,0	201 537,7	1	29 m	N'est allumé qu'en des circonstances exceptionnelles
Le Havre Feu rouge postérieur	Axe et sommet	438 444,7	201 517,7	0	51 m	N'est allumé qu'en des circonstances exceptionnelles
Le Havre Feu d'alignement postérieur fixe blanc	Axe et sommet	439 858,0	199 959,1	2	87 m	
Le Havre Feu d'alignement antérieur fixe blanc	Axe et sommet	438 577,3	200 387,7	1	45 m	
Le Havre Feu vert digue Sud	Axe et sommet	437 237,8	200 696,75	2	24 m	
Le Havre Feu vert (môle central)	Axe et sommet	438 411,85	200 394,6	0	15 m	
Le Havre Pylone TV	Axe et sommet	443 642,1	202 734,0	3	189 m	
La Héve Sémaphore (2)	Croix gravée					
	MHA	435 976,6	203 488,6	0	110 m	
	Axe sémaphore	435 976,9	203 490,2	2	110 m	

Désignation des Points	Repère	Coordonnées Lambert I		Classement	ALT	Observations
		x	y			
Le Havre Feu rouge jetée du sémaphore	Axe	438 111,5	200 627,6	1	18 m	
La Hève Balise	Axe et sommet	435 990,7	203 418,2	0	104 m	Impossibilité d'installer le Trident en raison du nombre d'antennes existantes
La Hève Phare	Axe et sommet	435 854,8	203 855,55	4	123 m	
Ste Adresse Château d'eau	Axe et sommet	437 398,5	203 520,2			
Clocher W Eglise ND des Flots	Centre de la Croix	436 775,2	203 012,5			
Clocher E Eglise ND des Flots	Centre de la Croix	436 772,2	203 018,6			
Honfleur Vigie du sémaphore	Axe et sommet	447 430,1	194 107,5	3	49 m	
Honfleur Feu rouge Sud	Axe et sommet	447 582,5	193 586,5	2	22 m	
Honfleur Feu isophase	Axe et sommet	447 596,3	193 375,2	1	17 m	
Honfleur ancien phare	Axe et sommet	447 093,2	193 781,0	2	34 m	
Honfleur Clocher Eglise Ste Catherine	Axe et sommet	447 340,8	193 384,5	1		
Honfleur Feu vert de la falaise des Fonds	Axe et sommet	446 079,9	193 780,55	3	20 m	
Honfleur Feu vert jetée de l'Ouest	Axe et sommet	447 250,1	194 128,5	1	18 m	
Honfleur Feu sur tour radar	Axe de la lanterne	447 400,6	194 123,7	1	19 m	
Honfleur musée	Axe de la croix	447 462,6	193 215,5	0	45 m	ancienne église désaffectée
Honfleur Pylone TV	Axe et sommet	447 660,5	192 558,0	4		
Hennequeville sémaphore	Axe et sommet	438 242,4	189 748,65	1	140 m	
Mont Canisy blockhaus	Douille SH	433 310,1	184 561,9	0	113 m	Site excellent pour balise Trident
Ouistreham Tourelle	Axe et sommet	412 018,6	179 454,6	1		
Ouistreham Balise noire conique	Axe et sommet	412 098,3	179 137,35	1		
Ouistreham Tourelle feu vert	Axe et sommet	412 119,2	179 966,9	1	12 m	
Ouistreham Tourelle feu rouge	Axe et sommet	412 398,3	181 014,2	1	7 m	
Ouistreham Tourelle	Axe et sommet	412 026,4	178 807,0	1	17 m	
Ouistreham Tourelle	Axe et sommet	412 100,2	179 332,4	1	8 m	
Courseulles Tourelle	Axe et sommet	397 078,4	185 713,1	1	9 m	
Courseulles Tourelle	Axe et sommet	397 119,0	185 996,1	1	9 m	
Courseulles Espar rouge 1	Axe et sommet	397 117,8	185 810,3	1		
Courseulles Espar rouge 2	Axe et sommet	397 159,2	185 917,7	1		
Courseulles Espar noir 1	Axe et sommet	397 049,2	185 763,35	1		
Courseulles Espar noir 2	Axe et sommet	397 064,0	185 829,2	1		
Luc sur Mer Château d'eau	Axe et sommet	403 735,6	181 994,9	3		
Langrune Château d'eau	Axe et sommet	402 764,0	183 243,8	3		
Colleville Clocher	Centre de la Croix	368 706,9	188 069,3	3		
Arromanches Blockhaus borne en granit	Douille	385 627,9	186 287,0	0	51 m	
Arromanches Blockhaus croix gravée	Axe	385 650,4	186 395,9	0		
Louvières Château d'eau	Axe	363 049,3	190 467,0	4	101 m	
Gefosse-Fontenay Château d'eau	Axe	352 793,7	190 412,0	3		
Les Veys Château d'eau	Axe	345 746,5	184 718,3	3		
Vierville Château d'eau	Axe	338 008,5	188 635,1	3		
Ozeville Château d'eau	Axe	338 785,7	207 372,0	4	97 m	
Morsalines Château d'eau	Axe	334 412,35	213 999,75	3		
St Vaast La Hougue sémaphore	Axe	338 935,6	214 349,4	1		Sémaphore gardienné
Fort de La Hougue Feu blanc	Axe de la lanterne	339 059,95	214 152,5	1		
St Vaast La Hougue Feu vert	Axe de la lanterne	340 027,2	215 841,5	1	9,5 m	
St Vaast La Hougue Feu rouge	Axe de la lanterne	339 994,0	215 800,7	0		
Port en Bessin radiobalise	Axe	375 109,1	187 821,6	1		
Gatteville phare	Axe	340 228,8	228 065,9	4	78 m	
Gatteville phare	Repère en bronze	340 226,7	228 063,5	0	71 m	
Vierville plateforme en béton	Croix gravée	364 585,7	191 817,6	0		
St Vaast La Hougue jetée Nord	Douille en bronze	340 000,3	215 838,2	0		
Ver sur Mer phare	Axe	392 563,2	186 163,1	4	42 m	

CHAPITRE III

LEVE SUR LE TALUS CONTINENTAL DANS LE GOLFE DE GASCOGNE

1. GENERALITES

Une des activités principales de la M.H.A. en 1978 et 1979 fut de réaliser sur une vaste échelle, le levé du talus continental dans le Golfe de Gascogne en complétant les levés déjà entrepris.

La planche 22 indique les limites du levé. Les travaux ont été réalisés exclusivement par l'*Espérance* qui, de par sa vocation d'ancien chalutier, est bien adapté aux conditions de mer existant dans le Golfe de Gascogne.

La zone à lever, éloignée de la côte de 150 à 300 km, était limitée par :

- au Nord, l'hyperbole médiane du réseau Toran " La Trinité-les Sables d'Olonne", de la chaîne Sud-Bretagne (réseau B).
- à l'Ouest, la courbe enveloppe des cercles de 5 milles de rayon centrés sur la sonde 4 000 mètres la plus au large obtenue sur chaque profil.
- au Sud, une ligne orientée au 050° passant par le phare de l'Amandèche.
- à l'Est, l'isobathe 150 mètres.

En 1979, la limite Sud fut étendue jusqu'au parallèle 44°30' N.

Les travaux se sont échelonnés :

- de juin à novembre 1978 ;
- d'août à novembre 1979.

2. DEROULEMENT DES TRAVAUX

2.1. Année 1978

Les profils de sonde suivis ont été espacés de 500 mètres pour les fonds inférieurs à 2 000 mètres et de 1 000 mètres pour les fonds s'étendant jusqu'à 5 milles au-delà de l'isobathe de 4 000 mètres.

Pour vérifier la validité du modèle de marée, ce réseau a été complété par des profils complémentaires, sensiblement parallèles aux isobathes dans les fonds inférieurs à 250 m et par un profil orienté Nord-Sud des fonds de 800 à 4 000 mètres.

Le réseau B du Toran P 100 mis en place par la M.H.A. a servi de guide pour le levé 1978.

2.2. Année 1979

L'espacement des profils a été identique à celui adopté en 1978 sauf dans le Sud-Ouest de la zone où un profil sur deux a été arrêté à la fin de la chute du talus (environ 3 600 m de profondeur). Quelques profils complémentaires, espacés de 2 000 m et s'intercalant entre "deux profils longs" ont été levés dans le Sud-Ouest de la zone au voisinage de l'isobathe de 4 000 m pour définir de façon plus fine la chute brutale de 150 m qui y a été observée.

D'autre part, 16 profils de vérification ont été sondés, espacés de 5 000 m pour les fonds inférieurs à 2 000 m et de 10 000 m au-delà, leur orientation (azimut 140° ou 320°) est sensiblement parallèle aux isobathes. Le réseau Toran P 100 M.H.A. installé en mode Z a servi de guide pour le levé 1979.

3. RADIOLOCALISATION

Le système de radiolocalisation de référence utilisé a été le Toran. Les chaînes Sud-Bretagne et Gascogne, entretenues en permanence par les Phares et Balises, ont été complétées par la chaîne longue portée du SHOM qui a été mise en œuvre pour la première fois en 1978.

Les caravanes abritant les émetteurs ont été tractées et amenées sur les sites par les véhicules de la Mission.

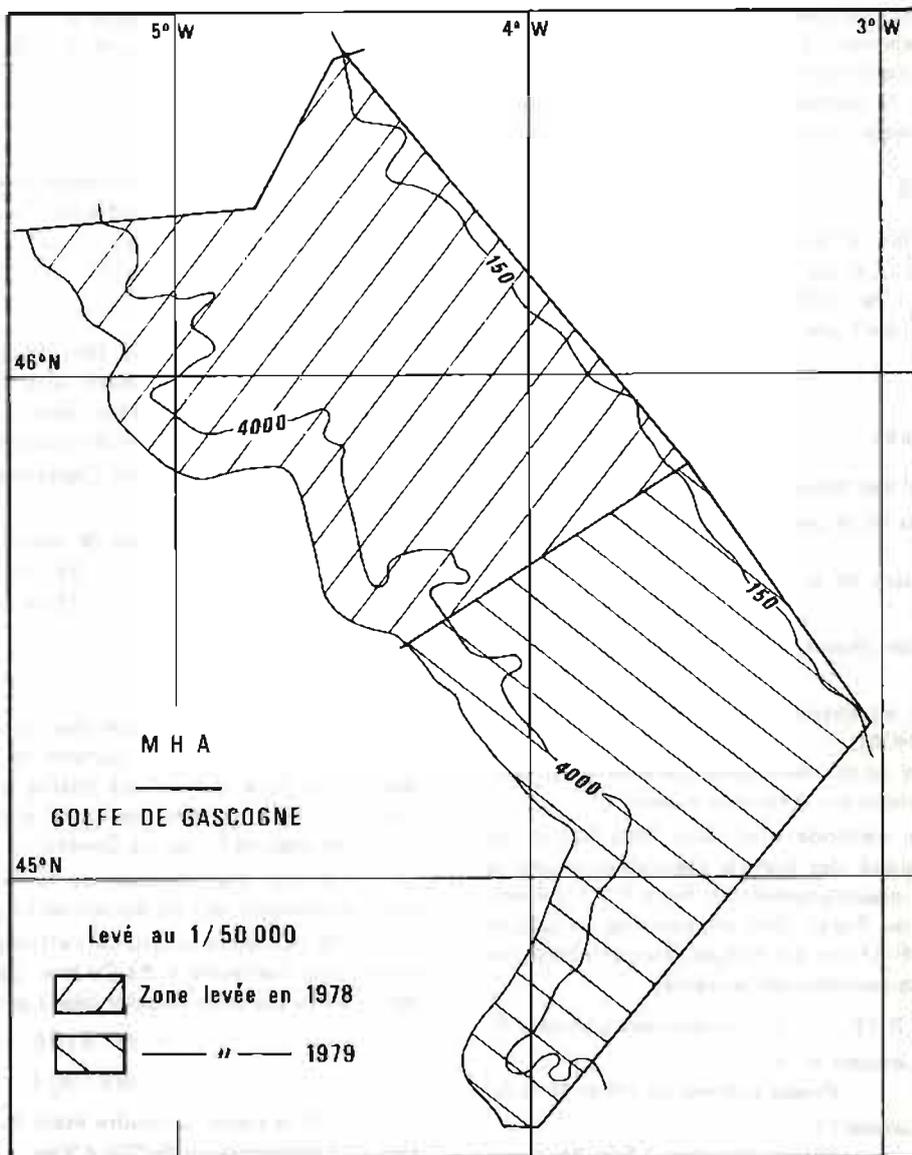
Les caractéristiques des différentes chaînes sont indiquées en Annexe I au présent chapitre.

En vertu d'une convention passée entre le SHOM et la Direction des Phares et Balises, cette campagne hydrographique a été mise à profit pour évaluer les systèmes de radionavigation Rana P 17 et Omega Différentiel.

3.1. Etalonnage

3.1.1. Année 1978

Les opérations se sont déroulées au début du mois d'avril 1978, le système de référence choisi étant le Trident III qui venait d'être livré à la Mission.



PL. 22

Les balises occupèrent successivement les emplacements suivants :

Désignation	Coordonnées Lambert II		Altitude Z en mètres
	X	Y	
Eckmühl (phare)	97 958,3	332 414,0	57
Pont l'Abbé (Château d'eau)	109 750,12	340 244,94	88
Fouesnant (Château d'eau)	125 361,27	340 652,83	92
Kergantic (Château d'eau)	165 054,93	320 130,35	73
Quiberon (Sémaphore de St. Julien)	188 671,8	291 574,6	50
Belle Ile (Sémaphore de la Pointe du talus)	180 224,7	269 806,8	50
La Turballe (Château d'eau)	235 770,5	272 245,6	60

Trois groupes de mesures ont été réalisés, bâtiment en station stoppé de jour et de nuit. Le premier (10 stations) avec des balises Trident installées à Kergantic, Belle Ile et Quiberon. Le second (9 stations) avec des balises

Trident installées à La Turballe, Belle Ile et Quiberon. Le troisième (14 stations) avec des balises Trident installées à Penmarc'h, Pont Labbé et Fouesnant.

Chaque station comportait une série de quatre mesures indépendantes. Le Trident s'est révélé un instrument fort commode permettant d'étendre plus au large que ne le permettent les procédés optiques classiques l'étalonnage d'un système de radiolocalisation.

3.1.2. Année 1979

L'étalonnage fut effectué par coupure des lignes d'ombre des réseaux et par visées optiques du bâtiment au voisinage de l'île d'Oléron. On calcula les phases théoriques en utilisant une vitesse de propagation égale à 299 675 km/s.

3.2. Calage du Toran

Le calage initial des réseaux était obtenu :

- au passage près de la bouée du Lys en Iroise (réseau Sud-Bretagne),
- au franchissement de la ligne d'ombre du couple A (Sud-Bretagne).

Le transport des phases jusqu'à la zone des travaux était contrôlé :

- au passage sur les épaves repérées 14564 003 et 007 au fichier EPSHOM,
- ou au voisinage de bouées repères radarisables mouillées par le bâtiment sur la zone de travail.

Cette dernière méthode était sûre mais lourde en raison de la longueur des transits inévitables. Aussi la Mission a utilisé essentiellement le Rana P 17 comme levé d'ambiguïté du Toran. Des programmes de calculs pour calculette HP 67 ont été rédigés pour effectuer les transformations de coordonnées suivantes :

- Données Rana P 17 → Coordonnées Lambert II
- Coordonnées Lambert II → Phases théoriques Toran M.H.A.
- Coordonnées Lambert II → Phases théoriques Sud-Bretagne
- Coordonnées Lambert I → Phases théoriques Gascogne.

Cette méthode très souple s'est avérée fort commode pour lever l'ambiguïté des chenaux Toran à tout instant sans avoir à quitter la zone du levé bathymétrique.

3.3. Toran Sud-Bretagne

En 1978, la chaîne a fonctionné pratiquement sans coupure. La réception des phases est restée stable sauf les nuits d'été où l'effet de l'onde du ciel est souvent très sensible.

En 1979, l'utilisation du Toran Sud-Bretagne est devenue très délicate dans la zone Sud du levé, l'implantation du couple A étant très éloignée des lieux du levé et les hyperboles du couple B s'épanouissant largement hors de la ligne de base.

Les corrections suivantes de réseau "CCR" ont été adoptées :

- Zone Nord du levé : Réseau A = - 18 centièmes
Réseau B = + 16 centièmes

- Zone Sud du levé : Réseau A = - 18 centièmes
Réseau B = + 08 centièmes

3.4. Toran M.H.A.

Pour obtenir des lieux complémentaires, la Mission a mis en œuvre des émetteurs Toran P 100 installés dans des caravanes mobiles.

3.4.1. Année 1978

En 1978, la chaîne a été implantée en mode V. L'émetteur de référence étant situé à Belle Ile et relativement éloigné de l'émetteur Sud à La Coubre, il en est résulté une certaine instabilité initiale des réseaux.

Ce défaut a disparu après l'optimisation du réglage de la puissance des émetteurs.

Les corrections suivantes de réseau ont été adoptées :

- Réseau A = - 24 centièmes
- Réseau B = + 12 centièmes.

3.4.2. Année 1979

En 1979, la configuration des réseaux Toran M.H.A. a été modifiée pour tenir compte de l'extension vers le Sud de la zone à lever. La chaîne a été implantée en mode Z, les caravanes occupant à partir du mois de juillet les sites de Piriac, La Coubre, et l'île d'Yeu.

L'ingénieur électronicien de la Mission a dû intervenir à plusieurs reprises durant les travaux, notamment :

- le 6 octobre à la suite de l'effondrement de la dune supportant l'antenne à La Coubre. La station a dû être déplacée au point de coordonnées Lambert III :

$$x = 321\ 811,6$$

$$y = 383\ 150,4$$

- le 14 octobre, la foudre étant tombée sur le récepteur de compensation de l'île d'Yeu.

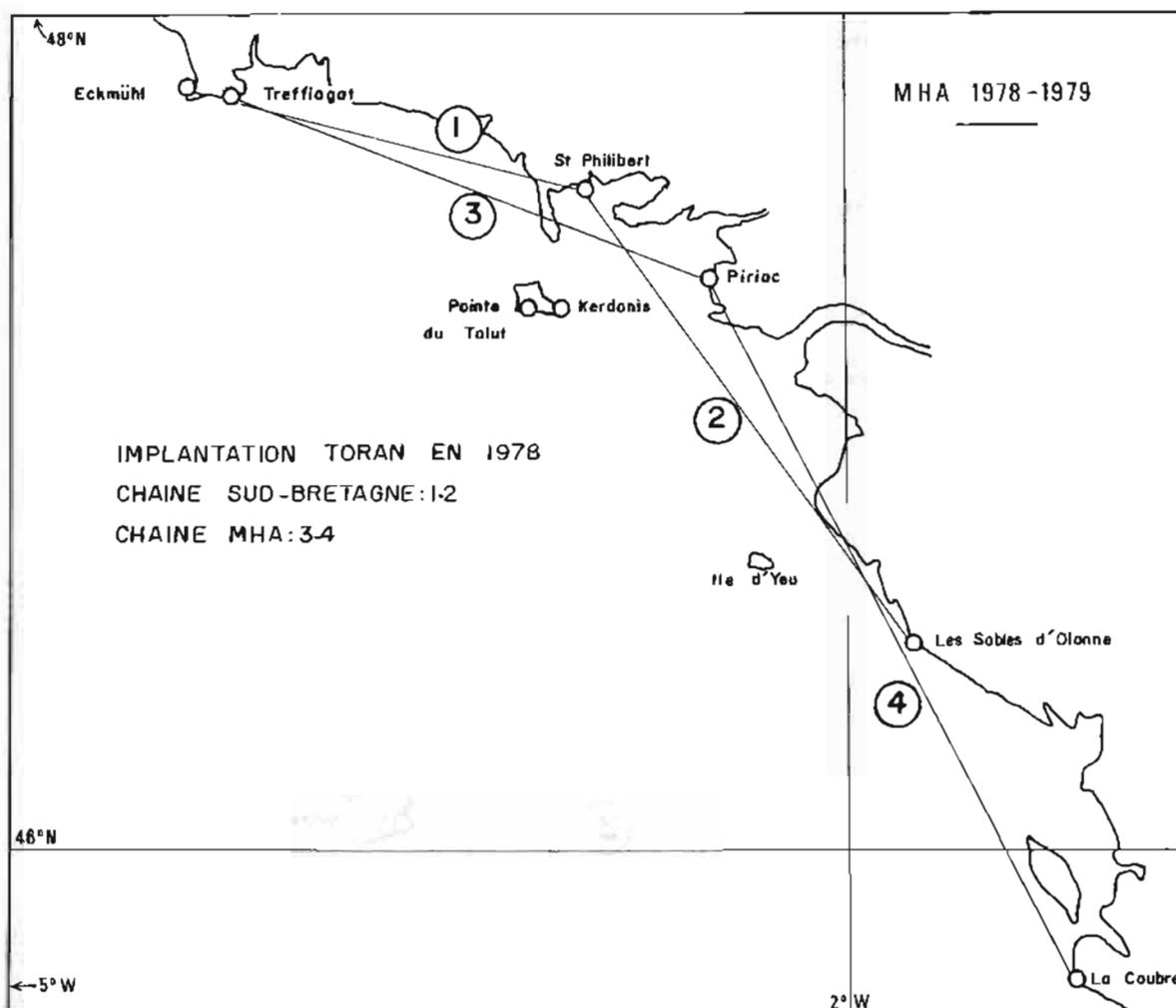
La réception du Toran M.H.A. est devenue très irrégulière à la fin du mois de septembre, l'E.D.F. procédant au changement du câble haute-tension alimentant l'île. Les coupures de secteur quotidiennes ont affecté les batteries et provoqué une mauvaise réception des signaux de 12 h 00 à 19 h 00 pendant les périodes où le chargeur de batteries n'était plus alimenté.

Au début du mois de novembre, la dune supportant l'antenne de La Coubre s'est de nouveau effondrée à la suite d'une tempête. Par sécurité, la station a dû être reculée de 71 mètres. Les coordonnées Lambert III de l'aérien seront en 1980 :

$$x = 321\ 854,3$$

$$y = 383\ 207,2$$

La correction constante de réseau adoptée par comparaison avec les points calculés à partir du Toran Sud-Bretagne (au Nord de la zone) puis du Toran Gascogne (au Sud) a été de + 38 centièmes jusqu'aux modifications apportées aux émetteurs de La Coubre et de l'île d'Yeu. Elle est alors devenue + 30 centièmes à l'Est de la zone et + 39 centièmes à l'Ouest.



PL. 23

3.5. Toran Gascogne

Les caractéristiques de cette chaîne gérée par les Phares et Balises sont mentionnées en annexe I au présent chapitre.

Les constantes de calage des réseaux (C.C.R.) ont été déterminées dans le Nord de la zone par comparaison avec le point obtenu à partir du Toran Sud-Bretagne et conservées sur toute la zone des travaux puisque celle-ci était proche des hyperboles médianes de chacun des couples.

Les valeurs suivantes ont été adoptées :

- Réseau Nord : + 36 centièmes
- Réseau Sud : - 08 centièmes.

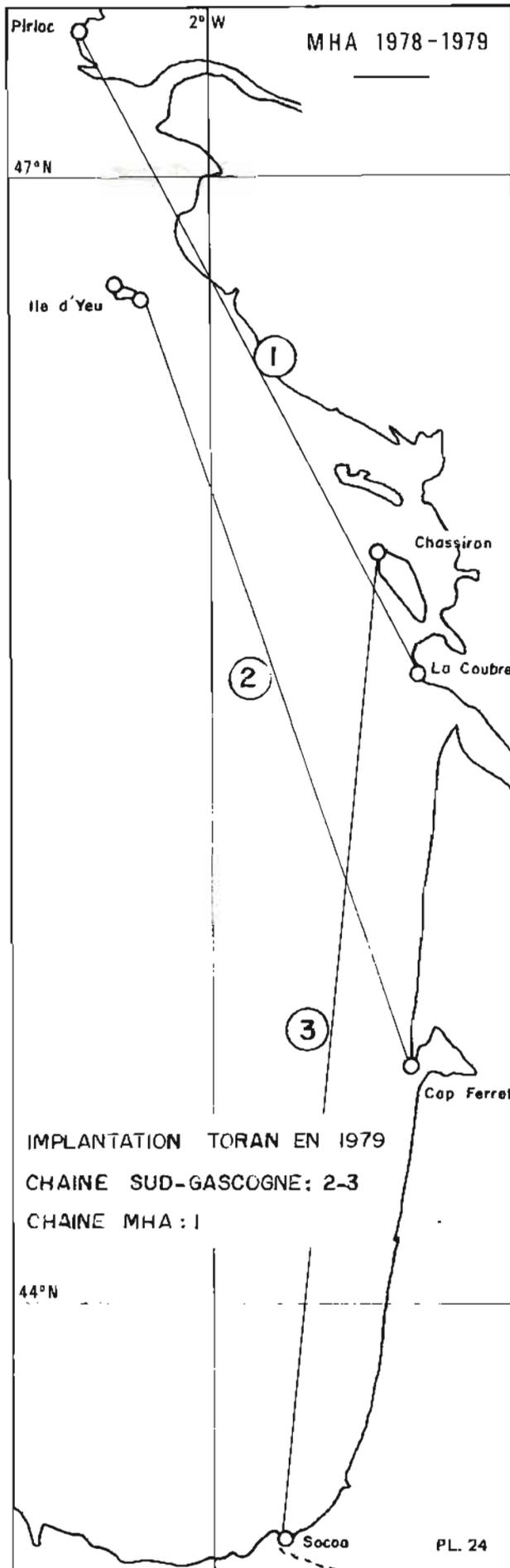
De jour, en dehors des périodes d'orage, le fonctionnement de la chaîne a été excellent. Du coucher de soleil à l'aube, la stabilité des réseaux a été assez bonne, ce qui a souvent rendu possible le travail de nuit.

4. RECHERCHES D'OBSTRUCTIONS

Les épaves figurant au fichier de l'EPSHOM ont fait l'objet de recherches systématiques au sondeur vertical uniquement, les fonds importants interdisent la mise en œuvre d'un magnétomètre.

Les deux épaves suivantes ont été confirmées :

N° Fichier EPSHOM	Coordonnées Lambert II		Hauteur au-dessus du fond	Brassage en mètres
	X	Y		
14564 007	80 760	222 548	17,6	128
14564 003	92 680	269 720	15,0	156



Pour retrouver plus facilement ces épaves utilisées pour le contrôle des phases Toran, un balisage constitué de bouées oranges radarisables a été mis en place pendant une partie de la durée des travaux.

5. OBSERVATIONS DE COURANT

Au mois de Mai 1978, on a mouillé au point de coordonnées :

$$L = 46^{\circ} 58' N$$

$$G = 04^{\circ} 19' W$$

N° Fichier	Position	Période d'observation	Immersion	Observations
79 GAS 4 et 5	45° 10' 00" N 03° 36' 30" W	31-08-1979 au 02-09-1979	10 75 140	Mesure de M.E. Observation à - 10 mètres inexploitable
79 GAS 1, 2 et 3	45° 37' 48" N 03° 16' 48" W	03-10-1979 au 04-10-1979	10 75 140	Mesure de V.E. Bon fonctionnement
79 GAS 6	45° 24' 24" N 03° 03' 42" W	15-10-1979 au 16-10-1979	10	Mesure de M.E. Bon fonctionnement

La zone étant très fréquentée par les chalutiers espagnols, le bâtiment a effectué le levé bathymétrique des environs immédiats des points de mouillage des lignes de courantométrie pendant les périodes de mesures.

6. REDACTION

Le calcul des coordonnées des stations de sondes et de la marée à chaque top de localisation a été fait, suivant le procédé automatique, à l'EPSHOM.

Dans les profondeurs inférieures à 200 m, les sondes ont été réduites de la marée calculée selon un modèle réalisé par EPSHOM/E/OC. Les observations marégraphiques recueillies en divers points de la côte atlantique ainsi qu'en deux points au large, ont permis de déterminer les constantes harmoniques en ces points (une vingtaine au total). La valeur des constantes du potentiel générateur aux différents points du levé, est interpolée dans le plan à partir des vingt points de mesure, et reste constante tant que le bâtiment n'a pas parcouru de distance supérieure à deux milles.

La marée a été enregistrée aux observatoires de St. Gildas en 1978 et du Verdon en 1979. La détermination précise de la hauteur de marée à St. Gildas et au Verdon a également été réalisée par interpolation entre les données harmoniques. L'écart entre la marée mesurée aux observatoires et celle calculée par le modèle aux mêmes sites a été reporté sur la marée calculée pour chaque station de sonde.

Enfin, le modèle a été testé aux points d'intersection des profils traversiers et du réseau régulier des lignes de sonde, les sondes ayant été dépouillées au décimètre près.

une ligne de courantométrie à deux niveaux avec bouée de subsurface, largueur acoustique et lest de chaînes. La ligne de courantométrie n'a pu être récupérée, le boulon explosif Suber n'ayant pas fonctionné et toutes les tentatives de récupération ayant échoué.

En 1979, les mesures suivantes d'une durée égale à 26 heures, ont été effectuées en M.E. et en V.E. à la limite du plateau continental :

6.1. Marée à St. Gildas

Le zéro des sondes à St. Gildas est situé à 13,660 mètres au-dessous du repère N.G.F. scellé sur le bâtiment de l'ancien sémaphore, soit à la côte - 3,03 mètres N.G.F.

6.2. Marée au Verdon

Le zéro des sondes au Verdon est situé à 9,935 mètres au-dessous du repère N.G.F. n° OP_q 33 d scellé dans la bordure de l'appontement à proximité du marégraphe.

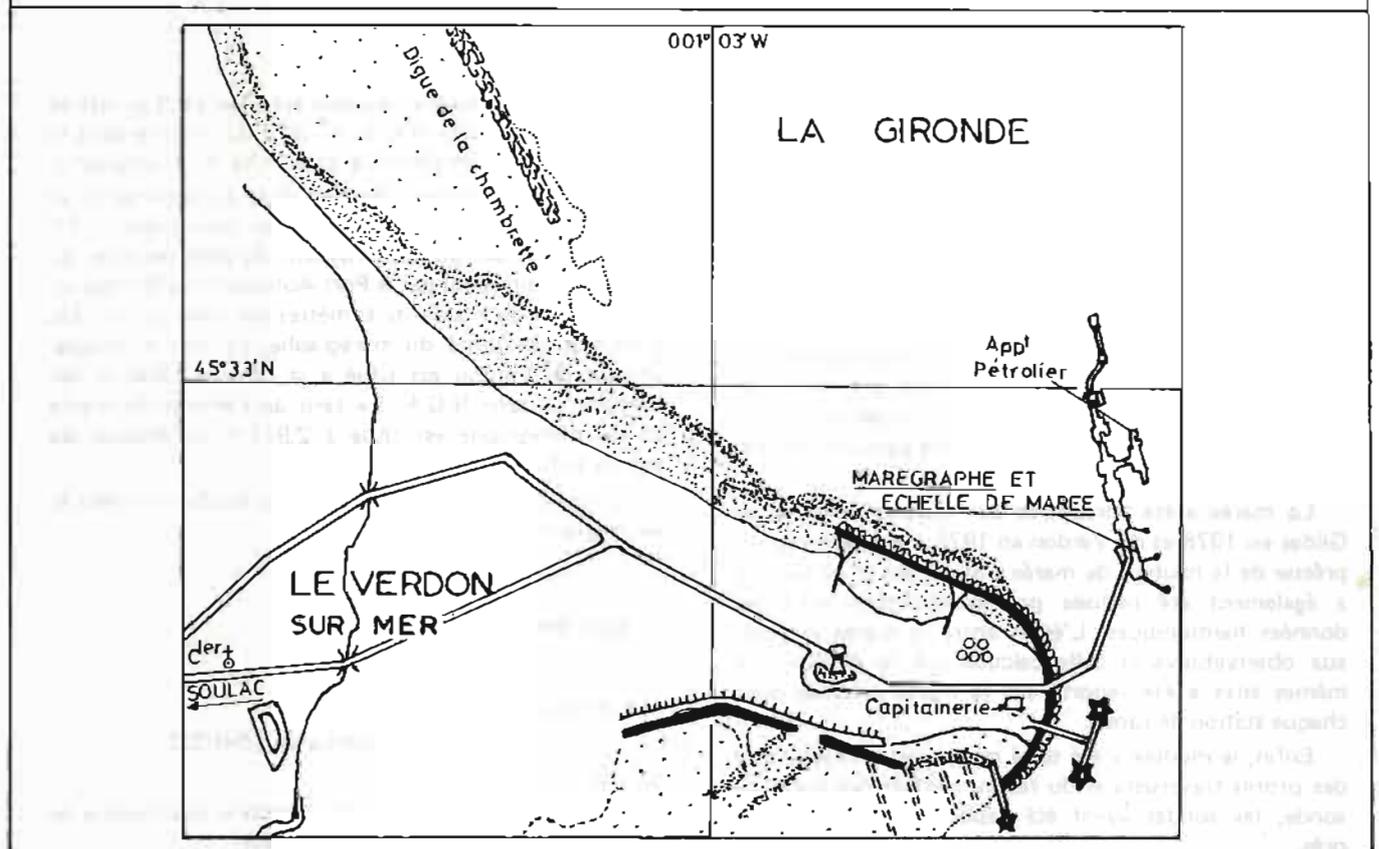
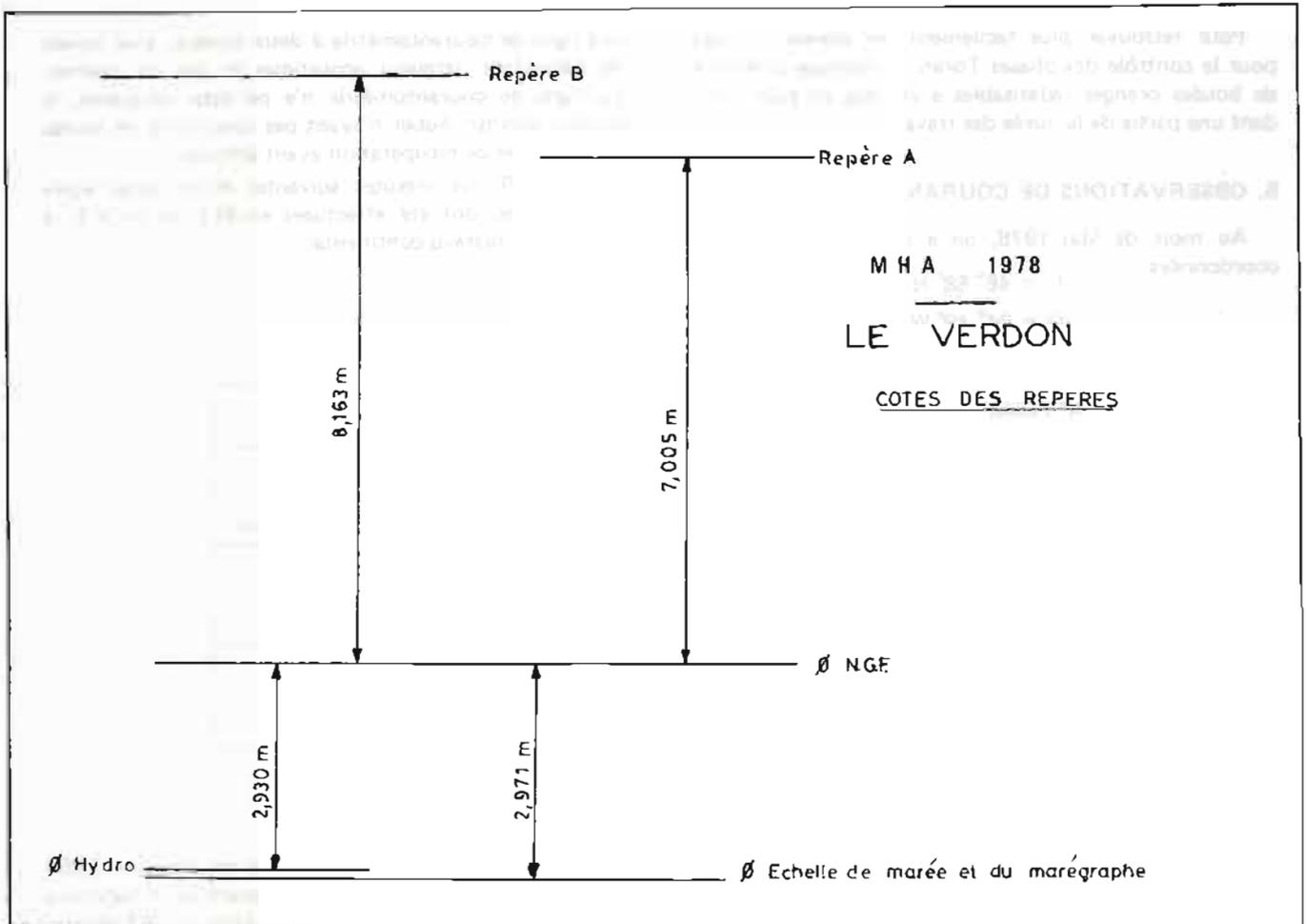
L'ancien marégraphe du Port Bloc a été démonté et remplacé en 1973 par un nouveau marégraphe OTT R 20 installé sur un appontement du port pétrolier au Verdon et entretenu par le Port Autonome de Bordeaux. Une échelle de marée de 6 mètres est fixée sur un duc d'Albe à proximité du marégraphe. Le zéro hydrographique au Verdon est situé à la côte - 2,930 m par rapport au zéro N.G.F. Le zéro de l'échelle de marée et du marégraphe est situé à 2,971 m au-dessous du zéro N.G.F.

L'implantation du marégraphe du Verdon est décrite sur la planche 25.

7. DOCUMENTS REDIGES

- a) Campagne 1978 :
 - 11 minutes de bathymétrie au 1/50 000.
- b) Campagne 1979 :

Une grande partie de la rédaction des travaux de 1979 a été laissée à notre successeur.



ANNEXE I AU CHAPITRE III

Caractéristiques des réseaux Toran sur la façade Atlantique

ANNEE 1978

Configuration du Réseau Sud-Bretagne – Mode V

Réseau Sud-Bretagne	Emetteur Nord	Emetteur Sud	Foyer Central	Référence
Nom	Penmarch	Les Sables d'Olonne	St. Philibert	Belle-Ile Kerdonis
Coordonnées Lambert II	$x = 97\ 839,4$ $y = 332\ 385,6$	$x = 282\ 224,0$ $y = 173\ 908,2$	$x = 198\ 336,4$ $y = 299\ 077,2$	
Fréquence	1 664,920 kHz	1 665,200 kHz	1 665,000 kHz	2 128,000 kHz

Configuration du Réseau MHA – Mode V

Réseau MHA	Emetteur Nord	Emetteur Sud	Foyer Central	Référence
Nom	Treffiatgat	La coubre	Piriac	Belle-Ile Pointe du Talus
Coordonnées Lambert II	$x = 106\ 299,6$ $y = 331\ 021,4$	$x = 321\ 868,3$ $y = 83\ 364,8$	$x = 230\ 603,1$ $y = 275\ 345,9$	$x = 180\ 263,9$ $y = 269\ 738,7$
Fréquence	1 760,420 kHz	1 760,700 kHz	1 760,500 kHz	1 606,100 kHz

Sur la planche 23 figure l'implantation des émetteurs.

Année 1979

Configuration du Réseau Gascogne – Mode X

Réseau (A)	Emetteur Nord	Emetteur Sud	Référence
Nom	Chassiron	Socoa	Ile d'Yeu
Coordonnées Lambert III	$x = 309\ 969,43$ $y = 422\ 963,06$	$x = 273\ 168,50$ $y = 129\ 243,70$	
Fréquence	1 631,000 kHz	1 631,080 kHz	1 782,000 kHz

Réseau (B)	Emetteur Nord	Emetteur Sud	Référence
Nom	Ile d'Yeu	Cap Ferret	Chassiron
Coordonnées Lambert III	$x = 246\ 189,76$ $y = 498\ 043,20$	$x = 315\ 306,92$ $y = 270\ 238,32$	
Fréquence	1 782,000 kHz	1 782,200 kHz	1 631,000 kHz

Configuration du réseau MHA – Mode Z

	Emetteur Nord	Emetteur Sud	Référence
Nom	Piriac	La Coubre	Ile d'Yeu
Coordonnées Lambert III	$x = 229\ 986,8$ $y = 575\ 081,7$	$x = 321\ 802,9$ $y = 383\ 150,1$	$x = 238\ 468,3$ $y = 502\ 209,7$
Fréquence	1 760,420 kHz	1 760,500 kHz	1 601,500 kHz

La chaîne Sud-Gascogne fonctionnait en mode X.

La chaîne MHA fonctionnait en mode Z.

La planche 24 figure l'implantation des émetteurs.

CHAPITRE IV

IV-1 COURANTOMETRIE EN RADE DE BREST

I. COURANTOMETRIE DEVANT LE PORT DE L'ILE LONGUE

Une campagne de courantométrie en rade de Brest s'est déroulée du 10 février au 8 mars 1977. Cette campagne visait à améliorer la connaissance des courants sur l'alignement d'entrée au port de service de l'île Longue, la circulation générale ayant été modifiée par suite de la construction de la digue.

Les mesures prescrites, commencées par mon prédécesseur, comportaient l'observation du courant à deux niveaux : 5 mètres au-dessus du fond et 5 mètres sous la

surface pendant une semaine en vive-eau et une semaine en morte-eau aux deux points situés :

- a) dans le relèvement 110° et à 400 mètres du feu de la digue Nord du port de l'île Longue.
- b) dans le 170° et à 100 mètres du même feu.

Une ligne de courantométrie mouillée le 10 février, a été perdue le 18 février et retrouvée le 17 mars à 50 mètres du point de mouillage initial grâce au concours d'un chasseur de mines. Le câble d'acier de la ligne de mouillage avait été sectionné par l'hélice d'un bâtiment.

Les observations ont fait l'objet des dossiers suivants :

N° Fichier EPSHOM	Position	Période d'observation	Immersion en mètres	Observations
SH 890	48° 18' 32" – 004° 29' 38" W	18-02-77 au 28-02-77	5	V.E. Exploitable
SH891	48° 18' 32" – 004° 29' 38" W	10-02-77 au 18-02-77	10	M.E. Exploitable
SH 892	48° 18' 32" – 004° 29' 38" W	10-02-77 au 18-02-77	5	M.E. Exploitable
SH 893	48° 18' 28" – 004° 29' 21" W	28-02-77 au 08-03-77	19	V.E. Exploitable

N° Fichier EPSHOM	Position	Période d'observation	Immersion en mètres	Observations
SH 895	48° 18' 32" N – 004° 29' 38" W	18-02-77 au 28-02-77	10	V.E. Exploitable
SH 896	48° 18' 28" N – 004° 29' 21" W	28-02-77 au 08-03-77	5	V.E. Exploitable
SH897	48° 18' 28" N – 004° 29' 21" W	10-02-77 au 17-03-77	19	M.E. Exploitable du 10-02 au 17-02
SH 894	48° 18' 28" N – 004° 29' 21" W	10-02-77 au 17-03-77	5	M.E. Exploitable du 10-02 au 17-02

II COURANTOMETRIE EN RADE-ABRI DE BREST

1. GENERALITES

Une campagne de courantométrie en rade-abri de Brest s'est déroulée du 17 au 20 janvier 1978 (période de morte-eau) et du 24 au 27 janvier 1978 (période de vive-eau).

Cette campagne venant en complément de celle effectuée en 1974-1975 (se référer au rapport de Mission de l'ICA Dars (*)), il s'agissait plus particulièrement :

- de confirmer l'absence de pénétration du courant de

(*) *Annales Hydrographiques* (1979) n° 753 p. 116.

jusant débouchant de la Penfeld à l'intérieur du tourbillon principal ;

— d'étudier le phénomène de vidange et de remplissage de la rade-abri en déterminant les débits à :

- l'embouchure de la Penfeld,
- la passe Sud,
- la passe de l'Ouest.

Toutes les mesures ont été réalisées par la Mission avec le concours de la Direction du port de Brest qui était chargée de fournir les moyens flottants en l'absence des vedettes hydrographiques, toutes indisponibles. Les plongeurs étaient ceux de la M.H.A.

Le schéma d'implantation des moyens mis en œuvre : courantographe, G.E.K., magnétomètre, drogues, est précisé sur la planche 26.

2. COURANTOMETRE

Des mesures de courant devant servir de donnée de référence ont été effectuées pendant toute la durée des mesures de débit au point repéré 24 sur la planche 26. L'enregistrement du courant était prélevé, selon un échantillonnage au 1/100^e d'heure, à 3 niveaux d'immersion :

- sous la surface,
- à mi-profondeur,
- au-dessus du fond.

Les appareils étaient remplacés tous les deux jours par des plongeurs. Les dossiers de courantométrie établis sont récapitulés dans l'annexe I jointe au présent chapitre.

3. G.E.K.

Le G.E.K. permet la mesure d'une différence de potentiel entre deux électrodes immergées. Selon la théorie de Faraday, cette différence de potentiel est reliée à la composante moyenne de la vitesse le long de la ligne de courant joignant ces deux électrodes et suivant une direction perpendiculaire à cette ligne de courant.

Le débit dans les passes de la rade-abri et à l'embouchure de la Penfeld a ainsi été déduit des mesures de différence de potentiel enregistrées entre les électrodes fixes immergées. Les schémas des dispositifs de mouillages utilisés figurent sur la planche 27. Pour éviter les perturbations générées par le relief sous-marin, les électrodes ont été fixées sur des lignes de mouillage à plus de cinq mètres de fond et des berges. Elles ont été immergées par des plongeurs au niveau du zéro hydrographique dans un plan vertical perpendiculaire à l'axe des passes. Pour ne pas perturber le trafic maritime, les câbles ont été lestés sur toutes les parties immergées.

L'étalonnage du G.E.K. à partir d'observations directes du courant devait être réalisé par utilisation d'un rotor de Savonius. Cet appareil s'étant révélé défectueux,

des mesures ponctuelles de contrôle ont été réalisées à l'aide d'un courantographe Mécabulier immergé au travers des passes, la durée de chaque observation étant de cinq minutes.

4. MAGNETOMETRE

Outre la circulation du courant de marée, il existe d'autres sources d'induction pour le G.E.K. et en particulier la variation diurne du champ magnétique terrestre.

L'intensité du champ magnétique a donc été enregistrée pendant toute la durée des mesures à l'aide d'un magnétomètre Varian. Le plan d'eau du Club Nautique de la Marine, bien abrité de la houle, a été retenu comme site d'installation de l'appareil. Les fonds avaient préalablement été visités par plongeurs pour vérifier l'absence d'éventuelles masses métalliques.

Lors de la première phase de mesures en période de morte-eau, le poisson du magnétomètre reposait sur le fond. Les résultats ont été décevants. L'enregistrement étant fréquemment bruité par des phénomènes restés inexplicables, les anomalies magnétiques n'ont pu être décelées.

Pour la deuxième phase de mesures en période de vive-eau, le poisson fut immergé à trois mètres au-dessous de la surface. Les résultats obtenus sont cohérents. Le champ magnétique mesuré a varié de 46 740 à 46 800 gammas. Ces variations n'ont pas affecté les mesures de courant.

5. DROGUES

Pour suivre le déplacement de la couche d'eau subsuperficielle, les trajectoires de flotteurs dérivants ont été déterminées par visées simultanées à l'aide de théodolites.

Les drogues ont été lâchées à l'embouchure de la Penfeld au point de coordonnées :

$$L = 48^{\circ}22', 7 \text{ N}$$

$$G = 04^{\circ}29', 6 \text{ W}$$

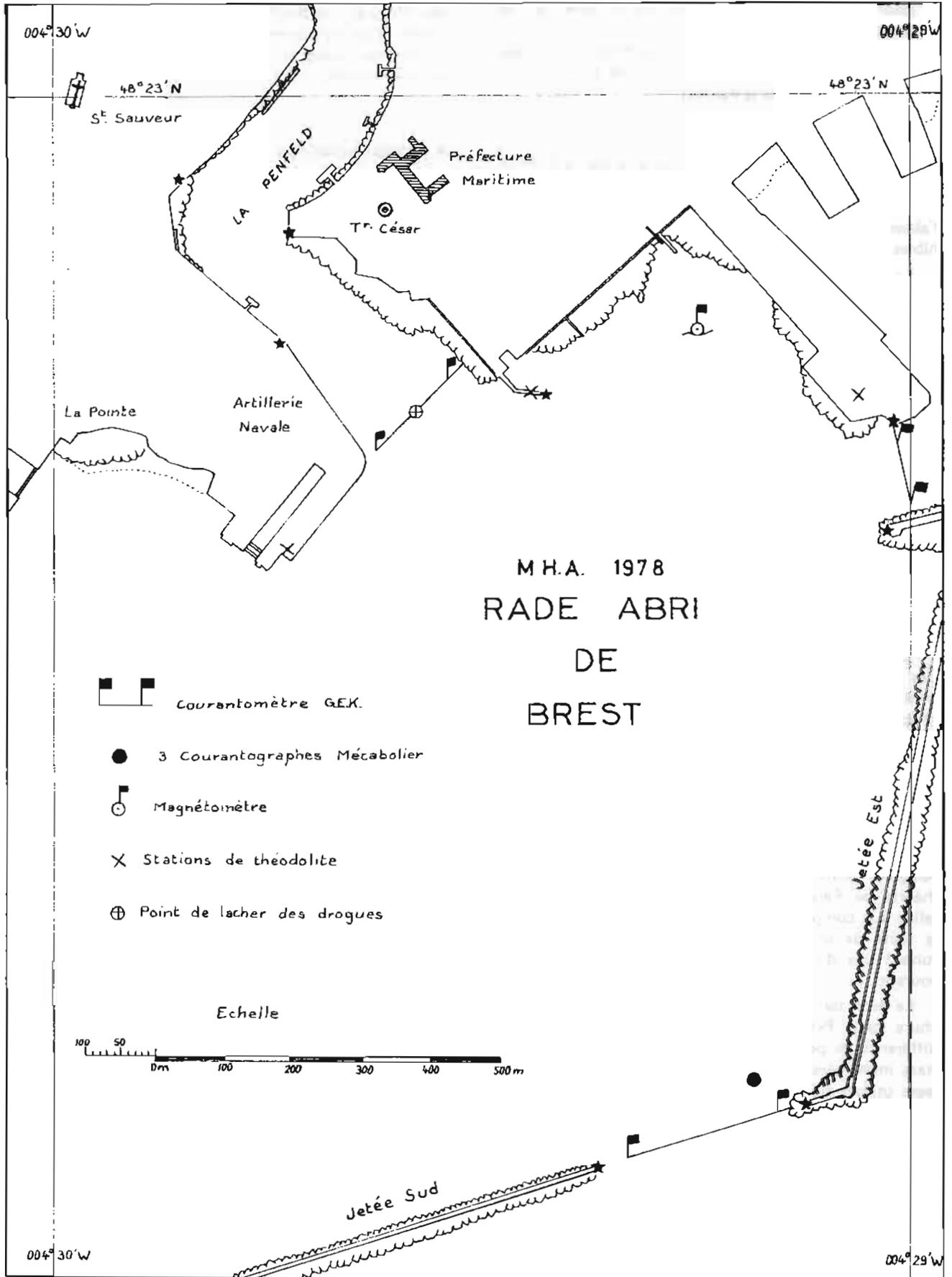
tous les quarts d'heure entre PM + 3 et PM + 5 en morte-eau et en vive-eau.

Les mesures en vive-eau, programmées initialement le 11 janvier (coefficient 106) durent en raison des mauvaises conditions météorologiques, être reportées au 26 janvier (coefficient 86).

Les conditions météorologiques enregistrées à la tour César au moment des mesures étaient les suivantes :

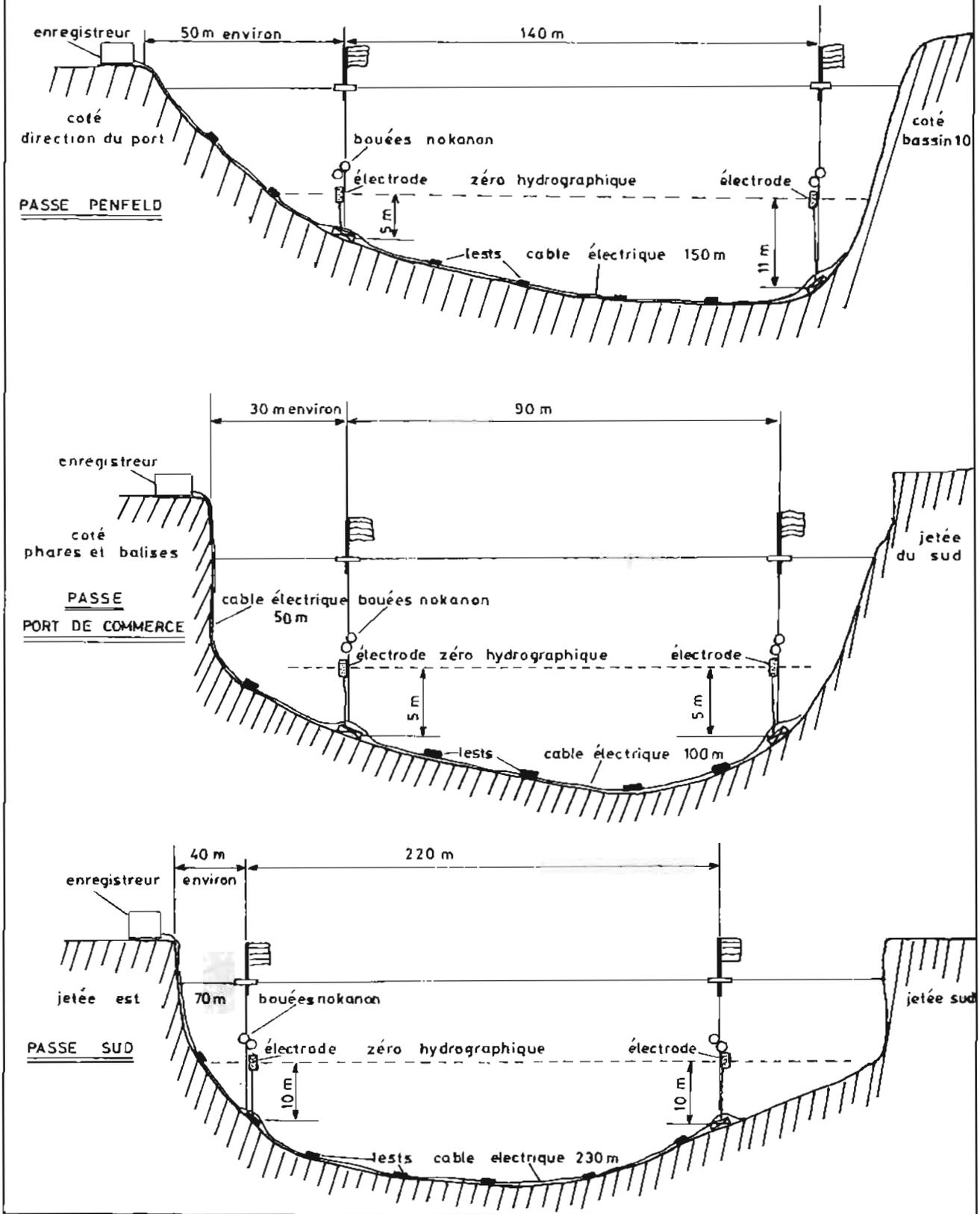
- période de morte-eau : vent moyen de 6 nœuds soufflant vers le 320.
- période de vive-eau : vent moyen de 12 nœuds soufflant vers le 315.

On peut considérer que les courants de dérive de surface induits par le vent étaient pratiquement nuls.



M.H.A. 1978 — COURANTOMETRIE BREST

Mouillage du G.E.K.



PL. 27

Une minute restituant les trajectoires des drogues a été rédigée. En morte-eau, toutes les drogues se sont dirigées vers le port de commerce. Le flux sortant de la Penfeld se dirige vers la passe Sud sans la franchir avant la renverse.

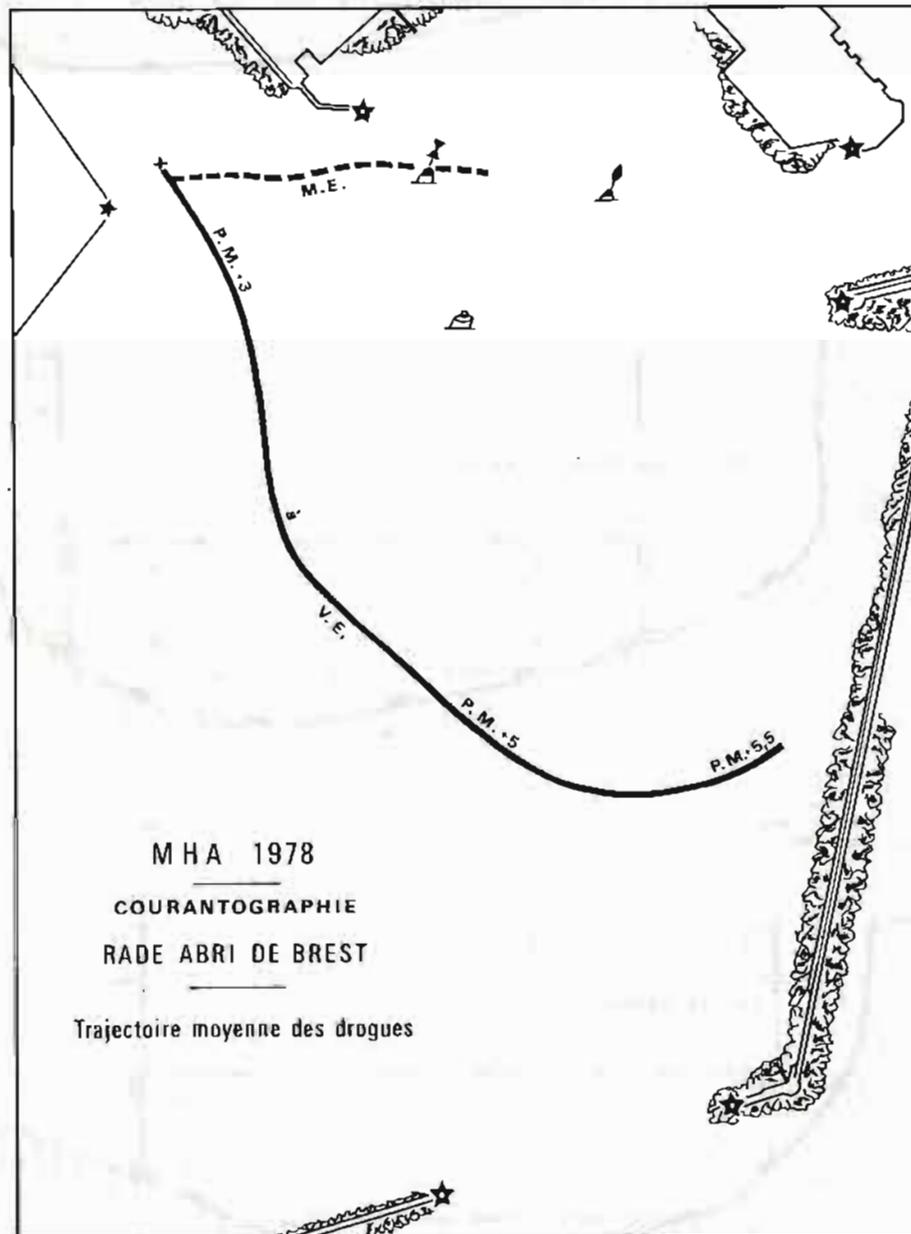
Les trajectoires moyennes des flotteurs en V.E. et en M.E. ont été représentées sur la planche 28. Il y apparaît que les trajectoires suivies en M.E. en V.E. sont perpendiculaires.

6. RESULTATS

L'étude et la synthèse des mesures ont été réalisées à l'EPHOM. Les potentiels mesurés au G.E.K. en Penfeld

sont du même ordre que ceux mesurés dans les autres passes alors que le courant y est beaucoup plus faible. Les mesures G.E.K. en Penfeld ont été perturbées par des causes non hydrodynamiques qui ont conduit à rejeter le traitement de ces données. Des mesures de longue durée au G.E.K. et au magnétomètre devraient être réalisées pour déterminer les causes de ces perturbations.

Le résultat essentiel de l'étude est que 70 à 80 % de l'eau circule par la passe Sud en phase avec la vitesse de variation du volume.



PL. 28

IV.2. ESSAIS DE MATERIEL ET CONCOURS OCCASIONNELS APPORTES AUX ORGANISMES LOCAUX DE LA DEFENSE

I. ENTRAINEMENT DES PERSONNELS

Traditionnellement, la Mission organise des stages à la mer qui se déroulent presque exclusivement sur l'*Espérance* qui dispose de locaux-vie plus vastes que l'*Astrolabe*. Durant ces sorties, les stagiaires sont encadrés par des techniciens de la M.H.A. et le pharmacien de l'EPSHOM.

Ces stages annuels sont les suivants :

— Entraînement ACB (Analyse chimique à bord) pour le personnel officier-marinier hydrographe des différentes missions.

— Hydrologie discrète au profit de l'école des hydrographes de l'EPSHOM. Cette sortie de deux semaines permet d'assurer la formation des élèves aux travaux hydrologiques.

— Premier stage embarqué des élèves hydrographes d'Août à Décembre. Durant cette période, une semaine environ est consacrée exclusivement à l'entraînement au quart passerelle.

— Démonstration de différentes techniques hydrographiques au profit des élèves de l'ENSTA, option océanographie.

II. SYSTEMEE DE RADIOLOCALISATION TRIDENT III

La M.H.A. a été chargée de procéder aux essais de recette de l'interrogateur de pré-série Trident III et des balises n° 1 et 2.

La date contractuelle de recette en usine, suivie d'essais à la mer, prévue initialement au début de Novembre 1977, a été repoussée à plusieurs reprises par le fournisseur. Le matériel a finalement été livré à la Mission à Brest les 16 et 17 mai 1978.

II.1. Etalonnage sur base fixe

Le système avait été calibré de façon approximative en usine, la mesure des distances s'effectuant avec des écarts compris dans une fourchette de ± 10 m. A l'arrivée du matériel à Brest, l'interrogateur et les deux balises ont été calibrés de manière fine sur une base géodésique fixe.

La base traditionnellement utilisée par la M.H.A. va du toit de l'usine Thomson à Brest, au fort du Toulinguet dans la presqu'île de Crozon.

Les balises ont été connectées successivement au même aérien et il a été relevé pour chacune d'elle sur les

4 codes, la valeur de la distance la séparant de l'interrogateur. De l'analyse du tableau des écarts : distance exacte — distance mesurée, on essaie de déduire la dispersion des distances par code entre les balises.

Deux réglages sont possibles à l'utilisateur pour réaliser la calibration du système, l'un dans la balise, l'autre dans l'interrogateur.

La correction de distance sur la balise est unique quelque soit le code. La correction de distance sur l'interrogateur s'effectue indépendamment pour chaque code.

En optimisant les poids binaires permettant de corriger les affichages de l'interrogateur et le retard de traitement interne à la balise, il a été possible d'obtenir une calibration fine du système (précision : $\sigma < 3$ m). La calibration terminée, il subsiste pour l'interrogateur une erreur résiduelle fonction de chaque code. Cette erreur peut être considérée comme négligeable pour les levés hydrographiques les plus courants.

II.2 Essais de portée

Les essais de portée ont été réalisés dans des conditions météorologiques très défavorables, la houle très longue d'Ouest entraînant très souvent l'antenne de l'interrogateur au ras de l'eau provoquant la coupure de la poursuite automatique en distance.

Les résultats obtenus sont les suivants, les balises étant installées au Toulinguet et à St Mathieu :

Balise	Portée théorique	Portée réelle
Toulinguet	38 km	44 km
St Mathieu	36 km	41 km

Des accrochages instables et intermittents ont été observés jusqu'à 47 km. Les portées observées sont donc légèrement supérieures à celles recommandées par le constructeur suivant la formule :

$$D_{km} = 4,17 (\sqrt{H} + \sqrt{h})$$

H et h représentant les altitudes en mètres des aériens de la balise et de l'interrogateur ; mais compte tenu des altitudes des sites remarquables qui existent sur les côtes Nord de Bretagne, il n'a pas été possible de situer le bâtiment à des distances élevées et d'étudier de longues portées.

Il reste donc à vérifier la portée maximale du système en effectuant des essais aéroportés et à déterminer la traînée des asservissements de poursuite automatique, la vitesse maximum (5,5 m/s) de l'*Astrolabe* étant beaucoup trop faible.

11.3. Etalonnage

L'étalonnage de la chaîne a été réalisé à l'optique au mois de février 1978. L'aérien omnidirectionnel de l'interrogateur avait été installé au sommet du mât de l'*Astrolabe* de sorte qu'il n'y avait pas de parallaxe entre le point Trident et le point visé à l'optique.

Le bâtiment était positionné par des visées simultanées au théodolite issues des trois stations suivantes :

Désignation	Coordonnées Lambert II	
	X	Y
Phare de St Mathieu	73 588,62	393 918,06
Toulbroc'h	84 203,18	394 202,71
Toulinguet	83 656,68	387 469,83

Les balises (deux Trident II et deux Trident III compatibles) occupaient les sites dont les coordonnées sont indiquées ci-après :

Désignation	Coordonnées Lambert II	
	X	Y
Petit Minou	85 220,41	393 621,74
Toulinguet	83 867,24	387 436,37
Phare de St Mathieu	73 587,70	393 916,83
Vigie DP Brest	94 548,84	397 640,70

A chaque station, 5 tops de position étaient effectués, le bâtiment étant stoppé ou en route. Les distances Trident étaient acquises sur imprimante. Les points optiques ont été calculés à la calculatrice programmable de poche à l'aide d'un programme définissant :

- le point d'intersection de deux relèvements directs se coupant sous l'angle le plus voisin de 90 degrés.
- la distance h du troisième relèvement à ce point.
- les coordonnées rectangulaires définitives du point par la méthode des moindres carrés.

Pour obtenir un étalonnage significatif, seuls les points remplissant les conditions suivantes ont été retenus :

Bâtiment stoppé : $h < 2$ mètres,
Bâtiment en route : $h < 8$ mètres.

Les distances Trident ont été réduites à l'horizontale puis au plan en adoptant un facteur de réduction d'échelle moyen pour la zone. La comparaison des distances calculées théoriques aux distances Trident réduites ont permis de définir les corrections ainsi définies :

$$dD_A = DA_C - DA$$

$$dD_B = DB_C - DB$$

$$dD_C = DC_C - DC$$

DA_C , DB_C et DC_C représentant les distances des points optiques de référence aux balises.

Les moyennes des corrections \overline{dD} et les écarts moyens quadratiques σdD en mètres ont été déterminés. Les

résultats sont récapitulés dans les tableaux ci-après :

Bâtiment stoppé		
Balise	\overline{dD} en m.	σdD en m.
A - St Mathieu	- 0,5	3,7
B - Minou	3,1	3,9
C - Toulinguet	1,5	4,5

Bâtiment en route		
Balise	\overline{dD} en m.	σdD en m.
A - St Mathieu	0,7	7,1
B - Minou	- 4,7	6,0
C - Toulinguet	- 2,4	5,7

Dans l'ensemble, les mesures présentent une bonne cohérence dans toute la zone d'étalonnage. On ne détecte pas d'écart systématique entre les valeurs de référence et mesurées (Trident). La distribution des erreurs de mesures Trident est normale, les distances Trident présentent des écarts aléatoires de part et d'autre d'une valeur centrée.

Les écarts maxima relevés, bâtiment stoppé, ont été de :

17,4 m sur la balise A

18,6 m sur la balise B

24,2 m sur la balise C

D'autre part, il n'a pas été relevé de corrélation entre l'amplitude des écarts et les distances du mobile aux balises.

11.4. Conclusion

A l'issue de cette série d'essais, on peut estimer que le système Trident III très séduisant par sa conception et sa facilité de mise en œuvre, est particulièrement bien adapté aux travaux hydrographiques, quatre lieux circulaires étant disponibles en permanence.

La résistance du matériel aux chocs a été largement démontrée au cours des multiples transferts auxquels il a été soumis lors des essais. D'autre part, le système est insensible aux perturbations atmosphériques. Toutefois, on peut formuler les cinq remarques suivantes :

- L'atténuation de la puissance émise en fonction de la distance est un gadget bien inutile pouvant de surcroît tomber en panne.

- Des essais de brouillage complémentaires doivent être effectués sur les nouvelles vedettes hydrographiques pour vérifier la compatibilité de ces fréquences d'émission avec celles du sondeur vertical, du sondeur latéral de l'E/R TRPP 13 et du magnétomètre.

- Les boutons de commande sur la face avant de l'interrogateur sont bien fragiles et l'encliquetage est beaucoup trop mou.

— Le poids de l'interrogateur (37 kg) est élevé et interdit pratiquement toute manipulation à la mer, entre le bâtiment et les vedettes.

— Enfin, le fournisseur n'a pas prévu dans le marché la livraison d'alimentations spécifiques. L'alimentation normale du Trident III se fait sous 24 volts continu avec de larges tolérances de stabilité :

- pour l'interrogateur de 19 à 30 V_0
- pour la balise de 19 à 33 V_0

A bord du bâtiment, l'interrogateur doit, de préférence, être couplé à une alimentation stabilisée.

III. NAUFRAGE DE L'AMOCO CADIZ

Pendant plus de quinze jours en mars 1978, l'*Astrolabe* a participé aux opérations liées au plan Polmar déclenché à la suite de l'échouage devant Portsall du pétrolier "Amoco Cadiz". Un levé bathymétrique et sonal avait été entrepris dans le but d'ouvrir un chenal permettant à un pétrolier de faible tonnage d'accéder au super pétrolier échoué.

Le levé hydrographique a été annulé quand l'épave s'est brisée en deux tronçons.

L'*Astrolabe* a ensuite participé au traitement des nappes d'hydrocarbures dérivant en surface.

IV. DETERMINATION DE LA NOUVELLE BASE DE VITESSE EN RADE DE BREST

Une maison individuelle ayant été construite sur l'alignement des amers de Lanveoc et occultant l'un d'entre eux, il a été demandé à la Mission de déterminer un nouvel alignement en rade de Brest.

Les coordonnées Lambert II de la maison Donnart (cheminée Est) constituant le nouvel amer, sont les suivantes :

$$x = 95\,377,5$$

$$y = 386\,940,6$$

Valeur du nouvel alignement Balise de Lanveoc — Maison Donnart :

$$209^{\circ}55'$$

Cette valeur angulaire se réfère au nord géographique.

Le changement d'alignement traversier se traduit par un écart angulaire de 51', ce qui représente un raccourcissement de la longueur de la base de vitesse de 27 mètres.

V. ETALONNAGE DU RAGEP

L'*Astrolabe* a effectué les 3, 6 et 7 février 1978, l'étalonnage du système Ragep dans le goulet de Brest, le bâtiment étant positionné par plusieurs visées optiques simultanées.

Les résultats très décevants (nombreux sauts aléatoires de chenaux) ont confirmé le fait bien connu que le Ragep ne constitue pas un système de radiolocalisation fiable et peut même se révéler dangereux pour un navigateur qui y apporterait une importance exagérée.

VI. ETALONNAGE DU SYLEDIS

Pour remplacer le Ragep défaillant et vétuste, le système Syledis a été livré en 1978 à la Marine Nationale au titre d'un marché passé avec la Sercel. Le CETIEGM à Brest fut chargé de l'expérimentation de l'interrogateur et des balises.

Lors des essais la M.H.A. se vit confier :

- la détermination de l'altitude et de la position des balises,
- le calcul de la distance géodésique entre les balises,
- l'étalonnage optique des réseaux Rade et Iroise.

Le premier réseau comprenait 3 balises installées à :

Crozon, Saint-Mathieu et Rochanou.

Le second réseau comprenait 3 balises installées à :

Crozon, Saint-Mathieu et la Pointe du Raz (Sémaphore).

Ces deux réseaux diffèrent par une station mais également par des orientations différentes des antennes.

Géométrie du réseau Syledis			
Balises	Coordonnées Lambert II		Altitude en mètres
	X	Y	
Crozon	92 609,73	383 200,62	104,1
St-Mathieu	73 523,89	393 902,60	52,6
Rochanou	98 673,24	394 241,70	71
Pointe du Raz	73 561,54	361 420,01	91,5
Minou (Aérien provisoire)	85 212,5	393 620,5	

Distances géodésiques entre les balises, en m.				
	St-Mathieu	Rochanou	Le Raz	Minou
Crozon	21 877,19	12 593,94	28 930,94	12 776,21
St-Mathieu		25 145,90	32 477,52	11 689,38
Rochanou			41 319,59	13 471,01
Le Raz				34 238,02

L'étalonnage du Syledis a été effectué du 15 au 29 novembre 1978 et du 25 au 26 janvier 1979, l'interrogateur étant embarqué successivement sur le *Narvik* puis la *Jacinthe*.

Le bâtiment était visé au théodolite WILD T3 depuis trois ou quatre stations implantées à la Pointe du Raz, au cap de la Chèvre, au Toulinguet, à St-Mathieu, au Minou, à Toulbroc'h, à la vigie de la DP de Brest et à la pointe de L'Armorique.

Les travaux se sont déroulés dans d'excellentes conditions de visibilité. Les points les plus éloignés ont été visés à des distances de 42 km.

Du dépouillement des données, il apparaît que le système, dans la zone d'étalonnage Rade et Goulet de Brest, Iroise et Baie de Douarnenez, mesure les distances avec un écart-type de 2 mètres pour une probabilité de 67 % à l'exception de la zone au sud de St Mathieu, s'étendant jusqu'à La Barquette.

Dans ce secteur, des fluctuations sur la distance pouvant aller jusqu'à 150 m sont apparues à la fois en mode circulaire et en mode hyperbolique. Ce phénomène est probablement lié au site de St Mathieu où des réflexions parasites provoquent des interférences entre ondes directes et ondes réfléchies se manifestant à des distances inférieures à 4 milles.

ANNEXE I AU CHAPITRE IV

Dossiers de courant rade abri de Brest

N° Dossier	Période d'observation	Position	Immersion en mètres	Observations
78 RAB 18	16.01.78 au 18.01.78	48°22'14"N 04°29'11"W	5	51 heures en M.E.
78 RAB 19	16.01.78 au 18.01.78	"	10,5	51 heures en M.E.
78 RAB 20	16.01.78 au 18.01.78	"	15,5	51 heures en M.E.
78 RAB 21	18.01.78 au 20.01.78	"	5	48 heures en M.E.
78 RAB 22	18.01.78 au 20.01.78	"	10,5	48 heures en M.E.
78 RAB 23	18.01.78 au 20.01.78	"	15,5	48 heures en M.E.
78 RAB 24	24.01.78 au 26.01.78	"	5	48 heures en V.E.
78 RAB 25	24.01.78 au 26.01.78	"	10,5	48 heures en V.E.
78 RAB 26	24.01.78 au 26.01.78	"	15,5	48 heures en V.E.
78 RAB 27	26 et 27.01.78	"	15,5	25 heures en V.E.
78 RAB 28	26 et 27.01.78	"	5	25 heures en V.E.
78 RAB 29	26 et 27.01.78	"	10,5	25 heures en V.E.

Nombre d'enregistrements recueillis : 12.

Nombre d'enregistrements exploitables : 11,8.

ANNEXE II AU CHAPITRE IV

Stations et Amers positionnés dans la région de Brest en 1977-78-79

Désignation	Repère	Lambert (système)	Coordonnées		Classement	Observations
			X	Y		
Roscarvel, Pointe de Cornouaille	Balise	I	88 591,51	93 352,09	3	
Roscarvel, Pointe de Cornouaille	Anneau en fer	I	88 585,8	93 303,6	0	Station Trident
Menez Hom, Sommet	Douille	I	112 210,5	78 974,0	0	Station Trident. Pas de courant
Toulinguet, Sémaphore	Piquet	I	83 984,4	88 205,6	0	Station Trident. Site excellent
Plouzane — Kerdalaes	Axe d'un poteau	I	87 903,6	95 704,9	0	Station Trident. Prévoir 200 m de câble
Pointe du Van, Cheminée	Axe	II	76 859,3	363 663,75	0	Station Trident. Pas de courant
La Trinité, Château d'eau du C.O.B.	Axe du paratonnerre	I	89 783,1	96 452,5	2	
Toit de l'usine Thomson à Brest	Pied S.W. d'un support de plateforme	I	90 090,3	98 094,7	0	Station Trident
Pointe de l'Armorique	Boulon scellé	II	96 638,72	391 550,56	0	
Pointe de Lanveoc — Balise de la Base de Vitesse	Sommet Balise	II	95 973,1	387 788,4	2	Amer de l'alignement
Maison Donnart à Lanveoc Amer de la base de vitesse	Cheminée Est	II	95 377,5	386 940,6	1	Amer de l'alignement
Pointe de l'artillerie dans l'arsenal de Brest	Douille scellée	I	94 440,9	97 997,8	0	
Vigie de la Direction du Port de Brest	Douille scellée	I	94 702,9	98 367,95	0	Station Trident
Toit phares et balises de Brest	Croix gravée	I	95 270,99	98 149,17	0	
Duc d'Albe W près de l'île Ronde — Balise Station	Axe	II	96 887,0	391 009,2	2	
	Douille scellée		96 882,2	391 011,8	0	
Monument aux Morts américain à Brest — Station	Douille scellée	I	96 271,79	98 713,18	0	
Vigie du Petit Minou	Boulon scellé	I	85 360,99	94 384,97		Station Trident. Site excellent

ANNEXE III AU CHAPITRE IV

Amers positionnés en 1978 pour calage du Toran

Désignation	Repère	Lambert (système)	Coordonnées		Classement	Altitude en mètres	Observations
			X	Y			
Port-Maria. Phare	Axe	II	188 762,2	289 852,5	4	33	Bonne visibilité sur tout l'horizon
Port-Maria. Feu rouge jetée Sud	Axe de la lanterne	II	188 905,1	289 396,65	2	9	
Saint Julien. Sémaphore Mat de Signaux	Axe	II	188 671,53	291 578,06	1	43	
Port Haliguen. Telle Olibarte	Voyant	II	190 533,4	290 960,9	2	5	
Port-Maria. Feu postérieur de l'alignement d'entrée	Axe de la lanterne	II	189 121,6	289 775,3	3	15	Alignement au 006°30'
Tourelle Er Pon Deu	Voyant	II	192 300,8	286 548,6	3	6	
Tourelle les Trois Pierres	Voyant	II	191 366,8	287 218,45	2	6	
Port-Maria. Feu vert du Môle Est	Axe de la lanterne	II	188 848,9	289 480,15	2	9	
Piriac. Sémaphore	Axe	II	230 616,7	275 340,4	2	22	
Belle Ile. Sémaphore de la pointe du Talut	Axe Mât	II	180 224,7	269 806,8	3	49	
		II	180 232,8	269 789,7	0	39	
Pointe du Devin. Feu	Axe de la lanterne	II	248 034,1	231 038,1	2	8	
Phare de la Chaume	Axe lanterne	II	282 943,9	174 316,7			
	Axe de la Tour	II	282 940,9	174 318,0	2		
Feu du Lohic à Port-Louis	Axe lanterne	II	173 467,9	315 867,9	1	10	Maison difficilement identifiable depuis la mer
	Axe sphère	II	173 468,2	315 867,7	0		

MISSION OCÉANOGRAPHIQUE DE MÉDITERRANÉE

(1^{er} janvier 1979-30 mai 1981)

par

M. Jean-Pierre THOUIN
Ingénieur en Chef de l'Armement (hydrographe)

SOMMAIRE

I. GENERALITES

- I.1. Constitution de la M.O.M.
- I.2. Personnel
- I.3. Moyens flottants
- I.4. Base
- I.5. Moyens matériels propres à la Mission

II. TRAVAUX HYDROGRAPHIQUES COTIERS

- II.1. Travaux complémentaires au large de Marseille
- II.2. Travaux complémentaires devant Monaco et levé du port de Monaco
- II.3. Reprise d'un levé sur la côte Est de Corse
- II.4. Levé entre la côte Nord du Cap Corse et la Giraglia
- II.5. Travaux dans les Bouches de Bonifacio
- II.6. Travaux complémentaires dans le Golfe de Porto-Vecchio
- II.7. Levé de l'anse de Favone
- II.8. Levé du port d'Aspretto dans le golfe d'Ajaccio
- II.9. Levé de la baie d'Orzo (côte Ouest de Corse)
- II.10. Levé le long du quai d'honneur dans le port de Toulon
- II.11. Levé le long de la côte Nord-Ouest de Corse
- II.12. Sondages de contrôle dans le Golfe de Fos
- II.13. Sondages devant Port-la-Nouvelle et Sète

III. TRAVAUX DE GRANDE SONDE

- III.1. Levé d'une zone au sud de Cassis
- III.2. Levés complémentaires au large de la côte Ouest de Corse

- III.3. Levé dans le canal de Sicile
- III.4. Levé au large de Nice
- III.5. Levé du Golfe du Lion

IV. LEVES AU SONDEUR LATERAL

- IV.1. Levé aux abords de Port-la-Nouvelle
- IV.2. Levé aux abords de Sète
- IV.3. Levé du chenal d'accès à Fos

V. TRAVAUX D'HYDROLOGIE

- V.1. Campagne d'hydrologie sur le front de Malte
- V.2. Mesures hydrologiques dans le Golfe du Lion

VI. ENTRAÎNEMENT - EVALUATION DE MATERIEL ET CONCOURS DANS LE CADRE DU SHOM

VII. CONCOURS APPORTES A DES ORGANISMES EXTERIEURS

VIII. REALISATIONS DU LABORATOIRE D'ELECTRONIQUE

I. GENERALITES

I.1. Constitution de la Mission Océanographique de Méditerranée

Le présent rapport couvre la période du 1^{er} janvier 1979 au 30 mai 1981. Durant cette période, la Mission Océanographique de Méditerranée (MOM) comprenait :

– *un organe de direction*, constitué en unité, possédant son plan d'armement, et doté de véhicules et de matériels. Le directeur de la MOM dépend directement du Préfet Maritime de la 3^e Région.

– *un élément naval* : le Groupe des Bâtiments Océanographiques de Méditerranée (GBMOM) composé du Bâtiment Océanographique (BO) *Origny* et du Bâtiment Hydrographe de 1^{ère} classe (BH 1) *La Recherche*. Le commandant de l'*Origny* est commandant du GBMOM. Le GBMOM est rattaché organiquement à la Flottille des Bâtiments Légers de Méditerranée (Flomed).

En plus du GBMOM, la MOM dispose, à raison de 100 jours par an, du Bâtiment de Soutien de Région (BSR) *Gazelle*, qui a subi quelques transformations pour être utilisé en bâtiment hydrographe. La *Gazelle* est rattachée organiquement à la Direction du Port, mais dépend directement, au point de vue opérationnel, de Premar III.

– *un élément terrestre*. La Base de la Mission Océanographique de Méditerranée (BMOM), constituée en unité ayant un plan d'armement et rattachée organiquement à Flomed.

I.2. PERSONNEL

I.2.1. Plans d'armement

Le plan d'armement de la MOM comporte :

- 3 Ingénieurs de l'Armement (IA), dont le Directeur,
- 17 Officiers-mariniers hydrographes,
- 1 Maître radio,
- 1 Second-maître DSM,
- 1 Second-maître de manoeuvre,
- 1 Second-maître mécanicien,
- 1 Second-maître secrétaire,
- 15 Quartiers-maîtres et matelots (QMM).

Ce personnel est réparti dans les différentes unités constituant la MOM, sur l'ordre du Directeur.

Le plan d'armement de la BMOM comporte :

- 1 officier spécialisé, commandant la base
- 2 enseignes de vaisseau de réserve (EV2 R)
- 1 matelot secrétaire
- 4 matelots du contingent (CTG) dont 2 chauffeurs

I.2.2. Ingénieurs, officiers et personnel faisant fonction d'ingénieur ou d'officier

En 1979 la MOM comportait deux adjoints dont un Ingénieur de l'Armement (IA) et un Ingénieur des Etudes et Techniques d'Armement (IETA). L'IA Goutorbe, débarqué en décembre 1979, n'a pas été remplacé. En août 1979, l'IETA Airaudo a succédé à l'IETA Sauvage. L'ingénieur principal de l'Armement (IPA) Habert a rejoint la MOM le 25 août jusqu'au 28 décembre 1980. Pendant ses 4 mois de présence à la Mission, il a consacré une partie de son activité à terminer la rédaction de son cours d'hydrographie et à préparer la Mission de Circonstance qu'il a dirigée dans l'Océan Indien.

L'officier Technicien de 1^{ère} classe (OT1) Antoni, devenu par la suite Lieutenant de Vaisseau Spécialisé (LVS), ancien officier en second de *La Recherche*, a été affecté à la MOM en janvier 1981 après avoir assuré pendant 5 mois le commandement de la base.

La fonction de chef des services techniques a été assurée par le Technicien Chef de Travaux Quelen, dont la haute compétence a été un élément essentiel dans le bon fonctionnement du matériel électronique de la Mission.

Le poste de commandant de la BMOM a été occupé successivement entre le 01.01.79 et le 01.06.81 par le major Leblin, le major Harmange en intérim, le LV Marchand, l'OT1 Antoni, et l'Officier en Chef des Equipages (OCE) Goudé depuis le 23 janvier 1981. Les EV2 (R) ont été affectés, l'un à bord de l'*Origny*, l'autre au laboratoire d'électronique.

I.2.3. Officier-mariniers hydrographes

Le plan d'armement a toujours été respecté globalement en quantité avec un déficit dans les grades supérieurs.

Dès 1980, le poste de major a été honoré par un maître principal. Le déficit en premiers-maîtres a été de un à partir d'avril 1980 et de deux à partir de septembre 1980, sur un effectif de quatre.

La Mission n'est alimentée en maîtres que par les sorties de cours, et le nombre des volontaires pour Toulon étant en général inférieur à celui prévu au plan d'armement, ce recrutement comporte une forte proportion de gradés moins bien classés.

Ainsi, la situation des officiers-mariniers hydrographes de la Mission est caractérisée par un déficit en officiers-mariniers supérieurs, et une faible ancienneté des maîtres. Cette situation aggrave l'insuffisance des adjoints au Directeur en nombre et en ancienneté.

Un technicien à statut ouvrier (TSO) est resté affecté à la Mission, bien qu'il ne figure plus au plan d'arme-

ment. Spécialisé dans la restitution photographique de la topographie, il rend de précieux services, et remplace partiellement un officier-marinier expérimenté.

Par contre, un maître principal hydrographe a été affecté au laboratoire d'électronique de la Mission au départ à la retraite du technicien civil qui occupait le poste au début 1979.

1.2.4. Officiers-mariniers non hydrographes

Les seconds-maîtres DSM et mécanicien sont embarqués sur les bâtiments, où ils participent à l'entretien du matériel servant à l'hydrographie.

Le maître radio est chargé du matériel radio de la Mission. Il participe aux activités du laboratoire d'électronique, et à la maintenance des balises Trident sur le terrain.

Le second-maître de manoeuvre est chargé du matériel non spécifique. Il s'occupe de la préparation des mouillages d'instruments et participe aussi à la maintenance des balises Trident sur le terrain.

Le poste de second-maître secrétaire a été honoré à partir du 1^{er} septembre 1980 par un maître du Personnel Féminin de la Marine (PFM), ce qui s'est traduit par une nette amélioration de la qualité des travaux effectués par le secrétariat.

1.2.5. Quartiers-maîtres et matelots

Les plans d'armement ont été presque toujours honorés en quantité, mais une trop forte proportion d'inaptes au service à la mer ont été affectés à la MOM. Ils sont utilisés comme opérateurs, comme aide ou comme chauffeurs, ou dans l'exécution de tâches qui ne requièrent pas la compétence d'un officier-marinier hydrographe.

1.3. MOYENS FLOTTANTS

1.3.1. Le B.O. Origny

C'est un ancien dragueur océanique type MSO transformé en bâtiment océanographe à cause de ses qualités évolutives dues à deux lignes d'arbre munies d'hélices à pas variable, qui lui permettent d'effectuer des stations d'hydrologie.

Les appareils servant à l'océanographie comprennent :

- 2 treuils d'hydrologie Mécaboliier et un portique basculant sur le pont milieu tribord ;
- 1 cabine de commande des treuils, des lignes d'arbres et des gouvernails (située sur le roof en arrière des treuils) qui permet de manoeuvrer le bâtiment et les treuils en surveillant le comportement du câble passant par le portique tribord ;
- 1 portique basculant au-dessus du tableau arrière ;
- 1 treuil sur la plage arrière, comportant un touret de grand diamètre, et deux poupées à axe horizontal pour la manoeuvre des aussières ;
- 1 sondeur grands fonds Elac ;
- 1 sondeur petits et moyens fonds Atlas Deso 10.

En janvier 1981 un sondeur grands fonds Raytheon a été installé. Sa base a été mise à l'emplacement de la base Edo qui servait au sondeur Ocean Sonics.

Les avantages du Raytheon sur l'Elac sont les suivants :

- largeur du papier de l'enregistreur triple de celle de la loupe de l'Elac, ce qui permet à la fois une plus grande plage d'enregistrement et une plus grande précision verticale. Utilisé sur l'échelle 750 m sur le talus continental, il permet de lire le mètre.
- plus de possibilités dans la vitesse de déroulement du papier de l'enregistreur, alors que l'on était très limité avec la loupe de l'Elac.



Bâtiment Océanographique *Origny*.

— le choix entre deux fréquences à l'émission : 12 et 34 kHz. Si le faisceau à 3 dB est d'environ 20° pour la fréquence 12 kHz, il n'est que de 7° pour la fréquence 34 kHz. Il serait préférable d'utiliser cette fréquence pour diminuer l'influence des échos de pente et avoir une meilleure définition du fond. Ce choix n'a malheureusement pas été retenu pour l'instant pour l'*Origny*, et les sondages sur le talus continental du Golfe du Lion ont continué à se faire avec un faisceau large comme auparavant avec l'Elac.

En fin décembre 1979, un treuil à contacteur tournant a été installé sur la plage arrière. Commandé depuis le "PC hydro", il est utilisé pour le sondeur latéral.

Les locaux affectés à l'océanographie comprennent :

— le PC Hydro, à l'emplacement de l'ex Central-Opérations, dans le bloc passerelle, derrière le local de timonerie. Dans ce local se trouvent les enregistreurs des sondeurs, du sondeur latéral, du magnétomètre et des moyens de radiolocalisation (Trident, Toran, Loran).

— le laboratoire humide, situé sur l'arrière du roof, et dont la porte donne sur l'aire de travail du pont milieu tribord. Dans ce laboratoire se trouvent les bouteilles à renversement.

— le laboratoire inférieur, sous le précédent, dans lequel se trouvent les meubles de commande et d'enregistrement de la bathysonde, l'enregistreur Sippican et deux tables à dessin.

L'*Origny* est un bâtiment âgé de 25 ans, dont la fiabilité ne lui permet pas de faire de longues campagnes loin de son port d'attache, et dont l'habitabilité n'est pas conforme aux normes des années 80.

Il est prévu de le désarmer au second semestre de 1982.

Le bâtiment a été commandé :

- jusqu'à avril 1979 par le Capitaine de Corvette Miossec,
- d'avril 1979 à juin 1980 par le Capitaine de Corvette Celli,
- à partir de juin 1980 par le Capitaine de Corvette Elie-Lefebvre.

1.3.2. Le BH1 La Recherche et ses vedettes

Ancien petit paquebot de 900 t transformé en bâtiment hydrographe, c'est aussi un bâtiment âgé. Ses points faibles sont la vétusté des auxiliaires et du câblage électrique.

Par contre, les conditions de confort restent tout à fait convenables pour un bâtiment en service, d'autant plus que, utilisé surtout en sonde côtière avec ses vedettes, ce navire passe une grande partie de son temps au mouillage. Ne disposant cependant pas de bouilleurs, son autonomie en eau n'est que d'une semaine.

Les trois vedettes de sonde ont été remplacées par des vedettes neuves, de 8,70 m, au premier trimestre de 1981. Ces nouvelles vedettes présentent sur les anciennes les avantages suivants :

— une grande cabine intérieure permettant de se déplacer debout et d'abriter plusieurs enregistreurs.

— une chambre arrière large et dégagée, pratique pour l'utilisation du sonar latéral.

— la non séparation du barreur du reste de l'équipage, ce qui permet au chef d'équipe de donner à celui-ci des ordres à la voix et de contrôler en permanence les écarts à la route.



BH1 La Recherche

— une puissance et une vitesse supérieures.

Par contre, les superstructures plus hautes que les précédentes, rendent les opérations de mise à l'eau plus délicates par mauvaise mer, à cause du dévers de la coque de *La Recherche*.

La Recherche s'est révélée aussi être un excellent bâtiment de grande sonde mais son autonomie en gasoil n'est que de six jours. En cas de mauvaise mer debout, il y a intérêt à charger sur l'avant par ballastage du peak avant, pour limiter les mouvements de la base du sondeur.

La Recherche a été commandée jusqu'en avril 1980 par le Lieutenant de Vaisseau Spécialisé Hamon, à partir d'avril 1980 par l'Officier des Equipages de 1^{ère} classe Martin.

1.3.3. Le B.S.R. Gazelle

Ce bâtiment fait partie d'une série de bâtiments polyvalents de 400 T, commandés par la Marine pour être utilisés comme bâtiments de soutien de région.

Deux de ces bâtiments, *l'Élan* à Brest et la *Gazelle* à Toulon, ont reçu un équipement supplémentaire leur permettant d'être utilisés comme bâtiments hydrographes. Cette modification consiste pour la *Gazelle* en :

- la mise en place, sur la coque, de bases de sondeurs hydrographiques pour grands fonds et petits fonds.
- l'aménagement du roof derrière la passerelle pour recevoir un conteneur consacré à l'hydrographie.
- la mise à poste fixe dans la mâture d'antennes de radiolocalisation Trident et Toran.

A l'intérieur du conteneur se trouvent les enregistreurs des sondeurs, l'interrogateur Trident, le récepteur Toran, l'enregistreur du magnétomètre ou celui du sondeur latéral, un répéteur du gyrocompas, une table à dessin et une table de travail pour le secrétaire (voir photo ci-contre). Le remplacement des sondeurs Elac



Conteneur de la *Gazelle* — Vu de tribord arrière.



Intérieur du conteneur.

et Atlas Deso 10 par un Atlas Deso 20 permettrait un gain de place important et un aménagement plus pratique des postes de travail.

Au point de vue transmissions, le conteneur est équipé d'un poste de radiophonie VHF : TRPP 13, et peut communiquer par interphone avec la passerelle.



BSR *Gazelle*

Les coaxiaux des antennes Trident et Toran pénètrent dans le conteneur par une petite fenêtre située sur l'avant, à travers une plaque étanche. Par cette fenêtre passent aussi les câbles qui permettent de relier les appareils de radiolocalisation aux indicateurs droite-gauche (IDG) placés à la passerelle. Les appareils peuvent aussi être branchés à des descentes d'antenne arrivant à la passerelle.

Les branchements de l'alimentation en courant des sondeurs et du répéteur gyro, se font à travers une plaque étanche munie de prises, située en bas à droite de la porte sur le côté tribord.

Le conteneur repose sur quatre blocs cylindres en caoutchouc pour diminuer les vibrations. Il est maintenu à la base par quatre cornières en acier et plaqué à son support par quatre élingues fixées avec quatre coins supérieurs.

Le bâtiment est propulsé par deux lignes d'arbre munies d'hélices à pas variable et ses deux moteurs développent une puissance de 2200 CV qui lui permettent une vitesse de transit courant de 12 n et une vitesse de pointe de 13,5 n. Il dispose aussi d'un propulseur d'étrave et est muni d'un gouvernail automatique avec affichage de cap. Ses qualités manoeuvrières sont assez remarquables, mais son faible déplacement et ses lignes le rendent inapte au travail par mauvaise mer. Par grosse mer de l'avant, le bâtiment entre dans la lame, et les paquets de mer retombent sur la passerelle et le conteneur.

Ses capacités d'hébergement ne lui permettent d'embarquer pour les travaux d'hydrographie que deux officiers-mariniers et deux matelots. Aussi ce bâtiment n'est-il utilisé habituellement que de jour, le personnel travaillant par bordées. Il peut cependant, pour une courte période, embarquer du personnel supplémentaire qui est alors logé dans la cafétéria.

Grâce à la contenance de ses soutes, il peut aussi effectuer des ravitaillements d'appoint en eau ou en gas-oil. Cette possibilité a été utilisée lors de la campagne dans le détroit de Sicile.

Sur la plage arrière, à tribord, il dispose d'une grue articulée très pratique pour la mise à l'eau d'instruments ou de lignes de courantomètre.

La *Gazelle* est, en principe, à la disposition de la MOM pour la moitié de son activité, c'est-à-dire environ 100 jours par an. Les indisponibilités accidentelles et les missions urgentes et imprévisibles au profit de la région ne lui ont pas permis de remplir tout à fait ce contrat en 1979 et 1980. Elle a donné entièrement satisfaction dans les différentes tâches qui lui ont été confiées : sondages, mise à l'eau ou remorquage d'instruments.

I.4. LA BASE

La Mission Océanographique de Méditerranée dispose dans l'Arsenal de Toulon d'une base : la BMOM, située au rez-de-chaussée de l'immeuble du Laboratoire de

Chimie Analytique, à mi-chemin entre la porte Castigneau et la porte Principale.

Cette base est commandée par un officier des équipages ou officier spécialisé et dispose d'un plan d'armement propre.

Ses locaux comprennent :

- un bureau pour le Directeur de la Mission ;
- le bureau du Commandant de la base ;
- un secrétariat ;
- une salle de dessin ;
- une salle de copies et de tirages ;
- un laboratoire d'électronique ;
- un atelier de mécanique ;
- un magasin pour le matériel spécifique.

La salle de dessin, indispensable, est utilisée pour le traitement et l'archivage des données de l'*Origny* et de la *Gazelle*, ou celles d'une Mission de circonstance.

La laboratoire d'électronique et l'atelier de mécanique servent à l'entretien du matériel de la Mission, en particulier du matériel de radiolocalisation.

La Mission dispose aussi d'un magasin pour le matériel non spécifique, dans des locaux appartenant à la Flottille des Bâtiments Légers de la Méditerranée.

I.5. MOYENS MATERIELS PROPRES A LA MISSION

I.5.1. Véhicules

Le plan d'armement de la MOM en véhicules comprend :

- 2 breaks ;
- 1 camionnette de charge utile inférieure à 1 T ;
- 1 camionnette de charge utile supérieure à 1 T ;
- 1 camion.

La Mission - en fait - ne possède pas de camion, l'usage d'un tel véhicule ne s'avérant que très occasionnel. En remplacement, elle possède un véhicule tout-terrain type "jeep", parfaitement adapté aux travaux côtiers de Corse et en Sicile.

La III^e Région devait fournir un véhicule supplémentaire pendant la durée des travaux en Corse, mais ce véhicule n'a été prêté que très épisodiquement. Les longues indisponibilités des véhicules en réparation au Centre Auto ont quelquefois gêné le déroulement des opérations.

I.5.2. Moyens de radiolocalisation

Trident

Au 1^{er} janvier 1979 la Mission disposait de :

- 3 interrogateurs et 8 balises Trident I
- 3 interrogateurs et 6 balises Trident II

Dès le début de 1979, la livraison de deux interrogateurs Trident III a permis de déclasser les interrogateurs Trident I.

Huit balises et un troisième interrogateur Trident III ont été livrés au cours de l'année 80, ce qui a permis de déclasser les balises Trident I et II au 1^{er} janvier 1981. Par contre, les trois interrogateurs Trident II ont été transformés pour être utilisés avec les balises Trident III. Ils devront être conservés jusqu'au désarmement de l'Origny ou jusqu'à la livraison d'un quatrième interrogateur Trident III.

Le laboratoire d'électronique a été équipé en instruments de mesures nécessaires à la maintenance du matériel Trident III : un oscilloscope à mémoire, un analyseur de spectre, un générateur de fonctions, un générateur HF Wobulé, un générateur d'impulsions, un milliwattmètre, un ondemètre à absorption, etc.

Toran :

La Mission possède 3 récepteurs Toran 3P qui utilisent la chaîne P 100 du Golfe du Lion mise en œuvre par les Phares et Balises. Elle possédait aussi un ensemble 3 G comprenant 7 émetteurs et 3 récepteurs qui a été déclassé en 1979.

Loran C :

La Mission possède 2 récepteurs Decca DL 91 modèle 8.

– *Navigation par satellites* : L'ensemble Sylosat de l'Origny a été débarqué en 1980 pour permettre la mise en place du sondeur Raytheon.

1.5.3. Matériels de transmission

La Mission possède :

– *des moyens à courte portée* : postes émetteurs récepteurs portatifs travaillant en UHF, à chenaux pré-réglés. Ces postes comprennent 8 TRPP 13 et 6 TRPP 11.

Ils servent aux liaisons entre les embarcations et les bâtiments, au radioguidage, et aux liaisons à portée directe entre les bâtiments et les équipes à terre.

Quant tous les postes radio de la Mission sont armés simultanément, leur nombre est tout juste suffisant.

– *des moyens à longue portée* : 4 émetteurs récepteurs TRMM 3 A à bande latérale unique. Ils servent aux liaisons des équipes de maintenance des balises Trident sur le terrain, avec les bâtiments. Le matériel est de bonne qualité et le nombre de postes largement suffisant.

1.5.4. Matériel spécifique

La MOM possède le lot d'instruments d'hydrographie, de géodésie et d'océanographie nécessaire à l'accomplissement de ses missions.

Parmi ces instruments on peut citer : 2 sondeurs latéraux, 2 magnétomètres et une bathysonde.

II. TRAVAUX HYDROGRAPHIQUES COTIERS

II.1. TRAVAUX COMPLEMENTAIRES AU LARGE DE MARSEILLE

Ces travaux, prescrits par la note n° 1164 SHOM/EM du 24 novembre 1978, consistaient à :

- vérifier des sondes portées sur les minutes rédigées en 1978 et sur les cartes 5190 et 5192 ;
- effectuer un levé complémentaire à l'ouest et au sud-est de l'île de Riou.

Ils ont été exécutés en avril 1979. Les sondes ont été réduites de la marée observée à Toulon.

La sonde 2,8 de la carte 5192 à la position $L = 43^{\circ} 16' 30'' N$ et $G = 05^{\circ} 21' 31'' E$ n'a pas été retrouvée. Une sonde de 1,4 m a confirmé le 1,3 m de la carte 5190 au voisinage de la position $L = 43^{\circ} 11' 58'' N$ et $G = 05^{\circ} 14' 07'' E$.

Dans la zone à l'ouest de l'île de Riou, les profils étaient radioguidés à partir d'un théodolite situé sur l'île Jaïre. L'écart moyen entre profils était de 50 m.

Les profils au sud-est de l'île, autour des Empereurs, étaient faits suivant des routes libres orientées est-ouest.

Ces deux levés ont fait l'objet d'une minute de bathymétrie B 10-12 bis et les zones sondées sont reportées sur la planche 1.

II.2. TRAVAUX COMPLEMENTAIRES DEVANT MONACO

Ces travaux exécutés en avril 1979 comprenaient :

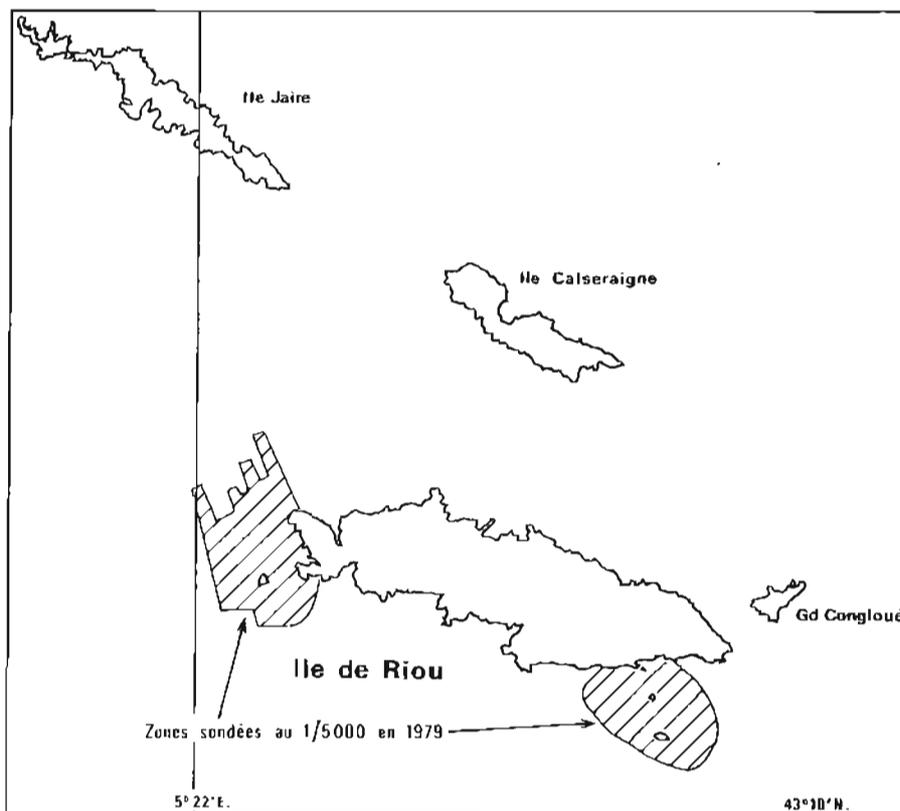
– le levé du port de Monaco. Ce levé a été effectué à l'aide d'un sondeur hors-bord monté sur le youyou de la *Recherche*. La position du youyou était déterminée par 3 théodolites, le guide étant placé sur le toit de l'immeuble à l'est du port, dans le prolongement de l'axe des passes. L'espacement des profils varie de 5 à 10 m. La minute de bathymétrie a été rédigée au 1/1 000^e.

– l'exécution de profils intermédiaires en baie de Roquebrune, pour porter l'espacement à 50 m entre profils par fonds de moins de 20 m, et de profils supplémentaires perpendiculaires à la côte dans la partie Est de la baie.

– le levé au 1/5 000^e de l'anse située entre la pointe de la Vieille et le Sporting.

– le levé au sondeur latéral de la réserve écologique du Larvotto. Ce levé a permis au service topographique de la Principauté de confectionner une carte au 1/1 000^e.

– la recherche des hauts fonds et épaves indiqués sur la carte. L'épave située par 20 m de fond au sud du musée, n'a pas été retrouvée malgré une recherche serrée



PL. 1. — Abords de Marseille.

au sondeur latéral. Il en est de même des hauts fonds de 1 m et 2 m situés en baie de Roquebrune, recherchés à vue et par plongeurs, et dont on peut conclure à l'inexistence.

— des mesures de courant devant l'entrée du port et au large du Cap Martin.

Les minutes B 10-1 et B 10-2 de l'I.C.A. Pieretti ont été complétées. Les recherches effectuées ont été dirigées sur une minute de recherches R 10. L'Index des travaux effectués est présenté sur la planche 2. La revue des amers de la carte 5207 a été effectuée, la liste des coordonnées des points faisant l'objet d'une fiche est donnée en annexe.

II.3. REPRISE D'UN LEVE SUR LA COTE EST DE CORSE

Une bande côtière de 7 km de long partant de Bastia et dirigée vers le sud a été à nouveau sondée, jusqu'aux fonds de 20 m.

Ce travail s'imposait par suite d'un mauvais positionnement au voisinage de la côte lors des sondages effectués en 1977.

La vedette suivait des profils Trident perpendiculaires à la côte, mais un théodolite placé sur la citadelle de Bastia procurait un lieu parallèle à la côte, ce qui a permis une parfaite cohérence entre les minutes de bathymétrie et de topographie.

La position des coffres servant à l'amarrage des pétroliers a été déterminée par visées optiques.

Les sondes ont été réduites de la marée fournie par le marégraphe installé dans le port de Bastia.

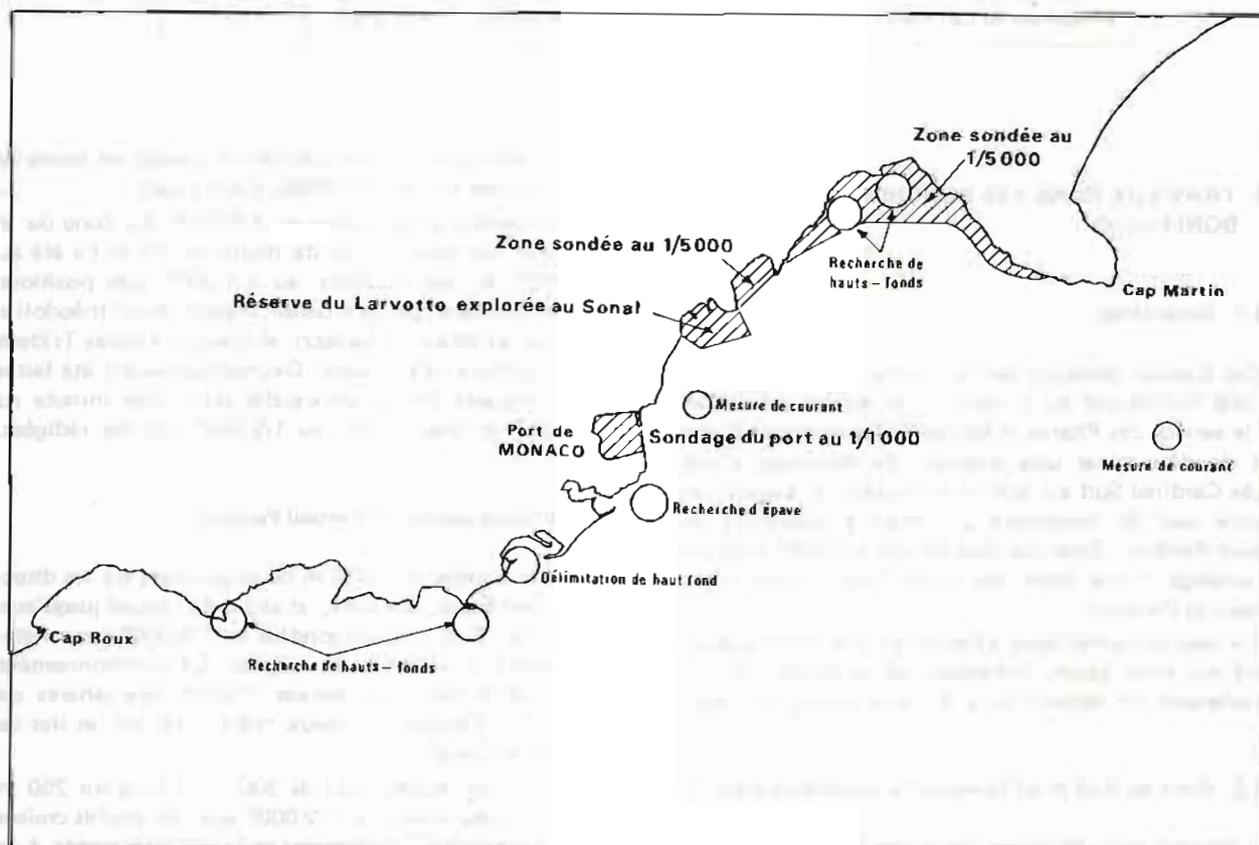
La zone sondée a fait l'objet d'une minute de bathymétrie B 10-12 A et est indiquée sur la planche 4.

II.4. LEVE ENTRE LA COTE NORD DU CAP CORSE ET LA GIRAGLIA

Le chenal situé entre la côte Nord du Cap Corse et l'île de la Giraglia a été sondé au 1/2 500^e et une minute de bathymétrie B 2,5 rédigée à cette échelle. Les principales stations utilisées ont été la Tour Touare, le sémaphore du Cap Corse, le mât de la tour Giraglia.

Les sondes étaient réduites de la marée enregistrée à l'observatoire de Bastia.

La zone levée est indiquée sur la planche 5.



PL. 2. — Travaux effectués aux abords de Monaco en 1979.

ANNEXE AU PARAGRAPHE 2 DU CHAPITRE II

**Liste des coordonnées (Lambert III) des amers de la carte 5207
(environs de Monaco) pour lesquels des fiches ont été établis ou complétées**

Nom du point	X	Y	Z
Château Malet (axe du fronton)	1 008 168,38	170 788,41	
Clocher de la Turbie (base de la croix)	1 007 628,7	173 052,7	516,4
Cathédrale (axe de la tour Est)	1 009 487,6	171 596,5	94,2
Tête de chien (axe du radôme)	1 007 857,91	171 829,77	
Trophée des Alpes (axe du monument)	1 007 701,57	173 080,87	
Feu vert du Cap d'Ail (axe du feu)	1 008 922,22	170 536,38	
Feu rouge du Cap d'Ail	1 008 985,99	170 854,66	
Mât du Palais de Monaco	1 009 320,4	171 733,9	
Feu vert du port de Fontvieille	1 009 506,49	171 376,23	
Feu rouge du port de Fontvieille	1 009 588,92	171 322,21	
Musée de Monaco. Antenne radio	1 009 704,95	171 636,17	
Station Ouest	1 009 677,76	171 594,04	
Station Est	1 009 754,29	171 655,18	
Feu vert du port de la Condamine	1 009 801,19	172 220,53	
Feu rouge du port de la Condamine	1 009 831,74	172 099,79	18,3
Hôtel Mille Fiori (axe et sommet)	1 009 471,45	172 764,27	
Hôtel Vistaero V lumineux	1 011 049,7	174 585,3	
antenne télévision	1 011 043,2	174 602,8	
Clocher de l'Eglise Saint Charles	1 009 784,2	172 958,2	
Radôme du mont Agel (axe)	1 008 957,13	176 071,60	
Mât de la pointe de la Vieille	1 011 104,7	173 843,5	
Clocher de Roquebrune (axe)	1 012 235	175 615	
Château de Roquebrune (mât de pavillon)	1 012 220,90	175 637,40	
Hôtel du Cap Martin (angle N de la façade W)	1 014 275	174 195	
Maison remarquable du Cap Martin (axe du pignon Sud)	1 013 682	174 117,3	
Sémaphore du Cap Martin (axe)	1 014 024,3	174 318,7	91,7

II.5. TRAVAUX DANS LES BOUCHES DE BONIFACIO

II.5.1. Généralités

Ces travaux, prescrits par les Instructions Techniques n° 206 SHOM/EM du 2 mars 1979, étaient demandés par le service des Phares et Balises de Corse en vue d'une part de déterminer une position de mouillage d'une bouée Cardinal Sud au Sud de la tourelle de Lavezzi, et d'autre part de construire un phare à proximité de l'écueil Perduto. Dans ses instructions le SHOM a ajouté le sondage d'une zone de hauts fonds située entre Lavezzi et Perduto.

Le levé bathymétrique, effectué en avril 1979, a donc porté sur trois zones, indiquées sur la planche 6. Un complément de recherches a dû être réalisé en 1980.

II.5.2. Zone au Sud et à l'Ouest de la tourelle de Lavezzi

L'objectif était de tracer l'isobathe 30 m, pour déterminer la position de mouillage d'une bouée Cardinal

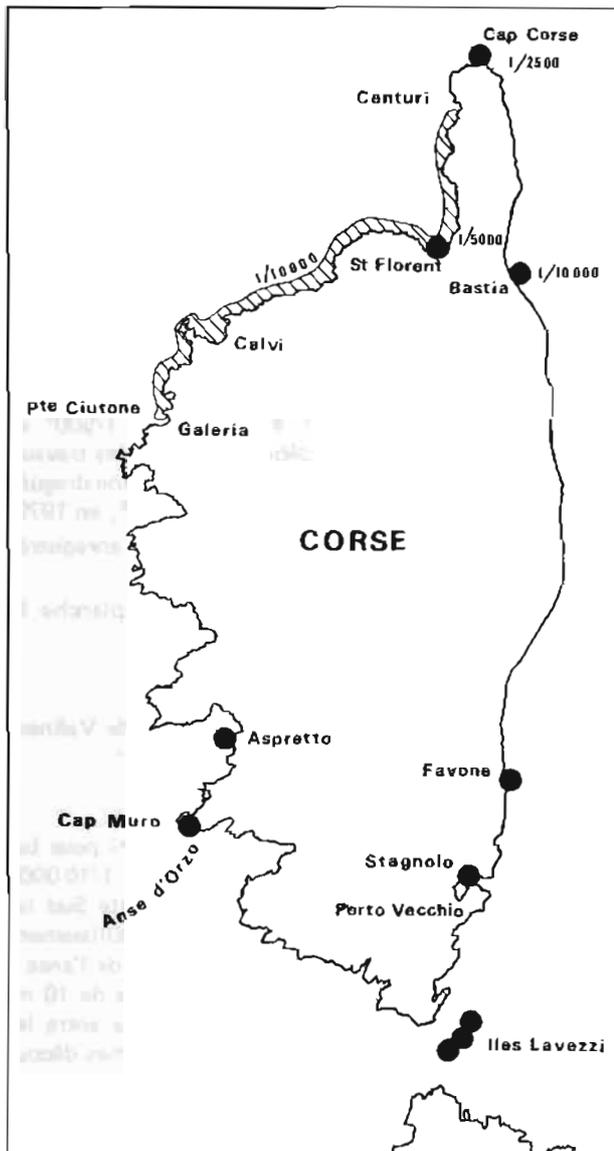
Sud, d'une part ; et pour vérifier les sondes de moins de 10 m portées sur la carte 4595, d'autre part.

L'ensemble a été sondé au 1/5 000^e. La zone où se trouvent des hauts fonds de moins de 10 m l'a été au 1/2 000^e et, par endroits, au 1/1 000^e. Les positions étaient données par une balise Trident et un théodolite installés au phare de Lavezzi, et une autre balise Trident au sémaphore de Pertusato. Des recherches ont été faites par plongeurs sur les principales têtes. Une minute au 1/5 000^e et une minute au 1/2 000^e ont été rédigées.

II.5.3. Zone autour de l'écueil Perduto

Deux bandes de 1 000 m de large axées sur les directions Sud-Est et Nord Est, et allant de l'écueil jusqu'aux fonds de 70 m, ont été sondées au 1/5 000^e pour l'établissement d'un plan de vagues. Le positionnement était assuré par deux balises Trident aux phares de Lavezzi et Pertusato et deux théodolites sur les îles de Lavezzi et Cavallo.

Une zone rectangulaire de 300 m de long sur 250 m de large a été sondée au 1/2 000^e avec des profils croisés pour déterminer l'emplacement le plus favorable à la construction d'un phare. Ce phare a été construit en



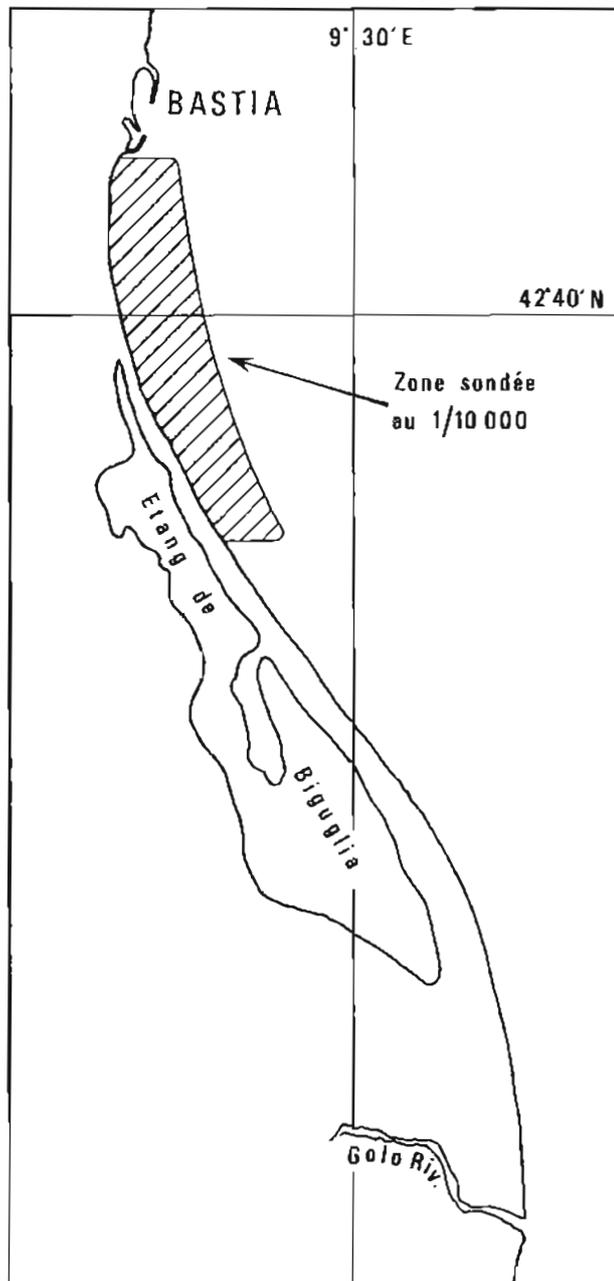
PL. 3. — Index des sondages effectués en Corse en 1979 et 1980.

1980 à la position : $X = 583\,512$ $Y = 120\,978$ (Lambert IV). Les sondages ont montré que la zone des fonds de moins de 10 m est beaucoup plus étendue que ne l'indique la carte 4595.

Une minute de bathymétrie au 1/5 000^e et une autre au 1/2 000^e ont été établies.

II.5.4. Zone de hauts fonds entre Perduto et Lavezzi

Les positions ont été déterminées uniquement par des moyens optiques à partir de deux théodolites situés au phare de Lavezzi, et sur l'île Cavallo. Deux sondes légè-

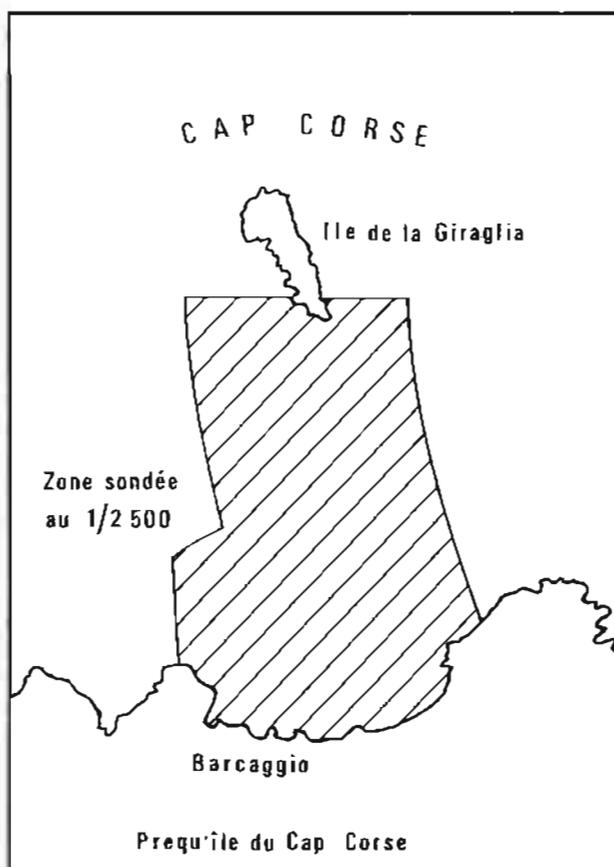


PL. 4. — Corse Côte Est.

rement inférieures à 20 m ont été trouvées, alors que la plus faible sonde de la carte 4595 est 22 m. Une minute de bathymétrie au 1/5 000^e a été établie.

II.5.5. Observation de la marée

Une échelle de marée avait été mise en place en avril 1979 à l'île Lavezzi. Le zéro de cette échelle avait été déterminé par concordance avec le marégraphe de Bastia. Les deux marées sont pratiquement identiques. Pour les recherches effectuées en 1980 au Sud de Lavezzi, la marée a été observée à Ajaccio, les Bouches de Bonifacio se trouvant à la limite des zones de Bastia et d'Ajaccio.



PL. 5. — Corse Côte-Nord.

II.5.6. Mesures de courant

Le courant a été mesuré par 5 m d'immersion aux points suivants :

- dans le 130 et à 400 m de l'écueil de Perduto pendant 3 jours du 27 au 30 mars,
- dans le 176 et à 1,3 M du phare de Lavezzi pendant 2 jours du 12 au 14 mai,
- dans le 088 et à 2,04 M du phare de Lavezzi pendant 7,5 h le 25 mars et 4 h le 26 mars.

II.6. TRAVAUX COMPLEMENTAIRES DANS LE GOLFE DE PORTO-VECCHIO

Le levé de 1978 a dû être complété en ce qui concerne la topographie de roches et la recherche des hauts fonds. Les sondages du fond de la baie de Stagnolo ont dû être refaits pour remédier aux difficultés de construction apparues en 1978, et dues à des erreurs sur les distances fournies par le Trident II. Un sondage au 1/2 500^e a donc été effectué devant l'entrée du port de plaisance. Les sondes ont été réduites de la marée fournie par le marégraphe installé dans le port de Porto-Vecchio. L'index des travaux effectués est donné par la planche 7.

II.7. LEVE DE L'ANSE DE FAVONE

Le levé de la côte Est de Corse effectué en 1977-78, a été complété par le sondage au 1/5 000^e de l'anse de Favone. Les sondes ont été réduites de la marée fournie par le marégraphe de Porto-Vecchio.

La rédaction a été faite sur la minute B 10-3 de la côte Est de Corse. La zone sondée est indiquée sur la planche 7.

II.8. LEVE DU PORT D'ASPRETTO EN RADE D'AJACCIO

Le port d'Aspretto avait été sondé au 1/500^e et son entrée au 1/1 000^e, au début de 1978. Des travaux de dragage ayant été effectués en 1978, la zone draguée a été sondée et la minute rédigée au 1/5 000^e, en 1979.

Les sondes ont été réduites de la marée enregistrée par le marégraphe du port d'Aspretto.

La zone sondée est représentée sur la planche 8.

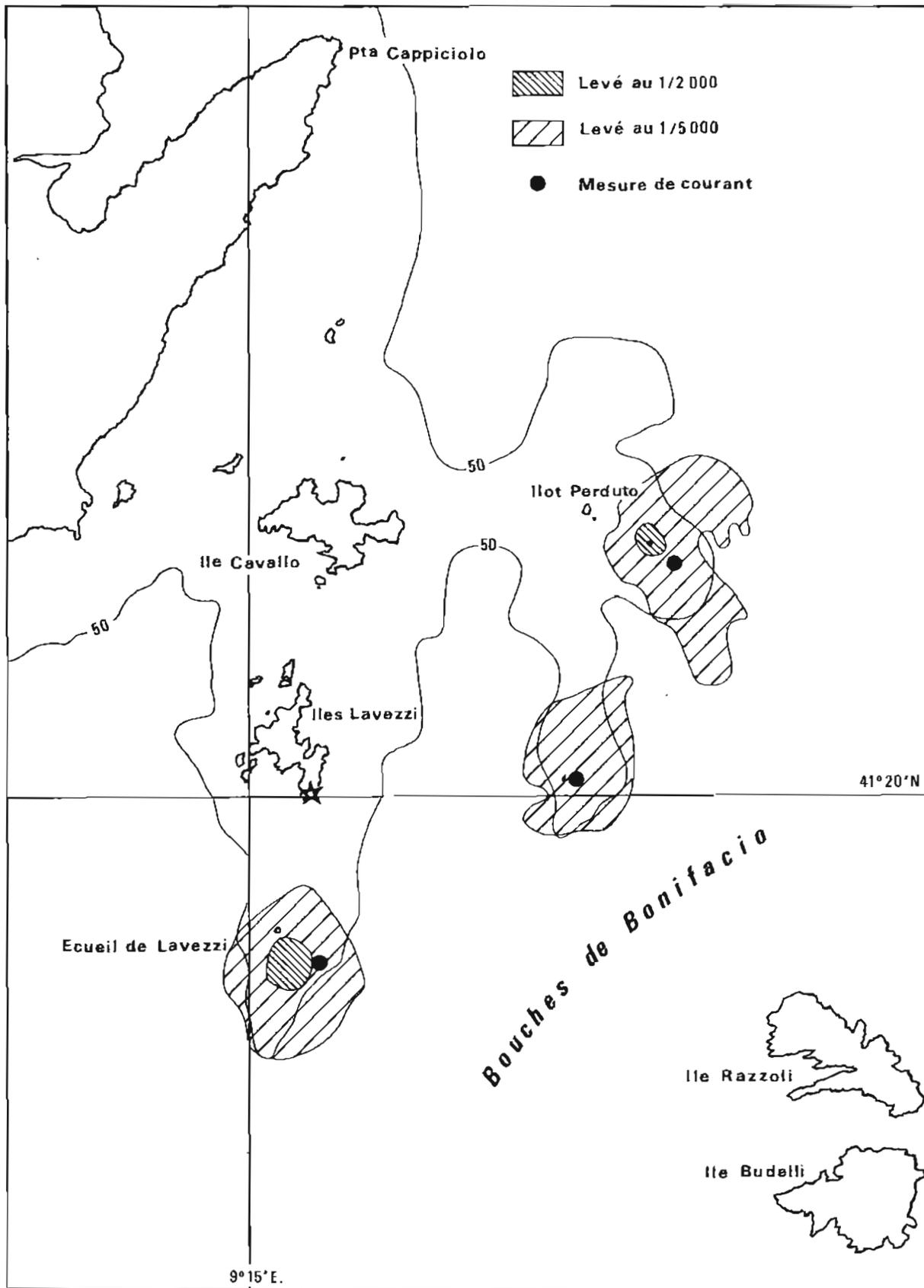
II.9. TRAVAUX EN BAIE D'ORZO (Golfe de Valinco, côte Ouest de Corse)

En vue d'étudier la construction d'un abri pour bateaux de pêche, un sondage a été effectué au 1/10 000^e du Cap Muro au Cap Nero, avec pour limite Sud les fonds de 70 m. Ce levé devait permettre l'établissement d'un plan de vagues. La moitié Nord-Ouest de l'anse a été sondée au 1/2 000^e, de la côte aux fonds de 10 m, et ces sondages ont été complétés à la perche entre les rochers. La topographie de la côte et des roches découvrantes ou faiblement immergées a été établie à partir de photos aériennes au 1/4 000^e prises par l'Aéronavale.

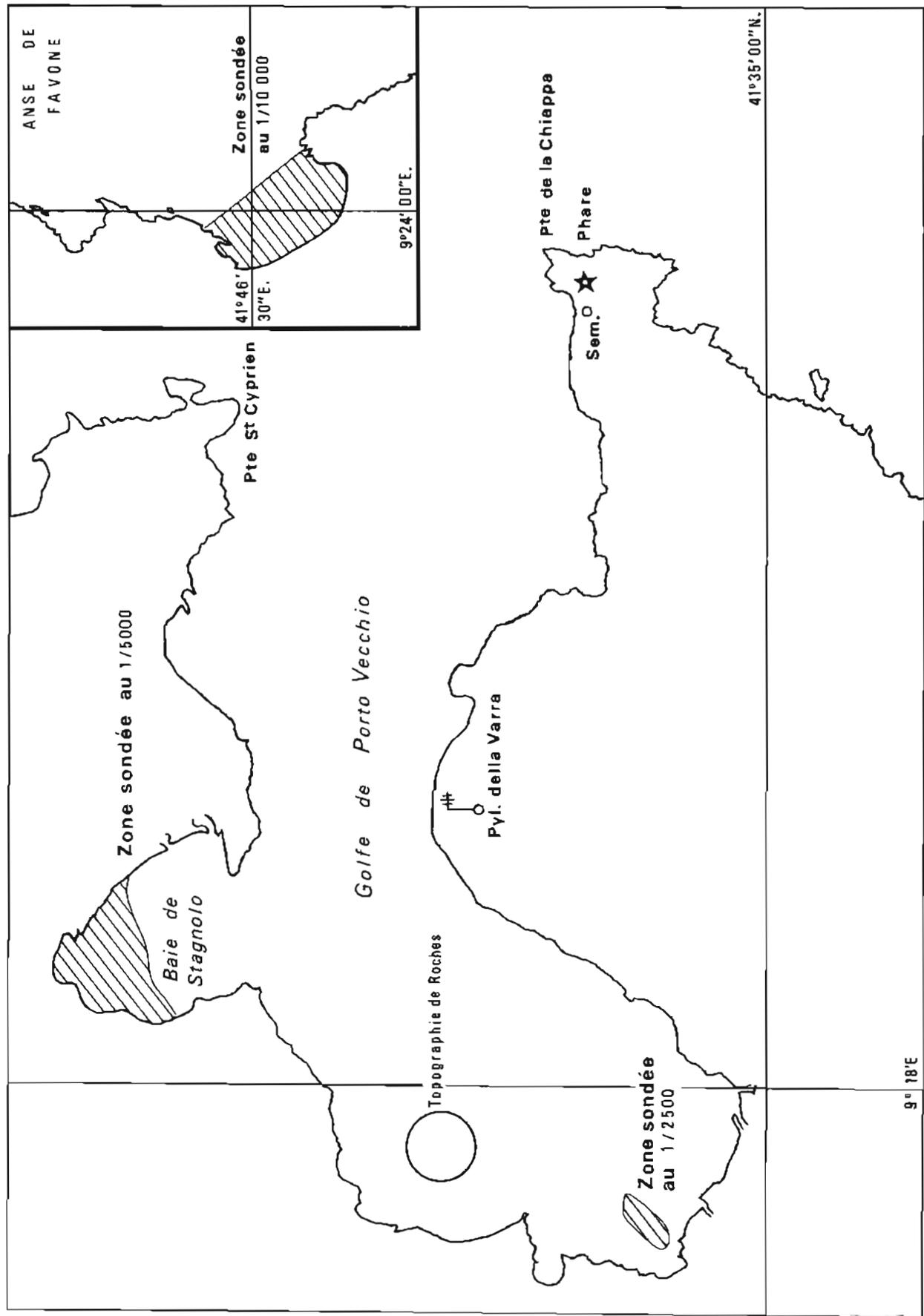
Les sondages au 1/10 000^e ont été rédigés sur une minute à la même échelle. Les sondages au 1/2 000^e, les sondages à la perche et la topographie ont été rédigés sur une seule minute au 1/2 000^e. Les sondes ont été réduites de la marée fournie par le marégraphe d'Aspretto.

Le positionnement était assuré par trois balises Trident situées au pied du cap Muro et de la tour Nero, et sur la plage au fond de l'anse, ainsi que par des théodolites. Les positions de ces différents emplacements ont été déterminées à partir de celles du phare du cap Muro et de la tour Nero, dont les coordonnées sont données par l'IGN.

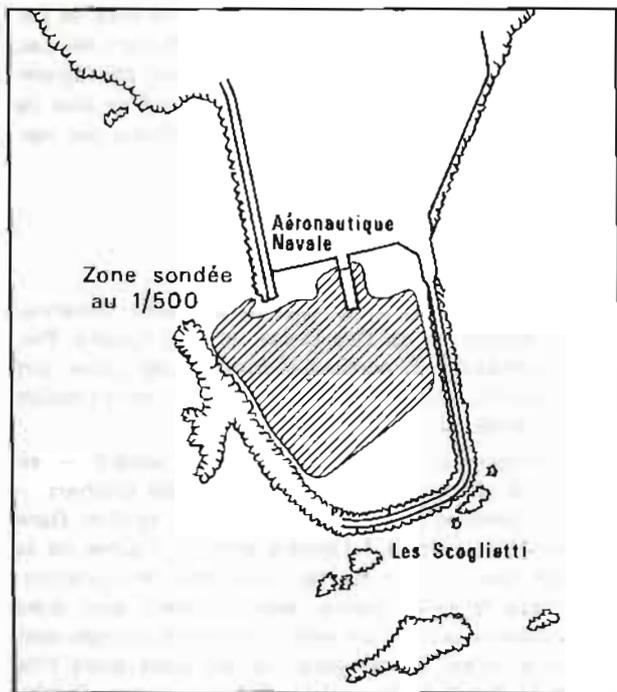
Le schéma des zones sondées est donné sur la planche 9.



PL. 6. — Corse Côte-Sud. Iles-Lavezzi.



PL. 7. — Golfe de Porto Vecchio. Travaux effectués en 1979.



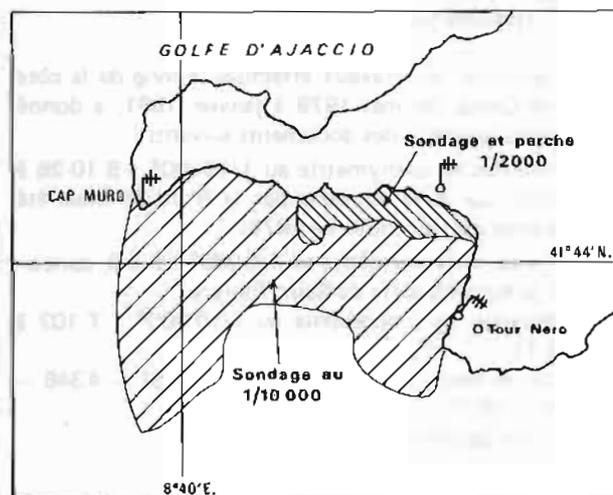
PL. 8. — Port d'Aspretto. Sondage de 1980.

II.10. LEVE LE LONG DU QUAÏ D'HONNEUR DANS PORT DE TOULON

Ce levé, demandé par la Direction du Port de Toulon, a été effectué en décembre 1978 au titre de séance d'instruction pour les stagiaires, et rédigé en 1979.

Les profils localisés par radioguidage au théodolite, étaient parallèles au quai d'honneur et espacés de 4 m. La vedette avançait à l'allure minimum pour gouverner. La marée était fournie par le marégraphe du port de Toulon.

Une minute de bathymétrie a été rédigée au 1/400^e. La zone sondée est indiquée sur la planche 10.



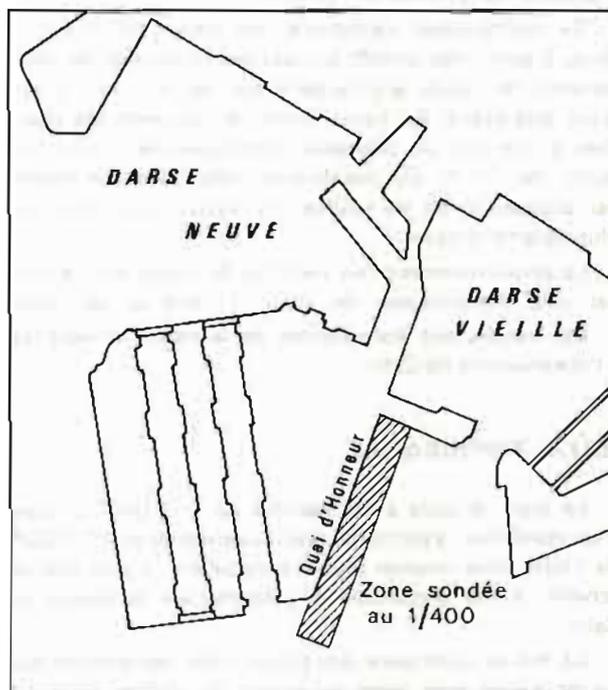
PL. 9. — Baie d'Orzo — Travaux effectués en 1980.

II.11. SONDAGES SUR LA CÔTE NORD-OUEST DE CORSE

II.11.1. Généralités

Le levé côtier de la côte Ouest de Corse a été repris en mai 1979 au niveau de la pointe de Minervio, dans le Cap Corse, où s'étaient arrêtés les travaux de 1978. Ils n'ont progressé en 1979 que jusqu'à la pointe Vecchiaija, à l'entrée du golfe de Saint Florent, la Recherche s'étant consacrée à de nombreux autres chantiers. Par contre, les travaux ont été poursuivis en 1980 de la pointe Vecchiaija à la pointe Ciuttone, au Sud-Ouest de Calvi, la côte de Corse ayant été la principale zone d'activité de la Recherche cette année-là.

La limite vers le large était, soit l'isobathe 50 m, soit la limite des sondages effectués par l'Origny et l'Octant en 1977-78 quand cette limite n'atteignait pas l'isobathe 50 m.



PL. 10. — Port de Toulon. Sondage de 1978.

II.11.2. Géodésie

Les points choisis pour les emplacements des balises Trident et des théodolites ont été rattachés au réseau IGN de la Corse. Ces rattachements étaient généralement à courte portée, de nombreux points ayant été placés le long de la côte par une Mission hydrographique de la fin du siècle dernier.

Une mission spéciale de géodésie a cependant dû être faite sur la côte du désert des Agriates, avec mise en place de signaux. Les coordonnées des points placés par les hydrographes au siècle dernier, et qui ne figuraient

pas sur les carnets IGN, ont dû être demandées à cet organisme.

II.11.3. Bathymétrie

Les sondages ont été effectués au 1/10 000^e jusqu'aux fonds de 50 m, les profils étant, dans la mesure du possible, perpendiculaires à l'orientation moyenne des isobathes. En de nombreux endroits, les profils ont dû être doublés, en particulier le long des crêtes rocheuses. Le fond du golfe de Saint Florent a été sondé et rédigé au 1/5 000^e. Les sondages effectués en 1978 par l'*Octant* le long du Cap Corse, par fonds supérieurs à 50 m, ont été rédigés sur des minutes au 1/10 000^e. Ces sondages présentent parfois quelques différences, avec ceux de l'*Origny*, dans la zone de recouvrement. Les documents de l'*Octant* ont été vérifiés. On peut cependant observer que l'*Octant* avait un dispositif de positionnement comprenant des théodolites, mieux adapté au levé côtier. En cas de légère différence il y aurait donc lieu d'adopter les données de l'*Octant*.

De nombreuses recherches de roche ont dû être faites à partir des sondes portées sur la carte et des relèvements de fonds apparaissent sur les minutes. L'eau étant très claire, les hauts fonds ont souvent été cherchés à vue par un plongeur remorqué, ceci jusqu'aux fonds de 10 m. De nombreuses têtes ont été cotées par plongeurs, en particulier les hauts fonds isolés les plus caractéristiques.

Le positionnement des vedettes de sonde était assuré par une combinaison de lieux Trident et optiques.

Les sondes ont été réduites de la marée enregistrée à l'observatoire de Calvi.

II.11.4. TOPOGRAPHIE

Le trait de côte a été restitué au 1/10 000^e à l'aide d'un stéréoflex, à partir des photos aériennes au 1/17 000^e de l'IGN. Une mission photo particulière, à plus grande échelle, a été demandée à l'Aéronavale au-dessus de Calvi.

La limite supérieure des plages a été représentée par un deuxième trait plein en arrière du trait de côte. La zone correspondant à l'espace situé entre les deux traits peut être balayée par les vagues de tempête, mais n'appartient pas à l'estran. Sauf cas exceptionnel, par exemple au fond de la baie de Saint Florent, il n'y a pas d'estran à proprement parler, mais seulement des têtes de roches isolées pouvant couvrir ou découvrir.

La topographie de roches a été faite à partir d'une embarcation pneumatique, par des plongeurs en apnée. La préparation de cette topographie de roches comprenait les roches portées sur la carte, et les taches repérées sur les photographies aériennes et classées comme roches isolées probables. Une recherche systématique à vue a été faite en embarcation pneumatique, sur des pro-

files espacés de 30 m, perpendiculaires à la côte, et jusqu'à 100 m environ de celle-ci. Dans la plupart des cas, la position des roches a été déterminée par photogrammétrie. Les roches dont la hauteur dépasse de plus de 0,8 m le zéro hydrographique, ont été cotées par rapport au niveau moyen.

II.11.5. Ravue d'amers

La revue d'amers a été faite de la pointe Minervio, dans la presqu'île du Cap Corse, au Cap Cavallo. Plusieurs tombeaux, en particulier dans le Cap Corse, ont été supprimés en tant qu'amers car leur identification n'est pas évidente.

Les amers les plus caractéristiques restent – en dehors des phares, des sémaphores et des clochers – les tours génoises échelonnées le long de la côte. Dans certains villages situés à l'arrière plan, le clocher ne se distingue pas, à l'œil nu, de l'ensemble des constructions. Mais le village même, assez compact, peut alors être considéré comme un amer. Quand ces villages sont nombreux (c'est le cas dans l'arrière pays entre l'île Rousse et Calvi) ils ne sont pas facilement identifiables par le navigateur. Il vaut mieux, en de telles circonstances, utiliser les amers bien identifiables et bien visibles que constituent les pylônes de télécommunications.

La liste des coordonnées des amers et des points pour lesquels des fiches ont été établies est donnée en annexe à ce paragraphe.

II.11.6. Toponymie

Les toponymes des cartes IGN récentes au 1/25 000^e ont été repris dans la plupart des cas, y compris pour les termes génériques (Capo, Punta, Cala, Marina, etc). Pour les noms propres, le remplacement de la terminaison en o par la terminaison en u a été systématiquement appliqué ; principe dont l'IGN n'a fait l'usage que dans 90 % des cas.

II.11.7. Documents établis

La rédaction des travaux effectués le long de la côte Ouest de Corse, de mai 1979 à janvier 1981, a donné lieu à l'établissement des documents suivants :

- 12 minutes de bathymétrie au 1/10 000^e : B 10-26 à B 10-37. La zone couverte par la B 10-26 avait été en grande partie sondée en 1978.
- 1 minute de bathymétrie au 1/5 000^e : B 5-3, concernant le fond du golfe de Saint Florent.
- 10 minutes de topographie au 1/10 000^e : T 102 à T 10-11.
- 7 cartes index : 4911 – 4887 – 4881 – 4346 – 4860 – 5637.
- 58 fiches géodésiques.

ANNEXE AU PARAGRAPHE 11.5 DU CHAPITRE II

**Liste des coordonnées des amers et points géodésiques pour lesquels une fiche a été établie.
De la pointe de la Cannelle au cap Cavallo.**

(Lambert IV)

Nom du point	X	Y	Z
Tour de Giottani (axe et sommet)	571 868	287,368	24
Chappelle de la Marine de Giottani (axe du clocheton)	572 017,01	287 278,98	9
Clocher de Canari (axe et sommet)	571 256,86	284 874,38	330
Clocher d'Ogliastro (axe de la croix)	573 062,61	281 900,89	120
Tour d'Albo (axe et sommet)	571 931,88	280 723,09	20
Tour de Nonza (axe de la tourelle NO)	572 942,3	278 253,9	174
Clocher de Nonza (base de la croix)	573 086,12	278 237,66	165
Couvent au Sud de Nonza (axe de Campanille)	572 768,68	277 207,63	32
Tour de Negru (axe et sommet)	572 891,51	275 556,99	12
Clocher de Farinole (axe de la croix)	575 027,08	272 487,54	179
Tour de Farinole (axe et sommet)	573 358,46	272 352,99	20
Phare de la pointe Vecchiaja			
Lanterne : axe et sommet	571 867,5	270 539,1	22
Croix gravée sur la trappe	571 867,0	270 538,6	
Pylône TV de Serra di Pigno (axe et sommet)	578 328,7	268 589,1	1 070
Borne SG de Serra di Pigno	578,358,31	268 544,11	961
Réservoir de Saint Florent (axe et sommet)	572 163,3	265 578,3	92
Bunker sur la plage au N de St-Florent (axe de la Tourelle)	571 652,7	267 816,1	7
Citadelle de Saint-Florent (axe et sommet)	570 454,1	266,666,8	29
Clocher de Saint-Florent (centre de la boule)	570,332,16	266 480,35	30
Feu rouge du port de Saint Florent	570 107,2	266 347,2	6
Tourelle Tegnosa (axe du voyant)	569 837,63	266 553,95	7
Réservoir de Fromentica (axe et sommet)	569 542,6	264 877,1	157
Feu de Fornali (centre de la boule)	568 591,61	267 163,45	15
Tour de Fornali			
axe et sommet	568 486,1	266 975,0	69
axe du mât	568 486,9	266 976,3	
Tour de la Mortella (axe et sommet)	566 512	269 212	13
Phare de la Mortella (centre de la boule)	566 362,91	270 174,36	45
Sémaphore de la Mortella. Harpe (axe et base)	566 186,71	270 049,46	69
Cima du Stagoni			
Cairn : sommet	559 030,0	270 958,7	155
Borne IGN	559 028,28	270 955,68	153
Cairn de Malfaco : sommet	555 363,9	270 387,8	61
Maison de Lozari : antenne	548 952	261 689	53
Tour de Lozari (axe et sommet)	546 619	260 136	28
Tour de Pianosa (axe et sommet)	545 150,3	259 865,4	36
Calvaire Suatelli (centre croix)	544 013,9	258 902,1	209
Feu vert du port de l'île Rousse (axe et sommet)	541 227,6	259 684,3	12
Clocher de l'île Rousse (axe et sommet)	541 052,9	258 882,7	35
Tour de la Piettra	540 844,9	259 902,9	38
Phare de la Pietra	540 581,6	260 005,88	65
Pylône Capu Corboriu	540 122,1	258 555,5	154
Sémaphore de l'île Rousse (axe et sommet)	539 898,89	258 691,03	151
Pylône San Antonino	539 743,0	254 795,3	550
Couvent de Corbora (axe et sommet)	539 318,1	255 245,9	325
Pylône Lavatoggio			
Antenne : axe et sommet	535 974,0	251 145,2	565
Clocher Alcajola (base de la croix)	535 202,61	255 586,98	31
Clocher de Lumio (base de la croix)	533 154,09	252 019,7	211
Donjon Alcajola (axe et sommet de la balise)	533 139,9	257 360,9	2
Feu vert du port de San Ambrogio	532 505,5	254 779,6	5
Feu rouge du port de San Ambrogio	532 458,2	254 768,2	5
Pylône Monte Ortu (axe et sommet)	532 364,1	252 875,0	195

Nom du point	X	Y	Z
Tour Spanu (axe et sommet)	530,660,3	254 629,0	29
Tour Caldanu (axe et sommet)	530 272,1	252 326,5	15
Château d'eau de la légion (axe et sommet)	530 414,19	249 715,20	37
Feu vert de la jetée de Calvi	527 356,6	250 305,0	9
Eglise Saint Jean-Baptiste de Calvi (base de la croix)	527 197,82	250 483,81	85
Clocher de Calvi (axe et sommet)	526 948,3	250 291,0	35
Capu di a Veta (axe et sommet de la croix)	526 149,9	246 066,5	705
Chapelle NO di Serra : clocher (base de la croix)	525 418,66	248 585,66	237
Phare de la Revellata : sommet de la boule supérieure	524 118,13	251 900,28	100
Sémaphore de Cavallo : axe et sommet du mât	520 529,4	243 721,0	322

II.12. SONDAGE DE CONTROLE DANS LE GOLFE DE FOS

A la suite d'une demande adressée par le service de Pilotage du port de Marseille au Préfet Maritime de la III^e Région, un sondage de contrôle a été fait :

– au Sud de la zone de dépôts de dragage située devant Port de Bouc. Dans cette zone il ne semble pas y avoir de modifications sensibles des fonds par rapport à la minute de 1976 de l'Ingénieur en Chef de l'Armement Pieretti. On observait plutôt une certaine érosion dans la partie Sud-Est de cette zone.

– au Sud du chenal : on observe une légère avancée, vers le Nord, du They de la Gracieuse.

– dans le chenal d'accès au port de Fos : dans ce chenal dragué à 24 m, une seule sonde de moins de 24 m (23,7 m) a été trouvée au point

X = 810 780 Y = 124 385 (Lambert III)

La vedette de sonde était positionnée par trois balises Trident installées aux mêmes points que lors du levé du golfe en 1976, soit à :

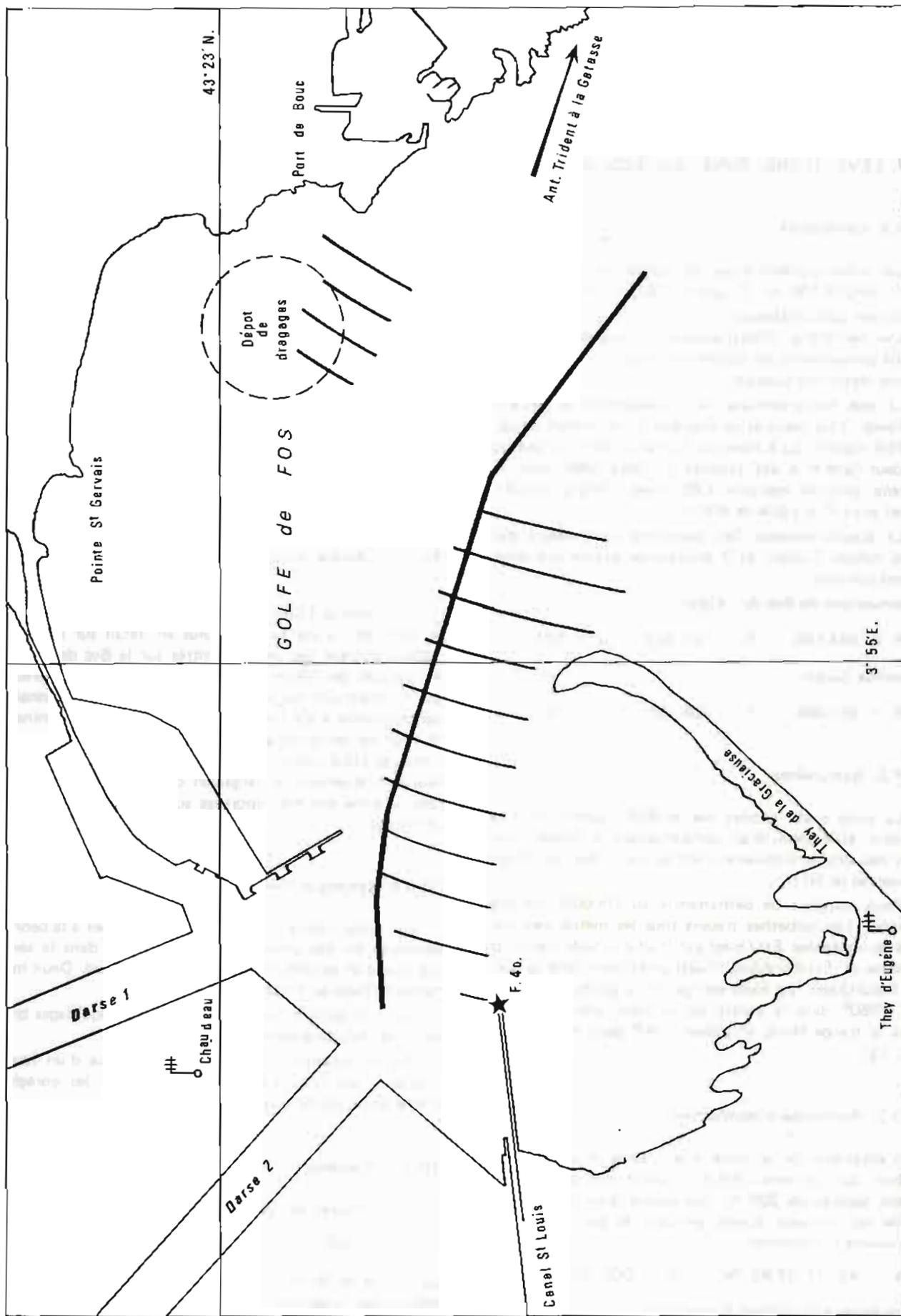
- la tour de la Gatasse à l'Est,
- le château d'eau des Minéraliers au Nord-Ouest,
- la borne IGN du They d'Eugène au Sud-Ouest.

Les enregistrements de la marée ont été recueillis à l'observatoire de Fos.

Les zones contrôlées sont reportées sur la planche 11.

II.13. TRAVAUX DEVANT PORT-LA-NOUVELLE ET SETE

Le compte rendu de ces travaux est donné dans le chapitre IV intitulé "Levés au sondeur latéral".



PL. 11. — Golfe de Fos — Sondage de contrôle effectués en 1981.

III. TRAVAUX DE GRANDE SONDE

III.1. LEVE D'UNE ZONE AU SUD DE CASSIS

III.1.1. Généralités

Les travaux prescrits par les Instructions Techniques n° 2 SHOM/EM du 2 janvier 1979 comportaient :

- un levé bathymétrique ;
- une recherche d'obstructions au sondeur latéral ;
- des prélèvements de natures de fonds ;
- une mesure de courant.

Le levé bathymétrique, les prélèvements de natures de fonds et les mesures de courant ont été effectués par le BSR *Gazelle* du 9 mars au 22 mars 1980. Le levé au sondeur latéral a été exécuté en mars 1980, avec la *Gazelle*, puis en mai-juin 1980, avec l'*Origny* qui disposait alors d'un câble de 600 m.

Le positionnement des bâtiments était assuré par deux balises Trident et 2 théodolites placés aux deux points suivants :

- sémaphore du Bec de l'Aigle

$$X = 863\ 186 \quad Y = 102\ 382 \quad Z = 320$$

- pointe Cacao

$$X = 857\ 864 \quad Y = 104\ 761 \quad Z = 15$$

III.1.2. Bathymétrie

La zone a été sondée par le BSR *Gazelle*, dont le sondeur était muni d'un compensateur de houle ; suivant des profils circulaires centrés sur le Bec de l'Aigle et espacés de 50 m.

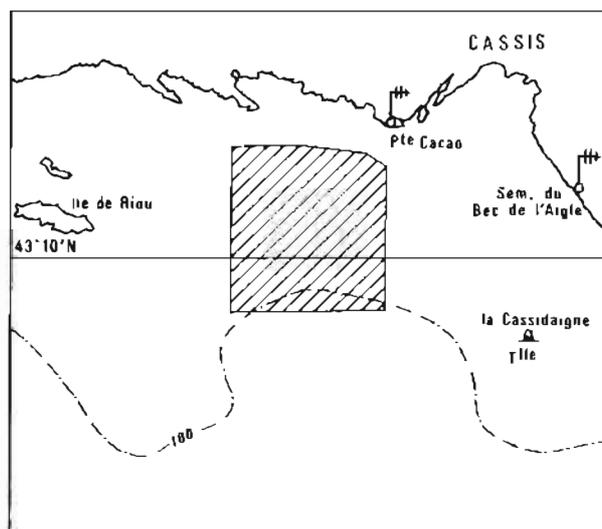
Deux minutes de bathymétrie au 1/5 000^e ont été rédigées. Les isobathes tracées tous les mètres sont parallèles, orientées Est-Ouest sur la plus grande partie de la zone et Est-Nord-Est, Ouest-Sud-Ouest dans la partie Nord-Ouest. Le fond est lisse et la pente, de l'ordre de 1/250^e dans le centre de la zone, atteint 1/100^e dans la frange Nord, et même 1/50^e dans le coin NE. (PL. 12).

III.1.3. Recherche d'obstructions

L'ensemble de la zone a été exploré au sondeur latéral, sur l'échelle 250 m, suivant des profils Est-Ouest espacés de 200 m. Les épaves d'un remorqueur et de son chaland, coulés pendant la guerre, ont été retrouvées à la position

$$L = 43^{\circ} 11' 07,93'' \text{ N} \quad G = 005^{\circ} 27' 55,11'' \text{ E}$$

Cette épave a fait l'objet d'une fiche.



PL. 12. - Abords de Cassis. Levé au 1/5000 et sondeur latéral.

Une zone de 1 500 m de long sur 600 m de large, dans le coin NE, a été explorée plus en détail sur l'échelle 125 m, suivant des profils centrés sur le Bec de l'Aigle et espacés de 100 m. Dans cette zone, de nombreux petits objets ont été observés sur le fond. Une reconnaissance visuelle a été faite à l'aide d'un chasseur de mines. Il s'agit de petits tétraèdres en béton, servant d'obstructions de plage contre un débarquement, et constituant vraisemblablement la cargaison du chaland coulé. Ces obstructions ont été reportées sur la minute de nature de fonds.

III.1.4. Natures de fonds

Des échantillons du fond ont été ramassés à la benne preneuse en des points espacés de 750 m dans le sens Est-Ouest et de 500 m dans le sens Nord-Sud. Deux minutes de fond au 1/5000^e ont été rédigées.

Le fond est fait de sable, de vase, de coquillages brisés et parfois de gravier.

Aucun échantillon n'a révélé la présence d'un fond rocheux, qui n'apparaît pas non plus sur les enregistrements du sondeur latéral.

III.1.5. Courants

Des mesures de courant ont été faites au point :

$$L = 43^{\circ} 10' 25'' \text{ N} \quad G = 005^{\circ} 26' 30'' \text{ E}$$

par fonds de 93 m, au moyen de deux courantographes Mécabolié fixés sur une seule ligne à 5 m et 50 m au-

dessus du fond, du 9 au 22 mars 1979. Cette période a connu différents régimes de vent avec une dominante Ouest.

Les principales remarques que l'on peut formuler à partir de ces observations sont les suivantes :

– il y a un retard de quelques heures entre l'établissement d'un type de vent et d'un type de courant, ce qui semble normal ;

– par vent fort de NW (mistral), le courant est plus fort à 5 m du fond qu'à 50 m, et porte au Nord, c'est-à-dire vers la côte. Il atteint 0,3 n par vent de 30 n. Le mistral induisant un courant de surface portant au Sud, ce courant de fond est probablement un courant de compensation ;

– par vent d'Est assez fort, le courant porte au SSW à 5 m du fond et à l'WSW à 50 m du fond. A 50 m il est légèrement plus fort et peut atteindre 0,4 n. Là aussi, il doit s'agir d'un courant de compensation, le vent d'Est induisant un courant de surface portant à la côte.

III.2. LEVES COMPLEMENTAIRES AU LARGE DE LA COTE OUEST DE CORSE

Les travaux complémentaires au levé effectué en 1977-78 ont porté sur trois zones :

– l'une concernant un relief sous-marin situé autour de la sonde 1830 m de la carte 6632, au Nord-Ouest du Cap Corse, qui a été sondée au 1/80 000^e en novembre 1979 par l'*Origny*. Le bâtiment était positionné par 2 balises Trident, l'une à Toricella dans le Nord du Cap Corse ; l'autre au Belgodère, village situé dans l'arrière pays de l'île Rousse, au point de coordonnées Lambert IV :

$$X = 549\ 708 \quad Y = 253\ 029 \quad Z = 813$$

– deux autres zones, un peu plus au Sud, levées également au 1/80 000^e, ce qui a permis de compléter le levé de 1978 jusqu'à la limite au large prévue par les I.T. Le bâtiment suivait des profils Trident centrés sur le sémaphore de Cavallo, un lieu traversier étant fourni par une autre balise située à Toricella.

Les trois zones sont représentées sur la planche 13.

III.3. LEVE DU CANAL DE SICILE

III.3.1. Généralités

Du 23 juillet au 13 octobre 1979, la Mission Océanographique de Méditerranée a effectué le levé bathymétrique de la partie centrale du canal de Sicile, entre la limite des eaux territoriales tunisiennes à l'Ouest et l'isobathe de 100 m à l'Est, conformément aux Instructions Techniques n° 516 SHOM/EM du 7 juin 1979 (planche 14). La Mission a aussi effectué des mesures de courant dans le canal et des mesures

hydrologiques à l'Est de Malte, conformément aux mêmes instructions techniques, mais n'a pu effectuer les mesures hydrologiques prescrites par le modificatif n° 1 aux instructions techniques ci-dessus.

Les deux bâtiments de la MOM et la *Gazelle* ont participé à la campagne. Ils ont effectué ensemble, du 13 au 17 août, une escale de courtoisie à Palerme où se trouvait aussi le *Magnaghi*, et des escales de ravitaillement à Trapani, à Syracuse et Augusta pour l'*Origny*, Tunis et Sfax pour la *Gazelle*.

Le positionnement précis des bâtiments sur la zone a nécessité l'implantation de balises de radiolocalisation Trident en territoire italien et tunisien, aux sommets des îles de Marettimo et Pantelleria, au sémaphore du Cap Bon et à Kelibia. Cette implantation a elle-même nécessité des préparatifs importants comportant des demandes de documentation sur la géodésie, des demandes d'autorisation par le canal des attachés militaires, des reconnaissances, et – pour la mise en place proprement dite – l'utilisation d'un hélicoptère et de son bâtiment support.

La météo rencontrée sur zone a connu des périodes de très beau temps alternant avec des périodes de temps moyen, et un fort coup de vent de Nord Ouest qui a duré environ 8 jours à la mi-août, et qui a obligé les bâtiments à se mettre à l'abri. Les coups de vent d'Est, beaucoup plus brefs, n'ont pas occasionné de fortes houles et n'ont pas conduit à suspendre les travaux.

Les difficultés rencontrées dans l'accomplissement de la mission sont venues :

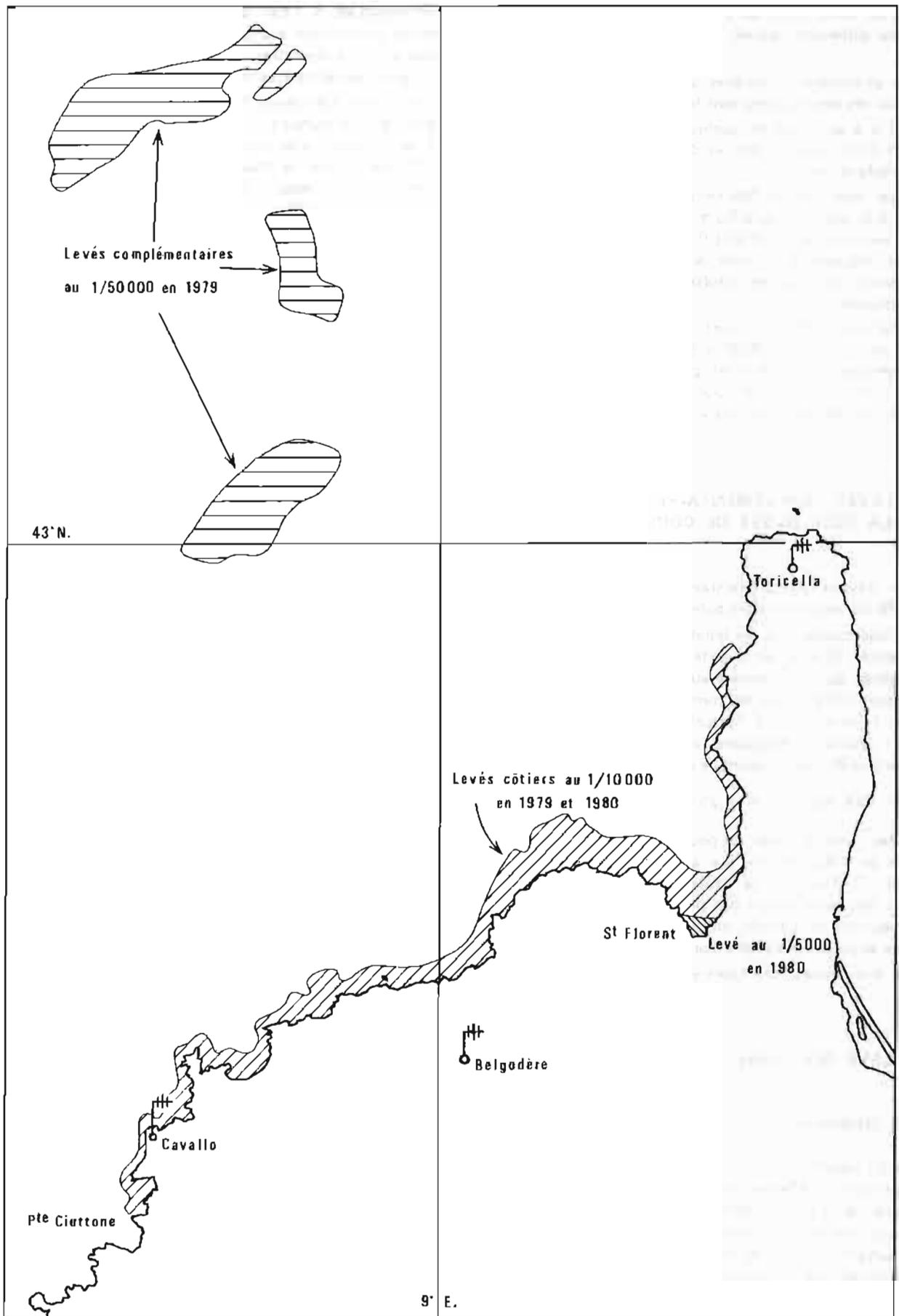
– d'une part, des pannes du système de radiolocalisation dues essentiellement à l'environnement radioélectrique ;

– d'autre part, des avaries de propulsion des bâtiments : l'*Origny* est tombé une première fois en avarie le 2 septembre et a dû, sur une ligne d'arbre, rallier Toulon où il est arrivé le 5 pour passer au bassin. Il est retombé en avarie de pitch le 26 septembre, avant son escale de Syracuse. En conséquence, il a dû terminer les sondages de la partie Sud du canal en ne disposant que d'une seule ligne d'arbre, pendant 6 jours ; avec de regagner Toulon où il est arrivé le 12 octobre pour entrer en Indisponibilité d'Entretien (IE).

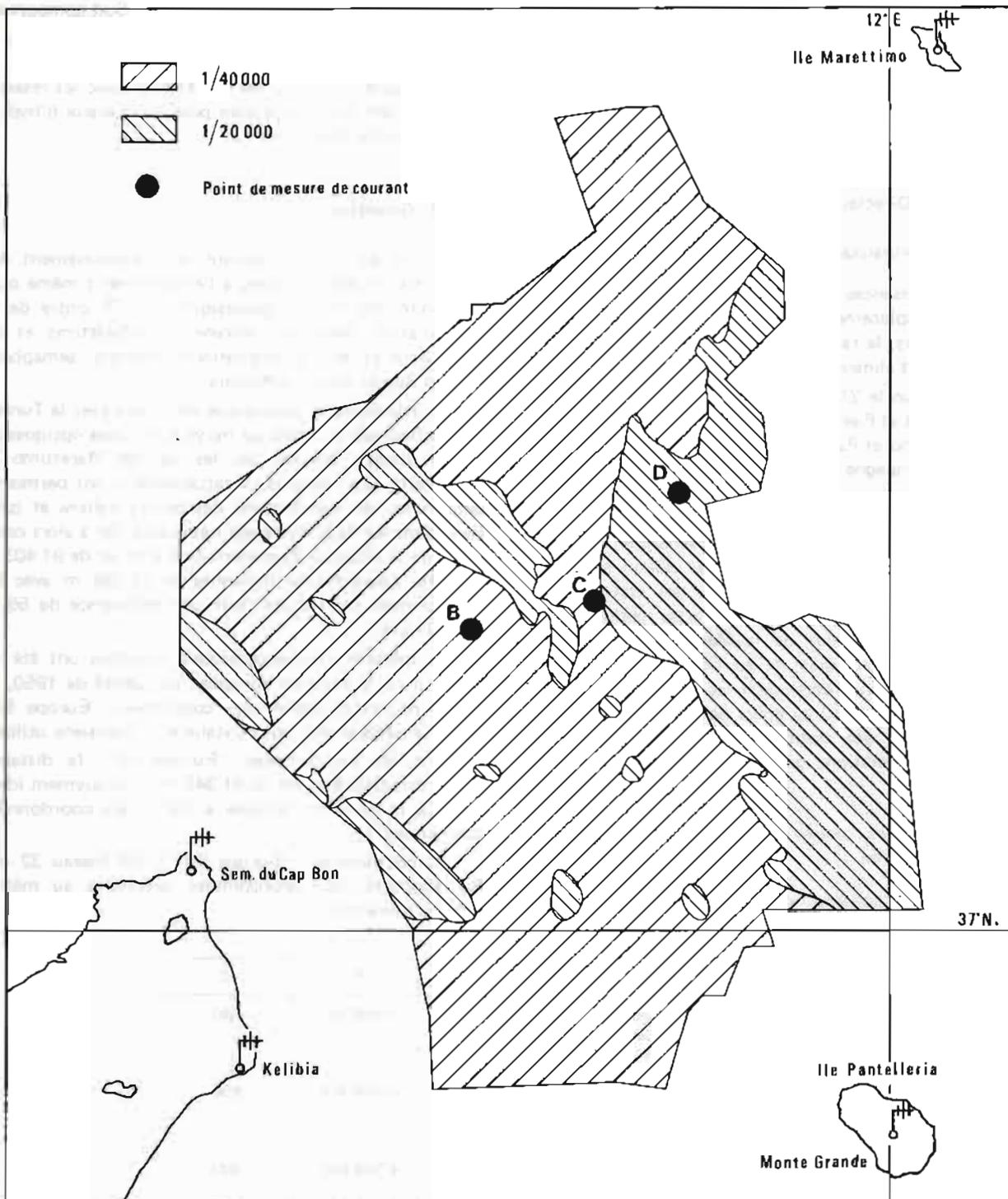
La *Recherche* a dû quitter la zone de travail le 14 septembre, après avoir grillé plusieurs soupapes de son moteur de propulsion ; cette avarie étant corrélative à des vibrations anormales de la ligne d'arbre. Elle est arrivée à Toulon le 16 septembre, pour entrer en Indisponibilité pour Entretien et Réparation (IPER).

A partir du 12 octobre, il n'y avait donc plus de bâtiment disponible. L'essentiel des résultats étant acquis en bathymétrie, à l'exception de quelques têtes qui n'ont pu être confirmées qu'à quelques mètres près, la décision a été prise de désarmer les stations en profitant d'une période où le *Rhin* pouvait être mis à la disposition de la mission, soit entre le 5 et 10 octobre.

En plus des travaux prescrits par les Instructions Techniques, la campagne dans le canal de Sicile a été l'occasion de contacts avec le Service Hydrographique Italien et d'un stage de plusieurs semaines à bord de



Pl. 13. - Côte nord-ouest de Corse. Zones sondées en 1979 et 1980.



PL. 14. — Canal de Sicile. Sondages effectués en 1979.

la Recherche pour deux officiers de la Marine Tunisienne.

III.3.2. Préparatifs de la campagne

La préparation d'une campagne qui demandait la mise en place d'une infrastructure en territoire étrangers a concerné les domaines suivants :

III.3.2.1. Demande d'autorisation

Des autorisations ont été demandées, par voie diplomatique, pour la mise en place de stations en territoire étranger, la possibilité d'émettre à partir de ces stations, la pénétration dans les eaux territoriales et le débarquement de personnel et de matériel pour la maintenance des stations.

III.3.2.2. Demandes de documentation

La documentation a été demandée :

- à l'Institut Géographique National par le SHOM ;
- au service topographique tunisien, lors de la mission de reconnaissance de l'I.C.A. Vicariot en octobre 1978 ;
- au Service Hydrographique Italien, lors d'une visite à Gênes du Directeur de la Mission, en janvier 1979.

III.3.2.3. Reconnaissances et opérations géodésiques

Les reconnaissances suivantes ont été effectuées, pour le choix des emplacements des balises Trident, l'examen des voies d'accès, le rattachement géodésique et l'étude des possibilités d'alimentation :

- au Cap Bon le 21 octobre 1979 par les Ingénieurs en Chef Vicariot et Pieretti ;
- à Marettimo et Pantelleria, en mars 1979, par l'I.A. Goutorbe accompagné d'un officier du Service Hydrographique Italien ;
- à Marettimo, Pantelleria et au Cap Bon en avril 1979 par le Directeur à bord de la *Recherche*, accompagné de l'I.A. Goutorbe de l'officier italien et d'un aspirant chargé de la mise en place des stations. A l'occasion de ce voyage, le Directeur a pu rendre visite au sous-chef d'Etat-Major de la Marine tunisienne, à l'attaché militaire à Tunis, et au Commandant de la Marine à Trapani, dont dépendent les îles de Marettimo et Pantelleria. C'est aussi au cours de cette mission que les emplacements des stations ont été définitivement retenus et les opérations géodésiques de rattachement effectuées.

III.3.2.4. Calcul et dessin des cartes de radio-localisation

36 cartes de construction au 1/20 000^e en projection Mercator ont été fabriquées par l'EPSHOM avec

3 réseaux Trident, les 6 cartes les plus Sud comportant aussi un 4^e réseau Trident, et les réseaux Loran C, X et Z.

Une carte Loran C au 1/300 000^e avec les réseaux X et Z, a été aussi demandée pour les travaux d'hydrologie à l'Est de Malte.

III.3.3. Géodésie

Les balises Trident servant au positionnement des bâtiments ont été installées à l'emplacement même ou à proximité des points géodésiques de 1^{er} ordre de la triangulation italienne : sommet de Marettimo et de Pantelleria, et de la triangulation tunisienne : sémaphore du Cap Bon et phare de Kelibia.

Le rattachement géodésique de l'Italie avec la Tunisie a été effectué en 1880 au moyen de visées optiques de bonne qualité, passant par les îles de Marettimo et Pantelleria. Ces mesures de rattachement ont permis de déterminer les coordonnées des points italiens et tunisiens dans les deux systèmes nationaux. On a alors constaté que la distance Pantelleria-Cap Bon est de 91 403 m avec les coordonnées italiennes et 91 348 m avec les coordonnées tunisiennes, soit une différence de 55 m pour 91 km.

Les mesures astro-géodésiques italiennes ont été incluses dans le système européen compensé de 1950, ce qui a permis d'obtenir des coordonnées "Europe 50" pour l'ensemble des points italiens et tunisiens utilisés.

Avec les coordonnées "Europe 50", la distance Pantelleria-Cap Bon est de 91 346 m, pratiquement identique à la distance calculée à partir des coordonnées tunisiennes.

Les coordonnées "Europe 50" UTM fuseau 32 ont été adoptées. Ces coordonnées (arrondies au mètre) sont les suivantes :

		X	Y	Z
Marettimo	centre du pilier triangulaire au sommet de l'île	768 198	4 208 268	690
Pantelleria	centre du pilier triangulaire au sommet de l'île	768 251	4 074 976	836
Cap Bon	pilier tronqué	681 952	4 104 984	393
Kelibia	axe du phare	688 830	4 079 193	84

Les antennes Trident ont été installées sur ces points à Marettimo et Kelibia, ainsi qu'à Pantelleria à partir du 31 août.

Au Cap Bon, l'antenne avait été installée sur un montant de la clôture entourant le sémaphore, au point :

$$X = 681 989 \quad Y = 4 104 979 \quad Z = 390$$

déterminé par excentrement à partir du point fondamental, et à Pantelleria elle avait été installée jusqu'à

21 août à proximité de la station de télécommunication de la "SNAM Progetti" à environ 200 m du sommet, au point :

$$X = 768 167 \quad Y = 4 074 805 \quad Z = 820$$

déterminé par cheminement à partir du point fondamental.

Les passages sur les lignes de base Cap Bon-Marettimo et Pantelleria-Marettimo ont donné pour la somme des

distances aux stations, réduites à l'horizontale, des valeurs supérieures respectivement de 22 m et 19 m aux valeurs calculées.

Ces valeurs, supérieures aux corrections d'étalonnage du Trident semblent indiquer une sous-estimation des distances d'environ 20 m pour 100 km, due à l'utilisation des coordonnées Europe 50.

La mesure précise des distances entre les îles aurait nécessité l'implantation d'interrogateurs à l'emplacement des stations, et l'étalonnage des couples interrogateurs-balises, localement à l'aide d'un telluromètre, ou sur une base connue, dans des conditions semblables de température et d'hygrométrie. Une telle mesure n'a pu être entreprise, car une fois les balises en place, il n'a pas été possible d'amener un interrogateur sur les sommets.

III.3.4. Mise en place, maintenance et enlèvement des stations

III.3.4.1. Mise en place des stations

La mise en place des stations a eu lieu le 5 et le 9 juillet avec le concours du Bâtiment de Soutien Logistique (BSL) *Rhin* et d'un hélicoptère Alouette III. L'hélicoptère était indispensable, à Marettimo, car il n'y a pas de piste conduisant au sommet, et pas d'animaux de bât sur l'île.

La station de Marettimo ne disposant pas d'alimentation par le secteur, il a fallu 9 treuillages et 4 rotations en sling pour amener tout le matériel : 200 l d'essence, 8 batteries, 2 groupes électrogènes, 40 l d'eau distillée, 4 balises.

A Pantelleria, les conditions de visibilité au sommet de la Montagna Grande n'ont pas permis d'utiliser l'hélicoptère. La balise a été installée à proximité de la station de télécommunications de la "SNAM Progetti" qui fournissait le courant. Une piste conduisant au sommet de l'île, le matériel y a été amené au moyen d'une landrover louée à un particulier.

Au Cap Bon, le matériel a été mis en place par hélicoptère, ce qui a nécessité 6 treuillages et 2 rotations en sling. La station disposait de l'alimentation par le secteur.

A Kelibia la balise a été débarquée au port, mise en place sur le phare et branchée au secteur.

III.3.4.2. Maintenance des stations

A Pantelleria, un matelot de la Mission parlant italien, avait été logé à la capitainerie du port et maintenait une vieille radio HF quasi-permanente. Il disposait de la jeep de la Mission qui devait lui permettre de monter à Montagna Grande pour changer de balise.

A Marettimo, un officier-marinier radio logeait chez le gardien du phare. Par téléphone, il pouvait être prévenu d'une panne de la station, par le matelot de Pantelleria. La station ne disposant pas du secteur, les batteries étaient rechargées par un groupe automatique. L'autonomie était en principe d'environ six jours. L'officier-marinier montait à la station pour refaire le plein du

réservoir du groupe, nettoyer les bougies ou le carburateur, vérifier le niveau d'eau des batteries, et éventuellement permuter une balise en panne. Le trajet à pied prenait près de 2 heures.

Au Cap Bon et à Kelibia aucun personnel n'était laissé sur place. C'est le BSR *Gazelle*, travaillant dans la partie Sud-Ouest de la zone, qui intervenait. Un officier-marinier hydrographe était débarqué au pied du Cap Bon et grimpait à la station en moins d'une heure pour changer de balise. A Kelibia il fallait 10 minutes pour se rendre au phare, à pied, partir du port.

A la suite des perturbations incessantes causées par la station de télécommunications de la compagnie "SNAM Progetti" à la balise de Pantelleria, il a fallu changer cette dernière de place, et l'installer sur le point géodésique au sommet de l'île, ce qui nécessitait une alimentation par batteries. Un orage ayant détruit la piste, le changement des batteries a dû se faire au moyen d'une mule.

III.3.4.3. Enlèvement des stations

Le matériel des stations de Pantelleria avait été récupéré par l'*Origny* avant son départ de la zone.

Le matériel des stations de Marettimo et du Cap Bon a été récupéré par le BSL *Rhin* avec un hélicoptère Alouette III, entre le 7 et le 9 octobre. Le *Rhin* a récupéré aussi la station de Kelibia.

III.3.5. Localisation — Fiabilité et performance du Trident

III.3.5.1. Localisation

La localisation sur la plus grande partie de la zone s'est faite au moyen des trois balises Trident situées aux sommets de Marettimo, Pantelleria et du Cap Bon.

Pour la partie la plus Sud de la zone, une quatrième balise avait été installée sur le phare de Kelibia, et le Loran C et le Trident avaient été utilisés concurremment. Dans ce cas, les corrections appliquées au Loran C étaient celles observées par comparaison avec les points Trident, dans la zone la plus proche de celle où deux lieux Trident se coupaient sous un angle convenable.

Chaque fois que la construction des points s'est faite au moyen de 3 lieux Trident, le diamètre du cercle inscrit dans le triangle obtenu par les 3 lieux était inférieur à 20 m.

Mais de nombreux arrêts intermittents, de plus ou moins longue durée, des balises de Pantelleria et Cap Bon, ont conduit à travailler souvent avec deux lieux, dont généralement le guide, l'adoption du point était alors délicate sur la partie du profil où l'angle formé par le traversier et le guide était de trop faible ouverture. De plus, la présence de courants et la variation du cap le long du profil interdisaient de considérer la vitesse sur le fond comme constante sur une longue portion de profil. Dans ces conditions, l'incertitude de position sur ces portions de profils pouvait atteindre 50 m.

III.3.5.2. Fiabilité et performances du système Trident

Le matériel utilisé dans le canal de Sicile comportait des interrogateurs Trident III et II, et des balises Trident II et I.

Les pannes de balises rencontrées ont eu trois origines :

- saturation par l'environnement radioélectrique ;
- pannes d'alimentation ;
- avarie de la balise elle-même.

La saturation des balises par l'environnement radioélectrique a entraîné des arrêts fréquents, intermittents et de durée variable, essentiellement à Pantelleria où la balise avait été installée à proximité de la station de télécommunication de la SNAM, et probablement au Cap Bon où l'antenne Trident était aussi à proximité de deux antennes paraboliques assurant les relais télécommunications et télévision entre la Sicile et la Tunisie.

Il est également possible que les arrêts au Cap Bon soient dus à des pannes de secteur en Tunisie, étant donné que l'on a observé par la suite des arrêts simultanés des balises du Cap Bon et de Kelibia. Le problème de saturation a été réglé à Pantelleria en déplaçant la balise de 200 m environ, ce qui par contre lui faisait perdre le bénéfice de l'alimentation en courant.

C'est la station de Marettimo, la moins accessible, alimentée par batteries mais loin de tout environnement radioélectrique qui s'est montrée la plus fiable et qui n'a connu aucune panne due à la balise elle-même. Les difficultés sont venues des groupes à démarrage automatique qui refusaient de démarrer par temps humide, ou le matin de bonne heure à cause de la rosée. Quant au réservoir de 10 litres fixé sur le groupe, il ne procure qu'une autonomie très insuffisante, et il a fallu fabriquer sur place un système d'alimentation automatique du réservoir à partir d'un bidon de 20 litres.

Un phénomène souvent observé a été la perte du signal en deça de la portée optique, suivie d'un raccrochage quelques kilomètres au-delà de cette portée. Ce phénomène, assez gênant, est probablement dû à des interférences entre l'onde directe et une onde réfléchie sur la surface de l'eau.

Un phénomène qui a sans doute la même origine a été observé lors des sondages en vedette sur le banc Talbot. Bien que se trouvant à la vue directe des stations, les balises n'étaient pas interrogées. Il a fallu porter la hauteur de l'antenne de 4 m à 7 m environ pour recevoir des signaux. La mer, à ce moment là, était très calme, ce qui favorisait peut-être les interférences.

III.3.5.3. Mesures de courants

Des mesures de courant ont été faites aux cols des trois seuils faisant communiquer le bassin oriental au bassin occidental de la Méditerranée. Les positions étaient les suivantes :

$$B \begin{cases} L = 37^{\circ} 20' N \\ G = 11^{\circ} 26' E \end{cases} \quad C \begin{cases} L = 37^{\circ} 22' N \\ G = 11^{\circ} 36' E \end{cases} \quad D \begin{cases} L = 37^{\circ} 29' N \\ G = 11^{\circ} 43' E \end{cases}$$

qui figurent sur la planche 14.

La position B correspond au passage principal NW-SE, la position C au passage étroit et profond, situé au centre de la zone, et la position D à un passage NS peu profond, situé à l'Est du banc Talbot.

1. Au point B, où la profondeur était de 486 m, un courantomètre fut mis en place à 25 m sous la surface, et un autre à 250 m au-dessus du fond. Les mesures ont duré trois jours, entre le 5 et le 8 août, pendant lesquels le vent, faible à modéré, a soufflé en moyenne du NW.

A 25 m sous la surface (dossier 1049), le courant présente une périodicité semi-diurne avec légère inégalité diurne. Quand le courant est fort il porte au Nord et peut atteindre 0,9 noeuds. Le courant moyen porte au Nord à 0,3 noeuds.

A 250 m au-dessus du fond (dossier 1050), seules malheureusement, les 17 premières heures d'enregistrement sont disponibles. Le courant moyen est moins fort qu'en surface et porte au 350 dans les pointes et au 040 dans le minima. Le maximum observé a une à deux heures de retard sur le maximum en surface.

2. Au point C, la profondeur était de 400 mètres. Nous disposons de deux enregistrements réalisés du 8 au 22 août, l'un à 25 m sous la surface (dossier 1051) l'autre à 205 m du fond (dossier 1069). Pendant cette période, le vent a été W à NW de force variable. A 25 m de la surface le courant est essentiellement alternatif, suivant la direction NS, c'est-à-dire suivant l'axe du chenal, avec une périodicité semi-diurne. Cette périodicité est plus ou moins bien marquée suivant les jours. Le courant moyen porte au Nord à 0,3 noeuds. Les courants maximaux portent au Nord et peuvent dépasser 1 noeud.

A 200 m du fond, le courant général porte au Nord à une vitesse moyenne de 0,4 noeuds avec une légère inégalité diurne et des maxima de 0,7 noeuds.

3. Au point D, par 120 m de fond, nous disposons de 40 heures d'enregistrement (19 au 21 septembre) de deux courantomètres, l'un à 25 m de la surface (dossier 1052), l'autre à 60 m au-dessus du fond (dossier 1053). A 25 m de la surface, le courant présente une périodicité semi-diurne dans les directions NNW et SSE. Ce caractère est peu marqué. Le courant moyen est de 0,15 noeud avec des points de 0,5 noeud vers le NNW. A 60 m au-dessus du fond, il en est de même.

III.3.7. Etalonnage du Loran

L'étalonnage des réseaux Loran C a été étudié.

III.4. LEVE AU LARGE DE NICE

Ce levé a été effectué entre le 22 novembre et le 6 décembre 1979 par l'Origny, à la suite d'une demande de la commission d'enquête sur l'origine du raz de marée de la baie des Anges.

Il consistait en un sondage serré (espacement de 100 m entre les profils) des cañons sous-marins du Var et du Paillon, et en un sondage moins serré (espacement de 500 m entre les profils) de la partie basse et évasée du cañon du Var.

La localisation de l'*Origny* était assurée par quatre balises Trident placées aux points suivant : (Coordonnées Lambert III).

	X	Y	Z
Sémaphore de Dramont	965 580	133 833	162
Phare de la Garoupe	987 267	151 769	106
Sémaphore du Cap Ferrat	1 002 130	165 807	164
Immeuble de Nice Rama	993 186	165 381	156

L'ensemble de la zone a été couvert, dans un premier temps, par des profils espacés de 500 m et centrés sur le phare de la Garoupe, comme en 1973, mais prolongés jusqu'à la côte. Ces profils ont été parcourus dans le même sens qu'en 1973, pour pouvoir comparer les enregistrements du fond sur les bandes de sonde.

Dans un deuxième temps, la partie Nord de la zone a été sondée au 1/10000^è, les profils étant centrés sur l'immeuble de Nice Rama, pour pouvoir couper sous un angle favorable l'axe des cañons.

Sept minutes au 1/10 000^è et une minute au 1/50000^è ont été rédigées.

La minute au 1/50 000^è a été comparée, dans la partie commune, à la minute au 1/50 000^è de 1973 de l'I.C.A. Bonnot, dont la rédaction a été soigneusement reprise à partir des documents originaux. La comparaison semble laisser apparaître des différences en deux endroits : sur la partie Est du cañon du Paillon, par fonds de 800 m ; et sur la rive droite du cañon du Var dans sa partie basse. Malheureusement, les comparaisons ne portent que sur un nombre trop restreint de profils, à des endroits où la pente est très forte et le fond mal défini. Le déroulement du papier était trop lent sur les bandes de 1973 et il n'est pas possible d'affirmer de façon certaine l'existence de ces différences.

Le *Jean-Charcot* a sondé aussi la zone avec un sondeur "Sea-Beam", ce qui a permis une comparaison intéressante de ses minutes avec les minutes au 1/10 000^è de l'*Origny* sur lesquelles les isobathes avaient été tracées tous les 20 m. Le *Jean-Charcot* était positionné par le Decca Trisponder.

Des sondages côtiers ont été faits par le *Passeur du Printemps*, positionné aussi par le Decca Trisponder, et utilisant un sondeur Atlas Deso 10 de la Mission, avec base Hors-Bord. Ils ont été exécutés par un premier maître hydrographe de la Mission, et un ancien maître principal hydrographe, M. Lalanne, officier de port à Nice. Des copies des minutes, rédigées au 1/10 000^è par le service de l'Équipement, sous la responsabilité scientifique de M. Genesieux, professeur à la Faculté de Paris VI, ont été remises au SHOM.

Les zones sondées au 1/50 000^è et au 1/10 000^è sont indiquées sur la planche n° 15.

III.5. LEVE DU GOLFE DU LION

III.5.1. Généralités

La zone du levé prescrit par les Instructions Techniques n° 306 SHOM/EM du 24 mars 1978 est limitée au Nord et à l'Ouest par la côte du Languedoc, au Sud par le parallèle du Cap Creux (42° 20' N) et à l'Est par la limite Ouest atteinte dans le levé prescrit par les Instructions Techniques n° 271 SHOM/EM du 14 mars 1973 (Voir planche 16).

En plus de la bathymétrie, ce levé comporte :

- le repérage des épaves au magnétomètre remorqué ;
- la détermination de la nature du fond ;
- des mesures de courant ;
- des mesures Loran ;
- des mesures hydrologiques.

Les travaux ont commencé en 1979 avec l'*Origny* mais ont dû être interrompus au profit de la campagne dans le canal de Sicile. Ils ont repris pendant l'année 1980 avec l'*Origny*, la *Gazelle* pour les fonds de moins de 50 m, et la *Recherche* pendant une semaine.

III.5.2. Positionnement des bâtiments

La position des bâtiments était déterminée à l'aide de la chaîne Toran du Golfe du Lion, armée par les Phares et Balises, et des balises Trident implantées aux points suivants : (Coordonnées en Lambert III)

	X	Y	Z
Fort du Cap Bear	664 797	24 341	208
Tour de la Madeloc	660 697	21 472	655
Chapelle de Forçareaal	629 542	47 571	512
Vigie de Gruissan	662 724	94 671	186
Mont Saint Clair	709 226	123 369	205
Sainte Baume	874 981	118 725	1 000

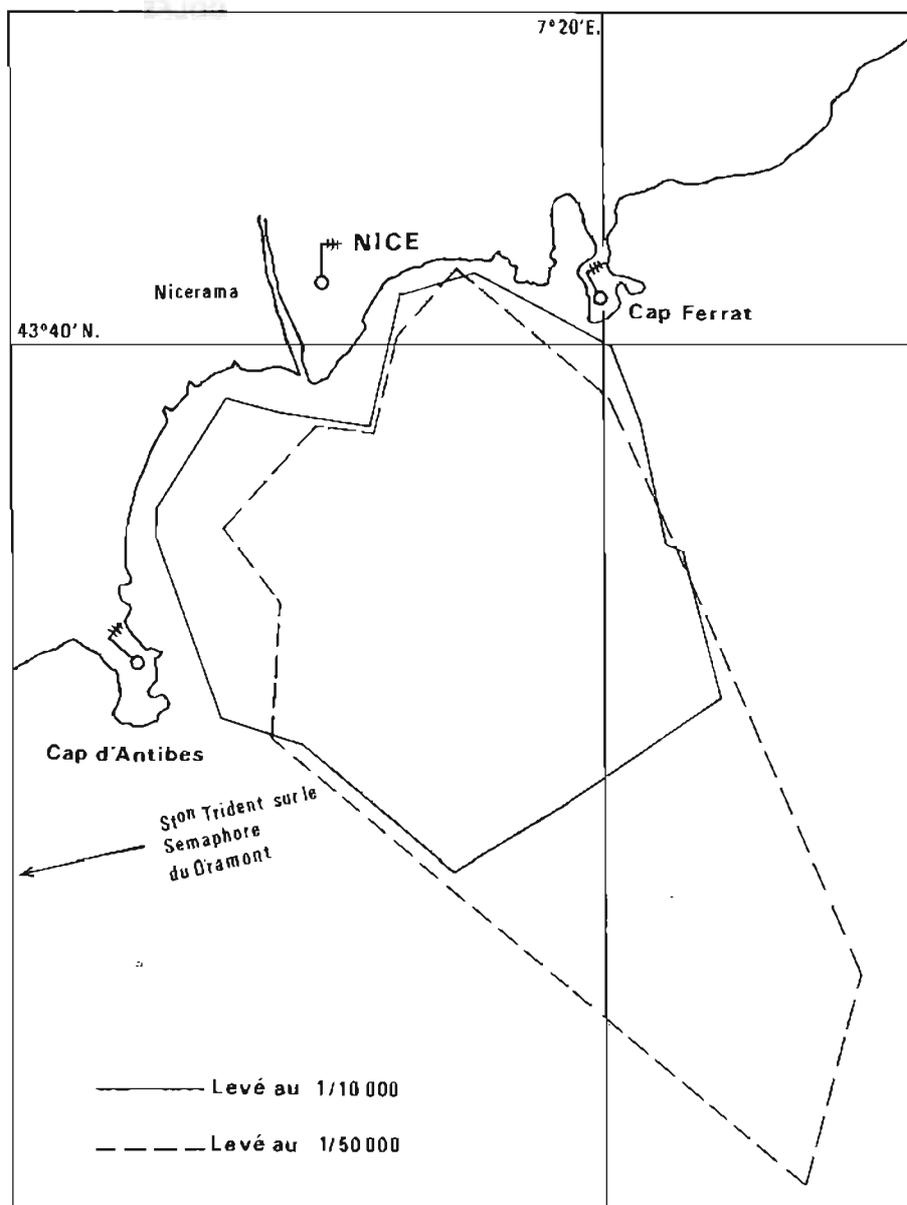
L'étalonnage de la chaîne Toran avait été effectué auparavant par visées optiques, du Cap Bear à la pointe de l'Espiguette. Les résultats de cet étalonnage figurent dans l'annexe au paragraphe III.5.7.

Sur toute la zone, les bâtiments recevaient au moins une balise Trident, et deux balises sur 80 % de la zone.

III.5.3. Bathymétrie

L'écartement de base entre les profils était fixé à 100 m pour les fonds de 50 m, 200 m pour les fonds de 50 à 200 m, 400 m de 200 à 1 000 m et 800 m au-delà de 1 000 m.

Les profils suivis ont été des cercles centrés sur la balise Trident de Cap Bear, et sur celle de la Madeloc, point plus élevé situé à proximité de Cap Bear, quand la limite de portée de cette balise est atteinte. Ce choix avait pour inconvénient de fournir des profils parallèles à l'axe des cañons, dans la partie Est de la zone.



PL. 15. — Baie des anges. Sondages effectués en 1979.

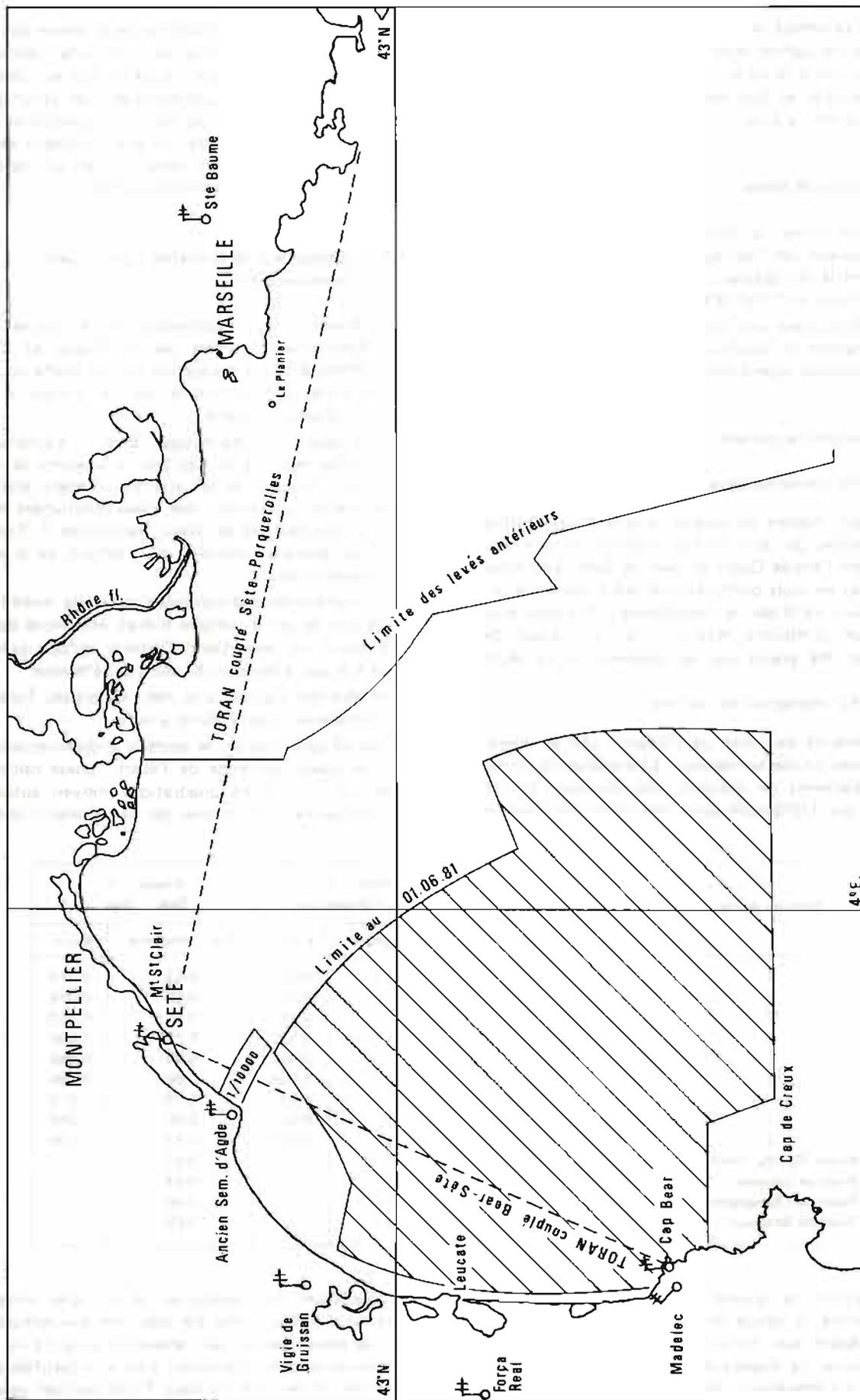
Au-delà de 50 m d'eau, la valeur choisie pour le mètre acoustique était celle permettant d'obtenir une correction nulle pour la barre d'étalonnage descendue à 50 m. La plupart du temps cette valeur correspondait à une vitesse de 1 500 m/s.

Du point de vue morphologique, on peut distinguer :

— Dans la partie Nord du plateau continental, une zone extrêmement plate, à pente presque nulle, sauf au voisinage de la côte. Le tracé des isobathes de cette plaine se révèle très délicat. En effet, s'il est facile d'obtenir la précision absolue sur les profondeurs requise par les normes hydrographiques, il faudrait atteindre, pour se rendre compte de la réalité, une précision relative de 0,1 m jusqu'à des profondeurs dépassent 100 m, ce qui est pratiquement impossible, étant donné les erreurs introduites par le lissage de la houle, la correc-

tion de marée, l'étalonnage, l'immersion des bases. Aussi, les isobathes présenteront-elles des ondulations, artificiellement introduites par l'insuffisance de précision relative des mesures.

— Dans la partie Sud du plateau continental, en bordure du talus, un micro relief. La pente générale reste très faible, mais le terrain présente des ondulations de quelques mètres de hauteur. La principale rupture de pente a lieu à des profondeurs allant de 100 à 150 m et même davantage, et se produit parfois en deux temps. Pour pouvoir tracer correctement les isobathes mettant en évidence ce relief, les sondes sont donc écrites au décimètre et les corrections de marée effectuées jusqu'à la limite réelle du plateau continental. Sur une carte à petite échelle, cette limite peut être confondue avec l'isobathe 200 m.



PL. 16. — Golfe du Lion. Zone sondée en 1979 et en 1980.

— A l'extrémité du plateau, le talus continental, entaillé par des cañons dont la direction est sensiblement perpendiculaire à la côte, c'est-à-dire varie d'une orientation Ouest-Est au Cap Bear, à Nord-Sud dans la partie Est du Golfe du Lion.

III.5.4. Nature de fonds

Des échantillons du fond ont été prélevés à la benne preneuse suivant un maillage carré de 2 milles de côté, sur l'ensemble du plateau continental. Une minute de nature de fonds au 1/250 000^e a été établie.

Les échantillons ont été remis au Laboratoire de géologie marine de Villefranche pour établir une carte sédimentologique superficielle du Golfe du Lion.

III.5.5. Mesures de courant

III.5.5.1. Par courantomètre

Une seule mesure de courant a donné des résultats devant l'entrée du port de Port-Vendres, et une seule autre devant l'entrée Ouest du port de Sète. Néanmoins des mesures en trois points avaient été faites entre juin et septembre 1978 par le Laboratoire d'Océanographie du Museum d'Histoire Naturelle, et le relevage des lignes avait été assuré par un bâtiment de la MOM.

III.5.5.2. Par restitution de l'estime

Les éléments de route de l'*Origny*, cap et vitesse, ont été notés sur des bordereaux, à intervalles de 10 mn, avec les éléments de position. Ces données ont été exploitées par l'EPSHOM pour déterminer les courants

de surface. Une telle méthode ne peut donner des résultats valables que sous certaines conditions : dérive due au vent faible par rapport à celle due au courant ; utilisation d'une barre automatique avec affichage du cap ; étalonnage soigné du loch. Ces conditions n'ont pu être réalisées à bord de l'*Origny*, bâtiment sensible au vent, et dont le barreur devait utiliser un indicateur d'écart pour suivre des profils circulaires.

III.5.6. Etalonnage de la chaîne Toran Ouest-Méditerranée

En février 1979, l'étalonnage de la chaîne Toran Ouest-Méditerranée, armée par les Phares et Balises, a été effectué sur la frange côtière du Golfe du Lion, par des visées optiques sur le mât de l'*Origny* à partir de points situés sur la côte.

Neuf stations d'étalonnage (B à J) s'échelonnent à intervalles réguliers du Cap Bear à la pointe de l'Espiguette. En chacune de ces stations, l'*Origny* était à la dérive, moteurs stoppés : des visées simultanées étaient faites à cinq reprises par deux théodolites T 3 pointés sur le mât portant l'antenne, ou, à défaut, sur le projecteur devant le mât.

Les conditions météorologiques et de visibilité, et le fait que le point optique n'était déterminé que par deux lieux, ne permettent d'espérer qu'une précision de 3 à 4 m sur la position du point de référence.

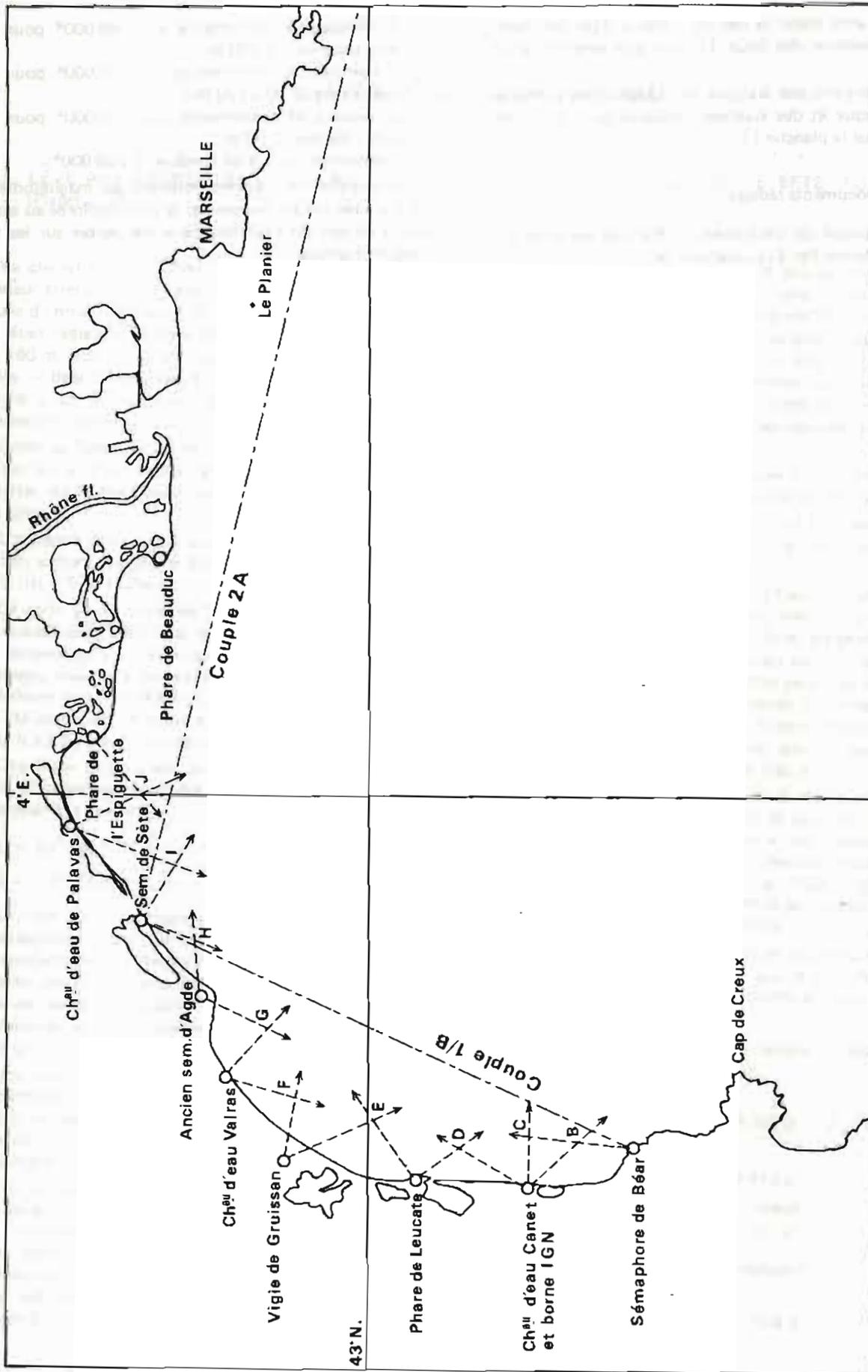
En plus des stations à la mer, les phases Toran ont été observées en quatre points à terre.

Pour chaque station, le nombre d'observations retenues, la valeur moyenne de l'écart "phase calculée — phase lue", et l'écart quadratique moyen autour de cette moyenne sont donnés par le tableau ci-dessous.

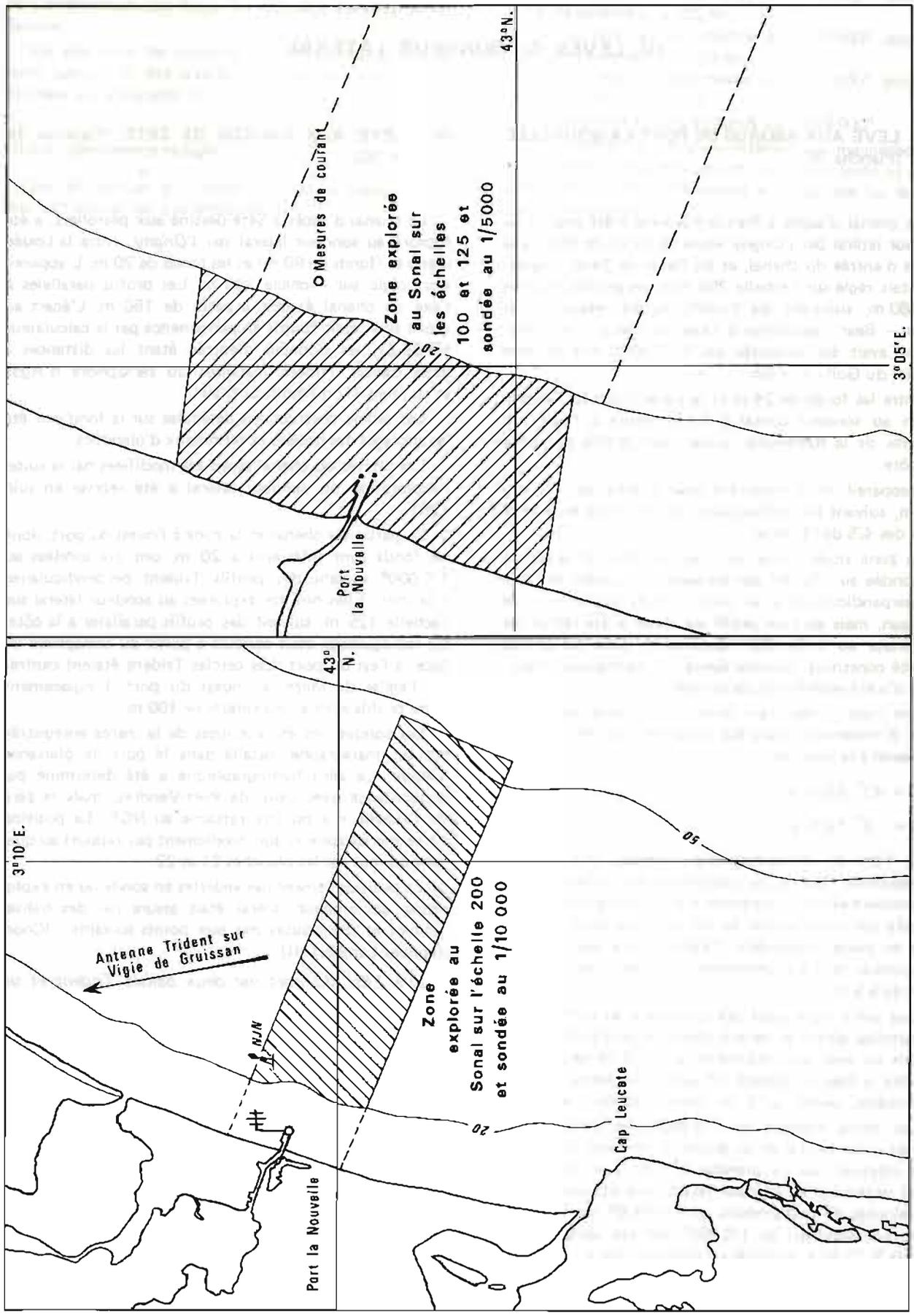
Nom du point	Nombre d'observations	Réseau 2 A Sète — Porquerolles		Réseau 1 B Sète — Béar	
		Corr. moyenne	e.q.m.	Corr. moyenne	e.q.m.
B	4	0,68	0,022	0,61	0,013
C	5	0,69	0,072	0,56	0,054
D	6	0,61	0,017	0,61	0,010
E	5	0,65	0,033	0,71	0,068
F	5	0,65	0,007	0,70	0,046
G	5	0,63	0,034	0,69	0,065
H	5	0,62	0,023	0,73	0,073
I	5	0,65	0,013	0,60	0,054
J	5	0,69	0,015	0,67	0,009
Borne IGN du Canet	1	0,66		0,63	
Phare de Leucate	1	0,64		0,64	
Phare de l'Espiguette	1	0,67		0,60	
Phare de Beauduc	1	0,64		0,65	

Ces résultats ne laissent apparaître aucune relation évidente entre la phase et la correction à appliquer. Mais, eu égard aux fortes valeurs des écarts quadratiques moyens, la dispersion des mesures est certainement due à l'imprécision des mesures elles-mêmes dans

les conditions de l'opération. Aussi, une correction moyenne + 0,65 a-t-elle été apportée aux valeurs lues, pour les deux réseaux, sur l'ensemble du golfe du Lion. L'adoption de cette correction a pu être justifiée a posteriori par le fait que les lieux Toran corrigés passaient



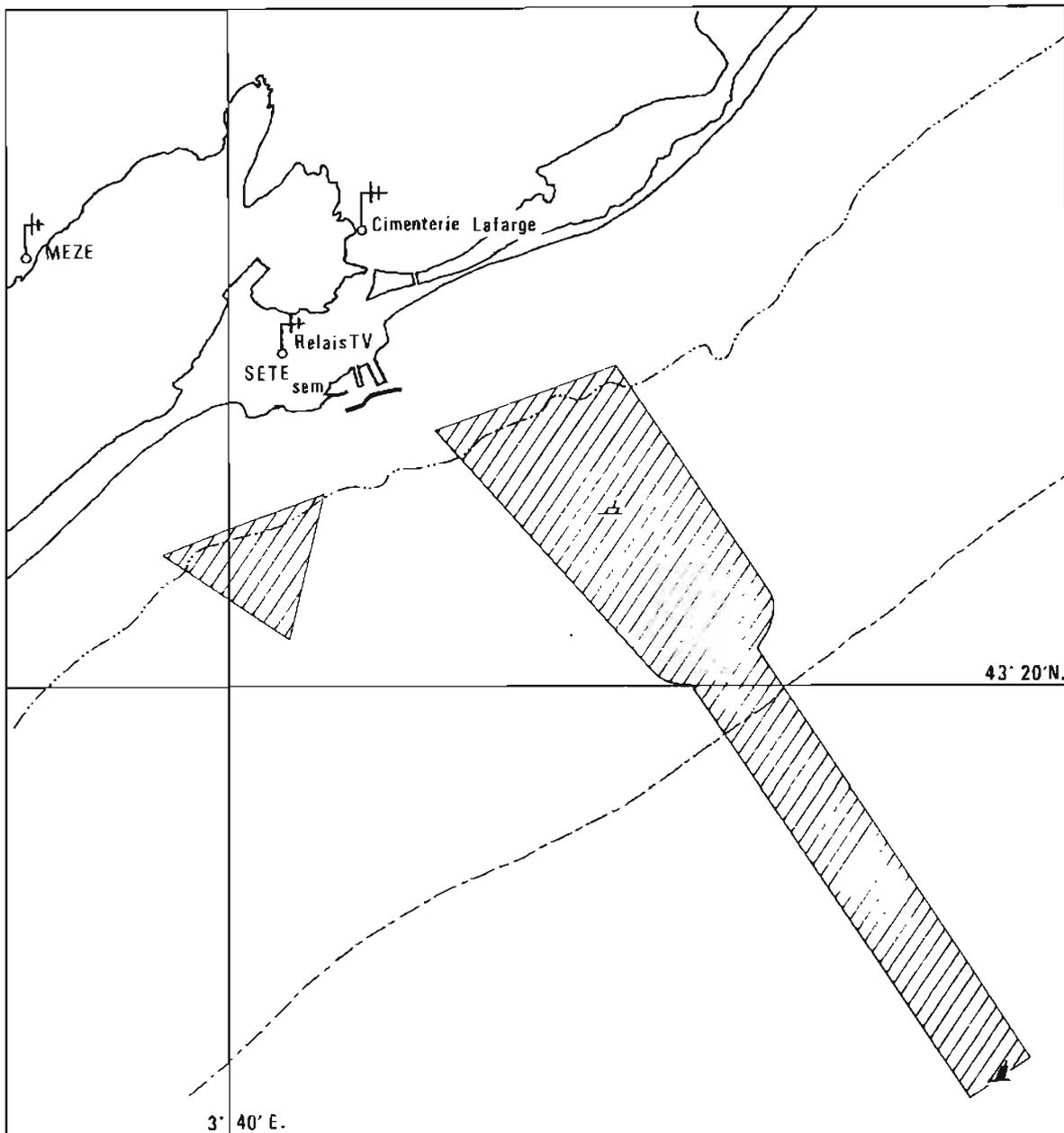
PL. 17. — Etalonnage des réseaux Toran ouest méditerranée.



PL. 18. — Abords de Port-la-Nouvelle. Travaux effectués en 1980 et 1981.



PL. 19. — Abords de Sète. Zones sondées au 1/5000 et explorées au sondeur latéral sur l'échelle 125, en 1981



PL. 20. — Abords de Sète. Zones explorées au sondeur latéral sur l'échelle 200 m et sondées au 1/15 000.

— au clocher de Meze

$X = 702\,934,26$ $Y = 125\,899,72$ $Z = 36$

L'épave cotée 13 m qui se trouve à 1 110 m dans le 109 du feu d'extrémité Est de la jetée extérieure a été retrouvée à la position et explorée par plongeurs et au sonal. Il s'agit probablement d'une drague longue d'environ 35 m et large de 6. Le gaillard d'avant de cette épave s'élève à 3 m au-dessus du fond.

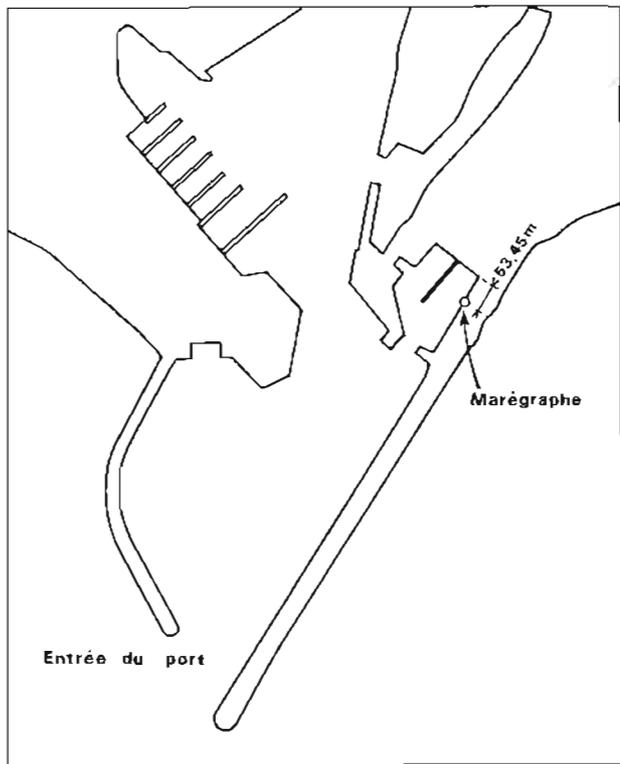
Parmi l'ensemble des mesures de courant effectuées,

seul l'enregistrement réalisé devant l'entrée Est du port de Sète, du 12 au 26 mars 1981, a donné satisfaction.

Les documents suivants ont été rédigés :

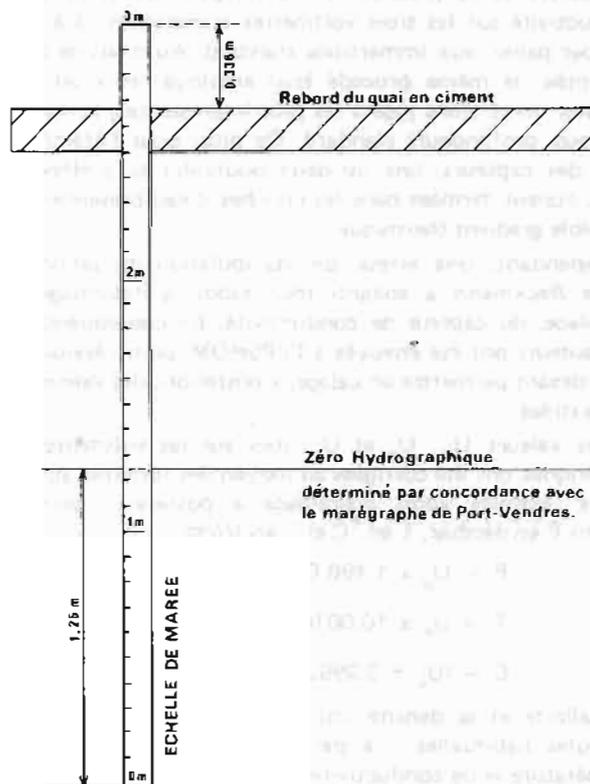
- 4 minutes de bathymétrie au 1/10 000^e ;
- 4 minutes de bathymétrie au 1/5 000^e ;
- 1 fiche d'épave ;
- 1 mesure de courant.

A ces documents s'ajoutent quatre minutes de construction des positions du poisson du sondeur latéral au 1/10 000^e.



PL. 22. — Choix du zéro hydrographique à Agde.

PL. 21. — Emplacement du marégraphe installé dans le Port d'Agde.



V. TRAVAUX D'HYDROLOGIE

V.1. CAMPAGNE D'HYDROLOGIE SUR LE FRONT DE MALTE EN 1979

V.1.1. Généralités

Dix-neuf stations hydrologiques ont été effectuées par l'Origny à l'Est de Malte, du 31 juillet au 3 août 1979, le long de profils est-ouest espacés de 30 milles (voir planche 23). Des lâchers de thermosondes Sippican ont été exécutés entre les stations, à intervalles de 5 milles. Les conditions météorologiques étaient satisfaisantes.

V.1.2. Mesures

La bathysonde Guidline a été utilisée ; mais, par suite d'une avarie du BUS H.P.I.B. de la chaîne d'acquisition guidée par le calculateur HP 9821, les données n'ont pu être recueillies sur cassette. La procédure ci-dessous a été alors suivie :

La bathysonde a été utilisée comme capteur discret. A chaque descente, un secrétaire relevait simultanément les valeurs de la pression, de la température et de la conductivité sur les trois voltmètres numériques, 3 à 5 fois par palier, aux immersions standard. Au cours de la remontée, le même procédé était employé, mais cette fois aux immersions jugées les plus intéressantes, et non plus aux profondeurs standard. De plus, pour l'étalonnage des capteurs, une ou deux bouteilles de prélèvement étaient fermées dans les couches d'eau présentant un faible gradient thermique.

Cependant, une erreur de manipulation du salinmètre Beckmann a anéanti tout espoir d'étalonnage, sur place, du capteur de conductivité. En conséquence les capteurs ont été envoyés à l'EPSHOM, pour l'étalonnage devant permettre un calage, a posteriori, des valeurs enregistrées.

Les valeurs U_p , U_T et U_C , lues sur les voltmètres numériques ont été corrigées au moyen des formules suivantes, établies après étalonnage a posteriori, pour obtenir P en décibar, T en °C et C en V/cm :

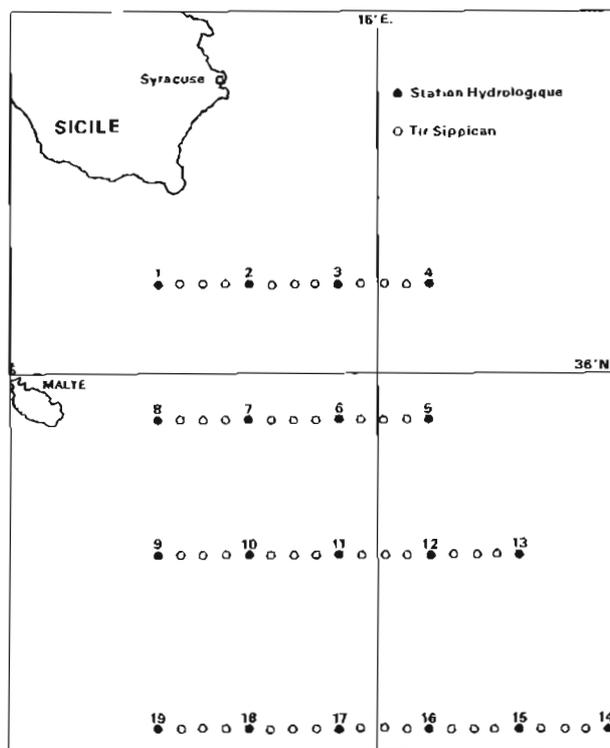
$$P = U_p \times 1\,498,6 + 4,8$$

$$T = U_T \times 10,0010 + 0,004$$

$$C = (U_C + 3,9992) / 0,103579.$$

La salinité et la densité ont été calculées à l'aide des formules habituelles : à partir de la pression, de la température et de conductivité.

Les valeurs de U_p , U_T et U_C utilisées pour chaque palier ont été les valeurs moyennées à partir de 3 à 5 lectures, comme il a été dit plus haut.



PL. 23. — Mesures hydrologiques effectuées sur le front de Malte en 1979.

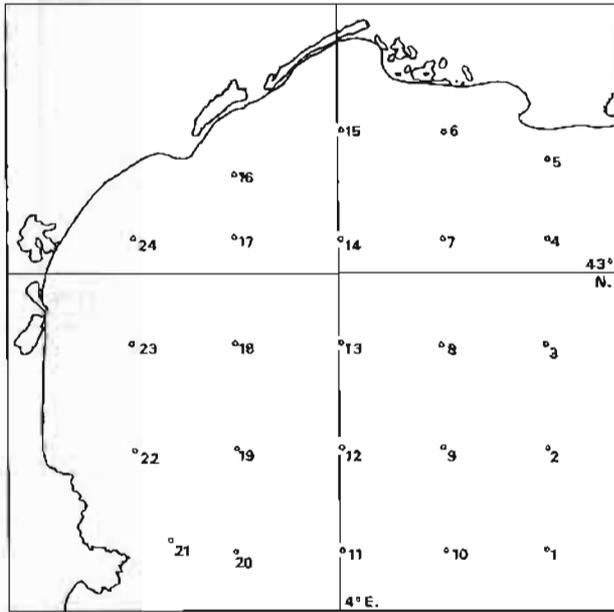
V.1.3. Résultats — Documents rédigés

Les mesures effectuées ont donné lieu à la rédaction de :

- diagrammes TS ;
- coupes verticales de salinité ;
- coupes horizontales de salinité ;
- coupes horizontales de température.

Les coupes verticales de salinité, du moins les deux sections septentrionales (35° 50' N et 36° 20' N), mettent assez bien en évidence la présence d'un fort gradient est-ouest près de la surface, c'est-à-dire d'un front. L'eau atlantique de faible salinité s'étend sur une largeur totale de 30 milles de part et d'autre de la 2^e radiale à partir du sud (stations 9 à 13). On observe un front à ses extrémités est et ouest. Sur la radiale la plus méridionale, les minima de salinité sont beaucoup plus élevés.

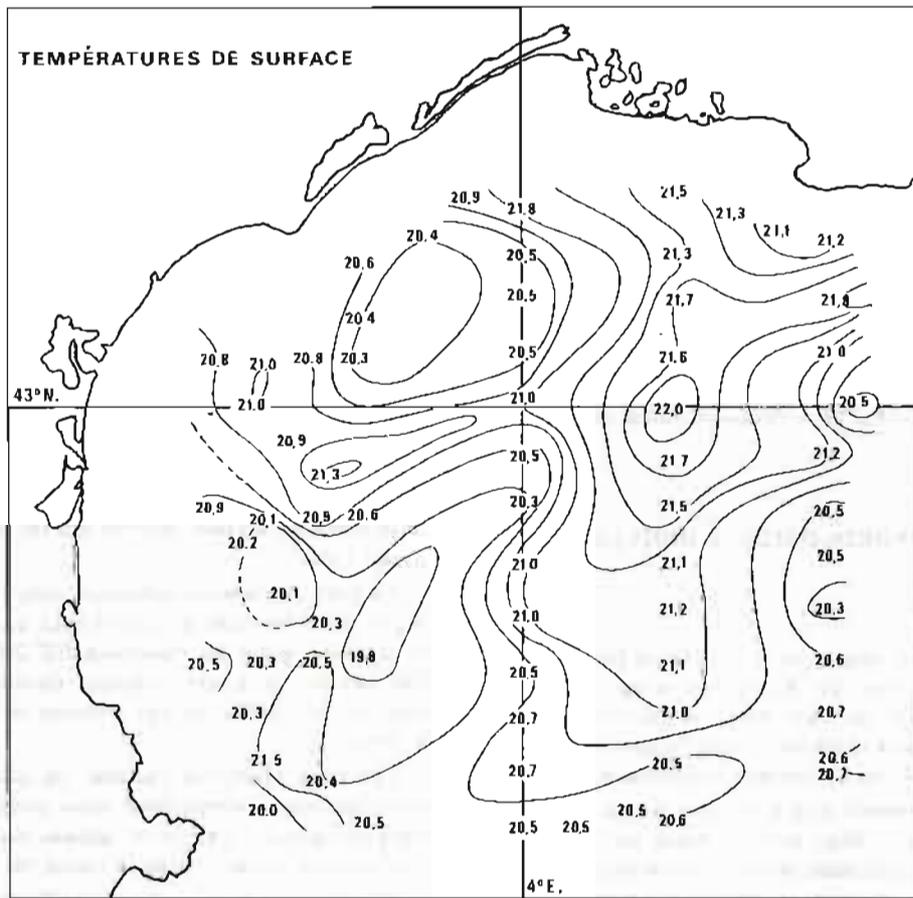
La pénétration de l'eau atlantique est surtout visible sur les coupes horizontales de salinité, en particulier à 15, 20, 30 et 50 m de profondeur. La direction de l'axe de pénétration est Nord-Ouest — Sud-Est jusqu'à la longitude 15° 30' E, puis Ouest-Est à l'Est de cette longitude. La planche 24 représente la coupe horizontale de salinité à la profondeur de 30 m.



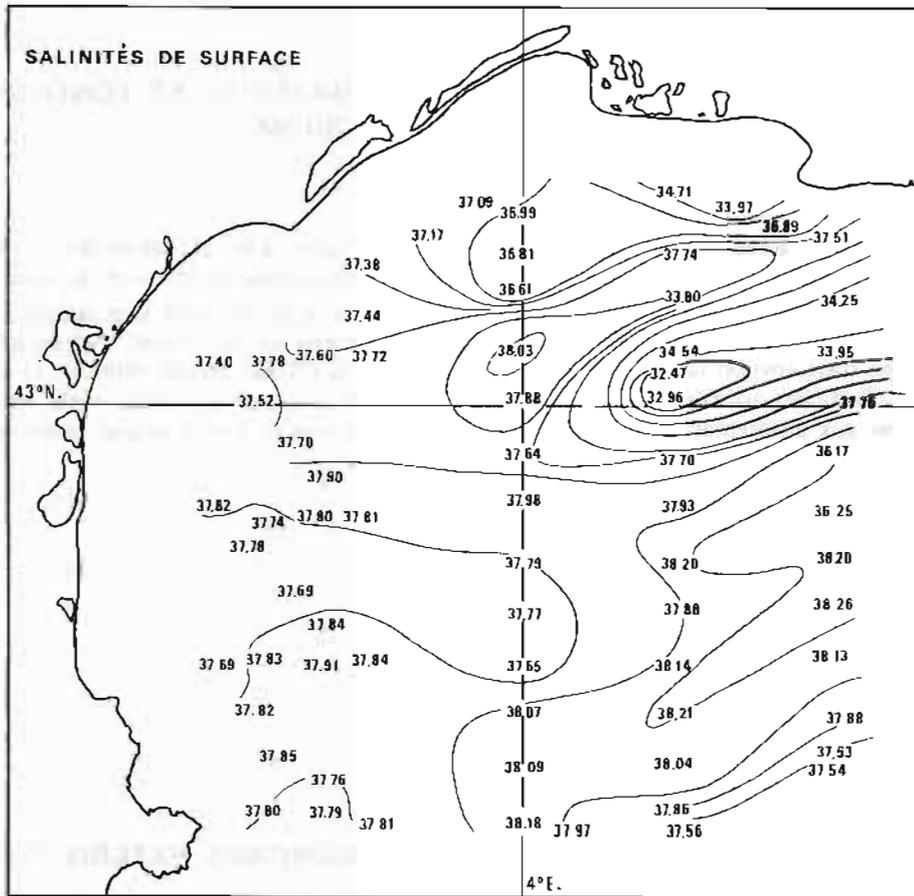
de surface sont représentées respectivement sur les planches 26 et 27.

La planche de salinités de surface indique nettement l'influence du Rhône, qui se traduit par une avancée d'eau peu salée vers l'Ouest suivant le parallèle 43°, atteignant presque le méridien 4° E. Le minimum de salinité (32,47 ‰) correspond par ailleurs à un maximum de température de surface (22,0 °C).

PL. 25. — Mesures hydrologiques effectuées dans le Golfe du Lion en 1980. Position des lancers de Sippican.



PL. 26. — Mesures hydrologiques effectuées dans le Golfe du Lion en 1980.



PL. 27. — Mesures hydrologiques effectuées dans le Golfe du Lion en 1980.

VI. ENTRAÎNEMENT – EVALUATION DU MATÉRIEL ET CONCOURS DANS LE CADRE DU SHOM

Une semaine a été consacrée à l'entraînement au dragage avec les vedettes, à la sortie d'IPER de la *Recherche*, en mars 1979 et février 1980.

Du 1^{er} septembre au 31 décembre 1979 et 1980, la MOM a accueilli en stage environ la moitié des élèves sortant du cours d'officiers-mariniers hydrographes, et les a fait participer aux différentes activités, tant sur le terrain qu'en rédaction.

En mai 1980, des Ingénieurs des Etudes et Techniques d'Armement du SHOM ont effectué un stage d'une semaine d'hydrologie à bord de l'*Origny*.

La *Gazelle* a été utilisée en février 1979 pour les essais du compensateur de houle et du sondeur Atlas-Deso 20.

Par ailleurs, la MOM s'est occupée de la préparation du matériel de la Mission Hydrographique de circonstance de l'Océan Indien (MHCI), et a détaché trois de ses officiers-mariniers pour cette mission qui a duré près de 4 mois. Elle a de plus assuré la rédaction de ces travaux.

VII. CONCOURS APPORTÉS A DES ORGANISMES EXTERIEURS

En 1979 et 1980, la MOM a apporté des concours à des organismes relevant du Ministère de la Défense. Les demandes étaient préalablement adressées au SHOM par l'intermédiaire de Premar III. Ces concours ont essentiellement concerné des opérations nécessitant une grande précision de localisation en mer, et donc l'emploi du Trident.

Les principales missions ont été les suivantes :

- localisation des bâtiments effectuant la recherche du Mirage IV tombé au large de la côte est de Corse en 1979 ;
- localisation des bâtiments effectuant la recherche de l'hélicoptère tombé au Sud des Iles du Levant en 1979 ;

- positionnement de points de calage Toran pour les chasseurs de mines ;
- localisation au sud de Toulon d'un bâtiment affrété par l'Etablissement Technique Central de l'Armement (ETCA) (à cette occasion le Trident a été utilisé pour maintenir le navire en positionnement dynamique) ;
- mesures de courant au sud de l'île du Levant, pour le Centre d'Essais de la Méditerranée (CEM) en 1979 et 1980.

Ces concours nécessitaient :

- l'installation d'un interrogateur à bord du bâtiment ;
- la mise en place d'une chaîne de balises et sa maintenance ;
- le prêt d'un officier-marinier hydrographe, opérateur ;
- le calcul et le dessin de mappes.

VIII. REALISATIONS DU LABORATOIRE D'ELECTRONIQUE

Le laboratoire de la MOM a assuré la maintenance des chaînes de radiolocalisation — en particulier du Trident — et celles des sondeurs latéraux. En outre en 1979 et 1980, il a construit des prototypes ou des petites séries d'appareils présentant une grande utilité immédiate pour la Mission. Sans doute, l'intérêt offert par ces réalisations peut-il être étendu à l'ensemble des Missions du SHOM.

Les principales réalisations ont été :

- une série de 10 amplificateurs BF pour les postes TRPP 13. Ces amplis ont été très appréciés par la Mission de Circonstance de l'Océan Indien, qui ne travaillait qu'en radioguidage ;
- un topeur automatique pour l'Origny, à six sorties permettant de brancher 12 appareils ;
- une alimentation compacte tous-courants, pour les

balises Trident III ; pouvant prendre place dans le coffret de la balise, et permettant son alimentation par des panneaux solaires.

Ces travaux ont été conduits par une équipe homogène comprenant :

- un Technicien Chef de Travaux ;
- un Maître principal hydrographe, ayant de solides connaissances en électronique,
- des aspirants accomplissant leur service militaire, titulaires d'un diplôme d'ingénieur électronicien.

L'existence d'un laboratoire d'électronique bien équipé et d'un atelier de mécanique, et les concours apportés par l'Atelier Militaire de la Flotte et l'EPSHOM ont été d'autre part des éléments déterminants.

Une documentation sur chacune de ces réalisations est donnée en annexe à ce chapitre.

ANNEXE 1 AU CHAPITRE VIII

Amplificateur B F pour postes radio T R P P 13

A partir de 1979, les amplificateurs autonomes BF à transistors S.I.C. utilisés à l'origine pour les émetteurs-récepteurs ANPRC 10 puis adaptés aux TRPP 13, ont présenté de sérieuses difficultés de fonctionnement.

Les boîtiers, en acier, très corrodés du fait de leur utilisation à la mer, rendaient les réparations inefficaces dans le temps. Le taux de panne et les délais de réapprovisionnement (plusieurs mois) nous ont conduit à réaliser un amplificateur de remplacement.

Le boîtier est un coffret de connexion électrique standard en PVC (incorrodable) de marque Legrand. Léger et résistant d'un prix peu élevé (≈ 20 F) il est très répandu dans le commerce. Le capot est équipé d'un joint et de quatre vis imperdables en PVC. Dix accès occultés par des caches étanches permettent la fixation de prises sans avoir à percer.

L'électronique comprend :

- l'amplificateur intégré TBA 810 S (3 watts) ainsi que ses éléments discrets montés sur un circuit imprimé de 8×5 cm.
- un haut-parleur de 10 cm de diamètre.
- une pile de même type que celles utilisées pour l'alimentation du TRPP 13.

Le tout est fixé dans le boîtier.

A l'extérieur, deux accès permettent :

- 1) de relier l'amplificateur au TRPP 13 par câble ;
- 2) de connecter le combiné téléphonique.

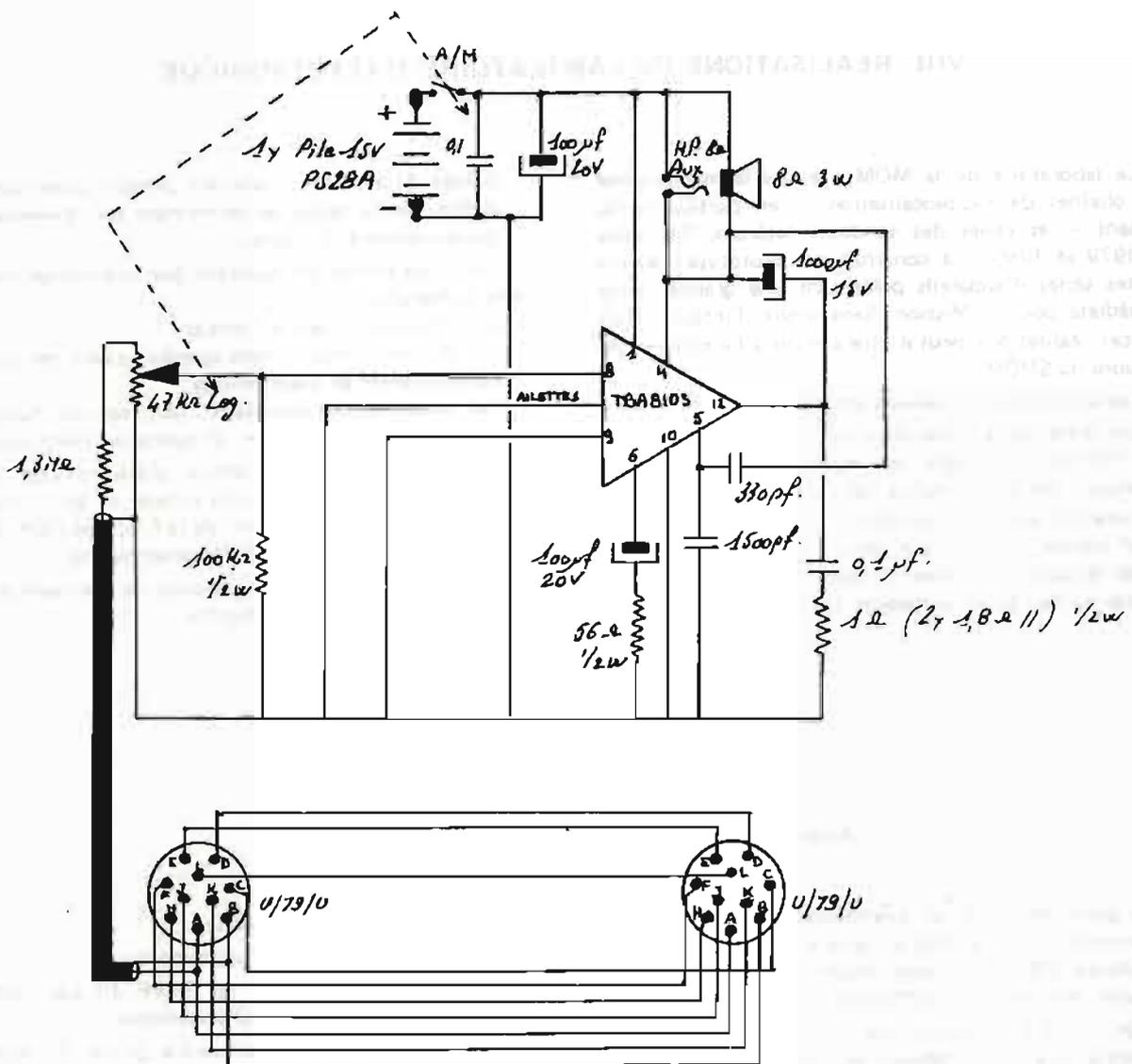
Un potentiomètre à interrupteur permet la mise en marche et le réglage du volume du son.

Un jack est prévu pour le départ d'un haut-parleur supplémentaire pour le travail en vedette (radioguidage avec les anciennes vedettes quand le barreur était séparé du chef d'équipe).

Il serait possible de perfectionner cet appareil. En particulier pour faciliter la transmission aux hydrographes opérant sur un théodolite, en déclenchant l'émission par la voix, système vox ; en équipant les coffrets de haut-parleurs, de jack et de potentiomètres étanches.

Un schéma de principe est donné sur la planche 28.

Dix exemplaires de cet équipement ont été construits. Ils sont toujours en fonctionnement. Certains ont fait partie du matériel envoyé à la MHCI. Ils en sont revenus en état de marche.



PL. 28. — Schéma de principe de l'amplificateur BF pour postes TRPP13.

ANNEXE 2 AU CHAPITRE VIII

Topéur hydrographique

JUSTIFICATION

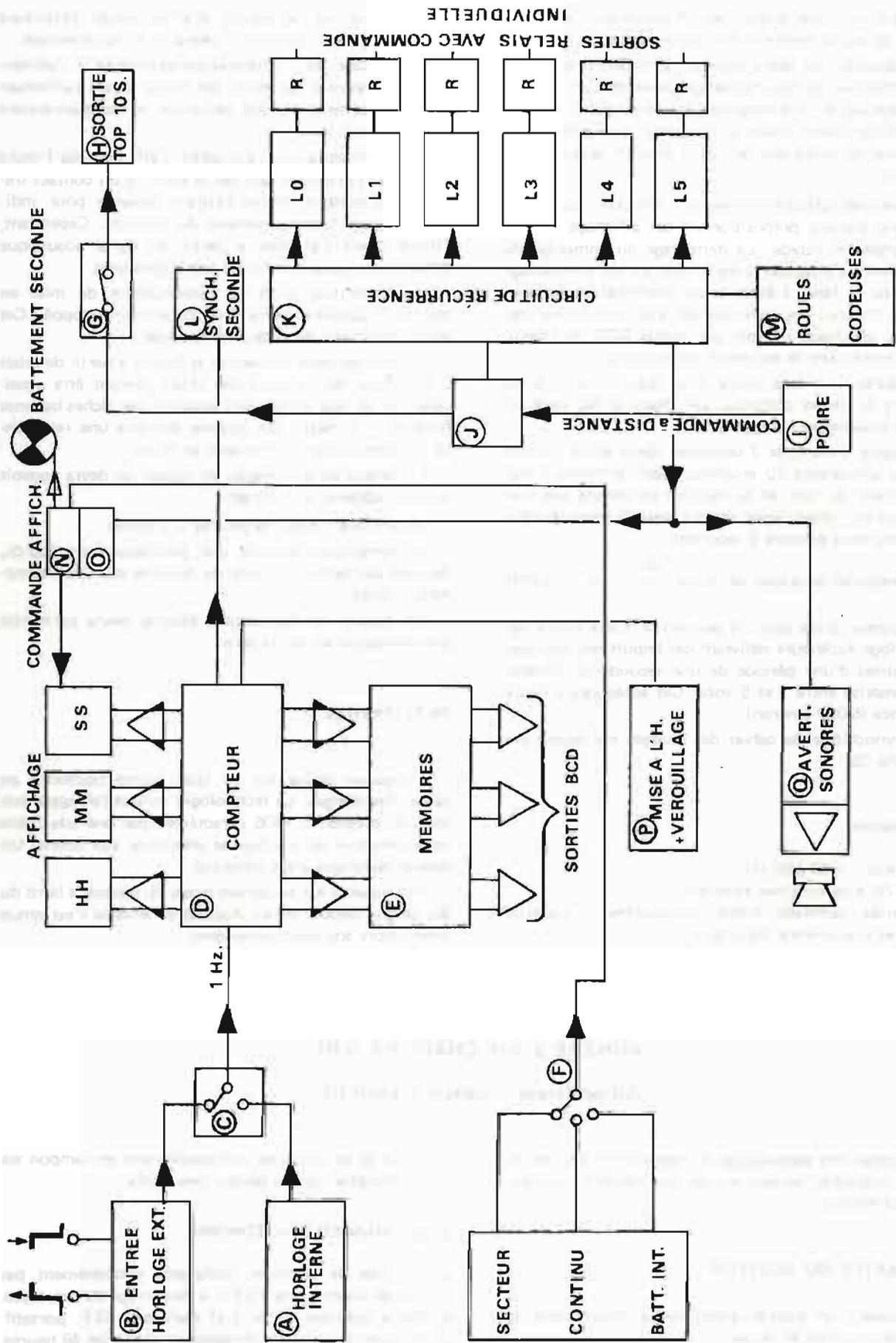
La nécessité d'acquies quatre ou cinq mesures en cours de sondages délivrées par un ou deux sondeurs, le Trident, le Toran, le magnétomètre ou le sondeur latéral impose un topage commun et automatique de tous ces appareils. Ces observations ont conduit à la conception et à la réalisation d'un topéur automatique.

LE CAHIER DES CHARGES

But

Fermer ou ouvrir six circuits, simultanément, de manière automatique ou manuelle.

— Automatique : le temps qui sépare les tops, devra être réglable par bonds de 30 secondes, de 30 secondes à 30 minutes. Une sortie supplémentaire sera prévue. Elle



PL. 28. - Teneur hydrographique.

effectuera des tops toutes les 10 secondes. On devra pouvoir ne pas la mettre en fonctionnement.

— *Manuelle* : on devra pouvoir, à n'importe quel moment, effectuer un top manuel par pression d'un bouton sur la face avant ou à distance (3 mètres) par l'intermédiaire d'une poire reliée à l'appareil par jack. Cette manœuvre ne devra pas perturber le cycle automatique en cours.

L'heure sera affichée en heures — minutes — secondes. On devra pouvoir prépositionner cet affichage de manière simple et rapide. Le démarrage du comptage de temps devra s'effectuer simplement et un verrouillage sera prévu de façon à éviter toute modification accidentelle de l'heure. Les tops devront être synchrones des secondes affichées. Prévoir une sortie BCD de l'heure par l'intermédiaire de mémoires séparatrices.

La durée des tops devra être réglable de 1 à 10 secondes de façon continue, sur chacune des voies de manière totalement indépendante.

Un signal sonore, de 2 secondes, devra attirer l'attention des utilisateurs 10 secondes avant le moment top. Au moment du top, et de manière synchrone avec son début, un deuxième signal sonore mais de tonalité différente, sera émis pendant 2 secondes.

La précision de la base de temps : $\frac{\Delta t}{t} \leq 10^{-5} / \text{JOUR}$

Ce topeur devra avoir la possibilité d'être piloté par une horloge extérieure délivrant des impulsions positives ou négatives d'une période de une seconde et d'amplitude comprise entre 1 et 5 volts. Cet accès sera à haute impédance (5 000 environ).

Un synoptique du cahier des charges est donné par la planche 29.

Alimentation

230 volts ~ 50 à 60 Hz.

18 à 28 volts continus extérieur

Batteries cadmium nickel incorporées — capacité 24 heures à récurrence maximum.

Le choix de la source d'alimentation extérieure — alternatif ou continu — devra être automatique.

Le passage de l'alimentation extérieure à l'alimentation incorporée batteries cadmium nickel devra s'effectuer automatiquement et sans perturber le fonctionnement de l'appareil.

— En alimentation incorporée, l'affichage de l'heure ne pourra s'effectuer que par pression d'un contact instable. Un signal lumineux battra la seconde pour indiquer le bon fonctionnement du système. Cependant, l'heure devra s'afficher à partir du signal acoustique préparatoire jusqu'à la fin du top le plus long.

— En position arrêt de l'interrupteur de mise en marche, l'appareil devra être totalement stoppé. Cet interrupteur sera du type à verrouillage.

Les sorties pour utilisation se feront à partir de relais 2 RT. Tous les contacts des relais devront être accessibles sur la face arrière de l'appareil, par fiches bananes femelles + 1 masse. Un schéma donnera une représentation symbolique des contacts au repos.

En dehors de son emploi en topeur on devra pouvoir utiliser l'appareil en horloge.

Dimensions : Rack 19 pouces — 2 unités

De nombreux points de test, judicieusement répartis, devront permettre, à l'aide de documents, une maintenance rapide.

Un dossier de fabrication détaillé devra permettre une réalisation en petite série.

REALISATION

L'appareil réalisé est en tous points conforme au cahier des charges. La technologie utilisée fait appel aux circuits intégrés C. MOS caractérisés par une très faible consommation et une bonne immunité aux bruits. Un dossier technique a été constitué.

Cet appareil est en service quasi-permanent à bord du BO *Origny* depuis un an. Aucune défaillance n'est venue interrompre son fonctionnement.

ANNEXE 3 AU CHAPITRE VIII

Alimentation — Balises Trident III

Les impératifs géodésiques d'implantation des balises Trident imposent, suivant les cas, des moyens d'alimentation différents :

1. A PARTIR DU SECTEUR

a) A travers un boîtier électronique, fournissant du 24 volts continu et régulé.

b) A l'aide de batteries continuellement en tampon sur un chargeur, cas du secteur peu fiable.

2. DE MANIERE AUTONOME

- a) A l'aide de batteries rechargées cycliquement par groupe électrogène (G.E.) à démarrage automatique.
- b) Même solution qu'en 2.a) mais avec G.E. portatif.
- c) A l'aide de batteries remplacées toutes les 48 heures.

L'exploitation de ces différents modes d'alimentation montre que seules les solutions 1.a) et 1.b) sont satisfaisantes avec cependant une restriction pour la 1.b) du fait que le chargeur est du type classique d'une part et de son encombrement/poids d'autre part.

Les autres modes d'alimentation ne devraient être utilisés que de manière exceptionnelle.

La fiabilité des G.E. à démarrage automatique laisse souvent à désirer. De surcroît, l'infrastructure en place est une lourde servitude pour les missions hydrographiques. Il faut signaler à ce sujet, la construction d'un abri sur le site, la fixation du groupe, les visites périodiques, l'alimentation en carburant(*) avec les contraintes de sécurité qui accompagnent son transport, sa manutention et son stockage.

Quant les G.E. sont servis par du personnel accompagnateur (2.b), la fiabilité est nettement meilleure. Cependant, cette solution est coûteuse en déplacement, en temps — nécessité de maintenir sur place le personnel pendant la durée de la charge — et les inconvénients concernant le carburant demeurent.

Le remplacement périodique des batteries (2.c) est aussi très contraignant (transport, immobilisation de personnel). De plus, les déplacements répétés sont préjudiciables aux accumulateurs.

Ces considérations ont été prises en compte pour l'élaboration du cahier des charges d'une alimentation balise Trident III. Le compromis réalisé pourrait moyennant quelques aménagements prévus, résoudre la majorité de ces problèmes.

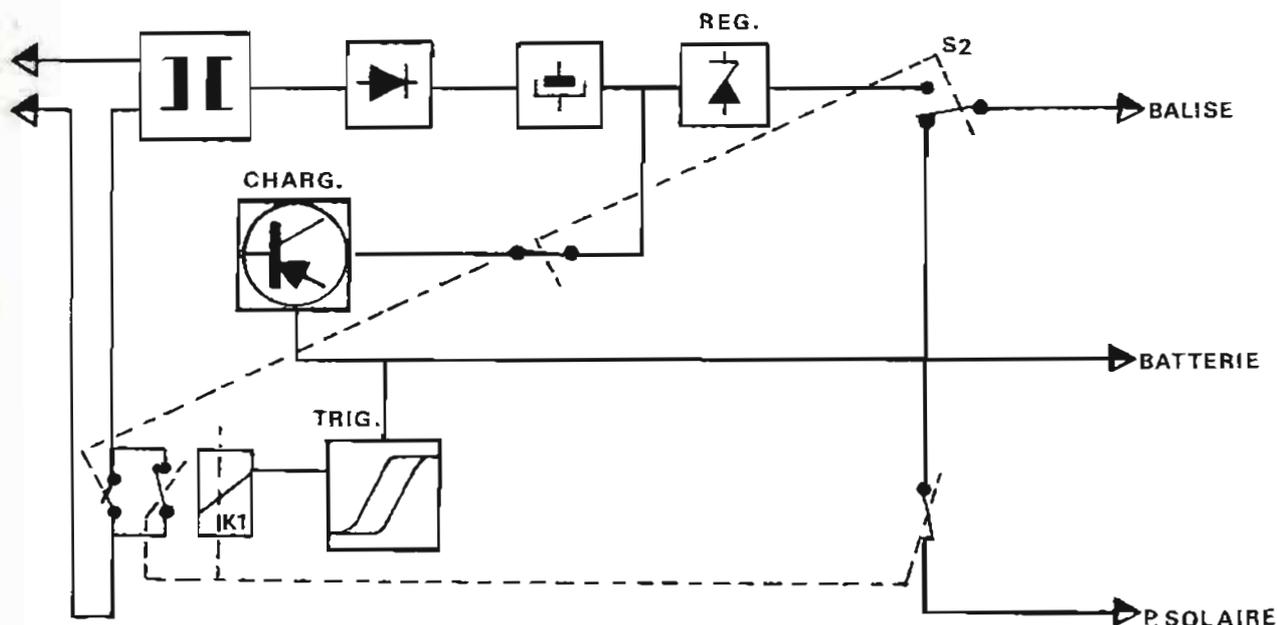
(*) Il est rappelé qu'il n'y a pas de pompe d'alimentation sur les petits groupes dont le réservoir n'assure une autonomie que de quelques heures d'où nécessité d'un gros réservoir en charge.

CAHIER DES CHARGES

1. Les dimensions géométriques de l'appareil devront permettre son intégration dans le conteneur de la balise.
2. Etanchéité au ruissellement, refroidissement par convection naturelle.
3. Réalisée en un métal léger, le plus résistant possible à la corrosion.
4. Être de manipulation aisée.
5. Être en mesure de fournir à partir du réseau 220 V alternatif $\pm 20\%$ une tension continue régulée permettant un fonctionnement satisfaisant de la balise.
6. Assurer la charge contrôlée à courant constant d'une batterie c'est-à-dire l'arrêt et la reprise automatique de la charge suivant l'état de l'accumulateur.
7. Assurer le fonctionnement simultané d'une balise et du paragraphe 6.
8. Le secteur EDF pourra être remplacé par des panneaux solaires. Ce dernier point assure le fonctionnement décrits aux paragraphes 6 et 7.

REALISATION

Le boîtier est composé de trois parties, chacune d'elles usinée dans un bloc d'AG4MC (alliage d'aluminium et de 4 % de magnésium) de 40 mm d'épaisseur. Le fond et le dessus constitués d'ailettes de refroidissement servent de radiateur permettant l'évacuation des calories, normalement générées par l'électronique. La partie inférieure, équipée de quatre pattes repliables pour faciliter les échanges de température par convection, est liée à la partie centrale, contenant l'élec-



PL. 30 — Système pour l'alimentation des balises Trident III.

tronique, par une série de vis permettant l'ouverture du boîtier.

Le dessus est maintenu en place par collage, selon un procédé récent : colle Multibond de la société Loctite.

Les connections et commandes sont toutes sur la face avant.

Ces accès sont équipés de prises Jupiter non permutables, de prises "bananes" et d'interrupteurs étanches au ruissellement.

Une poignée repliable, récupérée sur le matériel Trident I et II, permet le transport de l'appareil.

Le rôle de chacune des commandes est inscrit de manière visible sur la visière de protection.

Un schéma synoptique est donné sur la planche 30.

FUNCTIONNEMENT

1. Avec le secteur

— Le transformateur : type torique. Primaire 220 V, secondaire 2X30 V 120 VA. Ce type de transformateur a été choisi pour son très bon rapport encombrement/puissance, son faible poids et sa faculté de pouvoir absorber, sans danger, de fortes surcharges.

Pour faciliter l'évacuation de la chaleur produite par ce composant, il a été enrobé dans un mélange d'époxy (20 %) et de poudre d'aluminium (80 %) de façon à ce que son épaisseur soit égale à l'espace existant entre les deux faces du coffret moins 5/10^e. Une graisse aux silicones assure la dernière liaison. Ce bloc constitue un pont thermique.

— Le filtrage et le redressement sont classiques. Le régulateur 28 V est réalisé à l'aide d'un transistor de puissance (MJ 1001) monté en régulateur série.

— Le chargeur à courant constant est également constitué d'un transistor de puissance (MJ 900).

— Le trigger a pour fonction de surveiller la tension de la batterie et de commander la mise en marche ou l'arrêt du chargeur. Ainsi, une balise alimentée par batterie est toujours chargée sans excès.

2. Avec des panneaux solaires

Le fonctionnement de la balise est assuré par les batteries, elles-mêmes rechargées par les panneaux.

Un essai de *courbe durée* a été fait avec panneaux Motorola type MSP 43 A 40 prêtés par la société. Une évaluation plus détaillée serait nécessaire. Cependant les résultats obtenus laissent penser qu'un tel équipement permettrait, compte tenu de la bonne fiabilité du Trident III, un fonctionnement très satisfaisant. D'autre part le choix des sites ne serait plus fonction de la présence du secteur et/ou de l'accessibilité. Les exemples d'emplacements ne pouvant être exploités pour ces deux raisons sont assez nombreux.

L'investissement dans cet équipement serait très rapidement amorti par les économies réalisées sur les déplacements.

Les boîtiers, sur spécification de la Mission Océanographique de Méditerranée (MOM), ont été réalisés grâce au concours des Ateliers Militaires de la Flotte, section Mécanique Générale.

Ce matériel est actuellement exploité. Des conclusions définitives seront déposées en fin de campagne.



IMPRIMERIE LOUIS-JEAN

Publications scientifiques et littéraires

05002 GAP — Tél. : (92) 51.35.23

Dépôt légal : 557 — Novembre 1983

AVIS AUX AUTEURS

Les auteurs sont priés de se conformer aux indications suivantes :

Texte

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

Illustration

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

Tirés à la suite

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

SOMMAIRE

Première partie

	Pages
Etude analytique d'un modèle des marées littorales à l'aide des multiplicités bi-caractéristiques, par MM. Y. BIOLLAY, Ecole polytechnique Fédérale, Lausanne (Suisse) et J. KRAVTCHENKO, Université Scientifique et médicale, Grenoble	5
Méthode de calcul manuel de la marée à partir des principales constantes harmoniques, par M.M. B. SIMON, ingénieur civil sous contrat et F. GOUTORBE, ingénieur de l'Armement, Etablissement Principal du Service Hydrographique et Océanographique de la marine	17
Etude hydrologique du canal des Iles Loyauté, par M.D. GUEVEL, Ingénieur Principal de l'Armement, Mission Océanographique du Pacifique.	33

Deuxième partie

Compte rendu des travaux effectués par la Mission Hydrographique de l'Atlantique (février 1977 — mars 1980) sous la direction de M. M. LE GUEN, Ingénieur en chef de l'Armement (hydrographe)	43
Mission Océanographique de Méditerranée (janvier 1979-mai 1981), par M. J.-P. THOUIN, Ingénieur en chef de l'Armement (hydrographe)	113